

Electro-Acousticien ?... une nouvelle façon de voir l'acoustique

Pascal Luquet,
Bien Entendu,
34, rue Etienne Marey,
75020 Paris,
Tél. : (33) 01 40 31 56 31,
Fax : (33) 01 40 31 56 32,
E-mail : BienEntend@aol.com,
<http://members.aol.com/BienEntend>

Avec le développement de microprocesseurs, de nouveaux circuits électroniques et de processeurs de signaux toujours plus performants, le monde de la sonorisation est depuis quelques années en constante évolution.

Ces nouvelles technologies offrent de nouvelles armes à l'ingénieur : des outils de simulation extrêmement fins pour ses études et de nouveaux appareils de traitement du signal pour améliorer l'intelligibilité des messages diffusés ou la musicalité d'un signal sonore.

Mais l'utilisation de ces nouveaux outils oblige l'acousticien à maîtriser une variété de nouveaux domaines s'il veut répondre à une demande croissante de qualité en matière de sonorisation.



L'électro-acoustique est par définition une science qui traite des traductions entre deux mondes : l'électronique et l'acoustique.

On le comprend bien, les domaines qui nécessitent la prise, le transport ou la restitution de sons sont extrêmement étendus. De la téléphonie à la haute fidélité, de la mesure de vibrations à la prise de son, de l'aide au malentendant à l'avertisseur sonore..., le champ d'interventions est infini. Nous aborderons ici le seul domaine de la sonorisation qui vit depuis quelques années une évolution remarquable, aussi bien grâce à la prise de conscience par les maîtres d'ouvrages de la nécessité d'une grande qualité sonore dans les lieux recevant du public, que par la disponibilité de nouvelles technologies.

Ainsi, les ingénieurs disposent désormais pour leurs études de nouveaux outils informatiques leur permettant de prédire les caractéristiques acoustiques des locaux et des systèmes de sonorisation qui y sont installés.

Ils peuvent par ailleurs, grâce à la vulgarisation des matériels de traitement et de gestion du signal, créer des systèmes aptes à accroître le confort et l'intelligibilité dans des salles qui étaient parfois même déclarées impropres à la diffusion de messages amplifiés.

L'électro-acoustique, au confluent des deux spécialités que sont l'électronique et l'acoustique, est généralement traitée par un acousticien qui maîtrise le volet le plus complexe de ce diptyque.

Celui-ci doit pourtant intégrer certains aspects particuliers de cette spécialité. L'électronique bien sûr et ses aspects pratiques connectique, lignes, réseaux... mais surtout la connaissance des règles psychoacoustiques concernant la perception musicale ou l'intelligibilité (selon la nature des signaux traités).

Enfin, contrairement aux travaux de correction ou d'isolation acoustique qui sont dans l'ensemble "passifs", la sonorisation est "active". L'acoustique fait appel à des matériaux qui une fois posés ne varieront que peu de caractéristiques (dans leur limite temporelle de vieillissement). L'électro-acoustique quant à elle, utilise des

matériels qui sont alimentés, qu'il faut mettre en route et qui nécessitent des réglages... qui peuvent donc être déréglés. Le facteur humain de la gestion de l'installation est donc aussi une des spécificités majeures à prendre en compte.

Cet ensemble de contraintes et de compétences a déterminé un nouveau métier : celui d'Electro-Acousticien.

Une nouvelle demande

L'avènement de l'ère numérique" et l'accroissement général de la qualité audio des appareils grand-public ont certainement été les révélateurs d'un changement de mentalité en ce qui concerne la diffusion sonore dans les lieux publics.

La nécessité d'un renouveau de qualité de ce secteur a été telle, que sa dénomination commune de "Public Address" qui était entachée d'une image on ne peut plus péjorative y a gagné noblesse et francisation en devenant "Sonorisation".

