
NOUVELLE BARRE DE SON DIMENSION



 **FOCAL**[®]
THE SPIRIT OF SOUND

HISTORIQUE, LES ÉTAPES CLEFS DU DÉVELOPPEMENT D'UN NOUVEL "OBJET SONORE"

L'histoire de l'Audio est balisée par l'apparition d'"objets sonores" en réponse aux attentes et usages de l'époque en cours ainsi qu'aux supports de musique et de cinéma enregistrés. Le Cinéma parlant en 1929, avec ses budgets colossaux, est à la source des technologies modernes majeures de reproduction du son. La radio a ensuite amené le son "amplifié" dans les ménages, la chaîne stéréo a suivi avec l'arrivée de microsillons stéréophoniques en 1958, puis le Home-Cinéma en 5.1 avec l'apparition de Laserdisc Dolby AC3 au tout début des années 90. L'iPod en 2001, suivi par l'iPhone en 2007, a définitivement installé la musique dématérialisée avec ses dockings, streamers et autres objets connectés sans fil et multiroom...

Au passage de l'écran cathodique à l'écran plat, Plasma d'abord, puis LCD et enfin OLED, un nouveau paradigme est apparu : le projecteur de son devenu barre de son.

L'équilibre perceptif vision/audition est primordial. L'image, au-delà de sa dimension, requiert plus que jamais, avec l'arrivée du 4K et le contraste et la définition qui le caractérisent, un niveau de qualité de son qui ne se limite plus à des effets surround mais nécessite aussi dynamique et définition.

Le concept de la barre de son n'est pas nouveau. Il remonte au début des années 2000 avec les projecteurs de son pour accompagner l'arrivée des premiers écrans plats Plasma. Ceux-ci apportaient une dimension design essentielle dans le monde de la télévision et créaient par la même une demande de solutions acoustiques apportant l'expérience surround du Cinéma et en accord avec le design de l'écran... Soit une solution discrète abolissant les câbles !

Dans les années 80, de nombreux travaux ont été menés sur la recreation d'une

onde sonore à partir de micro-sources élémentaires.

Un parallèle peut-être fait avec les travaux sur la numérisation de l'image. Cette "pixellisation" du son ouvrait la voie de la spatialisation à partir d'une source unique. Ces travaux étaient basés sur des algorithmes mathématiques qui, via des DSP pilotant des micro-transducteurs, tentaient de recréer une image sonore holographique en utilisant les réflexions de faisceaux sonores très directifs sur les murs de la pièce d'écoute. En 2002, Pioneer introduisait le PDSP-1 pour accompagner ses Plasma avec un "objet" acoustique futuriste de 50 kg basé sur la génération de faisceaux sonores directifs à partir de 254 micro-haut-parleurs...

Ce produit concept annoncé à 35 000 € ne fut jamais réellement commercialisé pour des raisons de brevet, semble-t-il.



Le modèle Pioneer PDSP-1, initiateur du "concept" projecteur de son. 50kg, 35 000€



Le modèle Yamaha YSP-1 considéré comme la première barre de son véritablement multicanale.

En 2004, Yamaha annonçait son projecteur de son YSP-1 basé sur le même concept, mais domestiqué sous forme d'une barre horizontale de moins de 15 kg, avec 40 micro-transducteurs activés par des amplificateurs de 2 W et deux woofers de 11 cm alimentés par deux amplificateurs de 20 W. Ce projecteur de son compact apportait une alternative simple et élégante aux envahissants systèmes 5.1 jugés bien rébarbatifs à l'usage, sans omettre le point clef de la disparition des câbles. Positionnée à 1500 € un tel produit bourré de technologie devenait éminemment compétitif.

De plus, le savoir-faire venant des instruments de musique électronique a donné un avantage concurrentiel à Yamaha. Son expertise en termes de traitement numérique et la complexité du produit ont placé la barre à un tel niveau qu'aucun concurrent n'est venu troubler la suprématie de la marque nipponne pendant près de cinq ans sur ce segment de marché naissant.

