

10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

Correcteur d'Ambiance acoustique "Continuum"

Emmanuel Rebeyrol, Edmond Benarrous

Société Marmonier, 35 rue du Dauphiné, 69960 CORBAS, emmanuel.rebeyrol@marmonier.com

Résumé :

Continuum est un dispositif permettant de réaliser des corrections d'ambiance acoustique en espace clos en jouant sur le temps de réverbération, l'équilibre spectral et le taux d'ondes stationnaires. Il est particulièrement adapté aux lieux de vie où les notions de gêne, de confort et de qualité d'écoute sont recherchées. Le dispositif a fait l'objet d'une demande de brevet. Il intègre plusieurs mécanismes d'absorption, dont les suspensions ainsi que les formulations matières résultent de nombreuses études. L'ensemble ne dépasse pas 45 mm d'épaisseur. L'absorption de "Continuum" est très large bande, depuis les fréquences des premiers modes de la pièce jusqu'aux limites de l'audible.

Des mesures en tube d'impédance et en chambre réverbérante ont permis de caractériser les performances acoustiques "classiques" du produit dans les moyennes et hautes fréquences. Des mesures en situation réelle ont permis de mesurer ses performances en termes de temps de réverbération et d'indice de clarté par bande d'octave, et le comportement réactif autoadaptatif du dispositif à basses fréquences.

Ce dispositif offre de nouvelles perspectives d'aménagement aux architectes et acousticiens qui recherchent à la fois efficacité et design dans leurs préconisations.

1 Introduction

Notre environnement acoustique est aujourd'hui une source de préoccupation permanente car tout le monde s'accorde à penser qu'il est un facteur essentiel à notre bien-être et à notre santé. Trop de bruit est néfaste mais pas de bruit est aussi pénalisant à certains égards, un bruit sciemment généré est mieux accepté qu'un bruit subi, et c'est pourquoi la subjectivité en ce domaine est si importante. Les métiers en charge de la conception, de la réalisation ou de la réhabilitation de notre environnement bâti actuel et futur se préoccupent tous de ces aspects mais doivent pouvoir disposer de solutions efficaces et aussi esthétiques pour intégrer la notion de confort acoustique dans leur projet.

L'objet de cette communication est de présenter l'une de nos solutions dans ce domaine.

2 Genèse du produit

Notre longue expérience de fournisseurs de solutions acoustiques dans l'industrie du transport (automobile, cars et bus...) nous a permis de cerner les faiblesses des systèmes d'insonorisation faisant appel à des matériaux absorbants «classiques» et nous a conduit à rechercher d'autres voies. Les solutions Continuum présentées résultent d'une recherche d'efficacité maximum dans la fonction d'absorption. Nous avons réuni dans cette nouvelle conception produit, l'ensemble des mécanismes physiques conduisant à une très forte efficacité en optimisant :

- La dissipation visqueuse
- La conversion en énergie de déformation
- La conversion en énergie de déplacement

L'intégration dans un process de réalisation industrielle de l'ensemble de ces mécanismes, a donné naissance à une composition matière performante et à un dispositif de correction d'ambiance acoustique très large bande et auto adaptatif à basse fréquence, ayant fait l'objet d'une demande de brevet.

Ce développement a également privilégié le faible encombrement des solutions, leur totale autonomie, synonyme de temps de mise en œuvre très court et une multitude d'esthétismes dont le mélange des couleurs et des motifs en relief permet un design unique pour chaque réalisation.

3 Principe de fonctionnement

Lorsqu'une onde acoustique vient frapper une solution Continuum, celle-ci va se comporter différemment selon la fréquence :

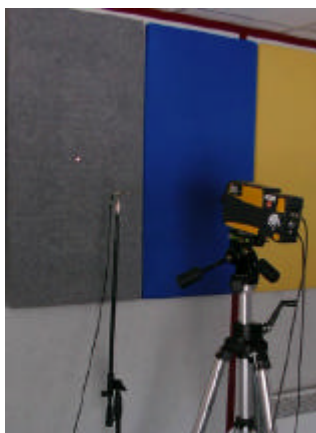
Pour des basses fréquences dont la longueur d'onde est de l'ordre des dimensions de la dite solution ou plus grande, la pression exercée sur la solution sera quasiment en phase sur toute la surface et va déclencher l'optimisation de la conversion en énergie de déplacement. Les solutions Continuum ont une fréquence propre de résonance très basse (quelques Hertz) et fonctionnent pratiquement toujours en dessus, mais leur fort amortissement leurs procurent une bande passante suffisamment large pour s'auto-adapter aux premières fréquences propres de la plupart des salles.

