

Réseaux de haut-parleurs pour la sonorisation des grands volumes

Xavier Meynial

Active Audio
332, boulevard Marcel Paul
44800 Saint-Herblain
Tél. : 02 40 92 39 90
Fax : 02 40 92 39 91
E-mail : info@activeaudio.fr

Résumé

Après avoir brièvement exposé la problématique de la sonorisation des grands volumes réverbérants, cet article présente quelques aspects des principes utilisés par les réseaux de haut-parleurs. Les réseaux géométrique et électronique sont ensuite exposés, avec leurs avantages respectifs, puis le nouveau principe DGRC est introduit comme une synthèse des réseaux géométrique et électronique. L'avantage principal de ce principe est une importante réduction du nombre de canaux électroniques (DSP-ampli). Des résultats sont présentés, qui montrent l'efficacité du contrôle de directivité obtenu avec ce type de réseau. Enfin est abordée succinctement la modélisation des réseaux de haut-parleurs avec les logiciels de simulation acoustique.

Abstract

This paper first reminds some aspects of sound reinforcement of voice in large reverberating spaces, then presents some aspects of the principles use in loudspeaker arrays. Geometric and electronic arrays are then detailed, with their respective advantages and disadvantages. Then the new DGRC principle is introduced as the synthesis of geometric and electronic arrays. Main advantage of this principle is a dramatic reduction of the number of electronic channels (DSP-amp). Results obtained with this type of array exhibit an efficient control of directivity. Finally, modelling of the arrays with the acoustic simulation software is overviewed.

La sonorisation des grands volumes

La transmission de messages vocaux dans de grands volumes réverbérants tels que les halls de gare, les aéroports, les églises, les amphithéâtres et salles de conférences, les gymnases et les piscines, les ateliers industriels ou encore les galeries marchandes... pose souvent des problèmes d'intelligibilité. En effet, ces grands volumes se caractérisent en général par une durée de réverbération importante, qui tend à dégrader les messages par effet de masquage des syllabes successives. De plus, dans ces espaces, la zone d'écoute est le plus souvent très étendue.

De nombreuses études réalisées au XXe siècle ont montré que pour conserver une bonne intelligibilité, il est nécessaire de maximiser le rapport *énergie du son direct/énergie du son réverbéré*, afin que l'énergie sonore envoyée dans la réverbération soit la plus faible possible en regard de celle qui parvient directement aux auditeurs. Ce résultat peut être obtenu soit en rapprochant les haut-parleurs des auditeurs, soit en contrôlant la directivité de ceux-ci.

La première solution présente certains inconvénients comme le nombre élevé de haut-parleurs nécessaires – et donc la pose de nombreux câbles et, en pratique, les résultats sont souvent limités dans les grands volumes. Le contrôle de directivité, quant à lui, peut être réalisé soit en faisant appel à des pavillons, soit à l'aide de réseaux de haut-parleurs. Cette idée a donné naissance aux enceintes colonnes, qui ont été installées depuis longtemps, notamment dans les églises.

Notons que si le système de sonorisation est utilisé pour les messages de sécurité (et notamment pour l'évacuation incendie), il doit être conforme à la norme EN-60849 qui stipule un RASTI d'au moins 0,5 sur la zone d'écoute, ce qui n'est pas toujours facile à obtenir.

Outre le problème de l'intelligibilité se pose aussi celui de la couverture sonore. En effet, il est souhaitable que le niveau sonore soit le plus constant possible sur la zone d'écoute. Rappelons qu'à l'inverse, une source omnidirectionnelle (ou peu directive) rayonne un niveau de son direct décroissant en – 6 dB par doublement de distance : si on a 90 dB SPL à 1 m, on a 84 dB SPL à 2 m, 78 dB SPL à 4 m...

De plus, de nos jours, le niveau d'exigence du public en termes de confort sonore a augmenté, ce qui suppose

que le système de sonorisation ne présente pas de distorsion harmonique excessive, que sa bande passante soit suffisamment étendue, que le niveau sonore ne soit ni trop fort ni trop faible...

Enfin, se pose en pratique d'autres problèmes que celui de la performance acoustique. Citons entre autres, l'aspect esthétique auquel les architectes sont très sensibles surtout s'il s'agit d'un bâtiment historique, la pose des câbles, la maintenance... et bien sûr le prix.

