



Version 2

Cahier technique

Sommaire

Une synergie acoustique/électronique.....	3
Schéma synoptique d'un canal.....	4
Acoustique.....	5
Electronique.....	7
Connectique.....	8
Réalisation, mise en oeuvre.....	8
Spécifications.....	9
Annexes	
Efficacité, et compression en puissance.....	10
Corrections numériques.....	12

Une synergie acoustique/électronique

La restitution des sons en « Haute-Fidélité » est un domaine très complexe.

C'est une passion, mais c'est aussi très souvent un casse-tête, pour les amateurs et les professionnels, éternels insatisfaits à la recherche du « Son Parfait ».

Le champ des possibles semble infini, mais la bonne approche est scientifique et technique.

Depuis l'enregistrement jusqu'à la diffusion tous les maillons ont une incidence sur le résultat final.

Si les maillons électroniques comptent, trois maillons acoustiques sont néanmoins décisifs :

-1- La prise de son, par les microphones utilisés, leurs positionnements, l'acoustique du lieu, avec un travail à la console de mixage associé à divers traitements du signal.

L'audiophile peut bien sûr faire lui-même des enregistrements très qualitatifs avec le matériel numérique actuel, mais il ne peut malgré tout se passer des enregistrements commerciaux.

-2- L'enceinte acoustique, par sa bande passante en particulier dans les graves, sa linéarité d'amplitude et de phase, ses colorations, sa réponse impulsionnelle, sa directivité, son comportement aux hauts niveaux de SPL : compression de la dynamique et distorsion.

-3- Le local d'écoute, par sa forme, ses dimensions, l'agencement et le mobilier, a sa sonorité propre. Le temps de réverbération, les nombreux modes de résonance aux basses fréquences, les premières réflexions à proximité des enceintes sont sa signature acoustique.

Les solutions mises en œuvre dans Tonnara, visent à optimiser les paramètres de ces trois maillons.

C'est le fruit de plus de 50 ans d'expérience et de passion, une synthèse des techniques audiophiles et audio-professionnelles apportant les réponses pertinentes pour repousser les limites d'un système audio.

Pour une restitution s'approchant au plus près des sensations du son "live", ses objectifs sont :

Courbe de réponse à $\pm 1,5\text{dB}$ de la courbe cible de 15Hz à 40KHz en 1/3 d'octave

Réponse impulsionnelle : alignement temporel des voies à $\pm 10\mu\text{s}$.

