
SOPRA



SOPRA



NOTRE CROISADE ...

Depuis les débuts de Focal Jacques Mahul s'est lancé dans des projets déraisonnables, histoire de repousser les limites du haut-parleur... Dès 1981 avec L'Audiom 15A ou le TC 120 FC en matière de puissance magnétique, tout comme en 1986 avec les premières membranes sandwich K2 pour ce qu'il s'agit de matériau haute rigidité à faible masse. Pensés à l'origine comme des prototypes, ces projets, pouvant parfois paraître approximatifs, ont donné vie par la suite à de multiples applications qui ont fait de Focal un leader unique et envié dans le domaine de la science du haut-parleur. Le cap visé étant très simple : le maximum de champ magnétique associé à une faible masse de l'équipage mobile pour un son expressif. Ce cap n'a d'ailleurs pas changé en 35

ans et cette opiniâtreté nous a permis de faire des progrès très significatifs : Multi-ferrites / Power Flower, EM, IAL d'une part et membranes W, Flax et Beryllium d'autre part. Autant de jalons qui ont construit la notoriété de la Marque.

Cependant, cette recherche du Graal dans le domaine du transducteur n'est pas toujours allée de pair avec l'attente des marchés désirant toujours plus d'accessibilité et de miniaturisation.

Aussi, en parallèle, pour se donner les moyens de continuer "notre croisade" nous avons dû faire preuve de pragmatisme:

- En déclinant, avec honnêteté, des gammes abordables, l'offre JMLab des années 80 en est un bon exemple ;

- En appliquant notre savoir-faire du haut-parleur à d'autres domaines comme le Car Audio ou le Pro Audio il y a respectivement 25 ans et 10 ans ;

- En élargissant plus récemment notre expertise acoustique grâce à l'exploration de nouveaux terrains porteurs tels que le casque ou la barre de son.

Ceci afin de pouvoir maintenir un outil industriel avec une taille critique, seule voie possible pour continuer d'explorer, et ainsi continuer à exister et à se développer dans une industrie qui a connu bien des mutations ces trente dernières années... Ainsi Focal s'est construit et consolidé.

NOS AVANCÉES TECHNOLOGIQUES EN 2014

MATÉRIAUX ET MEMBRANES

Le travail de ces dernières années ayant conduit à la mise au point de notre sandwich Flax nous a clairement démontré que notre sandwich W (avec la maîtrise que nous en avons depuis près de 20 ans ainsi que de ses multiples perfectionnements) était à ce jour insurpassable pour la réalisation de cônes, de woofers ou de médiums. Pour les tweeters, le béryllium est lui aussi le matériau ultime combinant toutes les qualités superlatives (légèreté/rigidité/amortissement). Seule voie de progrès pour les équipages mobiles, travailler plus finement sur les suspensions. Nous avons déjà entamé ce travail sur le woofers-médium de la Diablo Utopia en développant un nouveau spider à "soft clipping"

mécanique ainsi que sur la liaison membrane suspension périphérique afin d'apporter une avancée significative à notre bookshelf lors du passage à Utopia III en 2008. Depuis, les outils de simulation à notre disposition ont largement progressé afin d'analyser les non-linéarités, source de distorsions, principalement dans la zone 1- 1,5 kHz qui restent très critiques. Si sur Utopia III, avec l'évolution apportée par le sandwich W de 3^{ème} génération et sa découpe laser nous pouvons faire du "cousu main" unitaire afin de limiter les dispersions, il n'en va pas de même sur nos gammes Premium pour des raisons évidentes de coûts...

La problématique est bien connue, il y a rupture de

l'impédance mécanique lorsque l'onde passe du cône sur la suspension, qui est elle, aussi émissive et, qui plus est, avec un effet "boomerang" entraînant une déformation du cône. De multiples tentatives ont été envisagées par la concurrence, mais aucune n'est satisfaisante, car toutes sont préjudiciables au débattement et sont donc cause de compression dynamique.

Un travail de recherche engagé il y a plus deux ans sur ce sujet a apporté une solution remarquable en réglant le problème à sa source, sans limitation aucune du débattement, avec la suspension "TMD" pour laquelle un brevet a pu être déposé au troisième trimestre 2014.

LA SUSPENSION TMD OU L'OBSESSION DU REGISTRE MÉDIUM...

Dans la continuité du travail fait pour le woofer - médium de la Diablo Utopia et avec le recul et l'expérience acquise par la réalisation de milliers de pièces révélant la très grande criticité de l'assemblage cône - suspension, nous avons bien vite réalisé que la multitude des paramètres rentrant en jeu rendait illusoire toute mise au point empirique. Nous nous devons d'élaborer un modèle de simulation numérique qui représente finement cette liaison mécanique complexe afin, dans un premier temps, de pouvoir corrélérer les résultats observés sur de nombreux prototypes pour dans un second temps, être à même d'apporter une réponse fiable non empirique. Aujourd'hui, puissance de calcul aidant, la méthode des éléments finis (Finite Element Method) permet

de calculer numériquement le comportement dynamique d'objets très complexes et donc d'en prévoir le comportement. Et par voie de conséquence, d'imaginer des solutions précises et pertinentes.

Les mesures habituelles de réponse en fréquence, de distorsion, voire même d'interférométrie laser mettent en évidence la problématique, mais tel un instantané, une "photo". Or, ce dont nous avons besoin est d'un "film" pour décomposer le mouvement, comprendre le phénomène dans sa globalité et ainsi imaginer des solutions efficaces en régime dynamique. Les "patches" correcteurs de défauts statiques qui pourraient être élaborés pour linéariser la courbe de réponse peuvent se révéler dévastateurs en termes de dynamique. La zone

médium est sans nul doute la zone la plus complexe et la plus exigeante au plan musical, c'est un élément clé de la signature sonore de Focal, gâcher sa résolution n'est simplement pas envisageable !

Disposant enfin d'un modèle numérique qui corrélait in fine les mesures acoustiques classiques obtenues sur nos multiples prototypes (plus d'une centaine ont été testés !), nous avons pu envisager les remèdes. La modélisation permet alors de dimensionner précisément l'ajout de masse ou de raideur sur la suspension, les masses ajoutées faisant office d'absorbeur de vibration dynamique. La technique est parfaitement connue : "Tuned Mass Damper" ou amortisseur harmonique.

