

W H I T E P A P E R

# TRIO11 BE



 **FOCAL**<sup>®</sup>  
P R O F E S S I O N A L

## Contexte

Depuis son arrivée dans le monde des enceintes de monitoring, la division professionnelle de Focal, Focal Professional, n'a cessé d'apprendre. Son objectif ultime? Proposer des outils de travail performants et d'une extrême précision pour que tous les professionnels et passionnés de production musicale puissent avoir une entière confiance en ce qu'ils entendent. La retranscription du signal audio de manière totalement transparente a été rendue possible grâce, entre autres, au développement de technologies élaborées comme la membrane sandwich composite « W » ou le tweeter à dôme inversé en Béryllium pur.

C'est ainsi que les enceintes de la ligne SM6 se sont établies au fil des années comme de véritables références, dans leur catégorie, sur le marché de l'audio professionnel. Mais si ces enceintes de monitoring haut de gamme garantissent la reproduction de chaque micro-détail, une précision exceptionnelle de l'image sonore et une neutralité absolue, elles restent principalement dédiées au nearfield. Comment satisfaire les ingénieurs du son préférant travailler en midfield? Comment répondre aux besoins des plus grands studios aux niveaux sonores élevés et en quête de la signature sonore Focal tant appréciée? Avec Trio11 Be.

Voici l'histoire de la nouvelle enceinte référence de monitoring de Focal Professional destinée au nearfield et au midfield. Découvrez les dernières innovations technologiques au service de la production musicale, de la post-production ou du broadcast offrant un excellent niveau SPL sans compromettre la neutralité et la transparence acoustique, primordiales au travail en studio.



## Objectifs

Il n'existe pas de situation d'écoute idéale. Chaque ingénieur du son, musicien, producteur a sa manière préférée de travailler. Une écoute en nearfield convient davantage aux studios dans lesquels l'acoustique n'est pas optimale : se positionner à proximité des enceintes permet une écoute à plus faible volume et favorise le son direct. Ainsi, les effets de salle comme les réflexions ou les modes de résonance sont minimisés. Cependant, travailler longtemps en nearfield peut provoquer une sensation de fatigue.

D'autres ingénieurs du son préfèrent travailler en midfield, plus loin des enceintes. S'éloigner des moniteurs permet une écoute à plus fort volume, et donc de mieux ressentir l'impact des basses fréquences dans le haut du corps. D'autre part, la différence de distance entre les oreilles et chaque haut-parleur est plus faible qu'en nearfield. Ceci signifie qu'en s'éloignant de la boîte, on est moins sujet aux effets de positionnement des haut-parleurs ainsi qu'aux effets de diffraction de la boîte. Si la salle présente une bonne acoustique, contrôlée, il peut être alors très intéressant que cette acoustique contribue à l'écoute et donc au mastering afin de se placer dans un contexte plus réaliste dans lequel se retrouvera l'auditeur final.

Pour répondre au mieux aux différentes attentes et proposer une grande polyvalence d'usages et de configurations, nous devons nous assurer de développer une enceinte de monitoring à forte puissance. Mais augmenter la puissance engendre un niveau de distorsion plus élevé sur les transducteurs, sur l'amplification et accentue le bruit de souffle (ou « hiss ») provenant du tweeter entre 1 et 12 kHz. Le développement de réponses technologiques s'est donc imposé afin d'associer des amplificateurs de fortes puissances à des haut-parleurs de rendement et tenue en puissance plus élevés que les transducteurs actuels tout en garantissant l'absence de bruits.

L'objectif de ce projet fut donc clair: analyser les technologies et paramètres acoustiques et électroniques impactant la perception de la distorsion ainsi que les bruits de souffle sur des systèmes actuels afin de minimiser au maximum ces effets tout en offrant un niveau SPL nettement supérieur.

## Verrous technologiques

Répondre aux exigences de qualité de Focal en augmentant les performances et en minimisant les problèmes associés ne fut pas tâche facile. L'association de transducteurs de sensibilité élevée à un ensemble préamplificateur/amplificateur de fortes puissances avec un gain en tension élevé n'est pas favorable à un faible niveau de bruit de souffle, particulièrement à faibles volumes. Les critères d'exigence au niveau de ce bruit de souffle s'avéraient très proches des performances d'enceintes de monitoring en nearfield alors que dans le cadre d'un tel projet, les haut-parleurs devaient être plus sensibles et les amplificateurs plus puissants, générant donc un niveau de « hiss » plus important.

À ces difficultés s'ajoutaient la compacité de l'électronique, qui devait être compatible avec les dimensions d'une enceinte de monitoring classique, et le refroidissement, qui ne pouvait s'effectuer avec un système de ventilation générant trop de bruit.

# Historique des travaux réalisés

Nos objectifs de performances acoustiques et électroniques se situaient au-delà de ce qu'offrent les technologies accessibles dans cette gamme de puissance. Alors comment dépasser ces limites? Quelles ont été les démarches permettant d'atteindre ces objectifs de performances?

Tout d'abord, d'un point de vue acoustique, des améliorations ont été apportées sur les haut-parleurs médium et grave, principalement pour augmenter leur sensibilité tout en minimisant leur distorsion.