Pour des fréquences plus élevées, mais de l'ordre d'une fraction des dimensions d'une solution, celle-ci réagira en optimisant la conversion en énergie de déformation puisque tous les modes de flexion sont potentiellement actifs.

Pour les moyennes et hautes fréquences la solution se comporte alors comme une couche de matériau poreux laissant la dissipation visqueuse agir aux petites échelles selon des lois bien connues maintenant.

Il y a lieu de noter que la lame d'air arrière a été intégrée dans la modélisation de la conception pour en renforcer les performances d'absorption dans les moyennes fréquences.

Afin de mettre en évidence la sensibilité des Solutions Continuum, c'est-à-dire leur capacité de réaction à la moindre modification de l'environnement sonore, nous avons enregistré en temps réel le signal de la vitesse vibratoire instantanée mesurée à l'aide d'un vibromètre Laser focalisé en un point du panneau, ainsi que la pression acoustique induite par la voix d'un locuteur placé à proximité, et mesurée à l'aide d'un microphone. L'expérience est décrite dans l'image suivante.



La figure (1) montre la corrélation entre les signatures temporelles des deux signaux lorsqu'une phrase est prononcée à voix normale dans la pièce. Cela traduit le comportement parfaitement réactif des solutions Continuum même à de très faibles sollicitations.

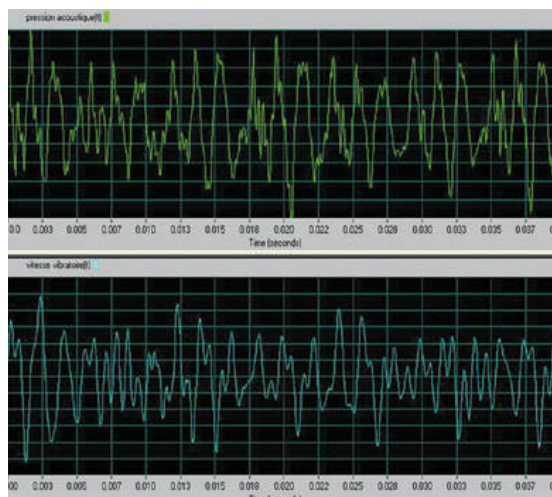


Figure 1: signature temporelle synchrone de la pression acoustique (en haut) et de la vitesse vibratoire (en bas)

4 Performances acoustiques

Les performances d'absorption « classiques » sont souvent représentées par la valeur du coefficient d'absorption sous incidence normale mesurée à l'aide d'un

tube d'impédance, ou par la valeur du coefficient d'absorption sous incidence aléatoire mesurée dans une chambre réverbérante. Cette dernière méthode semble a priori mieux représentative de l'usage et peut fournir une information directement exploitable dans la plupart des logiciels de calcul en termes d'aire d'absorption équivalente. Toutefois, une mesure de l'absorption par la méthode de la salle réverbérante n'est pas appropriée pour qualifier un absorbeur réactif car sa pleine efficacité n'est assurée qu'en présence de l'excitation acoustique.

Les solutions Continuum fonctionnant en mode réactif dans les basses fréquences, nous avons caractérisé ses performances en deux temps.

4.1 Absorption moyennes-hautes fréquences.

Les performances intrinsèques du matériau constitutif des solutions Continuum ont été mesurées en tube d'impédance et en cabine alpha. Au delà de 1000 Hz, les performances sont remarquables mais pas optimum ($\alpha < 1$). Cependant, il faut avoir à l'esprit que pour une correction homogène de tout le spectre, il faut éviter une trop forte absorption en haute fréquence qui peut rendre le son très mat et sans relief. C'est pourquoi nous n'avons pas recherché à obtenir des solutions Continuum avec un coefficient supérieur par l'adjonction d'une couche supplémentaire d'absorbant fibreux. On peut à la demande selon le besoin réel « booster » ou diminuer l'absorption haute fréquence.

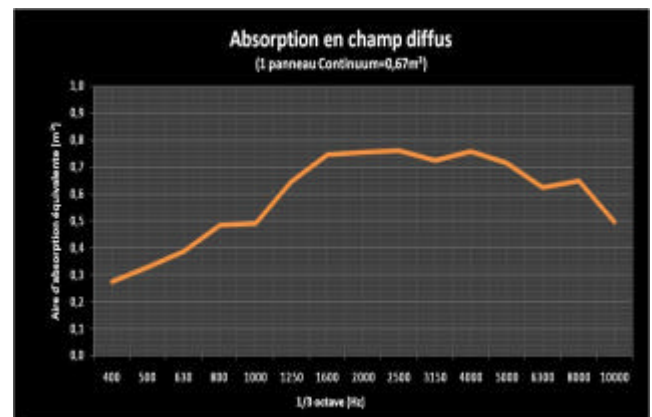


Figure 2 : Absorption en champ diffus (mesures en cabine alpha)