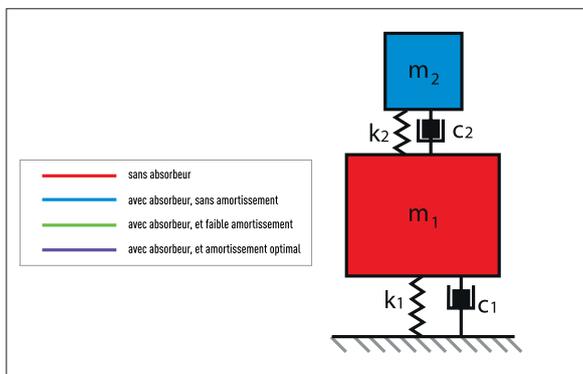
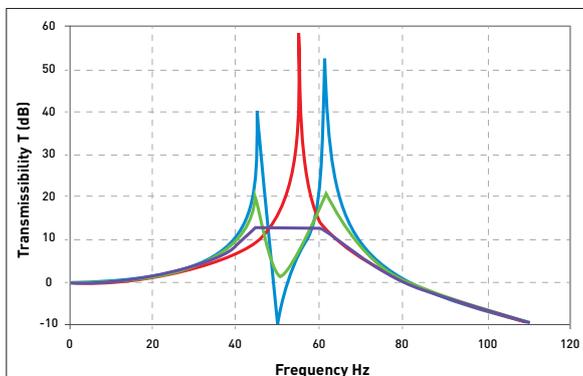


Fig A : Le principe de l'armortisseur harmonique "TMD" est précisé sur le graphe ci-dessus. En rouge un système m_1/k_1 avec une résonance très marquée. L'ajout d'un dispositif masse-report m_2/k_2 (partie supérieure du schéma central) aura un comportement présentant deux pics de résonance comme sur le courbe rose. Le creux ou anti-résonance étant préalablement calé sur la résonance du dispositif principal nous obtenons la courbe verte et enfin, en dosant judicieusement l'amortissement, nous aboutissons à la courbe noire. La résonance a pratiquement disparu ! En bas, la masse de $m_2 = 660$ tonnes du "TMD" du gratte-ciel 101 à Taipei ...

Pour la petite histoire, elle fut introduite avec grand succès sur les suspensions en Formule 1 en 2005 avec la Renault R25 (champion du monde constructeur et pilote) et vite interdite... car jugée anticoncurrentielle par la FIA ! C'est aussi le principe de base des systèmes anti sismique pour les gratte-ciel moderne (fig A)

Ce principe appliqué à une suspension périphérique consiste en deux petits anneaux circulaires faisant office de masses complémentaires qui oscilleront en opposition à la fréquence de résonance de la suspension. (fig B)

À noter que ce dispositif offre des avantages majeurs :

- Pouvoir choisir un profil de membrane exponentiel qui offre la réponse en fréquence la plus étendue à plus de 5 kHz et donc une meilleure réponse transitoire ;
- Pouvoir choisir une suspension très légère, l'amortissement harmonique éliminant le pic de résonance qui est d'autant plus fort que la masse est faible ;

- Pouvoir amortir la résonance dans la direction de l'émission, soit le plan radial, là où les dispositifs concurrents amortissent les résonances de la suspension dans le plan circulaire du haut-parleur. (fig C et D)

Ainsi, nous pouvons cumuler des avantages jusqu'à présent inconciliables : faible masse / amortissement optimal / extension de la réponse en fréquence. (fig E)

Cela conduit à des bénéfices multiples sur le plan de l'écoute : une meilleure réponse transitoire conjuguée à une parfaite linéarité et une distorsion réduite, de l'ordre de plus de 50%, dans une zone de très forte sensibilité de l'oreille aux environs de 2 kHz. Autrement dit, des timbres plus justes, une définition accrue et une meilleure spatialisation. Pour préciser ce dernier point, la résonance de la suspension classique s'accompagne d'émissions en opposition de phase qui viennent "flouter" l'image sonore et ce, d'autant plus, que la résonance est marquée. La suspension TMD élimine le problème à la source. (fig F)

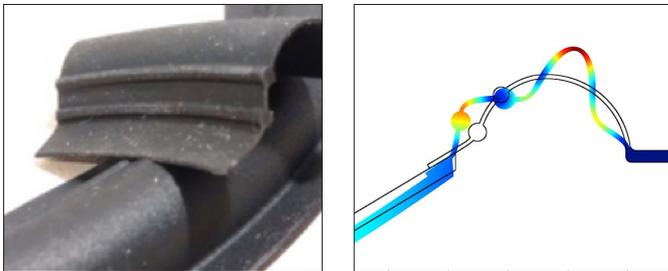


Fig B : Deux bourrelets circulaires moulés dans la masse constitue notre amortisseur harmonique (TMD). Solution simple au final mais plus d'une centaine de configurations ont été testées pour optimiser notre modélisation.

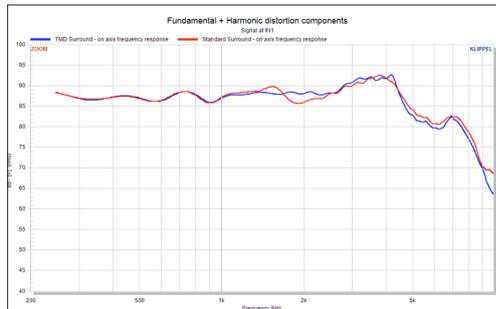


Fig C : Action de l'amortisseur harmonique sur la linéarisation de la réponse en fréquence entre 1,5 et 2 kHz (en bleu, avec TMD et en rouge, sans TMD, toutes choses égales par ailleurs).

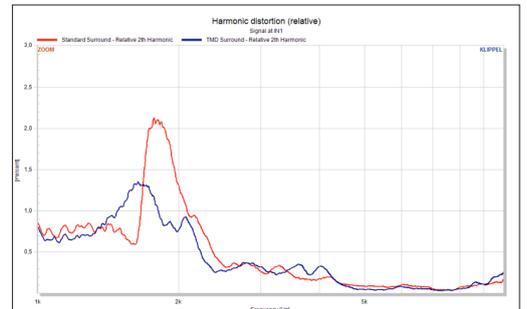


Fig D : Action de l'amortisseur harmonique sur la distorsion qui est réduite de moitié entre 1,5 et 2 kHz (en bleu, avec TMD et en rouge, sans TMD, toutes choses égales par ailleurs).

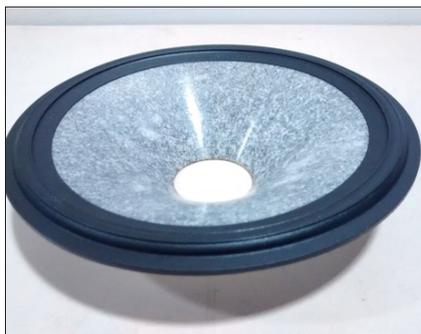


Fig E : Les meilleurs paramètres enfin conciliables : très faible masse de l'équipage mobile pour haute définition, profil exponentiel à réponse étendue en fréquence et amortissement optimal pour grande linéarité et faible distorsion.