Les réseaux de haut-parleurs

Revenons au concept des réseaux de haut-parleurs. Ces réseaux mettent en œuvre des haut-parleurs travaillant de façon cohérente. Lorsque la distance δ séparant deux haut-parleurs identiques est petite en regard de la longueur d'onde λ , le niveau sonore rayonné en un point donné par ces deux haut-parleurs est environ le double (+ 6 dB) de celui rayonné par un seul haut-parleur (somme vectorielle) ; ce qui est supérieur au niveau rayonné par deux haut-parleurs séparés par une distance plus importante ($\delta > \lambda$) travaillant de façon non cohérente (somme énergétique).

Le principe de Huygens nous dit qu'en plaçant des sources cohérentes sur un front d'ondes issu d'une source primaire quelconque, on peut restituer en aval de ce front d'ondes le même champ sonore que celui qu'aurait généré la source primaire (figure 1). Alors, si l'on sait quelle est la forme du front d'ondes nécessaire pour obtenir la couverture sonore voulue (voir annexe 1) sur la zone d'écoute, on peut par application du principe de Huygens générer ce front d'ondes avec un réseau de haut-parleurs placés sur la forme de ce front d'ondes. C'est cette idée qui est utilisée dans les «réseaux géométriques» dont une illustration est présentée en figure 2. On note qu'en pratique, le front d'ondes recherché a en général une forme en J, de même donc que le réseau de haut-parleurs.

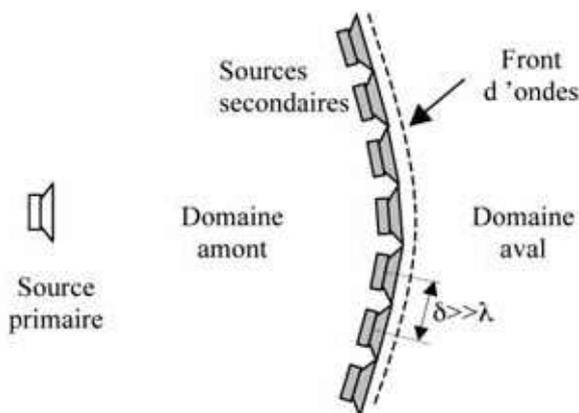


Fig. 1 : Illustration du principe de Huygens : le front d'ondes généré par la source primaire peut être reproduit en aval de celui-ci par un réseau de sources secondaires placées sur ce front d'ondes et séparées par une distance δ faible en regard de la longueur d'onde λ considérée

Illustration of the Huygens principle : the wave front generated by the primary source can be reproduced downstream by an array of secondary sources placed on the wave front and separated by a distance δ much smaller than the wavelength λ considered

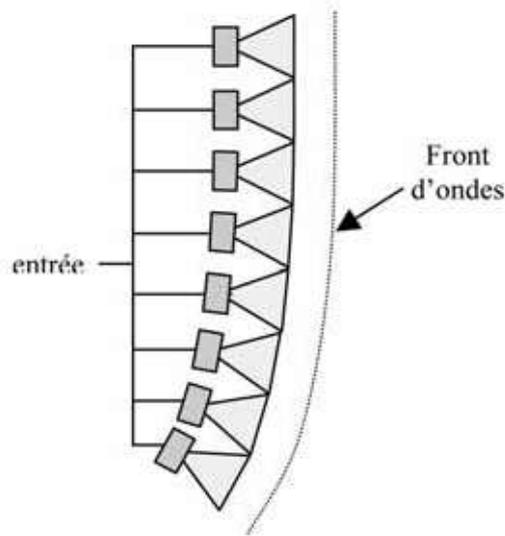


Fig. 2 : Illustration d'un réseau géométrique constitué de haut-parleurs placés le long de la forme du front d'ondes voulu

Illustration of a geometric array consisting of loudspeakers placed along the shape of the desired wave front

Bien évidemment, en pratique les réseaux sont de taille finie, ce qui a essentiellement pour effet de dégrader l'efficacité du contrôle de directivité aux basses fréquences.