Pour développer un haut-parleur woofer avec une fréquence de résonance ( $F_s$ ) basse, et ainsi atteindre un bon niveau SPL dans l'infra-grave, il suffit d'une masse importante sur le woofer et d'une faible compliance (inverse de la raideur). Cependant, un tel woofer n'aura pas de dynamique en raison de cette lourde masse, difficile à déplacer. Un woofer léger et une faible compliance permettront une bonne dynamique, mais sa fréquence de résonance  $F_s$  sera plutôt élevée. Lors du développement du woofer de Trio11 Be, nous souhaitons obtenir une très bonne dynamique, tout en ayant un  $F_s$  bas et une grande excursion.

Pour ce faire, la masse de chaque partie du woofer a été optimisée. La membrane composite «W» permet une parfaite combinaison entre légèreté, amortissement et rigidité, les trois paramètres cruciaux définissant une membrane de qualité. Un fil plat en aluminium a été choisi sur la bobine pour limiter la masse de l'équipage mobile au maximum, tout comme une fine suspension et deux spiders d'une grande souplesse. Les deux spiders inversés symétriquement permettent un mouvement parfaitement symétrique (figure 1). Ces points de guidage sur le support de la bobine minimisent par ailleurs tout effet de balancement.

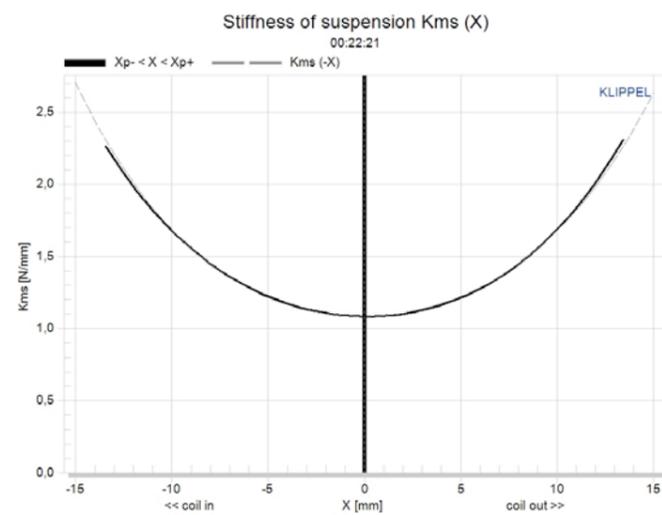


Figure 1 : Rigidité et symétrie de la suspension

Le comportement non-linéaire d'un woofer intervient principalement lorsque celui-ci se déplace au-delà des excursions maximales  $X_{max}$ . Si la puissance du système magnétique est trop faible, le haut-parleur devra alors « forcer » ses déplacements et c'est là qu'intervient la distorsion. C'est pourquoi sur ce nouveau woofer 10", la puissance magnétique est extrêmement élevée pour lui permettre de rester dans sa « zone de confort » et la parfaite symétrie du système magnétique garantit un comportement linéaire. La figure 2 illustre cette stabilité du système magnétique, avec une force B.l d'une valeur de 19 pour une excursion de +/- 17 mm. La figure 3(a) montre l'excursion en fonction de la fréquence et de la tension de sortie, et la figure 3(b) illustre ce retour à l'état de repos instantané pour chaque fréquence et chaque tension de sortie, ce qui constitue une excellente dynamique du haut-parleur.

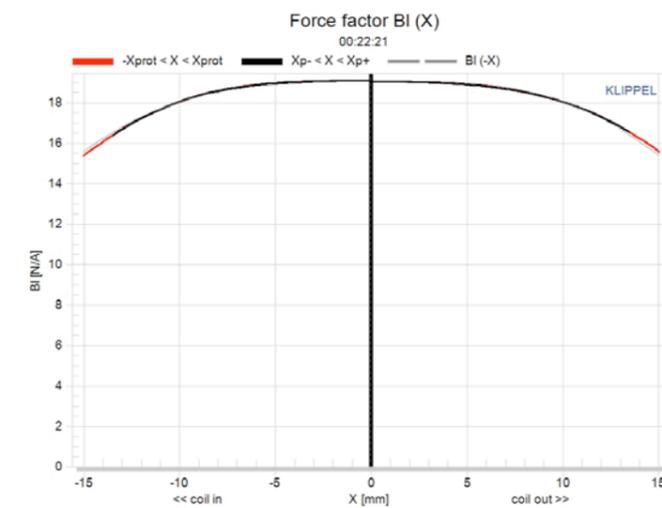
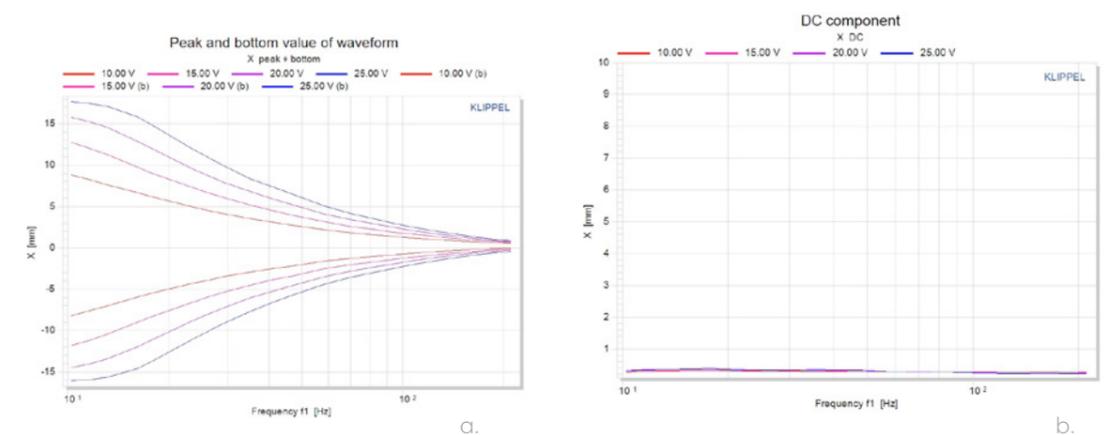