Directivité à -6dB meilleure que 120° horizontal, 40° vertical jusqu'à 15KHz

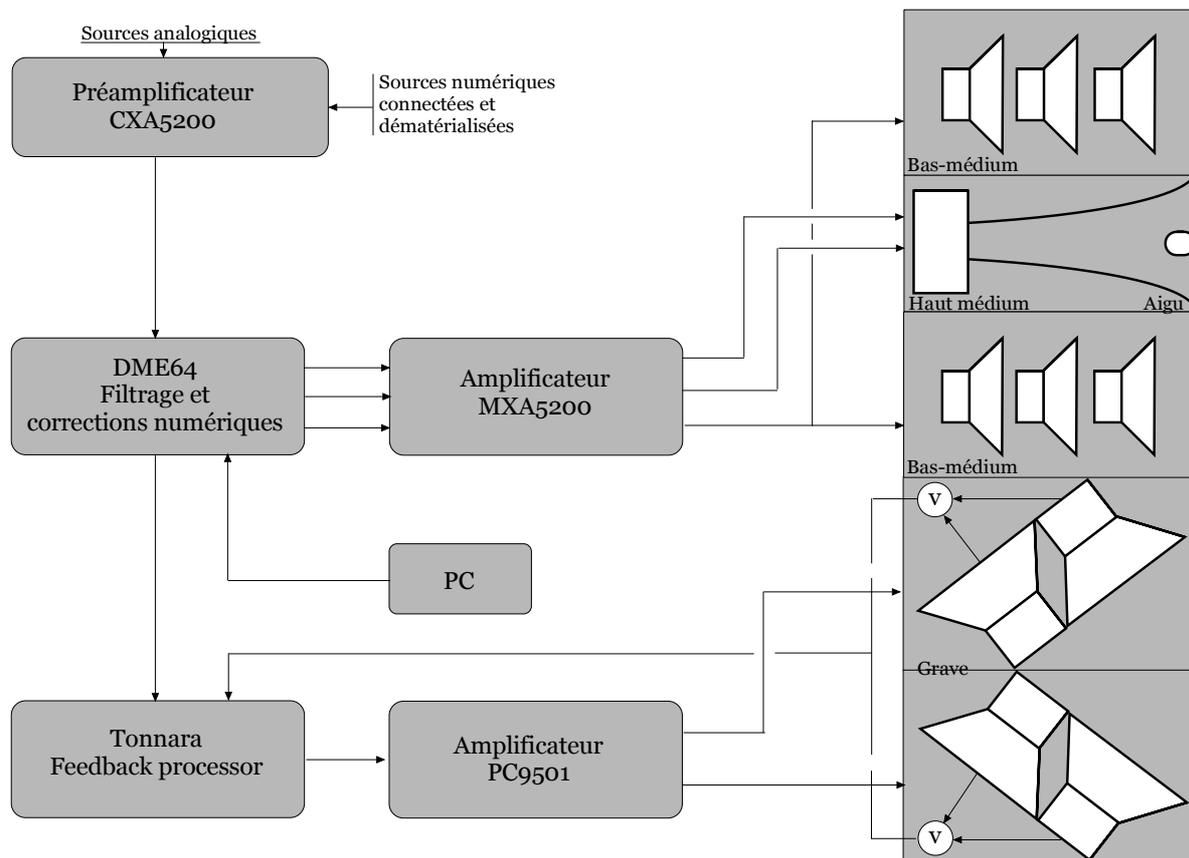
Capacité dynamique : compression en puissance $< 1\text{dB}$ jusqu'à 120dB SPL

Distorsion harmonique totale (DHT) $< 1\%$ à 120dB SPL.

Les qualités subjectives à l'écoute découleront naturellement du niveau de ces critères objectifs.

De telles ambitions imposent naturellement le concept de "Système intégré", électronique et acoustique intimement imbriquées, oeuvrant en synergie.

Schéma synoptique d'un canal



Acoustique

L'enceinte, composée de cinq modules, comporte 12 haut-parleurs, choisis pour leurs spécifications exceptionnelles auprès de 4 fabricants prestigieux.

Des modifications spécifiques leur sont apportées pour une parfaite coïncidence avec les exigences de notre cahier des charges.

Deux modules d'infragrave (de 15Hz à 80Hz à ± 1 dB)

4 haut-parleurs de 33cm à très grande élongation hypermotorisés, qui sont équivalents en surface émissive à un haut-parleur de 66cm disposant d'un facteur de force de 40N/A.

Leur charge est close, très compacte, avec des solutions d'amortissement structurel et interne spécifiques.

Le double push-pull de HP est inséré dans une boucle d'asservissement, la vitesse de déplacement des équipages mobiles est analysée en temps réel par le processeur.

Celui-ci détecte la différence entre la vitesse réelle et la vitesse idéale, cette information d'erreur sert de base pour calculer la tension à appliquer aux HP afin de linéariser les déplacements de leur diaphragme.

Le bouclage de l'asservissement se traduit par :

Une extension de la bande passante de deux octaves vers l'infragrave, on obtient 10Hz à -3dB, (partant de 40Hz en boucle ouverte).

Un comportement impulsionnel exemplaire.

Des temps d'établissement et d'extinction divisés par 10 : à l'instant zéro d'une attaque, les équipages mobiles sont à l'arrêt, le processeur détecte une importante différence entre leur vitesse réelle, qui est nulle, et ce qu'elle devrait être.

Pour les contraindre à "démarrer", la tension de commande appliquée aux bobines mobiles est multipliée par un facteur de l'ordre de 3, soit 10 fois plus de puissance, puis s'ajuste au fil des millisecondes.

A la fin de l'impulsion, le processeur détecte que les équipages mobiles ne sont pas à l'arrêt, le signal d'erreur induit alors un renversement de la force motrice, il en résulte un puissant freinage des diaphragmes réduisant spectaculairement le traînage.