De plus, l'écartement δ entre haut-parleurs est en général relativement important ($\delta = 5$ à 30 cm environ), ce qui fait qu'aux hautes fréquences (telles que de ne soit pas $\gg \lambda$) les haut-parleurs ne travaillent plus de façon cohérente, et génèrent des lobes secondaires comme l'illustre la figure 3. Ce phénomène peut être évité en utilisant le concept de «ligne source» introduit en 1992 par Christian Heil avec son VDOSC [1], un guide d'ondes qui transforme le rayonnement d'un haut-parleur en celui d'une fente isophasé. En superposant des guides d'ondes de ce type, on peut approcher le rayonnement d'une source rectiligne continue, évitant par là les lobes secondaires.

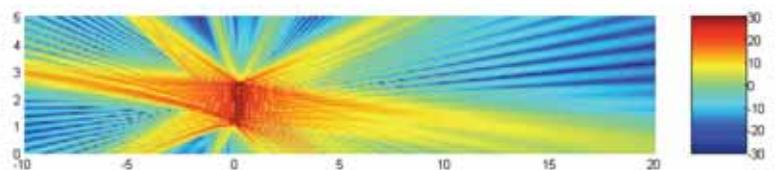


Fig. 3 : Lobes secondaires générés par un réseau de 16 haut-parleurs de \varnothing 7 cm au pas de 10 cm, $f=8$ kHz

Illustration of secondary lobes generated by an array of 16 loudspeakers of \varnothing 7 cm distant of 10 cm, $f=8$ kHz

Il est aussi possible de générer un front d'ondes voulu en jouant non plus sur les positions des haut-parleurs, mais plutôt sur le filtrage des signaux affectés à chaque haut-parleur. On parle alors de «réseau électronique». Cette solution est illustrée par la figure 4 : les haut-parleurs sont placés verticalement, et le front d'ondes est contrôlé par les retards électroniques des signaux envoyés aux haut-parleurs. On peut réaliser un filtrage plus perfectionné en introduisant des filtres (en général FIR à phase linéaire) en amont de chaque haut-parleur. L'intérêt essentiel de cette

solution est que le réseau peut être vertical (colonne), et peut donc être monté en applique sur une paroi, ce qui n'est pas le cas des réseaux géométriques. De plus, c'est une solution très souple puisque le réglage de la directivité peut être fait instantanément en chargeant un nouveau jeu de paramètres de filtrage. Enfin, le processeur de signaux qui réalise le filtrage de contrôle de directivité peut aussi réaliser d'autres tâches, comme l'égalisation, le retard, l'antilarssen, le contrôle automatique de gain (asservissement du niveau de diffusion au bruit de fond dans le local)...

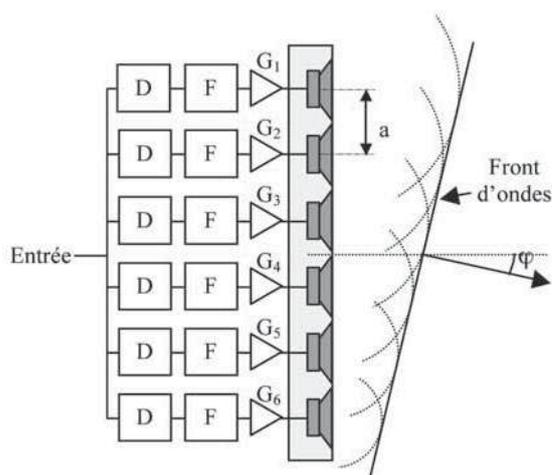


Fig. 4 : Réseau électronique. La forme du front d'ondes généré est contrôlé à l'aide des paramètres de filtrage
D : retard ; F : filtre (en général FIR) ; G : gain.

Electronic array : The generated wave front shape is controlled by the filtering parameters
D : Delay ; F : Filter (generally FIR) ; G : Gain.

Le réglage des paramètres de fonctionnement des DSP est fait en général à partir d'un PC muni d'un – et parfois plusieurs – logiciel(s) dédié(s). Il est important de noter que la convivialité de ce(s) logiciel(s) est en pratique un aspect important.

L'inconvénient des réseaux électroniques est qu'ils nécessitent un nombre important de canaux DSP → ampli → haut-parleur, ce qui peut être assez coûteux. Afin de réduire le nombre de canaux, Van der Wal et coll [2] ont proposé un principe basé sur un espacement Lin/Log des haut-parleurs. Mais alors la puissance est répartie de façon non homogène sur les haut-parleurs, ce qui limite le niveau sonore maximal émissible.