Figure 2 : Puissance magnétique du woofer 10" et déplacement de la bobine



Figures 3 : (a) Excursion en fonction de la fréquence et du niveau de sortie:  $X(f,V_{out})$  et (b) retour à l'état de repos :  $Offset(f,V_{out})$

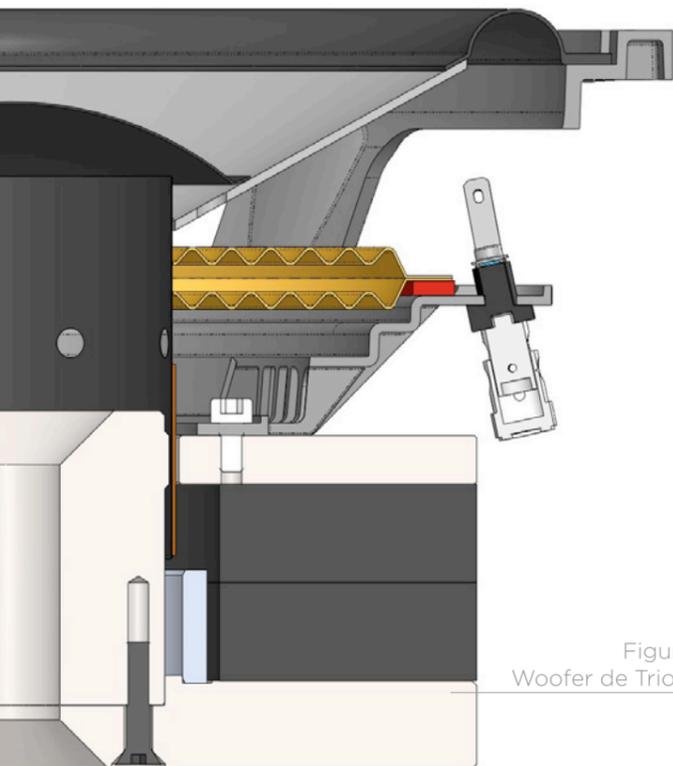


Figure 4 :  
Woofer de Trio11 Be

Grâce à une compliance de la suspension élevée (souplesse des spiders, fine suspension), le woofer de Trio11 Be atteint une fréquence de résonance très basse, pour une reproduction efficace et bien définie dans les infra-graves. L'optimisation des masses de la membrane, de la suspension, de la bobine, des spiders ainsi que la forte puissance du champ magnétique ont permis de préserver l'accélération du haut-parleur au maximum. Ainsi, le woofer de Trio11 Be présente toutes les qualités requises avec une excellente dynamique, une grande excursion, tout en conservant une basse fréquence de résonance  $F_s$ .

Le woofer (figure 4) bénéficie également d'une des avancées technologiques de Focal développées au cours des dernières années comme le NIC (voir Annexes) qui agit comme une cage de Faraday autour de la bobine et améliore la stabilité du champ magnétique tout en diminuant la distorsion et les intermodulations sur les fréquences basses et médiums.

Le haut-parleur médium (figure 5) a aussi profité de ces avancées avec l'ajout du TMD (voir Annexes) consistant en des masses disposées à des endroits précis de la suspension afin d'optimiser le mouvement pistonique, atténuant certaines résonances et réduisant la distorsion. Beaucoup d'essais ont été effectués en matière de simulation et d'écoutes afin de déterminer la position idéale pour le TMD, les simulations ne suffisant pas toujours à elles seules. Grâce à la membrane composite «W», la fréquence du «break up» se situe bien au-delà de la plage d'utilisation et maintient ainsi une action pistonique sur toute sa bande de fréquence. De larges ouvertures sur le saladier, sur la bobine et sous le spider minimisent les effets de réflexion et de résonance, maximisant les mouvements d'air de façon à réduire la distorsion et, de ce fait, produire une meilleure transparence acoustique. De même, le moteur en néodyme permet d'allier grande puissance et compacité du système magnétique pour également minimiser les réflexions.