En 2009, Bowers & Wilkins lançait la Panorama, la première barre de son moderne compacte, design, simple à mettre en œuvre,

véritablement multicanale et venant d'un acteur majeur du monde de l'acoustique. Grâce aux avancées de la microélectronique, des amplificateurs intégrés à haut rendement ainsi que des DSP puissants devenaient accessibles, et rendaient enfin envisageable une intégration aussi poussée de cinq canaux dans un produit tout-en-un au volume restreint.

Parallèlement la distribution avait promu des barres de son 2.1, ersatz au facteur de forme adapté aux nouveaux écrans plats, mais ne gérant en rien le son multicanal des bandes son de plus en plus sophistiquées des DVD.

Le modèle Panorama est le premier modèle à retenir des solutions acoustiques dérivant de la haute-fidélité, à savoir deux woofers de 90 mm (3,5") alimentés par un amplificateur de 50 W, deux médiums de 75 mm (3") et un tweeter, et quatre médiums de 75 mm (3") pour les voies surround directives. Ces dernières alimentées par cinq canaux d'amplification de 25W. Ces voies surround sont disposées selon des angles visant à diriger les faisceaux sonores latéralement afin d'exciter les réflexions sur les parois proches de la pièce d'écoute et

pour recréer un effet surround virtuel enveloppant.

Ce choix conduit à une épaisseur conséquente de près de 19 cm. Indiscutablement la Panorama a défini un nouveau standard qualitatif en conciliant une scène sonore ample, ainsi qu'une énergie et une matière sonore proches de celle obtenue en haute-fidélité. Une nouvelle fois le haut-parleur "conventionnel" reprenait sa place... Les projecteurs de son équipés de micro-transducteurs apportent une réponse en termes de spatialisation, mais restent terriblement limités en termes d'énergie pour reproduire les deux octaves critiques (125 Hz-250 Hz, et 250 Hz-500 Hz), comportant les premiers harmoniques essentiels pour l'obtention d'une signature sonore réaliste. L'ajout d'un subwoofer n'y change rien ; pire, il ne fait qu'accentuer par effet de masque la déficience dans ce registre.

Une version modernisée, dotée d'une connectivité HDMI et d'une nouvelle interface utilisateur tactile, Panorama 2 a été lancée en 2012 afin de maintenir un statut de référence à ce produit positionné à 2000 €.



Le modèle Panorama de B&W, considéré comme la référence des barres de son modernes.

LA GÉNÈSE DE DIMENSION

Fin 2011, Bose entrait sur le marché des barres de son avec la Cinemate 1SR à 1499 euros et touchait ainsi un public plus large avec un succès commercial impressionnant en phase avec l'explosion des ventes d'écrans plats et en réponse aux attentes des consommateurs recherchant des solutions compactes et simples d'installation et d'utilisation. En l'espace de six mois, la barre de son avait acquis sa vraie reconnaissance et ses lettres de noblesse en tant que nouveau produit haut de gamme grand public !

Enfin dernier jalon significatif, l'arrivée en 2013 de Sonos avec sa Playbar, abordable et connectée, bien que limitée à un système 3.0, achevait de faire de la barre de son un produit désirable et éminemment branché...

La genèse de Dimension et le choix différenciant

Fin 2011, notre vision chez Focal était claire. Un nouveau segment de produit acoustique émergeait et séduisait les consommateurs. Comment l'aborder dans nos valeurs de Marque et surtout quelle différenciation apportée face à des acteurs autrement plus gros et puissants que nous ? De plus, le pré-requis pour entrer sur ce marché, en termes technologiques, était à un niveau tel que la tâche semblait éminemment ardue. En effet, outre l'acoustique, de multiples technologies nous étaient étrangères. A l'instar de la connectivité moderne

HDMI 1.4, des amplificateurs numériques, des alimentations à découpage, des DSP et leur programmation associée, ou encore de l'interface utilisateur qui se doit d'être moderne à l'heure du "touch" des smartphones. Sans compter que l'industrialisation de produits si miniaturisés nécessitait des volumes de vente d'un tout autre ordre de grandeur que ce que nous connaissions. Bref un projet à haut risque et très ambitieux !

Cinq facteurs clefs de succès furent alors identifiés pour savoir si nous étions à même de concourir sur ce nouveau segment de marché :

1- L'épaisseur devait être inférieure à 9 cm, compatible avec les nouvelles générations d'écrans plats, sachant qu'un écran sur deux était fixé au mur.