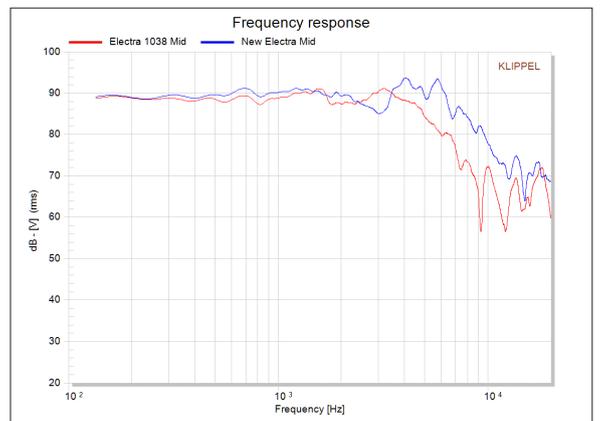


Fig F : En bleu, notre médium de dernière génération comparé à un médium W de génération précédente, optimisé selon l'état de l'art antérieur en rouge. On notera en rouge l'amélioration de la linéarité entre 1 et 2 kHz et l'extension en fréquence apportée pour partie par le profil exponentiel de la membrane. Les perfectionnements du circuit magnétique apportent aussi leur contribution (voir chapitre suivant). NB : Le creux à 3 kHz vient de l'absence de cache noyau sur l'exemplaire de test.

LA SOPHISTICATION DES CIRCUITS MAGNÉTIQUES

Au cours des dernières décennies, notre travail en matière de circuit magnétique, a consisté à optimiser la puissance du champ magnétique et donc le facteur de force, critère clé en matière d'accélération et donc d'expressivité du rendu musical. Avec :

- Des moteurs dotés de matériaux magnétiques performants avec, pour les derniers achèvements sur Utopia III, la configuration IAL 2 sur le tweeter béryllium et allant jusqu'à utiliser un électro aimant sur les woofers avec la technologie EM ;
- Réduction des pertes magnétiques pouvant engendrer des dispersions en optimisant la géométrie des pièces polaires, dimensionnement de la plaque-noyau (T-Yoke) et planéité des plaques de champ comme sur

les multi ferrites ou "Power Flower". De plus, un travail de recherche sur un concept de haut-parleur extra plat sans pièces polaires (brevet 2009 n° de publication US : 2013-0064413) a été très instructif.

Cependant, ce travail nécessaire au plan statique s'avère encore perfectible si l'on veut encore aller plus loin au plan dynamique. À ce niveau, la complexité augmente magistralement car nous sommes dans un système électro dynamique couplé ayant de multiples facteurs interdépendants. À savoir que la bobine lors de son déplacement dans l'entrefer vient d'une part moduler le champ magnétique (loi de Lenz) et ce, de manière différente selon sa position, lorsqu'elle rentre ou qu'elle sort. D'autre part, le courant variant selon le message musical, va induire des courants de Foucault (Eddy current)

dans le circuit magnétique ayant pour effet de freiner le déplacement de la bobine. Enfin ces phénomènes varient selon une troisième dimension qui est la fréquence. Pour illustrer notre propos, c'est comme si dans le cas idéal où le champ était parfaitement constant l'équipage mobile voyait sa masse varier en fonction et de sa position, du courant et enfin de la fréquence. On le voit c'est très complexe et seule une modélisation numérique sophistiquée pouvait nous aider à progresser. C'est ce travail qui a été entrepris ces trois dernières années en véritable sujet de recherche et qui apporte aujourd'hui des résultats marquants. Il se rapproche de celui fait au plan mécanique avec la "structure Gamma" retenue pour les coffrets, visant à offrir un référentiel inerte et neutre.

La nécessité d'un outil de simulation

De nombreux travaux ont été faits dans les années 70 pour tenter d'annihiler l'effet des courants de Foucault (utilisant une bague de cuivre ou d'aluminium en bague de Faraday) aucun n'étant satisfaisant, car n'abordant que des éléments parcelaires et simplifiés sans vision d'ensemble des phénomènes. Qui plus est, tous ces dispositifs ont un impact néfaste sur l'intensité du champ et donc le facteur de force (BL) ce qui, pour Focal, n'est pas envisageable. À préciser qu'à l'époque, aucun moyen de mesure n'existait pour vérifier l'effet en régime dynamique. Il a fallu attendre la fin des années 90 avec le système Klippel pour enfin disposer d'un outil capable de révéler le comportement en dynamique.

Trois configurations sont couramment rencontrées, (fig G) seule celle ayant recours à un anneau placé à l'intérieur du moteur à proximité de

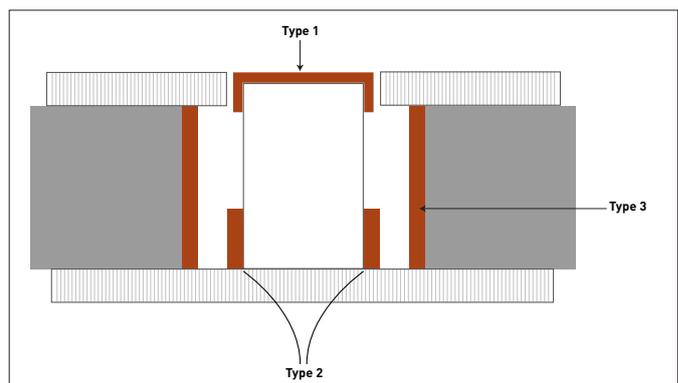


Fig G : Les trois type de bagues de Faraday visant à limiter les courants de Foucault. Les types 1 et 2 ont pour effet de réduire le BL, nous avons retenu le type 3.

l'aimant n'altère pas le BL (facteur de force).

La difficulté résidant dans son dimensionnement, nos essais ont démontré que l'épaisseur de l'anneau est très sensible en basses fréquences alors que sa distance vis-à-vis de la bobine est très sensible en hautes fréquences. Grâce à notre outil de simulation, nous avons pu travailler efficacement pour optimiser nos woofers et nos médiums.

La première étape de nos recherches a porté sur

l'évaluation des variations de l'inductance de la bobine plongeant dans le champ magnétique de l'entrefer en fonction de la fréquence.

Dans l'idéal, elle devrait rester constante. Il n'en est rien, et l'outil mathématique développé en interne comparé à des mesures réelles faites sur la base de très nombreux prototypes physiques a abouti à l'élaboration d'un outil de simulation numérique qui allait enfin nous permettre travailler efficacement. (fig H)

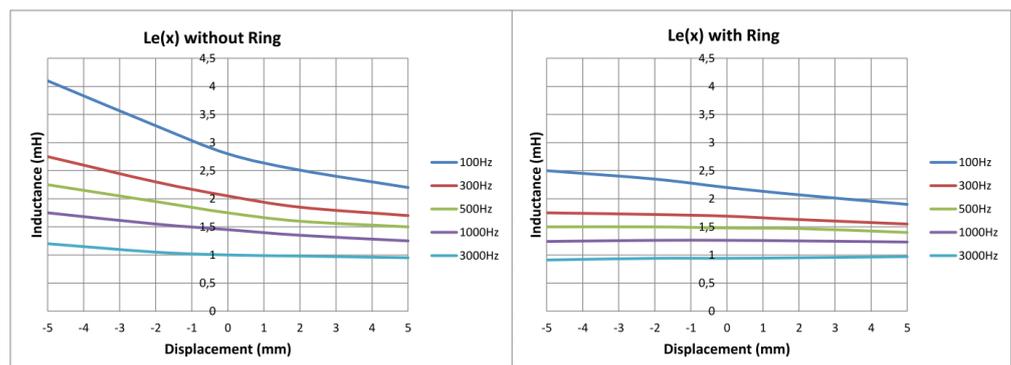


Fig H : La puissance de notre outil de simulation nous apporte une vision nouvelle et surtout nous autorise des optimisations des circuits magnétiques inenvisageables auparavant. En exemple, cette modélisation montrant la variation de l'inductance de la bobine en fonction de sa position dans l'entrefer pour 5 fréquences différentes sans bague de Faraday à gauche et avec bague à droite.