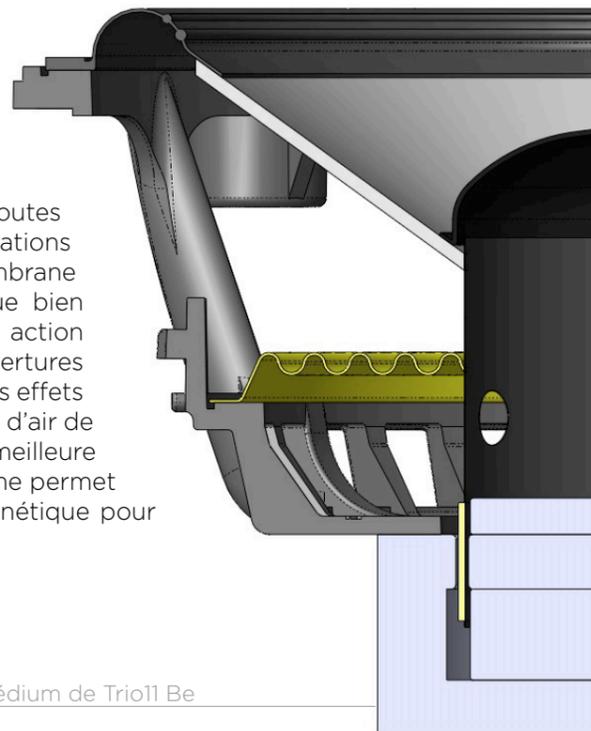


Figure 5 :  
Haut-parleur médium de Trio11 Be

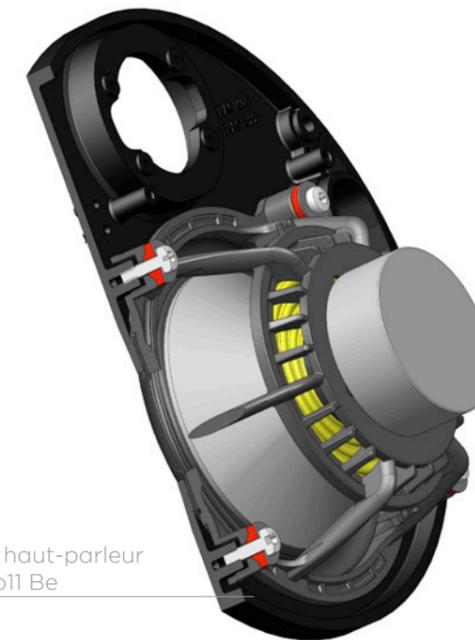


Figure 6 :  
Silent blocs du haut-parleur médium de Trio11 Be

Un anneau en caoutchouc entre le saladier du haut-parleur et la platine évite que des vibrations soient transmises à la membrane. Cependant, dans notre quête de retranscription sonore ultime, nous avons remarqué que de légères vibrations persistaient à travers les vis. C'est pourquoi le développement des silent blocs (en rouge sur la figure 6) a permis de découpler entièrement le saladier de la caisse afin d'éliminer toute transmission de vibration ou de résonance.



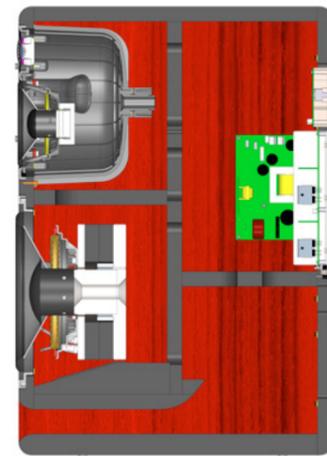
Figure 7 :  
Tweeter de Trio11 Be

Le tweeter 1" à dôme inversé en Béryllium pur (figure 7), une signature Focal, présente (tout comme sur Trio6 Be) une réponse en fréquence parfaitement linéaire, une excellente dynamique ainsi qu'une grande dispersion. La grille de protection a été développée et optimisée afin d'être acoustiquement transparente au maximum. L'équilibre tonal du tweeter a été effectué avec la grille.

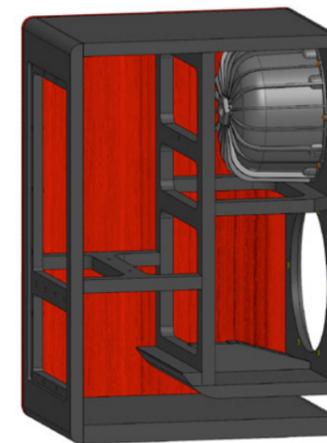
Comme Trio6 Be, Trio11 Be propose deux moniteurs en un grâce au mode FOCUS : une pédale de contrôle permet de passer d'un moniteur 3 voies à un moniteur 2 voies. Le moniteur 2 voies présente une réponse en fréquence réduite (90 Hz - 20 kHz) afin de vérifier la qualité de transfert des mixes sur des systèmes ayant une réponse en fréquence limitée dans le grave comme les téléviseurs, radios, ordinateurs etc. Le registre des médiums étant toujours critique à équilibrer, ce mode FOCUS permet aussi de contrôler le mix avec un haut-parleur médium bien plus sollicité puisqu'il devient également le haut-parleur des basses fréquences en mode 2 voies.

Pour faire face aux larges volumes d'air générés par ce puissant woofer, une attention particulière a été portée sur l'évent (figure 8 (a) et (b)). Tout d'abord, la surface d'ouverture à l'avant a été élargie au maximum, sans aucun obstacle à son encontre ce qui permet de garder un équilibre tonal constant, même à forts niveaux SPL, de réduire les phénomènes de compression pour garder des basses toujours contrôlées, dynamiques. L'évasement de l'évent a été optimisé pour minimiser les turbulences. Enfin, afin de réduire les vibrations, la paroi présente une épaisseur de 30 mm.

La rigidité de la caisse a été optimisée à l'aide de plusieurs renforts autour du pavillon tweeter-médium, autour du woofer et de l'électronique. Ces renforts ont été positionnés précisément afin de réduire au maximum les vibrations de la caisse et d'atténuer toute résonance. Les mesures de réponse en fréquence offrent rapidement une bonne indication sur la quantité de mousse nécessaire pour amortir les résonances internes, mais seules les écoutes permettent réellement d'optimiser les positions et quantités optimales (figure 9). Les mousses ont été choisies spécifiquement pour le haut-parleur médium ou pour le woofer.



a.



b.