2- Nous devons disposer d'une connectivité moderne HDMI 1.4, compatible ARC et CEC apportant l'interconnexion automatique entre écran, lecteur DVD ou Box TV, rendant ainsi l'usage évident pour le grand public (même si des acteurs comme Bose et Sonos se limitaient à des liaisons audio optiques n'offrant pas un tel usage essentiel).

3- La puissance des amplificateurs, dont l'impact marketing reste fort, devait être élevée, la miniaturisation acoustique imposant une croissance exponentielle de la puissance pour l'atteinte d'un résultat sonore en matière de dynamique.

4- Nous devons satisfaire aux standards du marché en étant compatible Dolby et DTS, des pré-requis aux yeux du grand public.

5- Enfin la barre de son se devait d'être autosuffisante, c'est-à-dire avoir une réponse dans le grave suffisamment étendue pour se passer de subwoofer. Le subwoofer devenant une option possible pour des amateurs en recherche de sensations fortes ou pour des espaces de grande dimension.

Le premier indice nous est apparu mi-2012, avec la découverte d'un brevet européen WO2005/015950, datant de 2005, d'un haut-parleur extra plat conçu à l'origine pour des applications automobiles embarquées. Dans un diamètre de 10 cm, ce haut-parleur large bande offrait des caractéristiques étonnantes : il pouvait couvrir un spectre de 60 Hz à 20 000 Hz avec une très faible directivité.

Ce composant, offrant une excursion de près de 4mm, soit plus de 10 % de son épaisseur, apportait ainsi une réponse en termes de miniaturisation et principalement à la question de l'épaisseur, critère n°1 précédemment cité, ainsi qu'au fait de pouvoir s'abstenir d'un subwoofer, critère n°5. Nous avons là notre différenciation basée sur notre expertise acoustique. Par la suite il se révélera un choix incroyablement judicieux, plus judicieux que nous l'imaginions alors...

Restaient les trois autres points clefs. L'approche de Steve Jobs nous a éclairés... Il disait que dans l'univers technologique moderne, l'important était de saisir les innovations non à leur émergence, mais à leur printemps, lorsqu'elles deviennent matures !

Vouloir tout développer en interne sur des technologies complémentaires à notre cœur de métier n'a plus de sens aujourd'hui, le syndrome NIH (Not Invented Here) est révolu dans un monde à la complexité croissante. Trouver une solution "sur étagère" chez un partenaire asiatique est illusoire, et ne correspond en rien à une démarche de Marque basée sur une véritable identité.

La chance nous a souris, merci à notre association avec Naim qui nous a fait rencontrer un partenaire européen qui était à même de nous apporter des solutions en matière de plateforme électronique moderne. Plateforme intégrant la connectivité vidéo nécessaire, les amplifications et alimentations

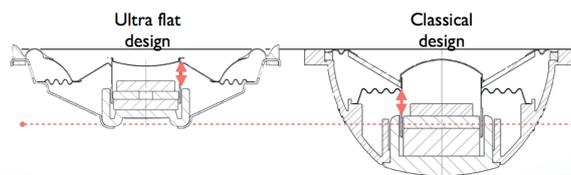
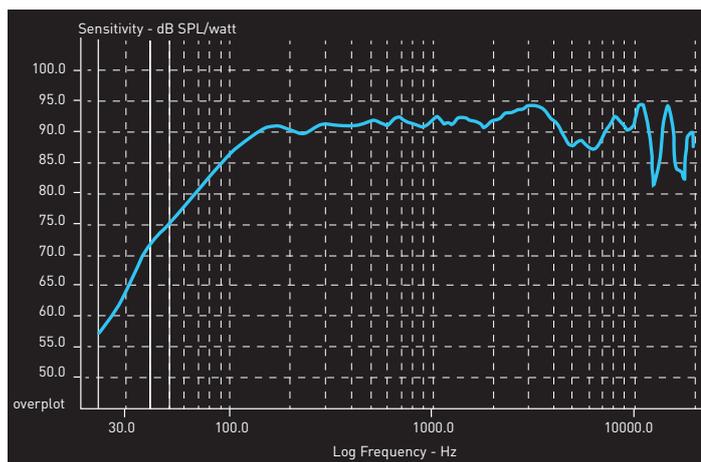
de future génération, la gestion logicielle des DSP puissants de dernière génération ainsi qu'une interface utilisateur intuitive, simple et élégante.