4.2 Absorption basses fréquences

Les performances à basses fréquences des solutions Continuum ont été mesurées dans une salle de 63 m³ équipée de 5, 10, 15 et 20 unités, et soumises à un bruit permanent. L'absorption a été déduite des équations de l'acoustique des salles en régime continu en utilisant la formulation de l'absorption de Eyring [1]. Les valeurs obtenues sont indiquées dans le graphe suivant :

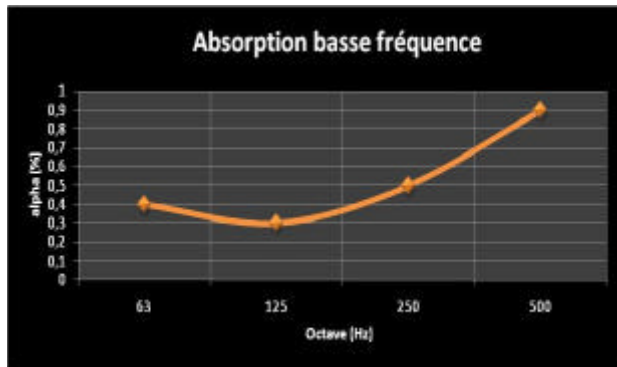


Figure 3 : Absorption basse fréquence déduite des lois d'acoustique des salles (formulation de Eyring)

Compte tenu des données précédentes, le coefficient d'absorption global des solutions Continuum estimé selon la norme européenne EN ISO 11 654 est égal à :

$$\alpha_w = 0,8 \text{ (H)}$$

ce qui place les solutions Continuum dans la catégorie des absorbeurs de classe B. Il y a lieu de souligner que ces performances sont obtenues avec un encombrement de seulement 45 mm, sans présence de plénum arrière, minimisant ainsi la surface perdue dans un aménagement de salle de volume moyen. L'indice NRC « Noise Reduction Coefficient » des solutions Continuum estimé selon la norme américaine ASTM 423 est égal à :

$$\text{NRC} = 0,85$$

5 Applications en usage

5.1 Temps de réverbération

Le temps de réverbération (TR) est le principal critère de caractérisation d'un espace clos. Il est directement lié aux performances d'absorption des parois. Des formulations simples (Sabine) peuvent être utilisées pour corréler les performances d'un traitement à un TR prévisionnel. Il n'y a pas d'objectif universel reconnu mais des recommandations relevant plus de l'empirisme selon la vocation des locaux. Ces règles « métier » restent toutefois à définir dans le domaine des locaux industriels.

L'exemple suivant d'une salle traitée avec des solutions Continuum permet de constater l'étendue de la correction obtenue dans un espace clos de 63 m³ de type salle de réunion.

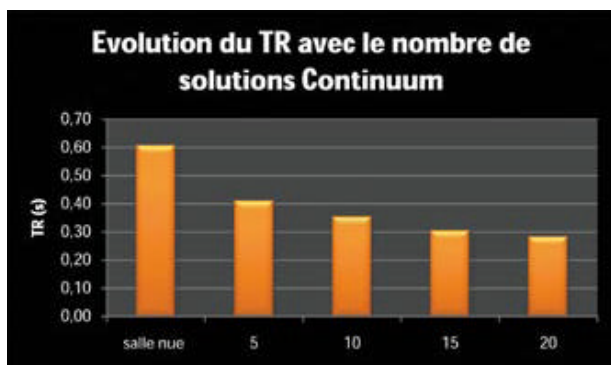


Figure 4 : évolution du temps de réverbération avec le nombre de solutions Continuum

Il faut toutefois se garder de tout miser sur cette valeur globale et de rechercher par exemple la valeur la plus petite comme objectif prioritaire.

D'une manière générale, un bon équilibre du son passe par une répartition harmonieuse de la réponse spectrale du local. Il sera obtenu avec des correcteurs à large étendue spectrale comme le font des solutions Continuum, avec leur bande passante très large.