Les architectes et les maîtres d'ouvrages ont ainsi compris l'importance de cette sonorisation qu'ils avaient longtemps négligée et traitée comme un mal nécessaire. Les jeunes architectes notamment, grâce à une meilleure formation et aux nouvelles obligations légales en matière de bruit, sont plus sensibles à l'aspect sonore des lieux qu'ils bâtissent.

Il est désormais acquis que l'environnement sonore en général participe fortement à l'appréciation et à l'image" d'un espace architectural. Tout projet architectural devrait donc désormais prendre en compte le confort acoustique au même titre que l'aspect visuel ou l'éclairage.

En particulier, la qualité de la sonorisation et son intelligibilité agissent de façon prépondérante dans la valorisation d'un espace. La démonstration inverse est d'ailleurs plus évidente : une mauvaise sonorisation est porteuse d'inconfort, de gêne et même d'angoisse lorsqu'un message n'est pas compris. Au final elle devient le vecteur d'une image négative et dévalorisante de l'organisme la diffusant.

Enfin, la bonne qualité des sonorisations devient très fréquemment une obligation pour les maîtres d'œuvres, celle-ci étant de plus en plus souvent utilisée de façon majeure en matière de sécurité. La diffusion de messages intelligibles dans des conditions "extrêmes" de fonctionnement d'un bâtiment devient alors une obligation contractuelle et surtout une nécessité vitale.

Malgré tout, si l'accroissement de la demande de qualité est manifeste lors de la conception de nouveaux locaux, elle n'est pourtant pas encore généralisée lors de la rénovation de systèmes.

Ainsi, alors que des études marketing ont montré que la nuisance sonore engendrée par une sonorisation mal réglée était une composante forte de la saturation émotionnelle du client, peu de représentants du secteur de la grande distribution par exemple, ont cherché à accroître le confort acoustique dans les supers ou hypermarchés.

Les expériences vécues dans certains magasins, de radios FM mal réglées ou de promotions diffusées à un niveau trop élevé et entachées de fortes distorsions, prouvent que les responsables des sonorisations ne sont pas toujours capables d'apprécier la qualité de leur propre système.

Cela se vérifie aussi pour des installations beaucoup plus importantes où les responsables restent longtemps sourds à toute possibilité d'amélioration. Si les nouvelles générations sont beaucoup plus sensibles à une mauvaise qualité d'écoute, elles sont aussi beaucoup moins rebutées par l'éventualité d'utiliser de nouvelles technologies qui modifient profondément les habitudes passées et nécessitent une formation spécialisée.

Une nouvelle offre

En matière d'acoustique, les progrès et innovations sont relativement lents. Les matériaux réellement nouveaux sont en fait assez rares et reposent tous sur des techniques éprouvées : résonateurs, panneaux réfléchissants, fibres, mousses...

Dans le domaine littéralement électroacoustique, donc des conversions acoustique/électrique des signaux, le transducteur électromagnétique est quasi généralisé et les méthodes employées sont, elles aussi, peu novatrices.

On assiste principalement depuis quelques années au perfectionnement de certaines méthodes ou de quelques composantes de ces transducteurs. Ainsi l'adoption de matériaux modernes tels que fibres de verre ou de carbone ont permis d'améliorer leur fiabilité et (quelquefois) leur qualité. L'utilisation de nouveaux circuits magnétiques, d'aimants plus performants ou de fils plats dans les moteurs de haut-parleurs ont permis d'améliorer leur rendement et de diminuer leur distorsion.

Enfin, la prise de conscience de l'importance de la directivité des enceintes acoustiques a poussé les constructeurs à proposer un panel de produits aux caractéristiques directionnelles spécifiques, en utilisant et perfectionnant (principalement) deux principes traditionnels : les pavillons et les colonnes.

On peut ainsi trouver de plus en plus de pavillons à "directivité constante" offrant une directivité (plus) régulière en fonction de la fréquence, ou de colonnes (réseaux de trans-

ducteurs montés en ligne) utilisant des haut-parleurs de meilleure qualité que l'habituelle "colonne d'église" dont les caractéristiques de fidélité étaient souvent négligées.