Par ailleurs l'information d'erreur, est proportionnelle à l'induction magnétique dans les entrefers des haut-parleurs, elle tient compte de la modulation de ce champ par l'intensité du courant dans les bobines mobiles, cette modulation est corrigée par l'asservissement, réduisant de ce fait le phénomène de compression en puissance qui lui est associé (tassement des écarts de niveaux).

La structure du circuit magnétique des haut-parleurs utilisés fait l'objet de modifications spécifiques.

L'exploration des premières octaves et le comportement dynamique, procurent un grave d'une ampleur et d'une articulation exceptionnels.

Deux modules de bas-médium, (de 80Hz à 400Hz à ± 1 dB)

Pour cette voie, le maître mot reste la rapidité.

6 haut-parleurs de 16,5cm, en charge bass-reflex, avec des solutions d'amortissement structurel et interne spécifiques, visant en particulier à l'absorption totale de l'onde arrière aux hautes fréquences.

Les composants utilisés offrent un facteur d'accélération (BL/Mms.Rcc) hors du commun pour des haut-parleurs de grave-médium.

Les diaphragmes en structure sandwich composite sont exploitées deux octaves en dessous de leur premier mode propre, c'est à dire dans une gamme de fréquence où ils se comportent en parfaits pistons, ce qui est une assurance de neutralité.

La structure du châssis des haut-parleurs utilisés fait l'objet de modifications spécifiques.

Le montage outrepassé les critères d'Appolito, la distance entre les centres acoustiques de ces deux modules est très inférieure à la longueur d'onde à la fréquence de raccordement avec le module médium-aigu. On obtient ainsi une source équivalente exactement dans l'axe du médium-aigu, la fusion entre ces trois registres est parfaite.

Nervosité, rondeur et densité caractérisent cette deuxième voie.

Un module de médium-aigu (400Hz-8000Hz/8000Hz-40000Hz à ± 1 dB)

C'est une pièce acoustique maîtresse du système.

Deux haut-parleurs à pavillons en montage coaxial est une solution radicale alliant une efficacité de 110dB@1w@1m, à une dispersion spatiale parfaite, exempte de franges d'interférence dans la zone d'écoute.

La régularité de la réponse en fréquence en dehors de l'axe garanti la linéarité du champ diffus dans le local d'écoute.

Le médium est confié à un moteur 2 pouces équipé d'un diaphragme en titane de 100mm, chargé par un pavillon à directivité constante à double paroi amorti par du sable, l'onde arrière est totalement absorbée par une charge spécifique, des reprises d'usinage ont été effectuées sur ce moteur.

Pour le tweeter, membrane annulaire de 16mm, monté dans l'axe de la gorge du médium, la plupart des pièces d'origine ont été remplacées par des pièces usinées avec une très grande précision.

Une extension de la bande passante du côté des hautes fréquences est obtenue, ainsi que des dispersions d'efficacité inférieures à $\pm 0,5$ dB.

La forme les dimensions et la parfaite intégration du tweeter rendent négligeable la diffraction du champ acoustique à l'intérieur et à l'embouchure du pavillon de médium.

Cette troisième et quatrième voie n'en font qu'une, avec douceur, délié, cohérence, vivacité et précision.

Ces exceptionnels composants acoustiques sont sublimés par la quadri-amplification active, la correction numérique et l'asservissement.

Grave

L'asservissement est géré par le "Tonnara subwoofer feedback processor".

Il reçoit les paramètres cinétiques des haut-parleurs, par une liaison symétrique depuis les caissons de grave, opère la comparaison avec le signal issu processeur numérique, et délivre le signal aux amplificateurs.

Etant donné le fonctionnement décrit plus haut, une amplification de très forte puissance, et d'une parfaite neutralité sont requis.

C'est ce qu'assure le Yamaha PC9501, 3000wRMS.

Bas-médium, médium, aigu

Une parfaite neutralité est fondamentale.

La haute efficacité des pavillons impose une électronique particulièrement silencieuse, un rapport signal/bruit supérieur à 110dB est nécessaire.

Par ailleurs, le taux de distorsion harmonique totale doit être très faible particulièrement sur les petits signaux (DHT<0,005% à 250mw).

L'amplification de ces voies est confiée à un Yamaha MX5200.