Nouveau circuit magnétique pour woofer

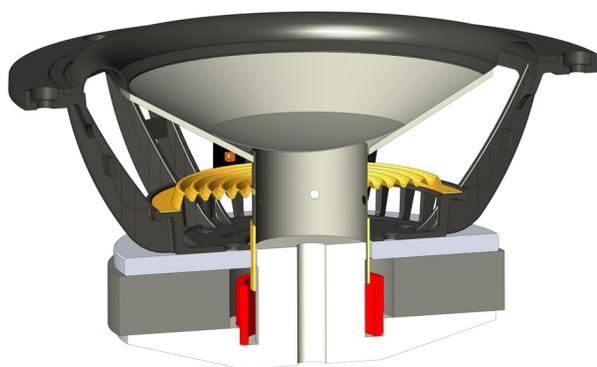


Fig I : Positionnement idéal de la bague de Faraday pour un moteur de woofer obtenu grâce à notre outil de simulation.

Les meilleurs résultats ont été obtenus avec une bague de Faraday concentrique placée à la base du noyau, de 3 mm d'épaisseur sur 20 mm de haut, sans contact direct ni avec le noyau, ni avec l'aimant. (fig I) Les mesures faites sur Klippel révèlent la précision de notre modèle mathématique et de sa puissance pour optimiser

un circuit magnétique. Ce qui pouvait sembler il y en avait encore peu envisageable, c'est à dire avoir un référentiel magnétique indépendant des trois critères : position de la bobine, courant dans la bobine et fréquence. Les mesures de distorsion (harmonique et par intermodulation) qui en découlent révèlent une baisse de plus de 70% ! (fig J)

Nouveau circuit magnétique pour médium

Notre obsession historique sur le registre médium nous incitait à aller encore plus loin, inutile de rappeler que musicalement c'est une zone sur laquelle l'oreille est d'une extrême sensibilité. Comme mentionné précédemment, nous avons développé en 2009 un concept de haut-parleur extra plat original en ce qu'il n'utilise aucune pièce polaire (brevet n° de publication US : 2013 - 0064413). (fig K)

La bobine est plongée dans le champ magnétique direct d'une couronne d'aimant Néodyme. Le circuit magnétique n'incorporant aucun élément ferromagnétique, à la particularité d'être insensible aux courants de Foucault induits par les variations de courant circulant dans la bobine en relation avec le signal musical. Il a un comportement proche de l'air, il en résulte un champ magnétique qui reste stable et constant jusqu'à plus de 5 KHz.



Fig K : Circuit magnétique sans pièces polaires.

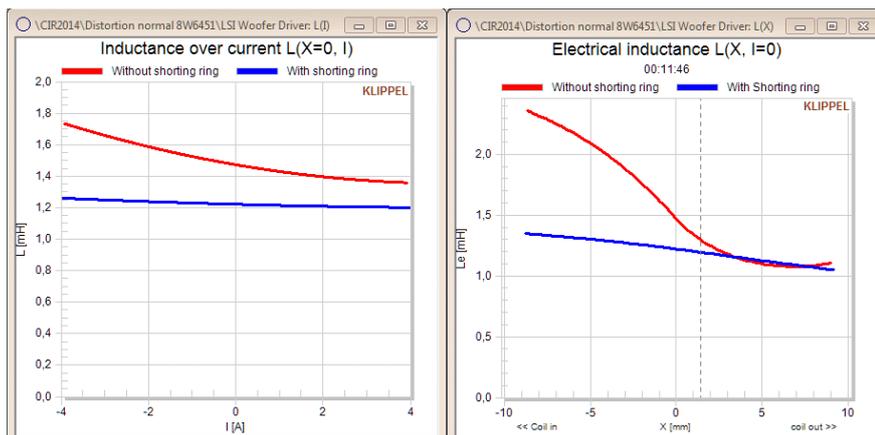


Fig J : Mesure effective faite sur Klippel pour un woofer de 8" en rouge sans bague et en bleu avec bague optimisée grâce à notre outil de simulation.

A gauche : variation de l'inductance en fonction du courant traversant la bobine variant selon le message musical. Stabilité totale.

A droite : variation de l'inductance en fonction de la position de la bobine dans l'entrefer. Le résultat, là aussi, spectaculaire principalement quand la bobine rentre dans l'entrefer.

Concept idéal pour un médium. La principale limitation qui fait que ce brevet n'ait pas encore trouvé d'application, outre la problématique d'industrialisation, réside dans la quantité de Néodyme à mettre en oeuvre pour obtenir une sensibilité élevée sur un médium de 6". Néanmoins, c'était un candidat de référence que nous avons baptisé "NIC" (Neutral Inductance Concept) pour imaginer un circuit magnétique ultime de médium économiquement viable.

Notre outil de simulation nous a beaucoup aidés à imaginer la structure optimale se rapprochant de notre référence "NIC": un aimant Néodyme central surmonté d'une pièce polaire ferromagnétique portée à saturation ($>1,5T$) par une seconde pastille de Néodyme sur son dessus. (fig L) Le champ est rebouclé par un circuit ferromagnétique dimensionné pour éviter toute saturation. Enfin un anneau de Faraday a été judicieusement positionné pour réduire encore

la distortion en dessous de 1 kHz. (fig M)

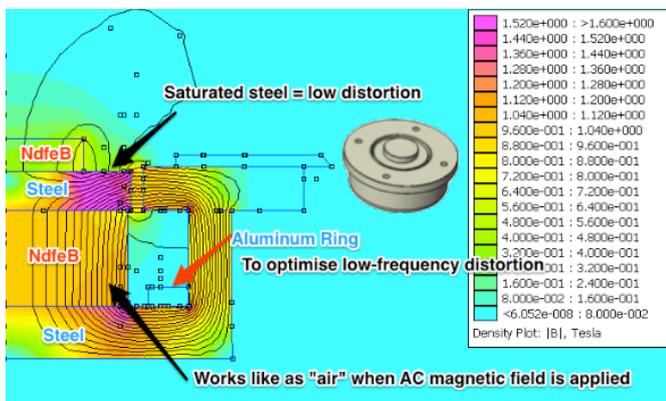


Fig L : Notre outil de simulation nous a conduits à cette optimisation "NIC" du circuit magnétique pour médium avec sa bague de Faraday en rouge sur la coupe ci-contre. Il concilie efficacité, linéarité de l'inductance en fonction de la position de la bobine, du courant traversant cette dernière et de la fréquence.