Si l'évolution des technologies touchant à l'acoustique est relativement lente, il n'en est pas de même des domaines de l'électronique et de l'informatique qui voient chaque mois l'apparition de nouveaux appareils toujours plus puissants et imposent une veille technologique soutenue. La généralisation du traitement numérique de l'information audio et de critères de qualité minimum proches de ceux du Compact Disc (fréquence d'échantillonnage ≥ 44 kHz et résolution ≥ 16 Bits) s'est accélérée depuis quelques années. Le sonorisateur peut ainsi disposer, à un coût raisonnable, d'égaliseurs, de magnétophones, de processeurs psychoacoustiques ou de traitements de la dynamique travaillant dans le domaine numérique qui permettent d'améliorer la qualité des signaux sans y apporter de défauts majeurs (bruits, distorsion...). Notons que très souvent les matériels utilisés l'ont été originellement pour d'autres marchés et sont rapidement adaptés ou dérivés pour les besoins de la sonorisation : Broadcast pour les processeurs de voix, sonorisation de concerts pour les égaliseurs délais ou filtres, informatique pour les réseaux ou pour les enregistreurs numériques...

Cette généralisation de l'utilisation du numérique a une autre incidence sur la gestion des sonorisations. Etant par essence des outils informatiques, il devient aisé de télécommander ces appareils, de les contrôler et d'assurer un suivi de leurs réglages. On trouve ainsi de plus en plus fréquemment des interfaces de commande sur les appareils de traitement de signal (filtres, égaliseurs...). Certains constructeurs (américains pour la plupart) proposent même actuellement des options de commande et contrôle par réseau de leurs amplificateurs de puissance.

La "jeunesse" de cette nouvelle fonctionnalité pose le problème de la normalisation. Certains constructeurs utilisent des réseaux de type Ethernet à faibles coûts parce qu'utilisés dans le monde informatique, d'autres le RS 485 supportant mieux les contraintes de distance et au câblage simple, d'autres la fibre optique... Aussi bien en matière de type de câblage que de protocole de communication, les choix sont multiples et restent encore "propriétaires" de chaque marque.

Notons qu'en France par exemple, la SNCF a fait développer des enceintes (originellement pour le réseau TGV) qui possèdent une électronique embarquée commandée par un réseau de type RS 485. Il devient ainsi aisé, si on les raccorde à un logiciel adéquat, de raccorder la sonorisation à la GTC et d'être alerté en temps réel de toute défaillance, aussi bien que de modifier très ponctuellement certains paramètres (mise en service, volume, retard...) en fonction d'événements conjoncturels ou cycliques¹.

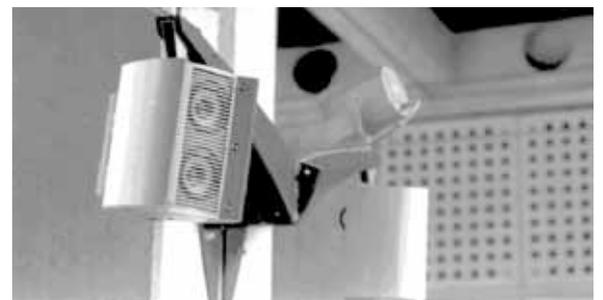


Photo 1 : HP TGV - Gare de Roissy

1. La ligne 100 V spécifique aux applications de sonorisation permet, par élévation de la tension de fonctionnement, de limiter les pertes en lignes dues aux câbles véhiculant la modulation entre amplificateur et enceintes acoustiques.

Elle a pour autre avantage de permettre un câblage simplifié par mise en parallèle de l'ensemble des haut-parleurs de l'installation, lesquels haut-parleurs peuvent être utilisés à des puissances différentes, de façon analogue au branchement d'ampoules sur un réseau secteur.

L'inconvénient de la technique réside dans l'utilisation de transformateurs, tant en sortie d'amplificateur que pour chaque haut-parleur, qui peuvent dégrader la qualité de la modulation diffusée.