Fin août 2012 nous avons les briques élémentaires pour envisager un projet "SoundBar" Focal, mais tout restait à faire... pour voir/entendre si nous étions capables de faire le "break" par rapport aux acteurs en place. Savoir si un tel projet était viable... L'innovation par nature consiste à explorer l'inconnu, et la meilleure et seule manière est d'explorer, en réalisant des prototypes. Ce que nous avons entrepris.

Mi-2013, notre premier prototype voyait le jour, en associant les différentes briques du puzzle. Les premiers résultats nous laissèrent perplexes en comparaison directe avec les acteurs du marché. Concilier spatialisation surround et dynamique pour un son expressif et cohérent pour de l'écoute musicale semblait encore hors d'atteinte.

Nous avons alors travaillé en revenant aux fondamentaux et en explorant une voie différente de toute la concurrence.

Dans son principe fondamental idéal de base, un système 5.1 doit avoir, hormis le ".1" du subwoofer, cinq sources émises rigoureusement identiques. Nous les avons avec nos cinq haut-parleurs large bande à très faible directivité. Mais comment gérer la spatialisation surround si nous n'étions pas directifs, là où les concurrents s'évertuent à envoyer des faisceaux sonores directifs pour créer, par réflexions sur les murs, un effet surround virtuel ?



Haut-parleur breveté de 10 cm. Malgré sa très faible épaisseur de 36 mm il offre une excursion de près de 4 mm et donc une réponse large bande et très peu directive avec un excellent rendement. Ci-contre sa réponse sur baffle plan.

UNE SPATIALISATION LARGE BANDE



Cinq voies identiques pour une cohérence absolue en 5.1.

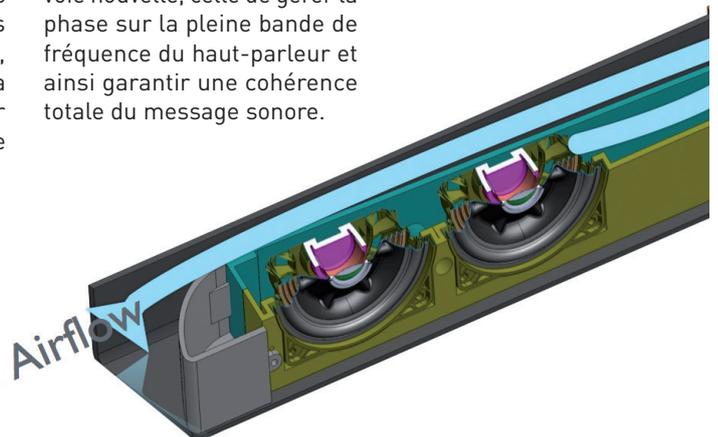
Notre travail sur les DSP nous a ouvert la voie. Plutôt que de s'évertuer à créer des faisceaux ultra directifs, ne valait-il pas mieux utiliser la puissance des DSP modernes pour travailler également sur la phase et les délais des différents faisceaux de nos 4 voies (avant gauche et droit et surround gauche et droit) ?

Si l'on transpose à l'optique, là où les concurrents utilisent les murs comme des miroirs acoustiques pour créer des illusions surround virtuelles, ne pouvions-nous pas gérer la spatialisation à la source pour élargir la scène sonore, comme

le ferait une lentille optique à l'émission ?

Notre chance était de disposer de haut-parleurs dont le centre émissif, en forme de dôme inversé, se situe dans le plan avant du haut-parleur. En conséquence de n'avoir aucune directivité, là où les solutions conventionnelles avec des haut-parleurs coniques sont par nature directifs. Nous pouvions donc explorer une voie nouvelle, celle de gérer la phase sur la pleine bande de fréquence du haut-parleur et ainsi garantir une cohérence totale du message sonore.