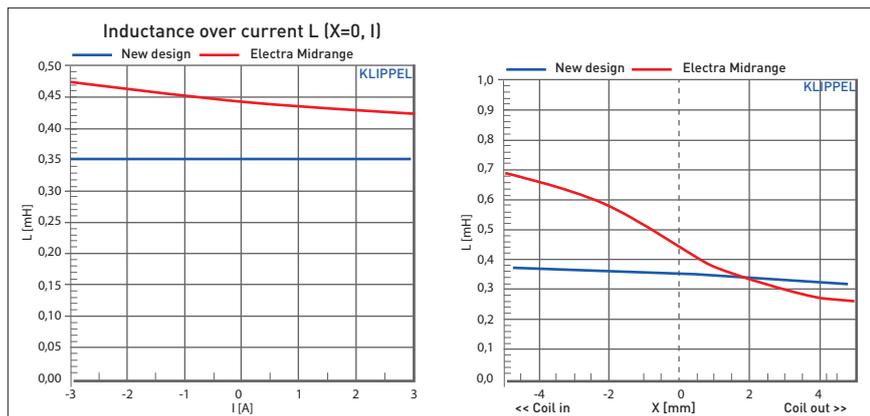


Fig M : Mesure effective faite sur Klippel pour un médium de 6" en bleu avec le nouveau circuit "NIC" et en rouge avec médium de 6" à moteur ferrite conventionnel.

A gauche : Variation de l'inductance en fonction du courant traversant la bobine variant selon le message musical. Stabilité totale du circuit "NIC".

A droite : Variation de l'inductance en fonction de la position de la bobine dans l'entrefer. Le résultat le spectaculaire.

Deux grosses avancées ...

Nous disposons désormais de deux évolutions majeures pour nos applications médiums haut de gamme, la suspension à amortisseur harmonique "TMD" et notre nouveau circuit magnétique à inductance constante "NIC". Il est intéressant de visualiser l'action conjuguée de ces deux innovations sur la performance globale.

Les résultats révèlent les progrès accomplis, extension de la réponse en fréquence pour une meilleure réponse transitoire et donc une meilleure définition. Linéarité extrême dans la zone critique 1-3 kHz pour l'intégrité des timbres (fig N).

Réduction drastique des effets secondaires/distorsions liés à la suspension et au circuit magnétique responsable de "floutage" de l'image sonore. Comme pour les woofers, le progrès en matière de distorsions est une réduction de l'ordre de 70% ! Au-delà de cette valeur spectaculaire (elle s'applique sur des performances de haut-parleur Focal datant de moins de dix ans et faisant référence dans l'industrie...), elle montre avant tout que l'objectif de la marque reste centré sur son cœur de métier, le transducteur. Elles ont pour but de mesurer et donc de baliser les avancées réalisées en gardant le cap qui a toujours été pour Focal l'expressivité du rendu musical !

Ajoutons encore que ces performances chiffrées n'ont de sens que si elles ne sont pas sorties de leur contexte global visant avant tout une expérience d'écoute la plus riche possible, émotionnelle, sensorielle avec le minimum de colorations et donc la définition la plus poussée dans le respect de l'intégrité de l'oeuvre. Cela reste notre croisade...

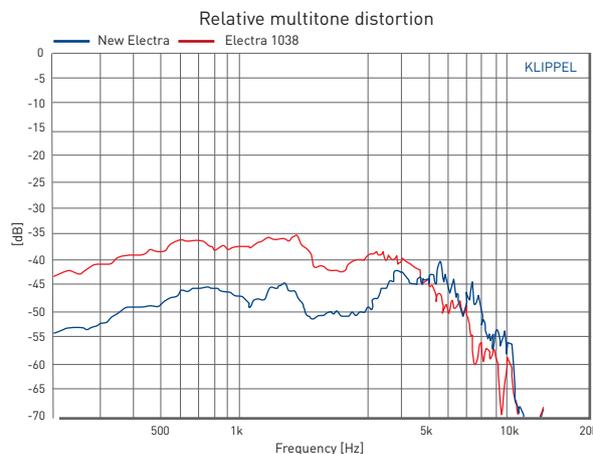
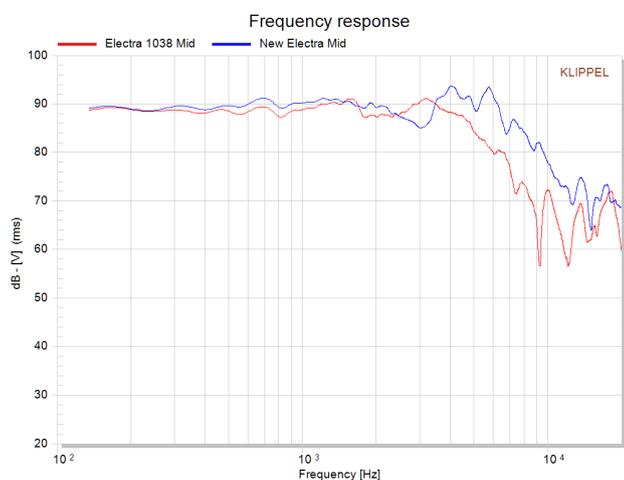


Fig N : A gauche, réponse en fréquence : en bleu notre médium de dernière génération comparé à un médium W de génération précédente en rouge. L'extension en fréquence résultant de l'ensemble des perfectionnements dont en particulier le profil exponentiel est importante. Elle augure d'une meilleure réponse transitoire. NB : Le creux à 3 kHz vient de l'absence de cache noyau sur notre exemplaire de test. A droite, analyse de la distorsion "multitone" Klippel qui donne une vision globale des distorsions (harmonique et intermodulation) est révélatrice des progrès accomplis avec un gain de l'ordre de 10 dB soit une réduction de près de 70%.

SOPRA, UN ÉCRIN POUR CES AVANCÉES TECHNOLOGIQUES

De 2008 à 2010, la déclinaison de l'offre Utopia III a ouvert la voie de nos réflexions sur le magnétisme (EM/IAL2) et sur les effets secondaires apportés par les suspensions à nos membranes sandwich W (Grave-Médium de la Diablo Utopia). Quatre ans plus tard, nous arrivons avec des réponses maîtrisées qui ouvrent des perspectives d'application sur des produits premium "plus raisonnables" susceptibles de toucher un plus large public. De l'innovation continue enrichie par l'arrivée de nouveaux talents, ce que nous aimons bien faire chez Focal.

À l'image des recherches ayant abouti aux membranes sandwich Flax introduites sur

Aria en 2013, l'innovation "vers le bas" prend tout son sens ! Nous avons de plus, pu aussi confirmer que nous avons toujours un leadership technologique incontestable avec nos dernières évolutions du sandwich W. Au même titre qu'avec le béryllium pour les membranes de tweeter. C'est rassurant.

Inscrits dans notre particularisme/identité de marque, et évoqués en introduction, exploration et pragmatisme ne sont donc pas incompatibles, bien au contraire ils se complètent étonnamment.