A terme, lorsque les organismes de normalisation fixeront ces normes et que les coûts du transport de l'audio-numérique baisseront pour être plus accessibles à l'économie du marché de la sonorisation, on sait qu'audio et informations de contrôle transiteront par le même truchement (câble, fibre...). Pour l'heure, le sonorisateur doit encore attendre pour disposer de ces liaisons audio-numériques généralisées qui le libéreront des problèmes de pertes en ligne, dégradations de qualité et parasitage apportés par les câblages, aussi bien à bas niveau (avant amplification) que par les lignes HP dites 100 V.

Pour l'heure, le raccordement analogique des modulations audio reste généralisé et, bien que les constructeurs européens soient quelques fois en retard sur ce plan, les méthodes de connexion commencent enfin à être normalisées. Ainsi, la généralisation des fiches de type XLR assure une bien meilleure fiabilité aussi bien mécanique qu'électrique, le mode électrique de branchement "symétrique" de l'ensemble de la chaîne audio et l'adoption de niveaux de fonctionnement à 0, + 4 dB ou + 12 dB, permettent de s'affranchir en grande partie des parasites captés par les câbles.

Outre leurs gains évidents de qualités, ces modes de connexion permettent au concepteur de sonorisation de travailler avec l'assurance de ne pas dégrader les signaux en utilisant des matériels incompatibles et de bénéficier d'un panel de matériels extrêmement large puisque respectant des normes mondiales.

De nouveaux moyens de prévision

Lors de la phase "études", l'acousticien utilise le plus souvent des outils de modélisation qui vont lui permettre de simuler le comportement d'un local et donc de connaître ses caractéristiques acoustiques, qu'il soit construit ou non. Ces modélisations sont réalisées grâce à des logiciels dans lequel on aura entré les principaux paramètres dimensionnels de la salle ainsi que les valeurs d'absorption (coefficient alpha) des matériaux présents. Elles permettent, dans un premier temps de déterminer si les options de traitement acoustique prévues procurent un TR (temps de réverbération) raisonnable pour un système de sonorisation classique.

Dans un deuxième temps, on ajoute à ce modèle informatique les différents haut-parleurs. L'acousticien va alors pouvoir en jouant sur le nombre, le type, la localisation, l'orientation, l'égalisation ou le retard de chaque haut-parleur, vérifier la validité de son option de sonorisation.

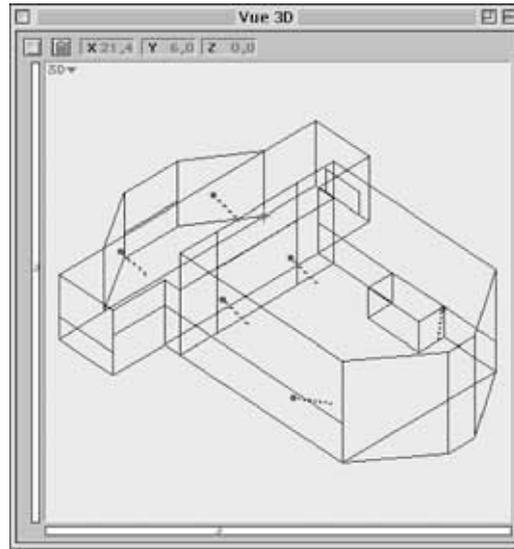


Fig. 1 : Modèle de salle • représentation filaire

On le voit, le logiciel ne propose aucune solution. Il n'est là que pour valider un système déterminé par l'expérience de l'acousticien. Ce dernier pourra aussi, si la mission l'y autorise, simuler les modifications de l'acoustique des locaux en modifiant soit les formes soit les types de matériaux visibles.

La solution sera finalisée quand l'association acoustique/électroacoustique aura permis d'atteindre un résultat satisfaisant et surtout par l'accord de l'architecte ou du maître d'ouvrage qui devra accepter ce qu'il considère souvent comme des "verrues" dans son projet architectural, à savoir des enceintes acoustiques.