Jusque là, la pratique courante était de créer des artéfacts d'illusions sonores sur les seules fréquences aiguës, directivité oblige, et par conséquent dépendant fortement de la géométrie du lieu. Au final, dans notre modèle, une voix balayant le champ visuel de droite à gauche conservera son homogénéité de timbre, ce que la concurrence ne peut offrir en se limitant aux seules fréquences aiguës...

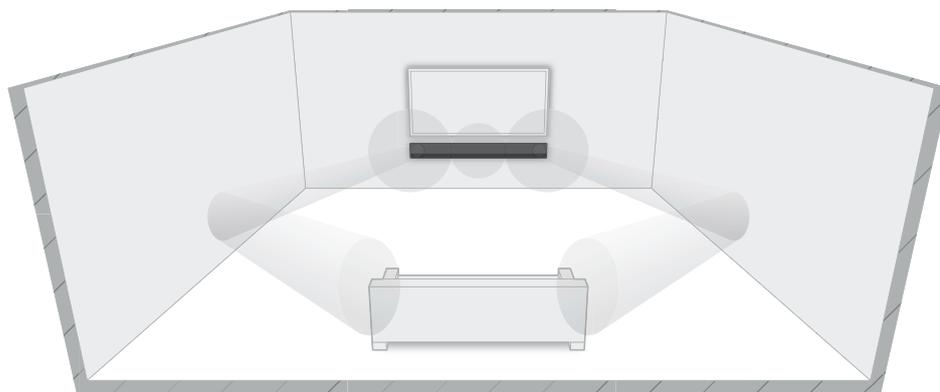


Les deux paires de haut-parleurs latéraux sont mobilisées pour la reproduction du grave en dessous de 200 Hz. Une charge bass-reflex avec deux événements débouchant sur les deux côtés de la barre de son. La réponse s'étend à 50 Hz sans subwoofer malgré une charge limitée à 1,45 litre par haut-parleur.

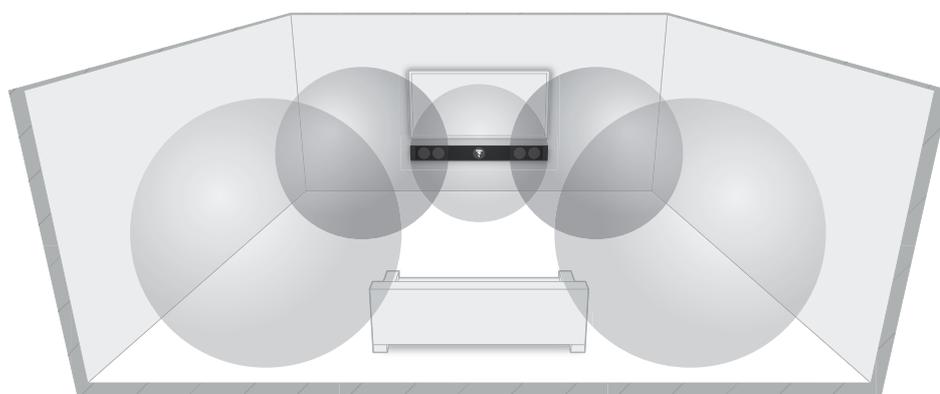
La solution innovante Focal s'appuie sur un réseau de cinq haut-parleurs identiques, non directifs, placés sur le même plan frontal. Le travail sur la phase sur les voies latérales surround, à l'image d'une lentille optique, crée l'élargissement spatial en conservant la cohérence de timbre large bande.

De plus, la voie centrale reste en totale cohérence pour apporter une intelligibilité aux dialogues, là où il est commun de la mettre en retrait pour accentuer l'effet surround. Nous gagnons finalement sur tous les points, une spatialisation qui n'est plus dépendante de la pièce d'écoute et de sa géométrie

avec une véritable voie centrale qui apporte l'intelligibilité aux dialogues, point essentiel pour la compréhension du message !



Diffusion classique des effets surround



Diffusion des effets surround par Dimension

DESIGN ET GESTION DES BASSES FRÉQUENCES

L'écran de 50" devenant un standard minimal pour une installation de qualité, la longueur retenue pour Dimension a été de 115 mm, largeur de base d'un tel écran. Comme évoqué précédemment le critère de l'épaisseur est un point clef, principalement dans le cas d'une fixation murale, idéalement limitée à 60 mm. Sachant que les haut-parleurs ont une épaisseur de 36 mm, le choix du type de charge acoustique allait être déterminant. Initialement la solution d'une ligne acoustique 1/4 d'onde (TQWT) semblait bien adaptée à des haut-parleurs de petit diamètre afin d'étendre la réponse dans le grave, idéalement à 50 Hz à -3 dB.