Traitement numérique du signal audio

En amont du processeur d'asservissement, une matrice Yamaha « Digital Mixing Engine » DME64, assure les fonctions suivantes, en 24bits 96KHz :

Filtrage actif 4 voies, les pentes à 48dB/octave permettent une réjection radicale des signaux en dehors de la bande passante

Alignement temporel à $\pm 10\mu s$ des 4 voies au point d'écoute, les centres acoustiques de celles-ci n'étant physiquement pas équidistants de l'auditeur.

Ajustement des niveaux relatifs des voies et des canaux.

Correction de directivité pour la voie médium.

Correction numérique du local d'écoute (1).

Correction numérique des enregistrements (1).

La matrice est paramétrée et contrôlée par un PC, nécessaire uniquement pour les réglages.

L'évolutivité est logicielle (structure de traitement) et matérielle, les entrées et sorties sont modulaires.

Le système est configurable, dans sa version actuelle, de la stéréo (2.0) au 7.3.4

Préamplificateur

Un CXA5200 YAMAHA, avec ses très naturelles simulations d'acoustiques de salles de concerts réelles, permet une très large polyvalence musicale, et une compatibilité en numérique avec les formats Multicanaux- Haute-Définition DSD du SACD, PCM du DVD Audio ; DTS Master Audio, Dolby Digital True HD, Immersifs : DTSX, Auro 3D, Dolby Atmos des BluRay et BluRay Pure Audio

(1) CF annexe 2 page 12

Connectique

Electronique et acoustique sont interconnectés par un toron 7 voies qui relie chaque enceinte aux amplificateurs et au processeur d'asservissement :

2 voies en 2X6mm² OFC pour les caissons de grave.

1 voie coaxiale symétrique OFC pour le retour d'asservissement.

2 voies en 2x4mm²OFC pour les caissons bas-médium.

2 voies en 2x2,5mm² OFC silver pour les voies médium et aigu

Ce qui représente une section cumulée de 2x25mm² par canal.

Les raccordements à l'arrière des enceintes sont réalisés sur des bornes Or Ø25mm et des connecteurs XLR, l'ensemble est dissimulé par un passe câbles.

Les interconnexions entre les électroniques sont réalisées avec des composants "high-end" à contacts or, RCA à serrage conique, XLR, sub-d25.

Réalisation

Nous confions la production des pièces mécaniques et des ébénisteries à nos sous-traitants locaux hautement spécialisés.

Les pièces spécifiques des haut-parleurs sont usinées avec grande précision sur des machines à commandes numériques.

Leur finition fait appel à du polissage/chromage, de l'anodisation, ou de la laque.

Les pièces des ébénisteries sont également usinées avec grande précision sur des machines à commandes numériques, après assemblage elles reçoivent une finition "laque piano" 7 couches.

Le processeur d'asservissement est réalisé dans nos ateliers ainsi que l'assemblage et le contrôle final des enceintes.

Mise en œuvre

Alain JOURNET, maître d'œuvre du système, réalise l'installation, le paramétrage, la calibration et l'optimisation acoustique personnalisés sur site.

Spécifications

Dimensions d'une enceinte : 1825 x 650 x 720mm (hxlxp)

Poids : 300Kg

Puissance cumulée d'amplification par canal : 3300wRMS.

Linéarité d'amplitude au point d'écoute : 15Hz à 40KHz à $\pm 1,5$ dB de la courbe cible en 1/3 d'octave.

Alignement temporel à $\pm 10\mu$ s, dans l'axe.

Directivité à -6dB : horizontale 120°, verticale 40°.

Efficacité moyenne : 104dB pour 1w à 1m.

SPL maximum à 1m : 130dB.

Compression en puissance @ 120dB SPL <1dB (1)

Distorsion harmonique totale @ 120dB SPL <1%

Bruit résiduel (volume à 0) : < 10dB à 4m.

Finition laque piano nuancier RAL.

Dans un souci d'amélioration constante, les éléments acoustiques et électroniques du système peuvent évoluer.