Les critères retenus dans l'appréciation des qualités d'une sonorisation sont principalement de deux ordres : homogénéité de diffusion et intelligibilité (fig.2 page 8).

En matière d'homogénéité, la représentation graphique de la salle dans les logiciels permettent de visualiser une cartographie des niveaux de champ direct (ondes perçues directement de chaque haut-parleur de la salle), des premières réflexions ou du champ réverbéré. La visualisation des compositions de ces champs et surtout de leur variation permet de mettre en valeur la présence de zones d'ombre" ou au contraire de zones où le niveau serait trop fort pour l'utilisateur. Elles donnent de plus une première indication sur l'intelligibilité de l'ensemble de la zone d'écoute.

Ce calcul d'intelligibilité qui représente la phase terminale et décisive de l'étude est le plus souvent décrit par l'indice Rasti. Les logiciels en établissent soit des cartographies soit des résultats ponctuels².

2. Le Speech Transmission Index (STI) ou son dérivé le Rasti (Rapid STI) est l'indice le plus généralement employé et le plus reconnu qui permet de caractériser l'intelligibilité. Ses valeurs oscillent de 0 à 1, la valeur de 0,6 est usuellement prise pour référence d'une intelligibilité moyenne.

L'index est évalué à partir de la mesure (ou du calcul) de la fonction de transfert de modulation (MTF) qui analyse, pour les bandes correspondant au spectre de la parole, les dégradations apportées à une bande de bruit modulée en amplitude de façon similaire au débit de la parole.

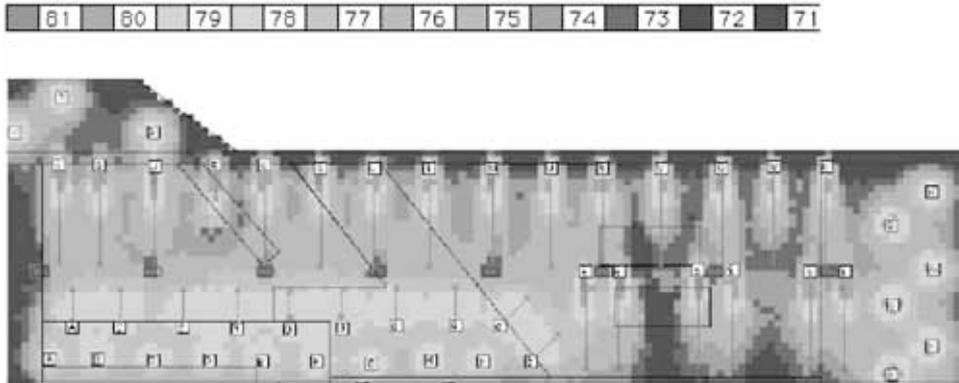


Fig. 2 : Cartographie de champ direct (1- 4 kHz)

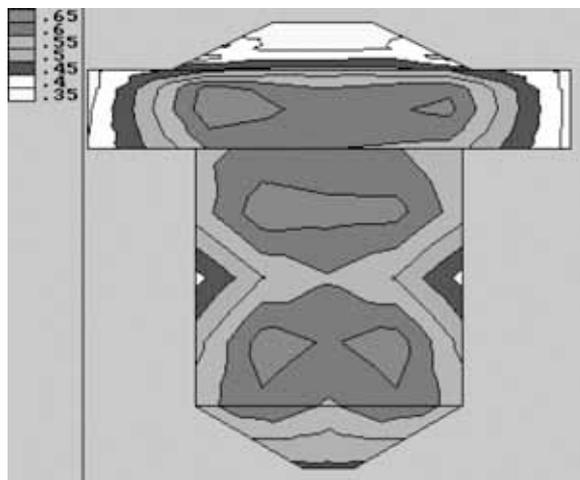


Fig. 3 : exemple de cartographie Rasti

Le principal avantage de cet indice réside dans le fait qu'il s'agit d'une mesure objective, c'est-à-dire qu'il peut être mesuré in situ. Il permet réellement de mettre en valeur les améliorations apportées à un système puisqu'il prend en compte l'ensemble des phénomènes perturbant l'intelligibilité à savoir, la courbe de réponse de l'installation, le bruit ambiant, les échos et la réverbération de la salle. Cette mesure est pourtant de plus en plus problématique à réaliser puisque les appareils de mesures autonomes de Rasti sont actuellement très rares en France.

