

Acoustique active et acoustique passive : approches complémentaires ou opposées ?

Marc Asselineau

Peutz & Associés

10 B, rue des messageries

75010 Paris

E-mail : m.asselineau@peutz.fr

Résumé

Certains architectes sont souvent tentés de soigner l'apparence de leur bâtiment ou de leur salle de spectacles, quitte à ce que la qualité acoustique du lieu soit impactée. A cet égard, l'acoustique active peut apparaître comme une solution-miracle permettant toutes les adaptations de volumétrie. De plus, elle laisse envisager une utilisation de la salle pour tous types d'usage, pouvant aller de la musique au théâtre et peut-être même au sport ! Mais, dans la pratique, qu'en est-il réellement, et quels sont les avantages et inconvénients par rapport à des approches plus conventionnelles, comme les dispositifs scéniques mobiles ? À travers quelques exemples de projets, le présent article se propose d'aborder ces points.

Pouvoir utiliser une salle pour tous types d'usage, pouvant aller de la musique au théâtre et peut-être même au sport, est un rêve pour bien des maîtres d'ouvrage, qui pensent ainsi limiter leurs dépenses d'investissement. C'est parfois aussi un cauchemar pour la maîtrise d'œuvre en général et l'acousticien en particulier, qui doivent composer avec les demandes parfois opposées de ces diverses utilisations [1], en particulier : absence de réflexions latérales et durée de réverbération limitées pour le théâtre mais fortes réflexions latérales et durée de réverbération plus élevée pour la musique instrumentale !

La nécessaire modularité d'un tel espace multi-usages conduit rapidement à des dispositifs mobiles comme un cadre de scène mobile, un plafond à hauteur variable (haut en configuration concert, bas en configuration théâtre), des parois dotées de revêtements pouvant être réfléchissants (concert) ou absorbants (théâtre) selon les besoins, voire une scène mobile et de gradins rétractables amovibles. Un exemple extrême de telles dispositions est constituée par la salle «Espace de Projection» de l'IRAM à Paris, qui a été construite à des fins de recherche et possède une durée de réverbération pouvant aller de 1,5 s à 2,5 s. De tels dispositifs sont toutefois coûteux, non seulement en termes d'investissements et de maintenance mais aussi en termes de personnel nécessaire. Du reste, on constate bien souvent que les salles dotées de tels dispositifs ne les utilisent que modérément du fait des contraintes, en particulier de main d'œuvre, nécessaires à leur fonctionnement. Enfin, bien sûr, de tels dispositifs ne sont réellement envisageables que dans le cadre de constructions neuves.

À cet égard, la recherche d'une solution permettant de s'affranchir de la plupart des dispositifs mobiles apparaît vite souhaitable. Dans ce cadre, le recours à une simula-

tion des réflexions acoustiques sur les parois et le plafond en utilisant des haut-parleurs judicieusement localisés et pilotés de manière à restituer ce que serait une véritable réflexion acoustique apparaît séduisant.

Bref historique

Généralités

Initialement, le public se contentait des lieux de spectacles qui se trouvaient à sa portée. Mais l'avènement des moyens audio-visuels, permettant bien souvent de bénéficier chez soi, voire en voiture, d'excellentes conditions d'écoute, a rendu le public bien plus exigeant quant à la qualité acoustique des lieux de spectacle.

À l'origine, l'utilisation de moyens électro-acoustiques ne visait qu'à améliorer le rapport signal sur bruit dans la salle. Graduellement, l'idée d'un système d'acoustique variable visant à simuler des réflexions acoustiques, voire à augmenter la durée de réverbération, a émergé. Dans le premier cas, il s'agissait simplement d'introduire un renvoi d'énergie acoustique en positionnant judicieusement un haut-parleur, dans le second cas, il s'agissait d'augmenter l'énergie réverbérée en jouant sur le gain du système électro-acoustique.

Historique

À la fin des années 1950, la société Philips a introduit le système **MCR (Multi Channel Reverberation)**, comportant 50 à 100 canaux indépendants. Puis est apparu un système dénommé **ASR (Assisted Resonance)**, dans lequel les canaux étaient accordés pour réduire les interactions entre canaux, l'augmentation de la réverbération ne se faisant que sur les modes dominants.