Plus récemment, van Beuningen et Start [3] ont présenté leur méthode DDS (Digital Directivity Synthesis) pour optimiser la directivité en utilisant une approche LMS pour calculer les coefficients des FIR.

Le principe DGRC

Le principe DGRC (Digital and Geometric Radiation Control) est breveté [4], et peut être vu comme une synthèse des réseaux géométrique et électronique. Il est illustré par la figure 5 : l'idée est simplement de découper le front d'ondes voulu en sections, d'aligner ces sections verticalement comme dans les lentilles de Fresnel utilisées en optique, puis de compenser électroniquement (DSP) la propagation sur les distances d_i entre les sections successives. La forme en dents de scie est ainsi caractéristique du principe DGRC.

Les voies DSP étant numérotées dans l'ordre croissant n en partant du haut de la colonne, les retards D doivent valoir

$$D_n = \frac{1}{c} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} d_i$$

pour $n \geq 2$, avec D_1 quelconque, c étant la célérité du son.

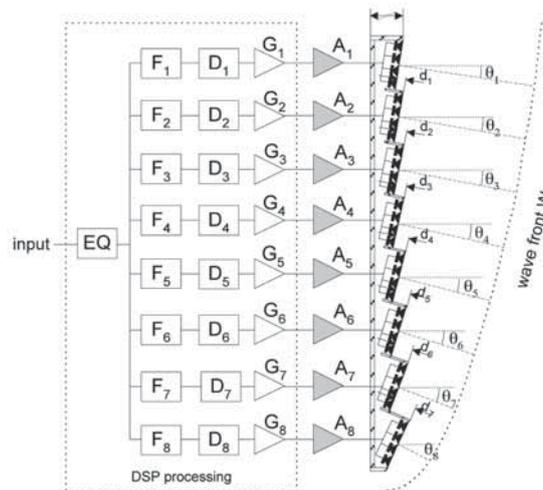


Fig. 5 : Principe DGRC. Les haut-parleurs sont assemblés par groupe, chaque groupe étant assigné à un canal électronique DSP-ampli. Le front d'ondes résulte du positionnement et de l'orientation des haut-parleurs, et du filtrage des signaux (voir texte)

The DGRC principle. Loudspeakers are grouped, each group being assigned to an electronic channel DSP-ampl. The wave front results from the positioning and orientation of the loudspeakers, and from the DSP filtering (see text)

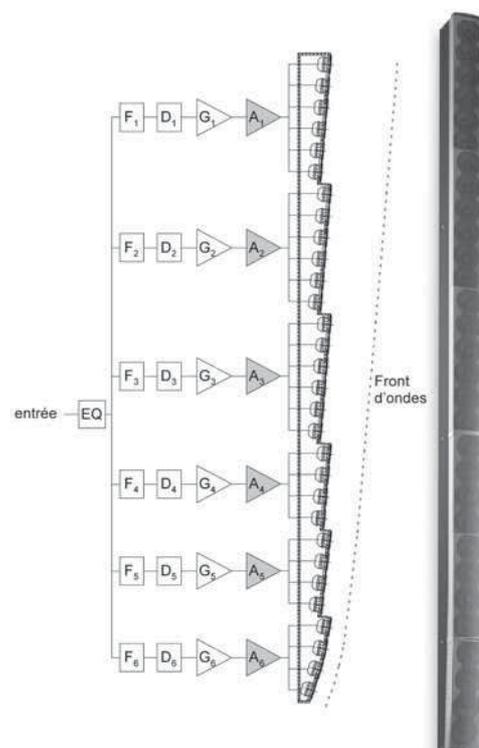


Figure 6 : La colonne SA250P. D'une hauteur de 2,5 m, elle comprend 30 haut-parleurs de 80 mm associés à 6 canaux DSP

Column SA250P. Height 2,5 m. It comprises 30 loudspeakers of diameter 80 mm associated to 6 DSP channels

Détermination du front d'ondes correspondant à une couverture voulue

Pour déterminer la forme du front d'ondes W correspondant à une couverture sonore donnée, on peut raisonner sur la courbure locale du front d'ondes dans le plan vertical comme illustré par la figure A1.