Les logiciels employés peuvent fournir nombre d'informations complémentaires permettant d'aider l'ingénieur à trouver de meilleures solutions acoustiques/électroacoustiques : échogramme, réponse fréquentielle, clarté, point d'impact de chaque haut-parleur...

La quantité d'informations disponible est désormais extrêmement riche. La validité des estimations fournies par le logiciel est pourtant parfois sujette à caution.

La technique de lancer de rayon, par méthode rayons ou image (ou mixte) a permis d'affiner les mesures de décroissance temporelle par rapport aux seules estimations de l'acoustique statistique (Sabine, Eyring...) qui doivent se limiter aux hypothèses d'un champ homogène, de faibles variations dimensionnelles du local, et d'absorptions moyennes. Malheureusement, ces calculs et ceux qui en découlent (clartés, Rasti...) peuvent être entachés d'erreurs parfois très importantes. La raison première en est la mauvaise définition des paramètres : le coefficient d'absorption alpha d'un matériau n'est pas toujours connu précisément. Le fichier de description de rayonnement du haut-parleur retenu (décrivant ses caractéristiques spatiales et fréquentielles de directivité) n'est pas toujours disponible. La saisie d'une salle ne peut enfin tenir compte de la totalité des surfaces disponibles si l'on veut limiter les temps de calculs qui sont proportionnels (de façon géométrique ou arithmétique selon la technique image ou rayon) au nombre de surfaces élémentaires et surtout la durée de saisie des paramètres de la salle.

Viennent enfin les erreurs dues aux simplifications de calcul volontairement amenées par le logiciel. La quantité de calculs étant souvent phénoménale, le concepteur du logiciel a parfois par défaut limité le nombre de rayons tirés par une source, ou effectué un calcul en faisant des hypothèses simplificatrices. On observe ainsi parfois des logiciels traçant par exemple immédiatement une cartographie de Rasti, alors que la méthode nécessiterait en chaque point une analyse temporelle fine. De plus certains phénomènes acoustiques tels que modes propres ou couplage de salles ne sont actuellement pas pris en compte.

Chaque logiciel comporte donc des défauts (si ce n'est des bugs) et présente donc des résultats entachés

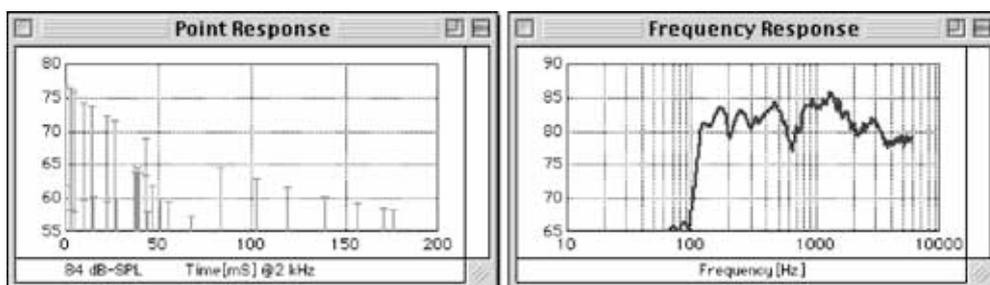


Fig. 4 : Réponse temporelle/Réponse Fréquentielle en un point.