Le nombre de canaux nécessaires augmentait avec le volume de la salle à traiter, et ces systèmes étaient rapidement très coûteux. De plus, la boucle de retour acoustique limitait la valeur du niveau de pression acoustique produit. Enfin, la qualité du signal dépendait très fortement de celle de la salle, et il était illusoire de vouloir traiter une salle de mauvaise qualité.

Le système **ACS (Acoustic Control System)** comportait de nombreux microphones situés à proximité de la scène (entre 12 et 48 microphones), et une matrice de délais dont les valeurs étaient calculées par rapport à des sources images telles qu'elles existeraient dans une salle idéale. Ce système comportait évidemment des haut-parleurs directifs pour simuler les réflexions acoustiques. Il présentait toutefois une forte contrainte, car nécessitant une localisation très précise des microphones, et un environnement quasi-anéchoïque. Ce système avait le mérite de permettre la simulation du premier front d'ondes de la salle idéale, mais était donc d'une grande complexité.

En 1970 apparut le système **ERES (Electronic Reflected Energy System)**, qui comportait un petit nombre de microphones proches de la scène, souvent intégrés dans la conque, qui étaient chacun connectés à un générateur numérique de délais à sorties multiples, la première sortie permettant de générer l'énergie précoce qui était diffusée en proscenium, les sorties suivantes étant diffusées en plafond de la salle. Ce système ne produit pas d'énergie réverbérée, mais permet de simuler efficacement l'effet de réflecteurs de plafond.

Le système **SIAP (System for Improved Acoustic Performance)** comportant un petit nombre de microphones très directifs permet de simuler des réflexions.

Le système **VRAS (Variable Room Acoustics System)** permet pour sa part de simuler des réflexions mais aussi d'ajouter de l'énergie réverbérée. Il comporte typiquement 16 canaux et au moins 16 canaux.

Le système **AFC (Active Field Control)** développé par Yamaha comporte 4 ou 8 microphones connectés à des haut-parleurs dédiés. Les microphones sont sélectivement connectés de manière à réduire l'intercorrélation entre canaux, et donc la stabilité du système.

Le système **LARES (Lexicon Acoustic Reinforcement and Enhancement System)**, apparu au début des années 1990, comporte un traitement du signal pour compenser la coloration. La décorrélation entre canaux s'effectue en temps réel. Il ne comporte que 2 à 4 microphones, et ne nécessite plus de haut-parleurs dédiés pour l'énergie précoce et l'énergie tardive.

Le système **CARMEN (Contrôle Actif de la Réverbération par Mur virtuel à Effet Naturel)** développé par le CSTB fait appel à des cellules électro-acoustiques (généralement entre 16 et 40) composées d'un microphone, d'un filtre électronique, d'un amplificateur et d'un haut-parleur, qui ne communiquent entre elles que par voie acoustique. En fonction du problème acoustique posé, ces cellules sont placées sur le plafond et les parois, et forment une enveloppe virtuelle [3].

Le système **Constellation** développé par Meyer Sound est basé sur la technologie issue du système VRAS : les réflexions précoces sont générées à partir d'ondes acoustiques captées sur scène et rediffusées de manière très directive, tandis que la réverbération est obtenue à partir d'une combinaison entre une chambre réverbérante numérique et une structure régénérative acoustique. L'idée était, selon les concepteurs du système [4], d'incorporer et de s'appuyer sur l'acoustique naturelle de la salle plutôt que de chercher à l'écraser avec une simple réverbération artificielle.

Quelques spécificités

Diverses philosophies de systèmes

Trois familles de systèmes d'acoustique assistée co-existent.