Aujourd'hui, avec Utopia, nous avons une gamme statutaire, mondialement reconnue, sélective par nature et donc

qui exclue nombre de consommateurs. C'est le propre des produits d'exception. Imaginer la décliner vers le bas n'a pas de sens, ce n'est simplement pas possible ou alors ce ne serait plus Utopia. Par contre, fort de nos nouvelles briques technologiques qui découlent de ce que nous avons appris avec Utopia III, imaginer faire progresser le segment Premium occupé par Electra prend tout sens. Le delta de progrès sera spectaculaire...

LE DESIGN, DÉCOULE NATURELLEMENT DES IMPÉRATIFS TWEETER...

Compacité, force, innovation... autant de termes qui, dès le début, ont alimenté le "brief design". En illustration, les premières esquisses qui très vite ont pris forme en intégrant le "focus time" élément clé des codes de marque. Le tweeter reste l'élément central, "l'oeil" du produit qui capte le regard. Son positionnement est éminemment critique, il prédétermine la spatialisation.

Avec le tweeter Utopia IAL 2 nous avons beaucoup progressé en travaillant sur l'écoulement de l'onde arrière en comparaison avec l'IAL de première génération imaginée il y a dix ans (**fig R**). Sur les colonnes Utopia III, le tweeter possède son propre coffret avec un volume important pour absorber très délicatement l'onde arrière comme le ferait une charge infinie. Compacité oblige, nous ne pouvions sacrifier le volume nécessaire à la voie grave. Tout naturellement, notre réflexion nous a amenés à imaginer une charge pour le tweeter à impédance acoustique tendant vers zéro, simplement exprimée : une charge pavillonnaire progressivement amortie (**fig O, P**). Ce pavillon placé sur l'arrière du tweeter offrait l'avantage d'être la solution la plus efficace en termes de compacité en préservant du volume pour le grave.

Notre pavillon, débouchant sur l'arrière de l'enceinte devenait de fait une signature visuelle évidente pour cette nouvelle ligne.

Techniquement, l'apport de ce dispositif (baptisé Infinite Horn Loader (IHL)) apporte une réduction de la distorsion de 30 % (**fig Q**) dans la zone critique 1,5-4 kHz - et vient ainsi logiquement compléter le travail fait sur le médium largement détaillé auparavant. Ce dispositif a fait l'objet d'un dépôt de brevet.

Autour de cette pièce centrale, le design a été travaillé en prenant soin d'éliminer tous les obstacles à la propagation de l'onde sonore. Tout angle vif ou aspérité devait être banni, il crée par diffraction des images sonores virtuelles incompatibles avec une spatialisation de haut niveau.

Nous l'avons baptisé Sopra, du latin Supra, symbolisant les "plus" apportés par cette nouvelle ligne en témoignage de notre "croisade" vers le toujours "plus" !

Qui plus est, c'est la racine de Soprano, sans doute la voix la plus délicate à reproduire, et qui sollicite pleinement la zone de fréquence sur laquelle nous avons porté nos efforts

et sur laquelle Sopra apporte des avancées majeures. Enrichissant encore la signature sonore Focal caractérisée par l'expressivité de son médium.



Fig O : En rose, la pièce tweeter intermédiaire. De structure monobloc, elle incorpore en son centre un pavillon débouchant sur l'arrière. Un absorbant est placé dans ce pavillon pour obtenir une charge infinie dans un volume restreint. La pièce est ouverte afin d'accroître le volume de charge du grave tout en conservant un volume compact (voir illustration ci-dessous).

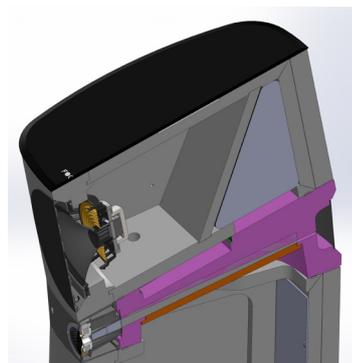


Fig P : Vue en coupe montrant la structure de la pièce tweeter avec son pavillon chargé d'absorbant en orange. Le volume de charge du grave s'étend jusqu'à l'arrière du médium afin de préserver une compacité optimale.

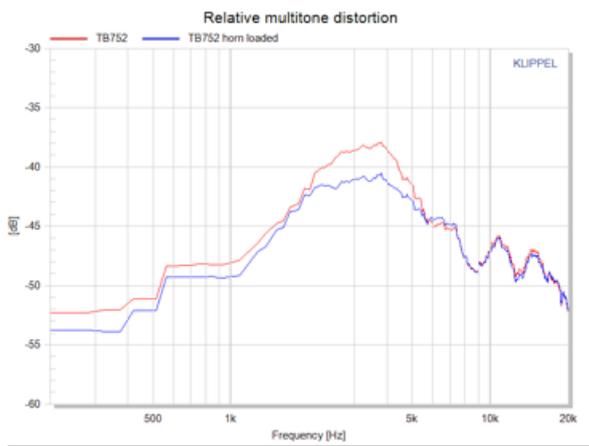


Fig Q : Comparaison de la distorsion multitone/Klippel entre notre version IAL 1 en rouge et le nouveau dispositif IHL en bleu. Une réduction de 30% est obtenue entre 1,5 et 4 kHz.

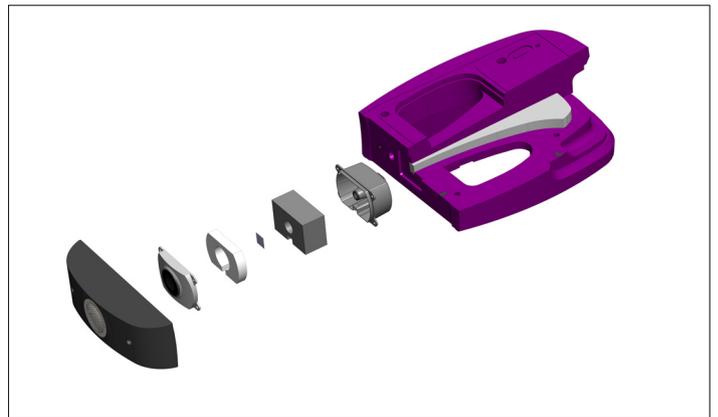


Fig R : Le tweeter IAL est changé pour une première cavité, assortie par des mousses de densité différente. Au centre, un orifice circulaire débouche sur le pavillon de la pièce monobloc.

ÉCOUTE ET TUNING

Les premières écoutes faites mi-juillet 2014 sur des ébauches réalisées avec des prototypes de médiums intégrant les innovations magnétique et mécanique ont été marquantes. Le réalisme quasi "holographique" obtenu sur les voix était on ne peut plus encourageant. Focus, articulation, expressivité, bref un réalisme surprenant.

Début novembre 2014 démarraient les premières séances de tuning avec des transducteurs et des ébénisteries proches de leurs définitions finales afin de finaliser le filtrage. Sopra n°2 a été choisi comme point de référence car c'est le produit le plus compliqué en matière de "fine tuning". Disposant d'un médium aigu hors pair, toute la difficulté réside dans le raccord de la voie grave / bas médium.