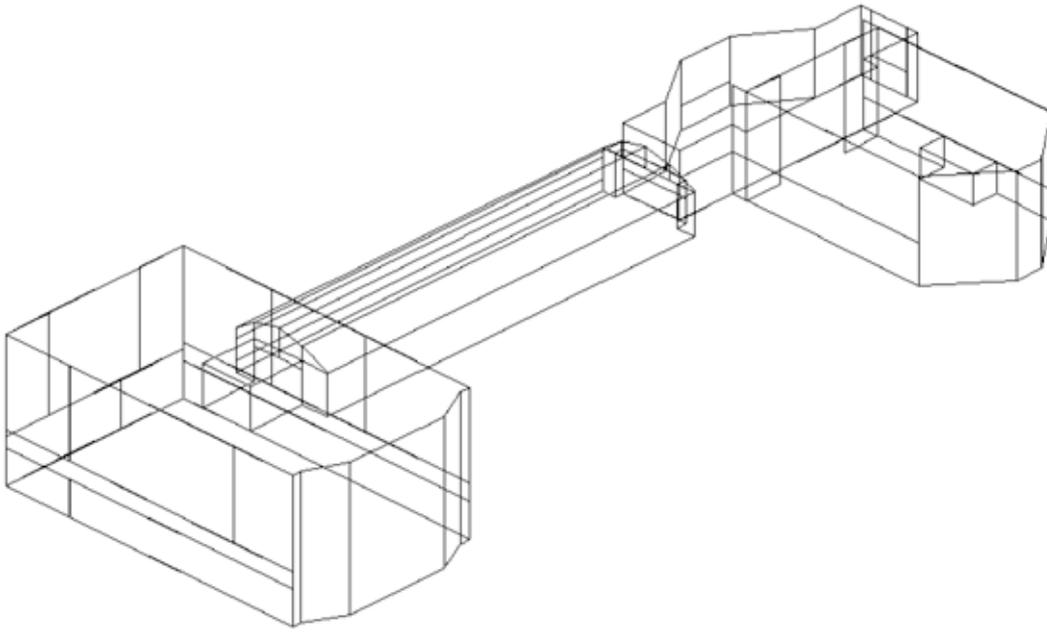


Fig. 5 : Modèle filaire : Gare de Mulhouse

d'erreurs. L'important pour l'ingénieur est de connaître et de quantifier ces erreurs afin de savoir pondérer le domaine de validité des résultats.

A l'extrême, les logiciels de ce type pourraient même faire dire absolument ce que l'on veut. Leur utilisation nécessite donc compétence, expérience... et honnêteté.

En tout état de cause, si certains clients s'étonnent de la complexité de ces calculs (et donc de leur coût), n'ayant connus jusqu'à présent que des formules toutes faites du type "1 haut-parleur pour X mètres carrés" qui ne peuvent s'appliquer que dans des cas simples où l'acoustique interne des locaux n'est que peu contraignante, certains maîtres d'ouvrages à l'inverse sont rassurés par la présentation de courbes, cartographies et visualisation en trois dimensions de projet que le simple bon sens pourrait parfois diriger.

Si l'outil informatique est perfectible dans sa précision, ses possibilités et surtout son interface de manipulation, son utilisation est actuellement indispensable pour simuler des espaces très complexes (nombre de haut-parleurs, temps de réverbération ou bruit importants). Il ouvre enfin surtout la porte à l'auralisation³, c'est-à-dire à l'écoute virtuelle d'une salle.

L'ingénieur peut désormais faire écouter les avantages ou inconvénients d'une hypothèse électroacoustique à des personnes qu'une courbe ou un indice laissaient de glace. Cette nouvelle méthode remet enfin à sa juste place le facteur essentiel de tous ces travaux, à savoir l'écoute.

De nouvelles méthodes

Lors de ces modélisations, on prend toujours comme hypothèse de base que la source de modulation est parfaite. Ce n'est évidemment pas le cas en pratique. L'apparition de nouveaux matériels de traitement du signal va ainsi désormais permettre de s'assurer de la meilleure qualité de la

source : compresseur (réducteur de dynamique), dé-esseur (réducteur de sifflantes), processeur d'harmoniques (permettant de modifier le taux d'harmonique et d'améliorer ainsi l'intelligibilité des messages), égaliseur fréquentiel.