Les systèmes en ligne, également dénommés «**systèmes non régénératifs**», sont capables de produire des effets acoustiques importants. Les techniques numériques de traitement du signal actuelles permettent de traiter de manière précise chaque canal pour les réflexions précoces et pour les réflexions tardives. En particulier, il est possible de générer des durées de réverbération importantes. La maîtrise indépendante de la durée et du niveau de la réverbération est une caractéristique particulièrement séduisante, qui explique pourquoi beaucoup de systèmes sont basés sur ce principe [2]. Néanmoins, les systèmes en ligne peuvent induire de nombreuses limitations acoustiques, souvent sévères, et ce plus particulièrement dans des salles réverbérantes dès le départ, qui donnent lieu à des sons artificiellement colorés ou à des images sonores décalées. Au nombre de ces systèmes, équipés de réverbérateurs électroniques, figurent le LARES (notamment installé au Berlin Staatsoper) et le SIAP (notamment installé au Royal National Theatre de Londres).

A contrario, l'effet des systèmes à boucle de retour, également appelés «**systèmes régénératifs**», semble moins sensible car ils influencent essentiellement l'énergie réverbérée tardive, comme si l'absorption acoustique de la salle avait été partiellement réduite ; toutefois les sons réverbérés produits par ces systèmes apparaissent naturels. Au nombre de ces systèmes, on compte CARMEN du CSTB, et VRAS (ce dernier avec réverbérateur électronique).

Quelques contraintes liées aux systèmes électro-acoustiques

Les systèmes électro-acoustiques permettent de rajouter de l'énergie acoustique ; en revanche ils ne permettent pas d'en enlever. Cette lapalissade a tout de même quelques conséquences : si la salle à traiter est déjà trop sonore, un système électro-acoustique n'apportera rien. D'autre part, si cette salle est soumise à une intrusion de bruit extérieur (par exemple du fait d'une mauvaise isolation de son enveloppe, le système électro-acoustique ne fera qu'amplifier le problème). Les systèmes électro-acoustiques permettent d'améliorer une salle, pas d'en corriger de sérieux défauts comme un bruit de fond trop élevé ou un écho [2]. Le fait d'ajouter de l'énergie conduit inévitablement à la création d'artefacts acoustiques. La qualité des composants de la chaîne électro-acousti-

que joue un rôle crucial dans la qualité finale du système. De plus, certains systèmes (IACS et SIAP) utilisent des composants spécifiques associés à un système central. Les utilisateurs s'accordent à dire que le succès n'est au rendez-vous que si la salle a déjà une bonne qualité acoustique naturelle, sans défaut majeur, et que si les composants de la chaîne électro-acoustique sont de bonne qualité. Dernier point, et non des moindres, il faut que les besoins des utilisateurs aient été pris en compte.

Quelques contraintes liées aux systèmes classiques

À première vue, un dispositif d'acoustique variable traditionnel, faisant appel à des parois mobiles ou à un changement d'aspect de matériau, peut apparaître plus rassurant aux yeux d'un Maître d'Ouvrage, dans la mesure où son entretien peut souvent se réaliser par les services techniques qui sont à demeure, et présente rarement des spécificités contraignantes en termes de choix d'entreprise.

Cependant, le fonctionnement de tels dispositifs nécessite un peu de main d'œuvre pour leur fonctionnement : même un simple rideau nécessite une personne pour sa manipulation. Lorsqu'il s'agit de dispositifs beaucoup plus lourds, tels que parois mobiles ou plafond mobile, il n'est pas rare que la main d'œuvre limitée ne permette pas de les utiliser, surtout en l'absence de motorisation.

En outre, les impératifs de sécurité peuvent conduire à des remises en cause de certains dispositifs : par exemple, les rideaux font l'objet d'un traitement anti-incendie et doivent donc régulièrement être changés.

Dernier point, l'utilisation de ces dispositifs ne se faisant pas par la simple pression d'un bouton, il peut arriver que les techniciens en viennent à oublier la raison de la présence de ces dispositifs. Par exemple, lors d'une analyse de salle existante [5], questionné sur l'usage des parois mobiles d'avant-scène d'une salle multi-usages de 1 800 places, le technicien avait répondu que ces parois étaient toujours ramenées en arrière afin de pouvoir commodément ranger le piano !