Figures 8 :  
(a) Section de Trio11 Be montrant l'évent  
(b) Vue 3D interne

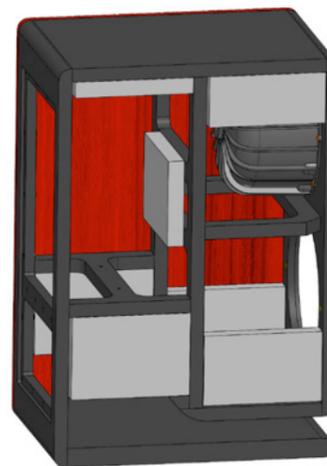


Figure 9 :  
Mousse interne  
de Trio11 Be

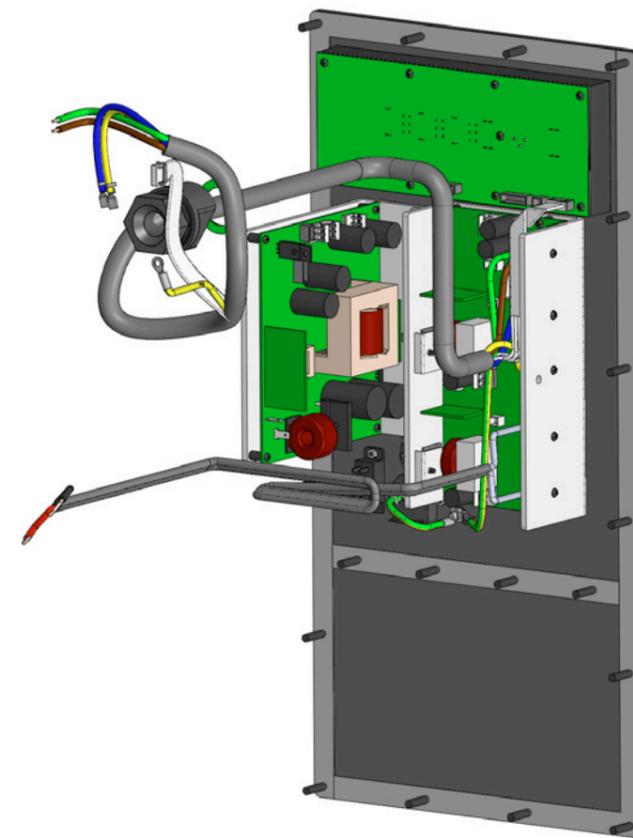


Figure 10 :  
Electronique à l'intérieur de Trio11 Be

Développer une amplification idéale pour une enceinte de monitoring afin de proposer une forte puissance, nécessaire pour le midfield, et l'absence de bruit, indispensable en nearfield, a demandé une attention minutieuse de chaque paramètre (figure 10). D'une part, les haut-parleurs médium et grave sont amplifiés par une amplification de classe G, de la technologie BASH. Cette technologie combine le meilleur des classe AB et D en offrant la qualité d'un amplificateur de classe AB et l'efficacité d'une classe D.

D'autre part, nous avons opté pour un montage en composants discrets. Cette conception s'avère plus délicate à développer mais permet d'optimiser tous les critères ensemble au maximum, à savoir le bruit, la bande passante, la distorsion, la puissance. Le graph de la figure 11 montre une mesure de la distorsion harmonique totale et du bruit extrêmement faible. La mesure montre également à fortes puissances l'effet du compresseur. Même à forte puissance, le signal reste propre.

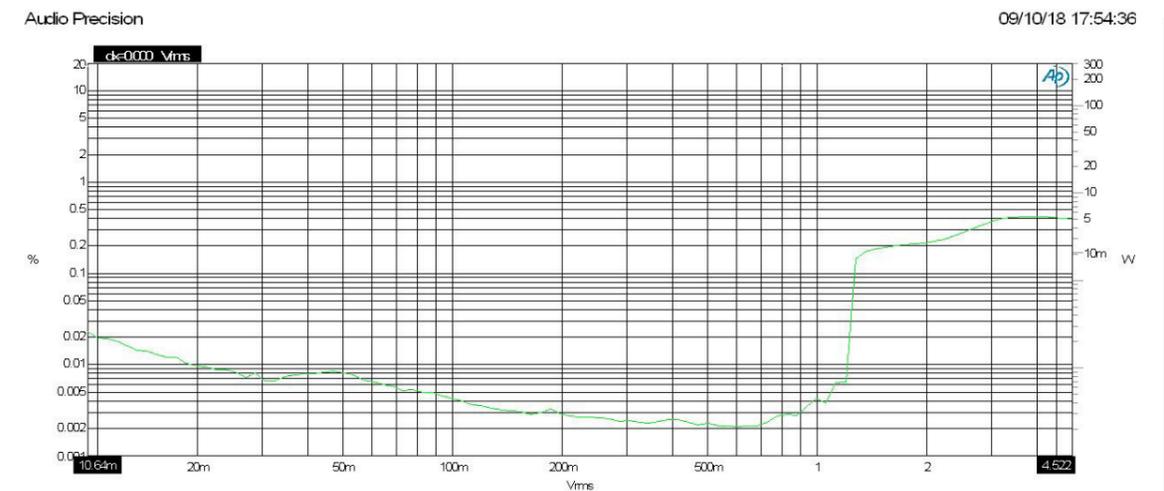


Figure 11 :  
Mesure de la distorsion harmonique totale  
et du bruit (THD + Noise)