La compacité recherchée sur Sopra n°2 impose des limites dans le grave, en étendue d'une part, mais surtout en régime transitoire d'autre part afin d'avoir le "raccord" le plus réussi en structure harmonique. En d'autres termes, avoir la plus juste hauteur et amplitude de chacun des harmoniques vis-à-vis du message musical original selon qu'il est reproduit par la voie grave ou par la voie médium. Par le passé, la complexité du tuning résidait principalement au niveau du raccord médium aigu. Le fait d'avoir réglé à la source les limitations (de fin de bande du médium grâce au TMD et du début de bande du tweeter avec l'IHL) a simplifié considérablement le filtrage médium aigu et a naturellement déplacé la problématique sur le raccord grave médium.

Début décembre nous disposions de premières versions de Sopra n°2 que nous avons pu évaluer avec diverses électroniques et dans diverses acoustiques. L'incroyable neutralité/naturel/définition/spatialisation du médium aigu nous a révélé l'extrême sensibilité aux autres maillons du système. C'est un point certes très positif, mais qui impose une rigueur toute particulière afin d'éviter lors du tuning de rentrer dans un jeu de compensation des défauts (aucun système n'est parfait) de l'amont du système. Nous avons dû redoubler d'effort et multiplier les combinaisons pour parvenir à la définition quasi définitive de la Sopra n°2 mi-février.

Gérard Chrétien
12 Février 2015



ANNEXES

Membrane Sandwich W



Les trois propriétés physiques essentielles pour la réalisation d'une membrane de haut-parleur sont : la rigidité en flexion, la densité et l'amortissement interne (facteur de perte) :

- Une haute rigidité en flexion assure un parfait fonctionnement en piston sur une large plage de fréquences. En d'autres termes le cône se déplace sans se déformer jusqu'à sa fréquence de résonance (break up). Il est aisé de comprendre qu'une rigidité importante est essentielle aux basses fréquences, zone nécessitant de grandes énergies pour mettre l'air en mouvement.
- Une faible densité se traduit par une membrane légère qui offrira une forte accélération. La sensibilité et donc la réponse transitoire s'en trouvent améliorées. La définition en dépend.
- Un excellent amortissement interne limitera l'émission d'ondes parasites à la résonance du cône, limitant ainsi l'émission de colorations audibles.

Combiner ces propriétés dans une membrane monomatériau est impossible, aussi, toutes les membranes conventionnelles ne sont que des compromis. Le papier a un amortissement convenable et pour une densité modérée il souffre d'un manque de rigidité, on lui attribue souvent une "sonorité de carton". Le polypropylène et les autres plastiques offrent un bon amortissement interne, mais ont le handicap d'une densité élevée et surtout d'une faible rigidité ; le son que ces matériaux délivrent manque de détails et de précision. Enfin, les composites de fibre aramide et de résine peuvent offrir une bonne rigidité pour une densité faible, mais l'amortissement n'est pas maîtrisé ; le son est terne et peu expressif avec des colorations de plastique.

À la différence des cônes homogènes monomatériau, une structure sandwich avec des peaux de part et d'autre d'une âme panachant différents matériaux permet de concilier idéalement une très haute rigidité, une faible densité et un amortissement optimal. Il faut remonter à 1986, date à laquelle Focal a déposé son premier brevet de membrane à structure sandwich dénommée Poly-K. L'âme était alors constituée d'une pâte de résine incorporant des microbilles de verre creuses, insérées entre deux peaux de fibre aramide. Cette innovation apportait une avancée majeure pour les woofers avec une très haute rigidité, une faible masse et un amortissement ajustable.

Son industrialisation pour les médiums restait délicate, il nous fallait trouver mieux.

Tout d'abord, nous avons remplacé les microbilles de verre par une mousse structurale utilisée dans l'industrie aérospatiale ; aucune autre mousse n'offrait un rapport rigidité-masse aussi favorable. Ensuite, pour créer notre sandwich W (W est la contraction de Verre Verre) nous avons remplacé les peaux de fibre aramide par des fibres de verre non tissées plus légères et plus fines que les fibres aramides tissées et qui offrent, de surcroît, une meilleure adhérence avec la mousse de l'âme. Ce procédé procure un cône qui est mécaniquement plus stable et qui offre une rigidité encore supérieure, de plus il nous a permis par la suite d'optimiser la vitesse de transmission de l'onde sonore au sein du matériau. La relation entre l'épaisseur, la densité des peaux de verre et l'épaisseur de l'âme en mousse nous a fourni une méthode originale pour adapter la structure du cône à la bande de fréquence qu'il avait en charge de reproduire. La maîtrise de sa production en interne nous a permis d'améliorer sans cesse la technologie au cours des vingt dernières années. Pour exemple l'amortissement interne peut être finement ajusté en jouant sur l'épaisseur de la mousse, plus elle est épaisse plus fort est l'amortissement.

Le son généré par un cône W est extrêmement transparent,

neutre et exempt des colorations et des distorsions habituellement rencontrées dans les haut-parleurs. Sa seule limitation demeure son coût : plus de dix fois plus onéreux qu'un cône papier de qualité.

Gamma Structure



La surface du coffret d'une enceinte est infiniment supérieure à celle des membranes des haut-parleurs, aussi peut-elle rayonner des sons à un niveau proche de celui des membranes, sons qui sont colorés et déformés par les résonances de la structure du coffret. Cela altère la reproduction et brouille l'image sonore.

Pour prévenir un tel "parasitage", il est essentiel que le coffret soit le plus inerte possible, qu'il ne soit pas émissif. Chez Focal, nous utilisons du MDF (Medium Density Fiber) pour obtenir cette inertie. Ce matériau peut sembler "low tech" comparé à d'autres matériaux employés par certains concurrents, mais le MDF a des avantages intrinsèques qui nous le font considérer comme un choix

optimal pour la réalisation de coffrets.

Tout d'abord, il est dense et suffisamment rigide (quand utilisé en forte épaisseur pour les faces avant massives) pour s'opposer en réaction à l'accélération des équipages mobiles sous l'effet de la force magnétique. Lorsqu'un cône est propulsé par la bobine mobile, une force opposée agit en réaction au niveau du châssis du haut-parleur. Cette force de réaction est l'une des causes principales qui génèrent des vibrations dans la structure du coffret, aussi doit-elle être parfaitement maîtrisée. Une face avant de masse très élevée est requise, mais des rigidificateurs doivent être également judicieusement positionnés pour contrôler les résonances des autres parois du coffret. Un coffret réalisé dans un matériau très rigide peut être aussi mauvais qu'un coffret insuffisamment rigide, car il repousse les résonances dans une zone de fréquence plus élevée où l'oreille est plus sensible.

Ensuite, le MDF s'apparente à une structure sandwich, principalement en forte épaisseur, avec les faces, de part et d'autre de la plaque, qui sont plus denses que le cœur de la plaque. Cette particularité contribue à la rigidité mais aussi confère un amortissement interne naturel qui aidera à absorber les vibrations parasites éventuelles. Pour Sopra et Utopia, les faces avant

utilisent des plaques de MDF de forte épaisseur contrecollées pour multiplier l'effet sandwich (69 mm d'épaisseur pour Sopra).