Les premiers prototypes nous ont vite obligés à revoir notre copie, car nous n'avions pas la largeur suffisante pour déployer la ligne acoustique afin d'atteindre une telle fréquence. De plus le volume était insuffisant. Nous avons également exploré la piste d'un radiateur passif pour, en définitive, revenir à une solution plus classique en Bass-Reflex avec événements latéraux.

Notre fréquence de coupure grave a ainsi pu être atteinte en passant à une épaisseur totale de 65 mm et un volume de charge de seulement 1,45 litre par haut-parleur (la voie centrale n'a que 0,5 litre de charge en volume clos). Le châssis monocoque, réalisé en une pièce d'aluminium massif en forme de U, apporte la rigidité nécessaire pour s'affranchir des colorations de coffrets soumis à des pressions très fortes compte tenu des puissances mises en jeux dans de si petits volumes.

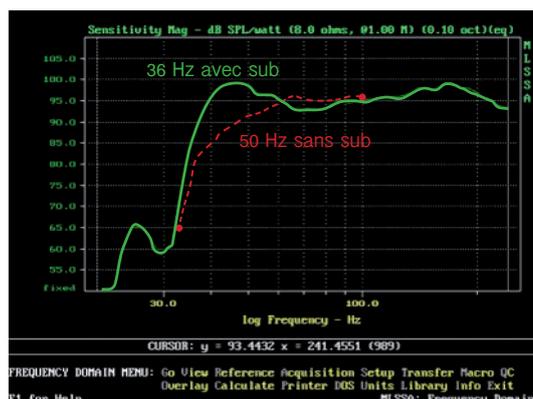
Nous avons notre solution pour la fixation murale, quid de l'utilisation sur une console ?

Premier constat les écrans se différencient de plus en plus au niveau du pied avec des variétés de formes multiples. D'autre part, afin de réduire la hauteur pour ne pas masquer le bas de l'écran, l'idée de l'incliner faisait sens. De plus, ce choix orientait l'axe d'émission des haut-parleurs en direction des oreilles de l'auditeur pour une installation standard où le plan central vertical de l'écran est idéalement placé dans l'axe visuel du spectateur.

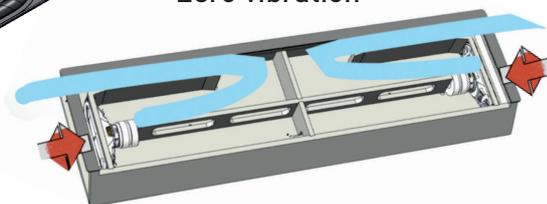
Malgré cette inclinaison, impossible d'être inférieur à 120 mm de hauteur, encore trop haut pour de nombreux écrans. Un support devait être imaginé. Celui-ci ne cessant de s'élargir au fil des mois pour s'adapter à des piètements d'écrans de plus en plus grands, sa fonction à vite été détournée... pour devenir un subwoofer optionnel.

Un tel volume disponible est un rêve pour tout acousticien. Disposant d'un sixième canal d'amplification dans la barre de son ce sub pouvait être passif avec deux gros avantages : simplicité de réglage et d'usage ainsi que coût très abordable. Un haut-parleur elliptique a rapidement été prototypé. La première maquette était prometteuse avec un grave profond. Un seul bémol les vibrations transmises à l'écran étaient inquiétantes !

Une configuration "push-push" avec deux coffrets et avec deux haut-parleurs travaillant en opposition a très vite réglé le problème... Une plaque de verre noire assure une finition robuste, discrète et qualitative.



Zéro vibration



Le subwoofer incorpore deux caissons bass-reflex avec des haut-parleurs 60x200 mm de conception Focal intégrale fonctionnant en opposition afin d'éviter toute vibration. Associé à la barre de son, il offre une réponse en fréquence étendue à 36 Hz avec un niveau SPL max de près de 105 dB !