## Résultats

En concevant Trio11 Be, l'objectif était d'obtenir plus de puissance et moins de bruit : Focal a réussi. Trio11 Be peut s'utiliser en nearfield et midfield, offrant une plus grande polyvalence d'usages et de configurations d'installations. Grâce aux dernières technologies en matière d'acoustique (nouveaux haut-parleurs, TMD, NIC) et d'électronique (BASH), Trio11 Be révèle les moindres micro-détails du signal sonore, tout en garantissant une image stéréophonique exceptionnelle ainsi que l'absence de distorsion. Comme Trio6 Be, Trio11 Be offre la possibilité de vérifier la qualité de son transfert de mix grâce au mode FOCUS, permettant de passer d'un système 3 voies à 2 voies.



## 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 corréliser 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 comporte-

ment 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 exi-

geante 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 rigidité sur la suspension, les masses ajoutées faisant office d'absorbeur de vibration dynamique. La technique est parfaitement connue : "Tuned Mass Damper" ou amortisseur harmonique.

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 distortion 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).

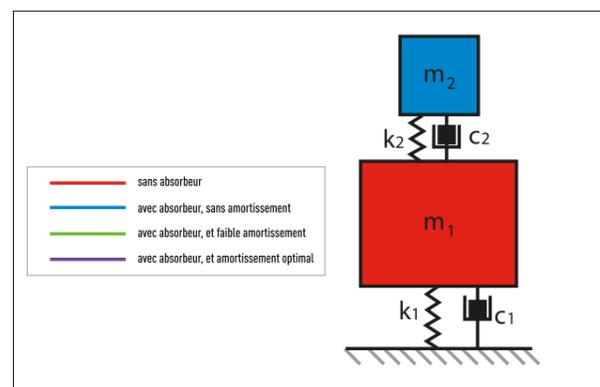
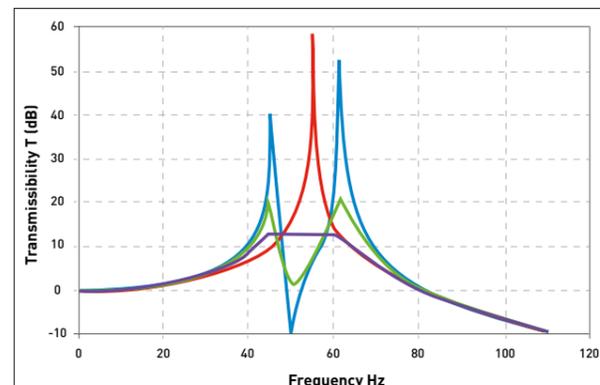


Fig A : Le principe de l'amortisseur harmonique "TMD" est précisé sur le graphe ci-dessus. En rouge un système  $m_1/k_1$  avec une résonance très marquée. L'ajout d'un dispositif masse-report  $m_2/k_2$  (partie supérieure du schéma central) aura un comportement présentant deux pics de résonance comme 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 ...

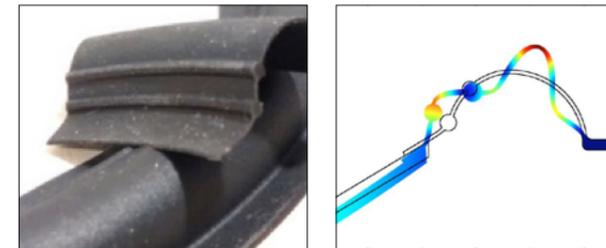


Fig B : Deux bourrelets circulaires moulés dans la masse constitue notre amortisseur harmonique (TMD). Solution simple au final mais plus d'une centaine de configurations ont été testées pour optimiser notre modélisation.

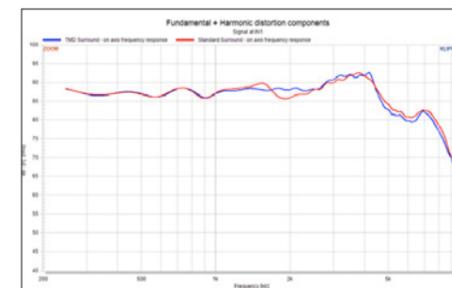


Fig C : Action de l'amortisseur harmonique sur la linéarisation de la réponse en fréquence entre 1,5 et 2 kHz (en bleu, avec TMD et en rouge, sans TMD, toutes choses égales par ailleurs).

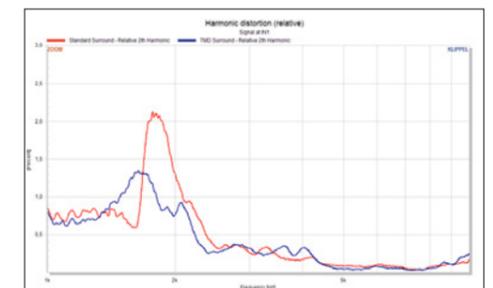


Fig D : Action de l'amortisseur harmonique sur la distortion qui est réduite de moitié entre 1,5 et 2 kHz (en bleu, avec TMD et en rouge, sans TMD, toutes choses égales par ailleurs).