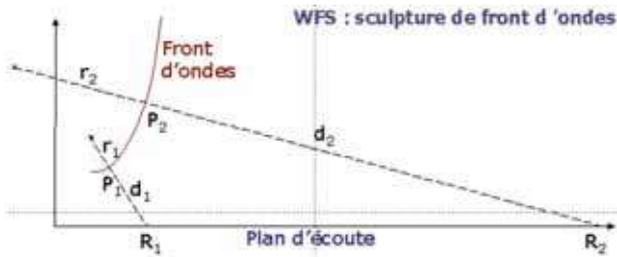


Fig. A1 : Schéma de principe de la synthèse de front d'ondes (voir texte)
Principle of the wave front synthesis (see text)

L'idée est basée sur une considération géométrique simple : pour obtenir un niveau sonore constant sur le plan d'écoute, il suffit de conserver constant le rapport :

$$A_v = \sqrt{\frac{r}{r+d}} \quad A1$$

où r est le rayon de courbure local du front d'ondes, et d est la distance entre le point de réception R considéré et le point P , intersection du front d'ondes et de la droite joignant le centre du cercle correspondant à la courbure local du front d'ondes et le point R .

Dans le plan horizontal, l'atténuation géométrique est :

$$A_h \approx \sqrt{\frac{1}{d}} \quad A2$$

de sorte que l'atténuation géométrique globale vaut :

$$A = A_h \cdot A_v \approx \sqrt{\frac{r}{d \cdot (r+d)}} \quad A3$$

Ainsi, en parcourant pas à pas le plan d'écoute, on construit la forme du front d'ondes W en déterminant à chaque pas le rayon de courbure r satisfaisant l'équation A3.

Nous avons vérifié que la diffraction sonore sur les arêtes entre sections ne posait pas de problèmes (voir [5]).

Le positionnement et l'orientation des haut-parleurs sont réglés de sorte que le front d'onde corresponde à la couverture nominale voulue pour le réseau. La couverture sonore peut être contrôlée à l'aide des gains G et des retards D . Les filtres F sont des FIR à phase linéaire utilisés

pour compenser l'atténuation de propagation aux hautes fréquences, de sorte que l'on ait autant de niveau sonore aux hautes fréquences loin de la colonne que proche de celle-ci. L'égaliseur EQ est utilisé pour corriger la réponse fréquentielle de l'ensemble du système.

Le nombre de haut-parleurs associé à chaque canal n'est pas nécessairement le même pour tous les canaux, comme on le voit sur la figure 6 présentant le modèle SA250P.

Les avantages de la technologie DGRC sont :

- Le nombre de canaux DSP – ampli est considérablement réduit. Par exemple, la colonne SA250P d'une hauteur de 2,5 m utilise 30 haut-parleurs associés à seulement 6 canaux DSP – ampli. La conséquence est bien sûr une importante réduction de coût. Par ailleurs, avec ce nombre réduit de canaux, on peut plus facilement utiliser une électronique externe à la colonne et des amplis standard, ce qui permet d'associer plusieurs colonnes à un même processeur et/ou amplificateur.
- Le nombre de haut-parleurs est indépendant du nombre de canaux DSP. On peut donc utiliser un nombre important de petits haut-parleurs, ce qui a pour conséquence de réduire les lobes secondaires, et étendre la réponse fréquentielle dans l'aigu.
- La puissance est distribuée également sur tous les haut-parleurs, ce qui permet d'utiliser ceux-ci à leur maximum, donc d'optimiser le niveau sonore maximal émissible.
- Le principe DGRC est applicable aux lignes sources pour la sonorisation de puissance, et permet dans ce cas de se passer du système d'accroche complexe inhérents aux réseaux géométriques, et de bénéficier des avantages des réseaux électroniques, notamment de la flexibilité de réglage.

À l'inverse, la limitation du principe DGRC est que le nombre limité de canaux ne permet pas autant de souplesse sur le contrôle de directivité que si l'on avait un canal par haut-parleur. Par exemple, il n'est pas possible de générer plusieurs lobes, mais ce besoin est très rare.