Quelques exemples

De nombreuses salles ont aujourd'hui recours à des dispositifs d'acoustique variable afin de pouvoir satisfaire une palette de spectacles pouvant nécessiter des conditions acoustiques parfois éloignées. Les sous-chapitres ci-après illustrent quelques opérations dans lesquelles de tels dispositifs, souvent électro-acoustiques, ont été mis en œuvre...

L'auditorium Maurice Ravel à Lyon (69)

L'auditorium Maurice Ravel est une salle de concert emblématique de Lyon. Il fut construit dans les années 1970 dans le nouveau quartier de La Part Dieu. Cette salle souffrait de plusieurs défauts sérieux : tout d'abord, le volume était trop faible pour une salle à usage de concert symphonique, ce qui conduisait à une durée de réverbération assez courte de 1,5 s. Ensuite, la forme concave de la paroi arrière générait de forts échos dans la salle et la géométrie générale de la salle conduisait à une pauvreté des réflexions latérales ainsi qu'à une faiblesse des réflexions sur le plafond. Enfin, l'acoustique sur scène était mauvaise, à telle enseigne qu'il était difficile de s'y comprendre !

Un important projet de réhabilitation mené dans cette salle de 1993 à 2002 avec Peutz & Associés en tant qu'acousticien maître d'œuvre et le CSTB en tant qu'acousticien assistant maître d'ouvrage, a eu pour but de maîtriser l'écho sur la paroi arrière, tout en augmentant la durée de réverbération, et d'une manière générale d'améliorer l'acoustique dans la salle et sur scène.

Du fait du volume fixe de la salle, un système électro-acoustique a été choisi, le choix se portant sur le système MCR de Philips. À l'issue des diverses interventions réalisées, la durée de réverbération de la salle a été portée à 1,9 s en acoustique naturelle, et à 2,3 s en utilisant le système électro-acoustique et des réflexions latérales ont été ajoutées pour une meilleure sensation d'enveloppement.

La Salle des Princes du Forum Grimaldi à Monaco

Le Forum Grimaldi à Monaco (architecte : Cabinet Genin et Notari, acousticien : CSTB) a été inauguré en 2000. Ce bâtiment est à usage de congrès et de spectacles, et ses promoteurs ont voulu dès le départ lui conférer une grande flexibilité d'usage. Il comporte notamment trois salles de respectivement 1 900, 800 et 400 places.

L'exploitant avait d'abord envisagé un réglage de l'acoustique naturelle de la Salle des Princes à des fins d'opéra, en faisant appel à des dispositifs mobiles pour apporter de l'absorption en utilisation de congrès, et en recourant à un dispositif d'acoustique assistée pour les concerts symphoniques. Toutefois, le cumul de la solution passive et du système électro-acoustique rendait cette approche très onéreuse [6]. Aussi a-t-il été décidé de prévoir une acoustique naturelle de salle pour un usage de congrès (avec une durée de réverbération de 1,2 s) et de faire appel au système CARMEN pour un usage d'opéra (avec une durée de réverbération atteignant 1,6 s) ou de musique symphonique (avec une durée de réverbération atteignant 2,0 s).

Le système CARMEN qui a été mis en œuvre fait appel à des cellules qui sont intégrées dans la décoration. Il offre aux exploitants six configurations : opéra, théâtre, musique de chambre et concerto, symphonie classique, symphonie romantique et oratorio, conférences et congrès.



Fig. 1 : La Salle des Princes du Forum Grimaldi (cliché Forum Grimaldi)

La Grande Salle du Vendespace de la Roche sur Yon (85)

Cette salle fait partie d'un ensemble actuellement en cours de construction à La Roche sur Yon, comportant des locaux de sport et de spectacle. Compte tenu de la large palette d'événement susceptibles de se dérouler dans la grande salle, pouvant aller de la compétition sportive au concert symphonique en passant par l'opéra et les concerts de variétés, les concepteurs (architecte : Atelier Chemetov, scénographe : ACORA, et acousticien : Peutz & Associés) ont cherché à réduire la durée de réverbération de la salle au moyen d'un traitement absorbant, et opté pour un système électro-acoustique visant d'une part, à améliorer l'intelligibilité des messages de parole provenant, par exemple, d'un animateur sportif ou d'un acteur, et d'autre part, à créer des réflexions sonores provenant du plafond et des parois. Dans ce dernier cas, une difficulté provenait du fait que selon le type de spectacle, la configuration de la salle (et en particulier la disposition de l'espace scénique vis-à-vis de l'audience) était différente. Il a donc été nécessaire de recréer des parois virtuelles autour de l'audience, mais aussi des musiciens.