(1) CF Annexe 1 page 10

Annexe 1

Efficacité, et compression en puissance

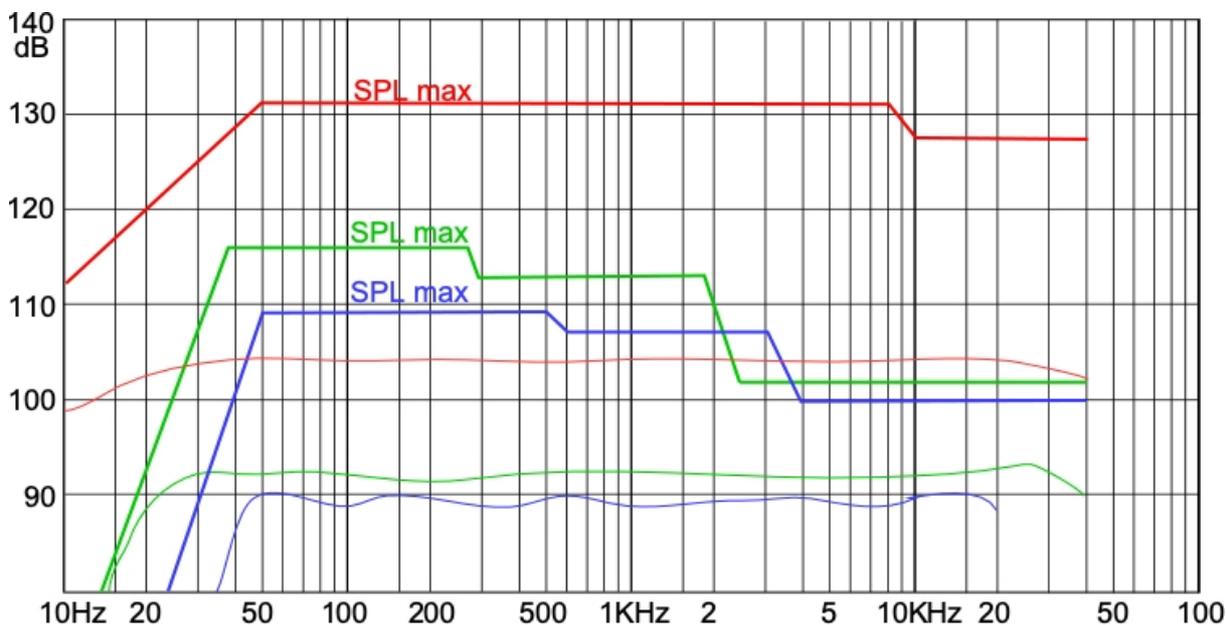
Les phénomènes thermiques et magnétiques qui apparaissent à forte puissance dans les moteurs des haut-parleurs induisent une compression des niveaux sonores.

Le diagramme ci-dessous visualise la courbe de réponse @1w@1m, et la capacité dynamique (SPL max) de trois systèmes de conception et de dimensionnement très différents :

En bleu : enceinte de milieu de gamme : 40Hz à 20KHz à ± 3 dB, 3 voies : grave 2x $\varnothing 16$ cm en charge bass reflex, médium $\varnothing 16$ cm, aigu $\varnothing 20$ mm, filtrage passif, efficacité 90dB @1w@1m associée à un amplificateur de 100wRMS.

En vert : enceinte haut de gamme : 20Hz à 40Khz à ± 3 dB, 4 voies : grave $\varnothing 38$ cm en charge bass reflex, bas médium $\varnothing 27$ cm, haut médium 2x $\varnothing 16$ cm, aigu $\varnothing 20$ mm, filtrage passif, efficacité 93dB @1w@1m, associée à un amplificateur de 400w RMS.

En rouge : système Tonnara : 15Hz à 40KHz à $\pm 1,5$ dB, efficacité moyenne 104dB, puissance cumulée 3300wRMS.



Les courbes de SPL max, niveau sonore maximum à 1m sont théoriques, elles ont été obtenues par calcul, sur la base :

- 1- de l'efficacité des haut-parleurs,
- 2- de leur tenue en puissance (mécanique et thermique),
- 3- des fréquences de raccordement,
- 4- de la puissance d'amplification.

En impulsionnel, ces niveaux peuvent être dépassés dans les hautes fréquences..

A l'écoute, pour être réalistes et donner cette formidable sensation de présence, un orchestre symphonique ou un groupe de rock doivent être restitués à un niveau proche de la réalité.