Modélisation des réseaux de haut-parleurs en champ libre

Il est aisé de modéliser les réseaux de haut-parleurs, en sommant simplement les rayonnements des différents haut-parleurs, prenant en compte le filtrage effectué en amont de ceux-ci, ainsi que l'absorption de propagation. Cette dernière, non négligeable aux hautes fréquences, est compensée par filtrage (FIR) dans le DSP. Notons que la directivité intrinsèque des haut-parleurs est issue de mesures.

La figure 7 montre par exemple le rayonnement par bande d'octaves de la colonne SA250P en position nominale (bas de la colonne à 1 m au-dessus du plan d'écoute, c'est-à-dire des oreilles des auditeurs). Les courbes par octaves ont été décalées pour plus de lisibilité. On voit que le niveau sonore (en ordonnée) aux moyennes fréquences est remarquablement constant en fonction de la distance à la colonne (en abscisse).

Ainsi, si l'on définit la portée de la colonne comme la distance jusqu'à laquelle le niveau sonore aux moyennes fréquences (moyenne des octaves 500 Hz, 1 kHz, et 2 kHz) tient dans ± 3 dB, on obtient une portée de 35 m avec cette colonne.

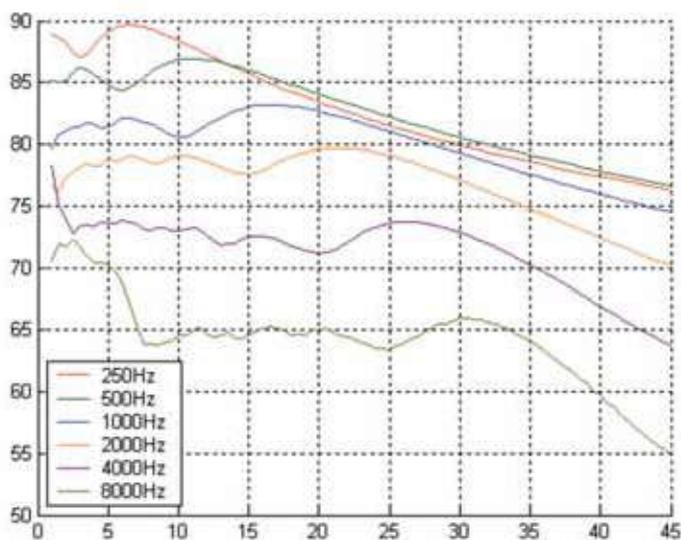


Fig. 7 : Simulation du niveau sonore (dB SPL) par octave rayonné par la colonne SA250P sur le plan d'écoute dans l'axe de la colonne. La colonne est placée à l'abscisse 0 et à l'altitude nominale (bas de la colonne à 1 m au-dessus des oreilles). Les courbes ont été décalées pour plus de lisibilité

Simulation of the sound level (dB SPL) per octave band radiated by column SA250P on the listening plane on the column axis. The column is placed at abscissa 0 and at nominal altitude (bottom of the column at 1 m above the ears height). The curves have been shifted for better readability

On constate aussi sur cette figure que le niveau sonore est moins constant aux basses fréquences, ce qui est normal car alors la hauteur de la colonne est plus petite proportionnellement aux longueurs d'onde considérées. On constate enfin une remontée du niveau sonore proche de la colonne dans l'octave 8 kHz, qui correspond à des lobes secondaires car à ces fréquences, la longueur d'onde est inférieure au pas entre haut-parleurs (81 mm).

La figure 8 montre une carte de niveau sonore dans l'octave 1 kHz dans le plan vertical médian (l'ordonnée 0 correspond à l'altitude des oreilles des auditeurs), toujours avec cette même colonne. On constate que l'énergie sonore est projetée sur l'auditoire, et que peu d'énergie est rayonnée ailleurs, c'est-à-dire dans la réverbération.

Sur la figure 9, on voit la carte de niveau sonore dans l'octave 2 kHz dans le plan vertical médian pour le modèle SA250S, qui est dédié aux auditoires gradins (en pente). On constate que le lobe épouse l'inclinaison à 12° qui a été spécifié pour les paramètres de filtrage DSP.

Les mesures réalisées avec ce type de colonne montrent un excellent accord avec les modélisations, en partie grâce au fait que les petits haut-parleurs tels que ceux qui sont utilisés dans ces colonnes se modélisent plus facilement que les gros haut-parleurs.