Fig. 2 : Image de synthèse de la Grande Salle du Vendespace en configuration «sports» (document Conseil Général de Vendée)

Après une consultation au cours de laquelle différents fournisseurs ont été invités à proposer une réponse technique (incluant l'assistance sur site !) et financière, le choix s'est porté sur le système Constellation de la société Meyer Acoustics [4].

La Tonhalle de Düsseldorf (Allemagne)

Le planétarium de Düsseldorf a été transformé en 1978 en salle de concert symphonique, car présentant un grand volume et situé à l'emplacement d'une ancienne salle de concert.

Cependant, la géométrie de cette salle hémisphérique donnait lieu à des échos catastrophiques. A l'occasion d'une importante opération de rénovation portant notamment sur le désamiantage des structures, menée dans cette salle avec Peutz & Associés, acousticien maître d'œuvre, des traitements absorbants ont été appliqués sur l'enveloppe pour éliminer ces échos, et un système électro-acoustique destiné à optimiser la valeur de la durée de réverbération dans la salle en fonction de son occupation, tout en ajoutant des réflexions latérales pour une meilleure sensation d'enveloppement, a été mis en œuvre [7].

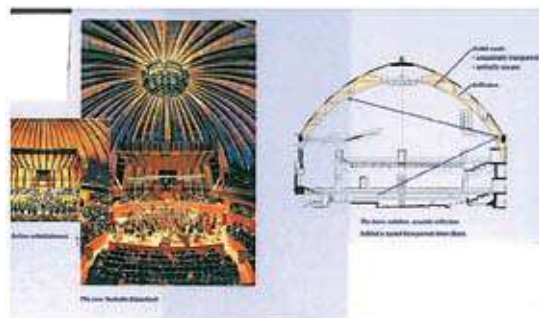


Fig. 3 : La Tonhalle de Düsseldorf (document Peutz)

L'Espace de Projection de l'IRCAM à Paris

L'Espace de Projection de l'IRCAM est une salle expérimentale, qui ne comporte pas de dispositif d'acoustique assistée. En revanche, il est doté de parois et de plafonds comportant des éléments prismatiques d'aspect variable. À ce titre, une brève description mérite de figurer ici comme comparaison par rapport à des équipements dont la variabilité ne repose que sur des dispositifs électro-acoustiques.

L'objet de la construction de cette salle était de mettre à disposition de l'Institut de Recherche et de Coordination Acoustique Musique (IRCAM), un outil d'expérimentation utilisable par les musiciens et le public, permettant notamment d'y faire varier la durée de réverbération et les réflexions sur l'enveloppe de la salle.

Cette salle, dont l'acousticien maître d'œuvre était Peutz & Associés, est dotée d'un plafond en trois parties, chacune à hauteur variable entre 1,5 m et 10,5 m. Des rideaux métalliques permettent de fermer le plenum de plafond et donc de réduire le volume de salle. Il s'agit donc d'un système scénique complexe, nécessitant des contrepoids et de nombreuses sécurités.

Les parois et les plafonds sont composés d'éléments prismatiques qui peuvent présenter un aspect réfléchissant, absorbant, ou diffusant, et être sélectionnés individuellement. La maîtrise de cette sélection, qui s'effectuait manuellement lors de la mise en service de l'installation, est là encore complexe pour l'utilisateur.

La durée de réverbération dans la salle peut varier entre 1,1 s et 4,0 s en fonction des configurations choisies.