Un exemple de correction est représenté sur la figure (5)

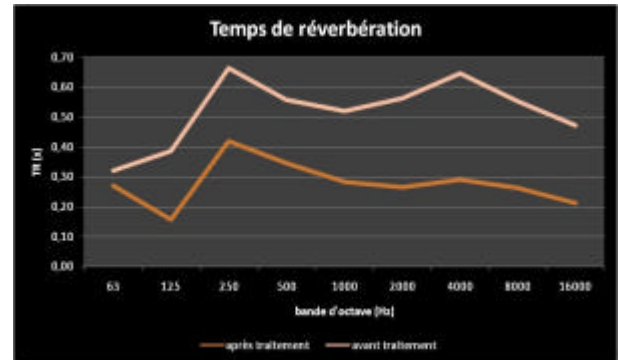


Figure 5 : Correction du temps de réverbération en fonction de la fréquence

5.2 Indice de Clarté

L'indice de Clarté C50 (parole) ou C80 (musique) qui rappelons-le est le rapport de l'énergie sonore précoce (perçue dans les 50 ou 80 premières millisecondes du signal sonore) à l'énergie tardive perçue après (réverbération) est de plus en plus utilisé pour caractériser les qualités sonores d'un local. Compte tenu de la vocation de la salle, de la variété des signatures spectrales des signaux (parole, musique...), des géométries des espaces clos et du point de mesure il n'est pas possible là encore de définir une valeur universelle optimum, mais nous donnons à titre d'exemple les variations possibles de cet indice dans notre local de 63 m³ avec une surface traitée de 14m² (25% de la surface des murs)

	avant traitement	après traitement
temps de réverbération	0.59	0.30
indice de clarté C50 en dB (parole)	4.9	10.3
indice de clarté C80 en dB(musique)	8.9	17

5.3 Ondes stationnaires

Les lois de propagation en espace clos font ressortir des phénomènes d'onde stationnaire qui vont répartir l'énergie acoustique préférentiellement selon des modes spatiaux bien déterminés. Les fréquences associées aux premiers modes axiaux et transversaux sont généralement très basses et n'ont que peu d'incidence sur des mesures de pression acoustique exprimées en dBA, toutefois leur incidence sur la perception sonore surtout dans le domaine de la reproduction musicale peut être cruciale. Compte tenu du succès des systèmes audio multi-canaux, il devient de plus en plus important de rechercher une acoustique limitant les points de focalisation et les inhomogénéités spatiales pour un meilleur confort d'écoute dans une zone qui ne se limite plus à un seul fauteuil (smart point). En créant une impédance réactive sur les cloisons équipées de solutions Continuum, les ondes stationnaires s'établissant dans le

local ont une amplitude beaucoup moindre et la restitution du message sonore est plus homogène.

A notre connaissance il n'y a pas actuellement de facteur normatif caractérisant ce phénomène car il est relativement laborieux de le mesurer. A titre d'exemple nous avons identifié les premiers modes dans notre salle test par une technique de sinus balayé et nous avons mesuré en un point les amplitudes maximales de ces modes avec et sans. Une réduction de 2 dB en moyenne sur les premiers modes identifiables a été obtenue. Des tests subjectifs réalisés dans des espaces d'audiophiles avec des enceintes acoustiques très haut de gamme ont confirmé que les gains obtenus étaient perceptibles pour les hommes de l'art.



4 Conclusion

Les solutions Continuum trouvent leurs applications dans tous les espaces clos où il y a besoin d'effectuer une correction d'ambiance acoustique, non seulement sur les niveaux mais aussi sur l'équilibre spectral et la perception sonore. C'est la plupart du temps le cas dans les situations de la vie courante, aussi bien dans le domaine des espaces professionnels que dans celui des espaces privés. Ce sont des lieux de vie qui vont introduire forcément une dimension humaine importante, dans la mesure où des notions de gêne, de confort et de qualité d'écoute vont rentrer en jeu.

Il est évident que les exigences d'une salle de réunion seront différentes d'une salle dédiée à l'écoute HiFi ou de celles d'un atelier ou d'un centre d'appels téléphoniques. Il y a donc quantité d'environnements différents pour lesquels les aspirations subjectives des individus doivent être prises en compte pour guider architectes, designers, acousticiens et autres personnes concernées dans leurs préconisations.

Les solutions Continuum permettent de répondre au mieux à ces nouvelles exigences sans pour autant perdre les qualités premières demandées à des absorbants classiques.

Remerciements

Nous tenons à remercier la société Paradigme-design pour leur collaboration et leurs conseils judicieux tout au long de la genèse de ce produit.

Références

- [1] Acoustique des salles et sonorisation. J. Jouhaneau. Collection acoustique appliquée. Lavoisier Tec&DOC 1997. France.
- [2] La conception acoustique de salles destinées à la communication orale. J.S. Bradley. Institut de Recherche en Construction. 2002. Canada.
- [3] Problèmes d'acoustique des salles et des studios. R. Lamoral. Collection technique et scientifique du CNET. France.