Mais plus que l'amélioration des sources, la disponibilité de nouveaux processeurs modifie désormais les techniques de sonorisation.

Ainsi, l'insertion de processeurs anti-larsen peut apporter un gain de quelques décibels dans des installations de puissance qui étaient alors soumises à l'effet bien connu. Certains traitements DSP (Digital Signal Processing) permettent de modifier une acoustique trop terne pour l'enrichir d'une meilleure réverbération et même simuler d'autres espaces.

La sortie prochaine du DVD et les normalisations des traitements de compression et de codage conjoints vont amener dans les prochaines années à la multiplication des principes de diffusion multiphonique sur 4 à 5 enceintes qu'ils soient ou non liés à l'image³.

En matière de sonorisation d'espaces publics, la disponibilité de délais numériques permet, en mettant en concordance temporelle les ondes acoustiques émises par les différentes enceintes d'un local, de réduire les échos et donc d'améliorer l'intelligibilité. Cette "alignement temporel" n'est pas toujours possible et nécessite une bonne coordination avec les caractéristiques de directivité et surtout les orientations des haut-parleurs. Il permet notamment de réduire fortement la quantité de sources dans un local et de minimiser l'excitation du champ réverbéré qui est parfois accrue par l'utilisation d'un trop grand nombre de haut-parleurs.

3. Un certain nombre de sonorisations utilisent cette technique. Ainsi, la station de RER Nation est-elle équipée d'un système de ce type qui a permis de réduire considérablement le nombre de points d'émission et de minimiser les phénomènes d'échos. De même certains quais de nouvelles gares TGV bénéficient de cette même technique.

Citons enfin le cas des systèmes d'asservissement au bruit ambiant. Ces techniques sont fortement demandées dans des locaux à forte variation de bruit (gare, proximité de routes...) dont les niveaux de diffusion ne peuvent donc être réglés pour une position moyenne. Ces appareils dont la réalisation est relativement délicate vont certainement profiter à court terme des techniques de traitement du signal qui, grâce à leurs puissance d'analyse vont permettre d'analyser les bruits en faisant abstraction du signal diffusé simultanément, sans le dénaturer et de moduler la puissance d'émission pour préserver un rapport signal/bruit satisfaisant.

Conclusion

L'ingénieur peut disposer actuellement de techniques, de matériels et d'outils informatiques extrêmement puissants. Les moyens existent pour assurer intelligibilité et confort acoustique à un projet.

L'introduction de ces nouveaux matériels et de ces nouvelles méthodes pose pourtant de nouveaux problèmes et impose au bureau d'études électroacoustiques d'accompagner un

projet jusqu'à son "accouchement" et même au delà, pour s'assurer que les préconisations dictées par l'étude soit bien respectées par des fournisseurs ou des prestataires ne maîtrisant pas toujours les techniques employées. Au delà des études, les phases de marchés, de chantier, de réglage et même de formation des utilisateurs ou des personnes chargées de la maintenance, sont autant de risques de voir le travail du bureau d'étude rendu inopérant.

Il reste enfin à convaincre les maîtres d'ouvrages que cet accroissement de qualité, souvent nécessaire en matière de sécurité, demande un effort en rapport avec les difficultés acoustiques du lieu.

L'Electro-acousticien" est là pour répondre à leurs demandes et maîtriser les multiples facettes du projet : acoustique, psychoacoustique, électroacoustique, électronique, utilisateur... sans le poids des contraintes commerciales qui trop souvent amènent les installateurs à préconiser des matériels et des solutions inadaptées à l'acoustique de la salle qu'ils ne maîtrisent pas. Une solution électroacoustique, aussi complexe et coûteuse soit-elle, ne pourra d'ailleurs venir seule à bout de certaines caractéristiques acoustiques trop contraignantes. ■