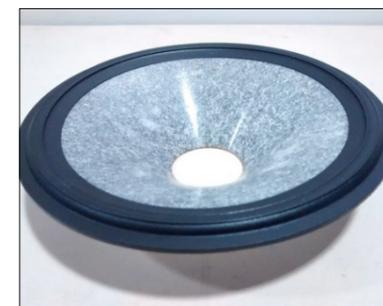


Fig E : Les meilleurs paramètres enfin conciliables : très faible masse de l'équipage mobile pour haute définition, profil exponentiel à réponse étendue en fréquence et amortissement optimal pour grande linéarité et faible distortion.

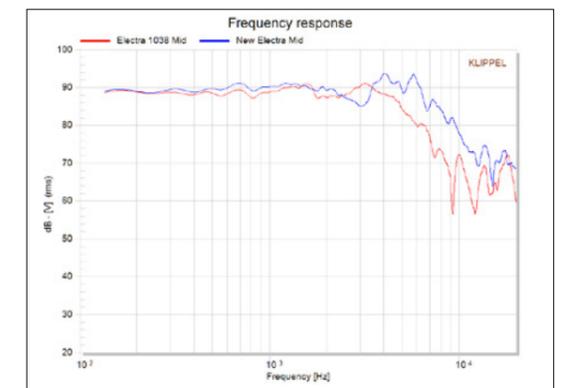


Fig F : En bleu, notre médium de dernière génération comparé à un médium W de génération précédente, optimisé selon l'état de l'art antérieur en rouge. On notera en rouge l'amélioration de la linéarité entre 1 et 2 kHz et l'extension en fréquence apportée pour partie par le profil exponentiel de la membrane. 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.

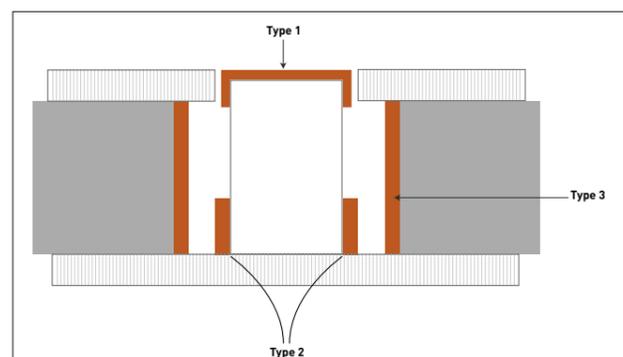


Fig G : Les trois type de bagues de Faraday visant à limiter les courants de Foucault. les types 1 et 2 ont pour effet de réduire le BL, nous avons retenu le type 3.

## 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 parcellaires 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 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 n'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)

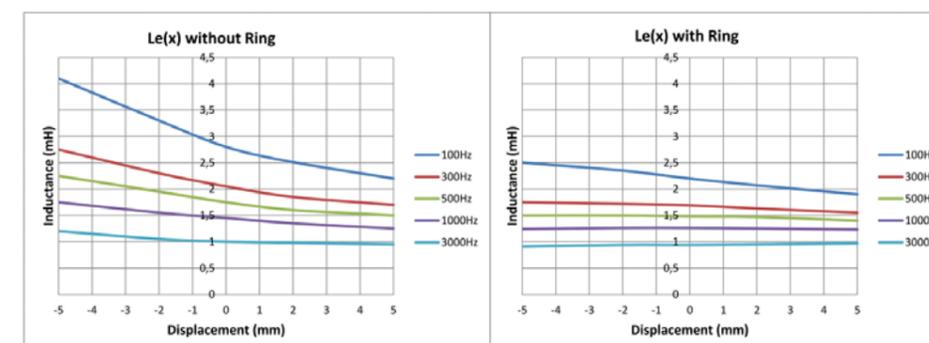


Fig H : La puissance de notre outil de simulation nous apporte une vision nouvelle et surtout nous autorise des optimisations des circuits magnétiques invisibles auparavant. En exemple, cette modélisation montrant la variation de l'inductance de la bobine en fonction de sa position dans l'entrefer pour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

**Nouveau circuit magnétique pour woofer**

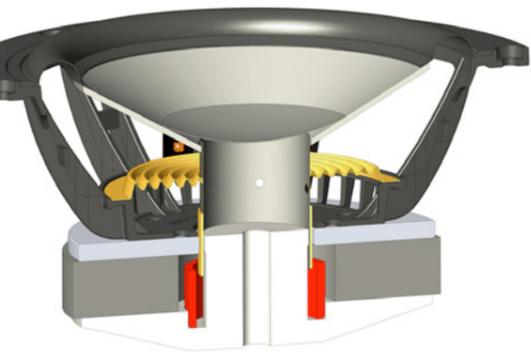


Fig I : Positionnement idéal de la bague de Faraday pour un moteur de woofer obtenu grâce à notre outil de simulation.

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 a encore peu inconciliable devient désormais 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 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.