La sensation de dynamique dépend donc du volume.

Elle dépend aussi du respect des écarts de niveau.

Lorsque le niveau sonore s'approche du SPL max du système, des non linéarités (1) et des phénomènes de compression apparaissent et réduisent ces écarts, cela se produit pour des niveaux au-delà de 20dB en dessous du SPL max.

Le courant qui passe dans les bobines mobiles des haut-parleurs, élève leur température, donc augmente leur résistance électrique, ce qui réduit ce courant, de plus, il module les champs magnétiques par les ampères-tours qu'il induit dans les pièces polaires, ce qui réduit aussi les forces motrices.

Ces phénomènes thermiques et magnétiques compriment la dynamique.

Pour la voie grave l'asservissement les réduit notablement (CF page 5).

La compression n'est pas uniforme sur toute la bande passante (CF les points 1,2 et 3 ci-dessus), cela se traduit par des variations de la balance tonale à forte puissance.

La compression en puissance affecte donc la dynamique et la neutralité.

C'est là que réside l'intérêt du « haut-rendement », car lorsque le système est très efficace les courants qui passent dans les bobines mobiles sont moins intenses pour un même niveau sonore : 10 fois moins pour une efficacité de 110dB@1w@1m que pour 90dB, soit 100 fois moins de puissance.

Les phénomènes de compression sont alors négligeables (<1dB) et inaudibles jusqu'à des niveaux sonores de l'ordre de 120dB.

La dynamique est ainsi parfaitement respectée dans une très large plage d'utilisation.

(1) Provoquant une forte augmentation de la distorsion harmonique

Annexe 2

Corrections numériques

La linéarité des composants et les solutions mises en œuvre dans Tonnara permettent d'obtenir une courbe de réponse en champ libre et dans l'axe qui s'étend de 15Hz à 40KHz à $\pm 1,5\text{dB}$.

Dans un auditorium ce n'est plus vrai, même s'il a une géométrie appropriée et dispose d'une bonne correction acoustique.

D'importantes non-linéarités d'amplitude apparaissent.

Par ailleurs la plupart des enregistrements commerciaux présentent des défauts de balance tonale.

Le processeur permet la correction numérique à deux niveaux :

D'une part pour le système dans son environnement acoustique, et d'autre part pour la balance des enregistrements.

Pour le système dans son environnement, une analyse préalable permet de définir une "courbe cible", globalement descendante.

La finesse de la correction numérique programmée dans la matrice lors de la calibration, permet de s'en approcher à $\pm 1,5\text{dB}$.

Cette base de réglage est adaptée à l'écoute d'enregistrements parfaitement neutres.

C'est le cas de ceux réalisés à partir de prises de son purement acoustiques avec des microphones de très haute qualité, et sans autre traitement du signal que la numérisation.

Malheureusement la majorité des enregistrements commerciaux ne peut être considérée comme vraiment neutre, c'est malheureusement assez systématiquement le cas pour ceux produits en studio, car même avec une bonne acoustique et un système de monitoring qualitatif linéarisé par une correction numérique, la balance tonale reste le choix personnel de l'ingénieur du son. Des égalisations inappropriées appliquées sur la console de mixage et des colorations spécifiques des micros, accentuent ou atténuent certains registres et particulièrement les registres haut ($>5\text{KHz}$) et bas ($<400\text{Hz}$)

Pour les captations de concerts amplifiés, le voisinage de systèmes de diffusion de forte puissance impose l'utilisation de micros de scène de proximité, anti-larsen dont les courbes de réponse sont non linéaires.

L'équilibre tonal n'est alors pas satisfaisant.

Fréquemment, on constate aussi que, par rapport aux canaux gauche et droit, le niveau du canal central et des canaux périphériques est incorrect.

Les égalisations dédiées très facilement ajustées en temps réel sur l'interface du PC, lors des sessions d'écoute, permettent un ré-équilibrage tonal, ainsi que des réglages de niveau en multicanal.

Le processeur permet ainsi de nommer et de mémoriser 999 scènes aux réglages spécifiques, et de les rappeler instantanément.

A chaque session d'écoute d'un même enregistrement, l'audiophile a alors la possibilité de peaufiner sa balance personnalisée, à la recherche du « Son Parfait » . . .