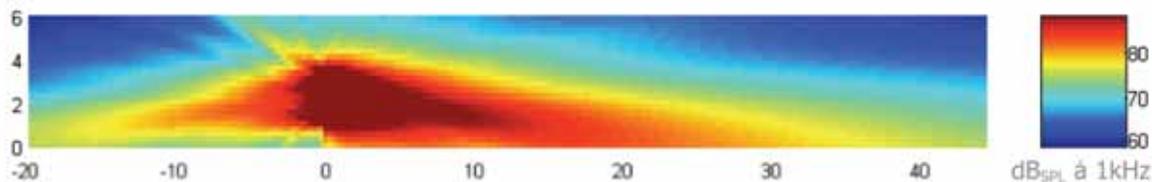


Fig. 8 : Carte de niveau SPL dans l'octave 1 kHz dans le plan vertical médian générée par la colonne SA250P.

Abcisse : distance en m à la colonne, qui est placée en 0.

Ordonnée : altitude en m (0 correspond aux oreilles, et non au sol). Le bas de la colonne est à 1 m au-dessus des oreilles.

Map of SPL in octave 1kHz in the median vertical plane of column SA250P.

Horizontal : distance to the column in meters, which is placed at 0.

Vertical : altitude in meters (0 corresponds to the ears, not the ground). Bottom of the column is 1m above the ears.

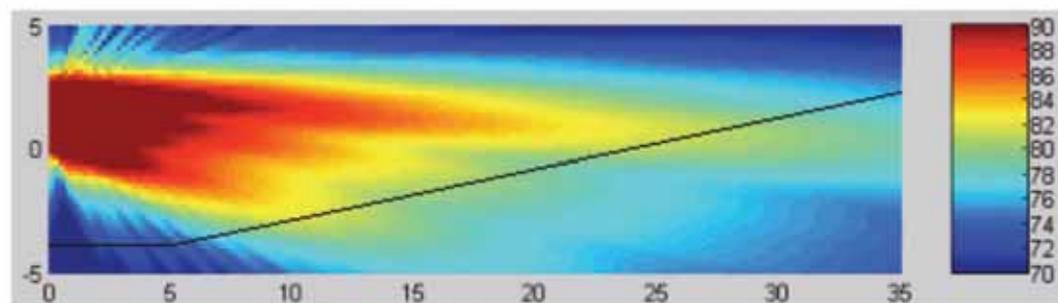


Fig. 9 : Carte de niveau SPL dans l'octave 2 kHz dans le plan vertical médian générée par la colonne SA250S

Abcisse : distance en m à la colonne, qui est placée en 0

Ordonnée : altitude en m. Le bas de la colonne est en 0

La portée à +/-3dB est ici de 5 à 30 m. Le trait noir correspond à un auditoire sur une pente à 12°.

Map of SPL in octave 2 kHz in the median vertical plane of column SA250S.

Horizontal : distance to the column in meters, which is placed at 0.

Vertical : altitude in meters. Bottom of the column is at 0.

The black line corresponds to a listening plane tilted by 12°. The +/-3dB range is from 5 to 30 m.

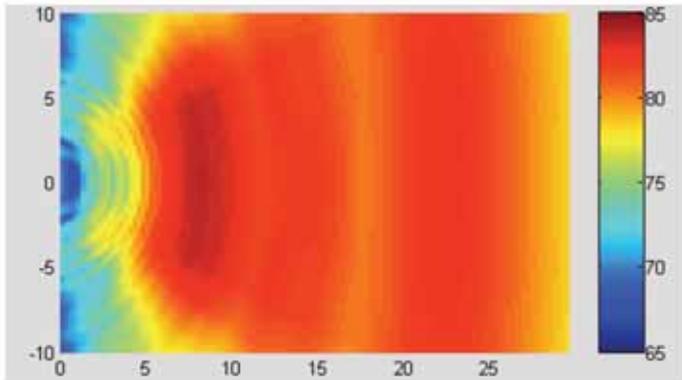


Fig. 10 : Carte de niveau SPL dans l'octave 2 kHz dans le plan d'écoute incliné à 12° (ligne noire sur figure 9) généré par la colonne SA250S

Map of SPL in octave 2 kHz on the listening plane (tilt 12°, black line on figure 9) generated by column SA250S

Il est important de noter qu'avec ces réseaux de haut-parleurs, la notion d'angle d'ouverture utilisée traditionnellement n'est pas pertinente, car le lobe voulu est plutôt de forme trapézoïdale.