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 distorsion en dessous de 1 kHz. (fig M)

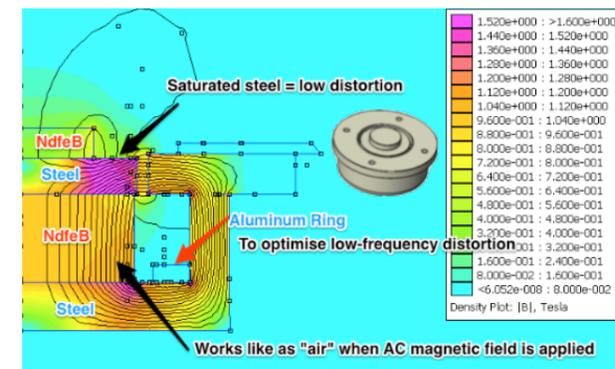


Fig L : Notre outil de simulation nous a conduits à cette optimisation "NIC" du circuit magnétique pour médium avec sa bague de Faraday en rouge sur la coupe ci-contre. Il concilie efficacité, linéarité de l'inductance en fonction de la position de la bobine, du courant traversant cette dernière et de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

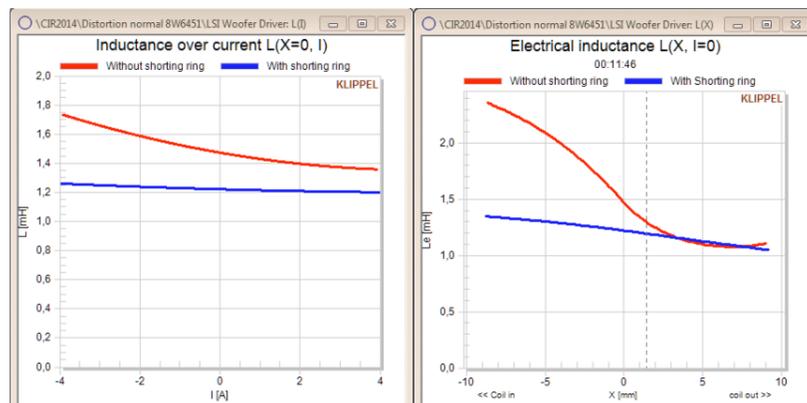


Fig J : Mesure effective faite sur Klippel pour un woofer de 8" en rouge sans bague et en bleu avec bague optimisée grâce à notre outil de simulation.

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.

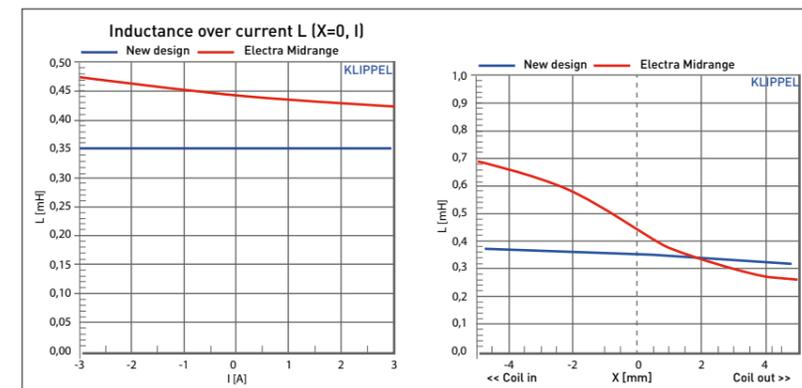


Fig M : Mesure effective faite sur Klippel pour un médium de 6" en bleu avec le nouveau circuit "NIC" et en rouge avec médium de 6" à moteur ferrite conventionnel.

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...

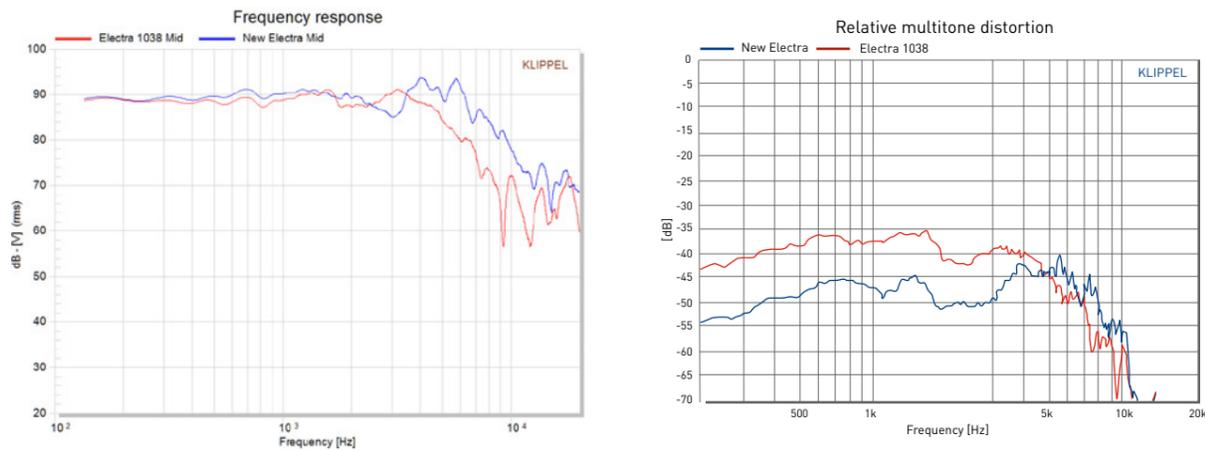


Fig N : A gauche, réponse en fréquence : en bleu notre médium de dernière génération comparé à un médium W de génération précédente en rouge. L'extension en fréquence résultant de l'ensemble des perfectionnements dont en particulier le profil exponentiel est importante. Elle augure d'une meilleure réponse 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%.



Focal-JMlab\* - BP 374 - 108, rue de l'Avenir - 42353 La Talaudière cedex - France - [www.focal.com](http://www.focal.com)  
Tel. (+33) 04 77 43 57 00 - Fax (+33) 04 77 43 57 04 - SCAA-190307/1