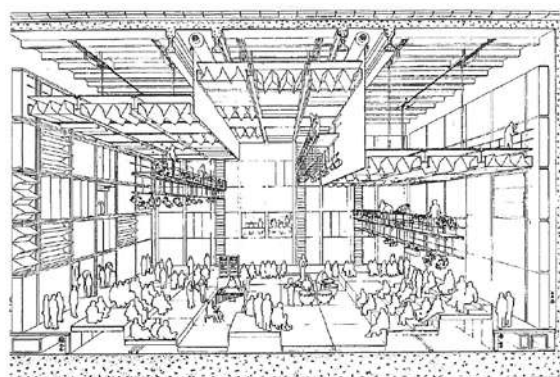


Fig. 4 : Axonométrie de l'Espace de Projection de l'IRCAM (document RPBW)

Conclusion

Les **systèmes d'acoustique variable** peuvent apporter à l'utilisateur et à l'exploitant des salles équipées une plus grande flexibilité dans les utilisations possibles de ces salles.

Toutefois, il est indispensable que les besoins des utilisateurs et des exploitants concernés aient bien été identifiés et pris en compte dès le départ du projet.

Les **systèmes passifs** peuvent apparaître séduisants, dans la mesure où leur technologie semble accessible aux utilisateurs et aux maîtres d'ouvrages. De plus, il n'est pas rare qu'ils permettent de corriger certains défauts de la salle considérée (par exemple au moyen d'un traitement absorbant ou diffusant de certains éléments d'enveloppe pour se prémunir contre des échos). Il n'est pas compliqué de laisser l'utilisateur décider lui-même du réglage des éléments, qui est purement mécanique. En revanche, dès qu'ils doivent être mobiles, ces dispositifs deviennent lourds et nécessitent non seulement un entretien mais aussi une main d'œuvre qualifiée pour leur utilisation. Ce dernier point conduit souvent à leur abandon.

Les **systèmes électro-acoustiques** ne permettent pas de corriger les défauts inhérents à une salle, comme des échos ou un bruit de fond trop élevé. En revanche, ils constituent souvent une réponse séduisante à une demande de flexibilité dans la mesure où ils ne nécessitent qu'un entretien réduit (mais par un personnel hautement qualifié). L'expérience montrant qu'il est illusoire de vouloir laisser l'utilisateur accéder à tous les réglages, il est indispensable d'avoir défini à demeure certaines configurations, qui peuvent être rappelées en fonction des besoins.

Il convient aussi d'insister sur le fait que ces dispositifs ne constituent pas une panacée : si la salle a été mal conçue à la base, ce ne sont pas des dispositifs d'acoustique variable passifs ou actifs qui permettront de sauver la situation. En particulier, un système actif ne permettra pas de compenser la présence d'échos ou un bruit de fond trop élevé. En revanche, la conjonction de certains traitements passifs et d'un dispositif actif peut souvent améliorer la situation.

Jusqu'à-là réservés à des salles anciennes manquant de volume [8], les dispositifs actifs commencent à investir les salles neuves dès leur conception afin d'en élargir la palette d'utilisations, et n'ont sans doute pas fini de nous étonner!

Références bibliographiques

- [1] Asselineau M., «Du ballet au banquet en baskets», ICA 1995, 361-364 (1995).
- [2] Barbar S., «Acoustic enhancement», Sound and Video Contractor magazine, April 2005.
- [3] Schmich I., Vian J.P., «CARMEN : a physical approach for room acoustic enhancement system», 7th CFA-DAGA, Strasbourg (2004).
- [4] Meyer J., «Meyer Sound Constellation», Brochure descriptive, (2009).
- [5] Migneron J.G., Asselineau M., «Salle Louis Fréchette du Grand Théâtre de Québec», ICA86, 2852-2861 (1986).
- [6] Heros M., «CARMEN au Grimaldi Forum», la lettre de la consultance CSTB, (juin 2001).
- [7] Peutz & Associés, «Theatres and concert halls – acoustics by Peutz», 39, ISBN 978-90-811189-1-0.
- [8] Vian J.P., «La réhabilitation des salles de concert par les systèmes actifs», 27ème colloque CSTB/CFI, Paris (1994)