INTERFACE UTILISATEUR ET CHOIX ÉLECTRONIQUE

À l'heure des smartphones et objets connectés, l'interface utilisateur revêt une importance essentielle. Elle donne de l'intelligence à l'objet. L'écran de contrôle doit être simple, intuitif et... discret en s'effaçant devant l'image.

Un allumage automatique à détection de proximité, associé à du "touch control", était la voie royale. Nous l'avons développé avec une agence anglaise spécialisée en ergonomie. Hormis la sélection des sources et le réglage du volume, seule la fonction "Night" (sur message en Dolby Digital) justifiait d'être ajoutée en face avant. L'ajustement du niveau de grave se fait simplement à partir de la télécommande et la gradation de volume sert au réglage. Simplicité.

Les réglages liés à l'installation ont volontairement été choisis "physiques" ; ils sont à configurer avant le branchement. Trois réglages sont nécessaires : la position (au mur / sur table en recul / sur table arasante), la distance de la position d'écoute et l'acoustique de la pièce (mate / normale / réverbérante).



Quatre connecteurs offrent une adaptation très simple à l'environnement.

Côté amplificateurs de puissance, ce sont les excellents TDA7498 qui ont été sélectionnés, que nous connaissons bien, car utilisés sur Bird et plus récemment sur Easya. Très compacts, ils ne nécessitent qu'une seule alimentation positive et offrant une synchronisation des horloges internes afin d'éviter toute intermodulation entre les fréquences d'échantillonnage des 6 canaux d'amplification.

La qualité sonore est très dépendante du filtre en sortie et de la qualité de l'alimentation. Cette dernière

est externe, pour des raisons évidentes d'encombrement, compte tenu de nos ambitions en termes d'épaisseur de la barre.

Des condensateurs localisés sur la carte principale à proximité directe des modules de puissance apportent l'énergie nécessaire pour gérer les crêtes transitoires de modulation. Alimentée sous 33 V, la puissance crête disponible est de plus de 75 W x 6 canaux, 1 canal étant dédié au subwoofer passif Dimension.



Ci-dessus : Prototype de la carte électronique regroupant l'ensemble des fonctions en-dehors de l'alimentation. A noter sur la gauche les douze ferrites des filtres de sortie. Au centre trois condensateurs apportent une réserve d'énergie pour gérer les crêtes de modulation.



Interface utilisateur à détection de proximité et "touch control".



Au niveau SPL, sachant que nos haut-parleurs offre une sensibilité intéressante pour un tel diamètre de 89 dB/1 w/1m, les 5 canaux en simultanée peuvent atteindre près de 110 dB/1 m pour la barre seule et pour le subwoofer près de 105 dB. Des niveaux superlatifs pour des environnements domestiques. Avant toute chose, c'est la dynamique et la définition qui en découlent qui étaient recherchées.

Composant clef, le DSP. Le modèle choisi est un Sharc® de 4^{ème} génération 32 bit/40 bit à virgule flottante optimisé pour l'audio processing à haute performance. Il apporte la puissance de calcul suffisante pour gérer d'une part l'équilibre de la réponse en fréquence et d'autre part la spatialisation de nos cinq voies. Il agit à l'image d'un logiciel de studio de mastering virtuel intégré.

Les règles de l'art doivent être respectées, à savoir ne pas forcer la physique des haut-parleurs (ce sont eux qui sont sur l'aval du système et le couplage à l'air leur impose une certaine inertie). Au niveau cérébral, l'audition garde une perception globale et ne se laisse pas illusionner facilement. Le DSP ne transformera jamais un piètre système acoustique en un système qualitatif.

Par contre la magie du numérique est de pouvoir travailler indépendamment sur la phase, les délais et l'amplitude, ce qui est rigoureusement impossible en analogique. Les dernières avancées en matière de filtrage

IIR (Infinite Impulse Response), précisément des coefficients 28 bits dans notre cas, appliquées aux 5 voies acoustiques offrent un champ de réglages immense pour parfaitement régler l'équilibre tonal et la spatialisation quasiment de manière indépendante.