Enfin le MDF, peut être aisément usiné avec des commandes numériques pour obtenir des formes courbes. Un premier avantage au plan acoustique parce que de telles formes évitent des réflexions directes en diffractant progressivement l'onde sonore tout autour du coffret, éliminant ainsi les émissions secondaires consécutives des réflexions directes sur des angles vifs. Second avantage au plan structurel, car une forme courbe offre une rigidité intrinsèque supérieure à un panneau plan.

IAL & IHL



Avec le béryllium, nous avons le meilleur matériau imaginable pour la réalisation d'un dôme de tweeter. Du fait de sa très faible densité, le dôme ne pèse que 21 mg — plus léger qu'une plume. Cette très faible masse mobile offre un énorme avantage, car elle accroît la sensibilité du tweeter et assure une excellente réponse transitoire, garante d'un son

ANNEXES

détaillé, expressif et plein de nuances dans l'esprit du son Focal.

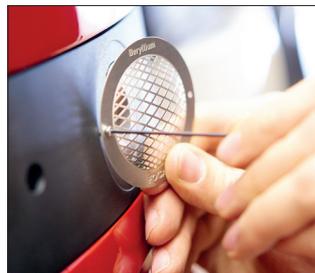
Cependant, une membrane aussi légère pose problème. Dans un tweeter classique, un petit volume d'air est inclus à l'arrière du dôme, il agit comme un ressort de la même manière qu'un plus grand volume d'air dans le compartiment grave. La masse du dôme et la compliance (élasticité) du volume d'air à l'arrière de celui-ci forment un système résonant. Nous devons veiller à ce que la fréquence de résonance de ce système soit suffisamment basse de sorte à ne pas perturber le fonctionnement du tweeter dans sa bande de fréquence, soit très en dessous de 2 kHz afin de permettre un raccordement optimal avec le médium. La faible masse du béryllium va, sur ce point, à l'encontre de cette exigence, car pour un volume d'air donné il en résulte une fréquence de résonance qui augmente proportionnellement avec la réduction de la masse.

La solution évidente est d'augmenter le volume d'air à l'arrière du dôme du tweeter en ajoutant une cavité qui recevra le rayonnement arrière du dôme. Ceci résout la problématique de la fréquence de résonance du système masse mobile/compliance, mais il convient de prendre grand soin à ce que cette onde arrière ne soit pas réfléchi par la cavité et ne revienne en "boomerang"

créer des résonances par effet d'ondes stationnaires. Avec pour conséquence d'altérer l'émission frontale du tweeter et donc compromettre sévèrement la qualité sonore. Idéalement, vue du dôme, l'émission arrière du tweeter doit sembler disparaître dans un espace acoustique infini duquel elle ne revient jamais.

Pour parvenir à un tel résultat, il convient de concevoir la cavité arrière avec soin en ajustant très finement les absorbants acoustiques placés à l'intérieur. C'est ce que nous avons réalisé avec l'IAL Infinite Acoustic Loading introduit à l'origine avec la ligne Electra 1000 Be en 2005. Avec IAL 2, utilisé sur Utopia III en 2008, nous avons perfectionné le concept en améliorant l'écoulement du flux d'air arrière dans la cavité absorbante. Cependant, cette solution idéale nécessite un grand volume, volume que nous avons sur Utopia, mais qui, sur Sopra, compacité oblige, n'existait pas. Cela nous a conduits à imaginer la solution brevetée IHL (Infinite Horn Loader) pour parvenir au même niveau de performance d'absorption de l'onde arrière, mais dans un bien moindre volume.

Tweeter Beryllium



Avec les nouvelles sources hautes définitions qui sont disponibles aujourd'hui, il est important de pouvoir étendre la réponse en haute fréquence au-delà de 40 kHz, ceci afin de garantir une réponse impulsionnelle sans résonance ultrasonore. Les dômes métal conventionnels, utilisant l'aluminium, le titane ou le magnésium n'ont pas la rigidité nécessaire : ils ont une résonance ultrasonore très marquée en dessous de 30 kHz. Certains concurrents ont recours à un super tweeter. Chez Focal, nous pensons que ce n'est pas une solution satisfaisante. En effet, la distance entre le tweeter et le super tweeter et de plusieurs fois la longueur d'ondes de la plus haute fréquence à reproduire (pour mémoire la longueur d'onde du son dans l'air n'est que de 1,7 cm à 20 kHz). Il en résulte un phénomène d'interférence créant de fortes irrégularités dans la réponse. La solution ultime consiste à développer un tweeter dont la fréquence est suffisamment étendue en hautes fréquences afin d'offrir une réponse impulsionnelle sans accident d'une part, et d'autre part, qui soit capable de se raccorder avec le médium à une fréquence suffisamment basse avant que ce dernier ne devienne trop directif. Un véritable défi : celui d'un transducteur unique capable de couvrir la bande 1 kHz - 40 kHz, c'est-à-dire une gamme de plus de cinq octaves !

Focal a relevé ce défi il y a plus de dix ans en développant en interne un tweeter dont le dôme est en pur béryllium. Le béryllium est un métal aux qualités superlatives combinant une rigidité extrême avec une très faible masse, la vitesse de propagation du son dans le béryllium est 2,5 fois supérieure à celle obtenue dans l'aluminium, le titane ou le magnésium. La résonance est ainsi repoussée à des fréquences très élevées. Par ailleurs, le béryllium offre des qualités d'amortissement interne remarquable, qui limitent l'acuité de cette résonance. Le seul autre matériau pouvant offrir une rigidité aussi élevée est le diamant synthétique, mais il souffre d'un handicap majeur, sa masse, qui affecte la sensibilité et donc la définition. Le tweeter Focal en pur béryllium, du fait de la très faible masse de son dôme, seulement 21 mg, atteint une sensibilité de 95 dB SPL/2,83V/1m.

Autre particularité, le recours à un dôme inversé plutôt qu'à un dôme convexe conventionnel. Ce choix permet un excellent couplage mécanique entre la bobine mobile et le dôme, assurant ainsi un bien meilleur transfert de l'énergie électrique en ondes acoustiques évitant de dissiper en chaleur une partie de l'énergie dans la suspension, comme cela est le cas pour un tweeter à dôme convexe. Cette configuration offre également l'avantage d'utiliser une bobine de petit diamètre, donc plus légère, améliorant encore la sensibilité.



www.focal.com



Focal-JMlab® - BP 374 - 108, rue de l'Avenir - 42353 La Talaudière cedex - France.
Tél . 33 (0) 477 435 700 - Fax +33 (0) 477 376 587 - © 2013 Focal-JMlab® - SCEB -140327/1

Dans un but d'évolution, Focal-JMlab® se réserve le droit de modifier les spécifications techniques de ses produits sans préavis. - Photos non contractuelles - Photos L'Atelier Sylvain Madelon.