Nous utilisons cette puissance de processing pour mixer les 5 voies en mono en-dessous de 200 Hz. Le signal ainsi obtenu est envoyé sur les 4 voies latérales et sur le subwoofer, le cas échéant. Nous pouvons ainsi obtenir une densité sonore proche de celle que nous avons avec un vrai woofer de 21 cm. De plus, la voie centrale, qui ne dispose que de 0,5 litre, est ainsi préservée de toute distorsion d'intermodulation pour une définition et une intelligibilité maximale.

Hormis la bande de fréquence au-dessus de 200 Hz, nous travaillons sur trois autres bandes de fréquence coupées à 12 dB/octave (40-70 Hz / 70-100 Hz / 100-200 Hz) autorisant une égalisation fine en fonction du niveau du signal. Ainsi avec un subwoofer, le compresseur limitera le niveau sur la bande 40-70 Hz sur la barre de son, pour accroître le niveau SPL, d'une part, et limiter la distorsion, d'autre part.

Dernier point sur lequel nos choix en matière d'acoustique, avec un châssis en aluminium monobloc massif pour une rigidité maximale, ont impacté l'électronique : la possibilité d'implémenter un récepteur sans-fil Bluetooth® n'était plus envisageable à cause du blindage électromagnétique du châssis aluminium. Cette

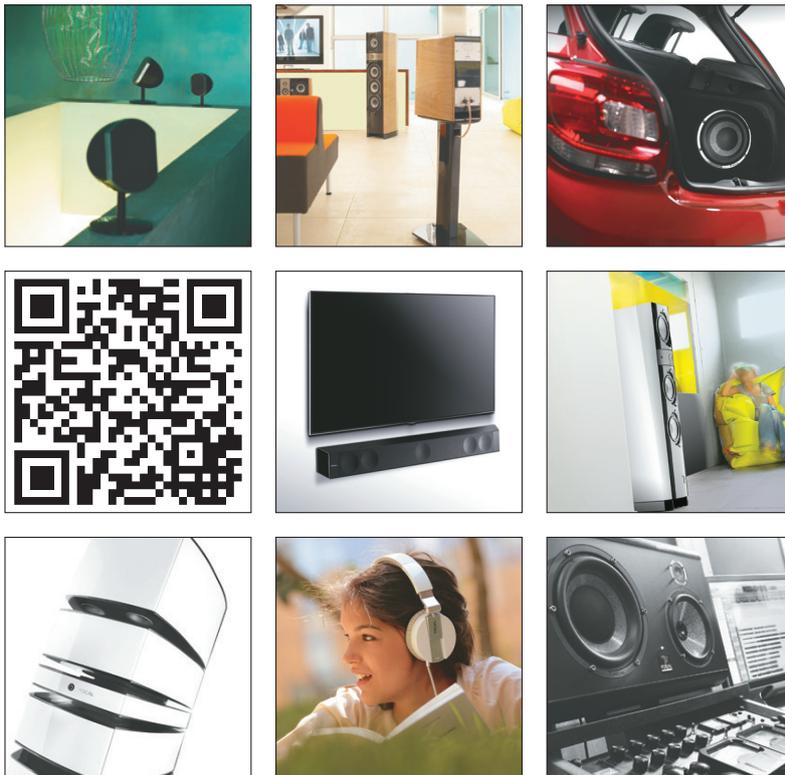
fonctionnalité optionnelle est donc offerte avec notre récepteur universel Bluetooth® AptX® que l'on connectera sur l'entrée mini jack analogique.

En conclusion le projet Dimension est riche d'enseignements :

1- Nous avons en Europe les compétences pour concourir au plus haut niveau. Il faut pour cela penser schéma collaboratif. Impératif pour entrer dans l'univers des objets connectés où la présence de l'électronique et des logiciels est massive.

2- Au delà du design, des fonctionnalités et des usages, il est formidable de voir que notre travail sur des points, qui pour beaucoup pourraient sembler de l'ordre du détail, apporte un tel "supplément d'âme" au produit... et rejoint en cela l'esprit des débuts passionnés du High End. L'acoustique et le haut-parleur en particulier restent encore profondément "analogiques", il ne faut pas l'oublier !

Gérard Chrétien, 01/03/2014



FOCAL® est une marque FOCAL-JMLAB®

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.