Enfin, on voit sur la figure 10 la carte de niveau sonore à 2 kHz sur le plan d'écoute (incliné à 12°) de la figure 9. On voit en particulier que la directivité horizontale reste très ouverte à 2 kHz, avec un angle d'ouverture de l'ordre de 140°, et que la portée (+/-3 dB) va de 5 à 30 m environ.

Modélisation des réseaux de haut-parleurs en milieu réverbérant

La plupart des fabricants de réseaux de haut-parleurs proposent des bibliothèques DLL permettant de modéliser leurs produits dans les logiciels d'acoustique des salles. Outre le son direct rayonné par les haut-parleurs, ces logiciels simulent la réverbération du son contre les parois de la salle. Certains proposent même leurs propres logiciels d'acoustique.

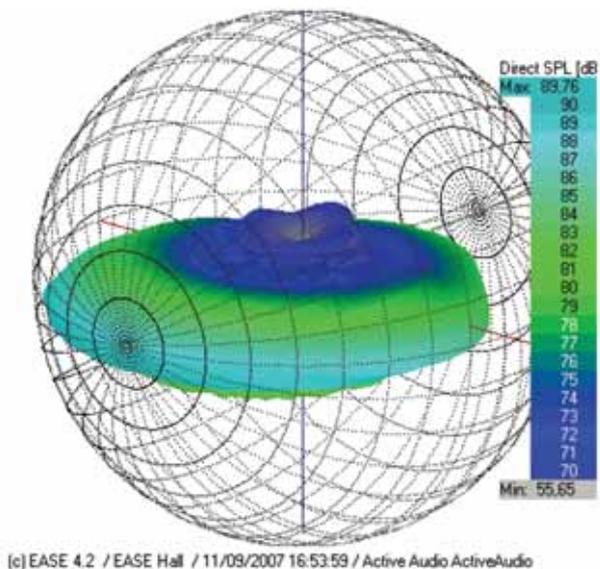


Fig. 11 : Représentation sous forme de ballon du niveau sonore rayonné dans l'octave 1 kHz par la colonne SA250S. Résultat issu du logiciel EASE utilisant la DLL StepArray

Balloon plot of the SPL radiated in octave 1 kHz by column SA250S. Result from the EASE software using the StepArray DLL

Dans ces logiciels, la géométrie de la salle est décrite sous forme de facettes, auxquelles on attribue des propriétés acoustiques (coefficient d'absorption et de diffusion) par bandes de fréquences.

La modélisation est basée sur l'acoustique géométrique, qui utilise une notion de «rayon acoustique» similaire aux rayons lumineux : un grand nombre de rayons sont tirés à partir de la source considérée (locuteur ou haut-parleur par exemple) et suivis au long de leur propagation et réflexions sur les parois de la salle. De façon assez similaire, on peut utiliser le concept de source image, selon lequel un rayon sonore issu d'une source S arrivant en un point de réception après réflexion sur une paroi P est assimilé à un rayon provenant de la source S' image de la source primaire S par rapport à P. La sommation des rayons parvenant au récepteur donne un «échogramme». Chaque rayon est caractérisé par son temps d'arrivée et son amplitude.

La densité de rayons parvenant au récepteur augmentant rapidement avec le temps, il devient au-delà d'un certain temps T_0 impossible de considérer tous les rayons, et il est préférable de les considérer sous une approche statistique, qui remplace la modélisation géométrique du début de l'échogramme.

Il est essentiel de pouvoir modéliser ces réseaux, afin de prévoir un système de sonorisation adéquat, et d'avoir une idée précise de la performance attendue en termes d'intelligibilité (STI, RASTI, Alcons...) et de couverture sonore. La figure 11 montre le ballon de directivité obtenu avec le logiciel EASE muni de la DLL StepArray pour la colonne SA250S. La figure 12 montre une carte de niveau sonore obtenue avec le logiciel Catt-Acoustic® dans une basilique de dimensions 43x18x12 m et de temps de réverbération (TR) 3,2 s à 1 kHz. Les deux colonnes SA250P sont matérialisées par les traits bleu clair. On voit que le RASTI est de l'ordre de 0,55 sur la zone d'écoute.

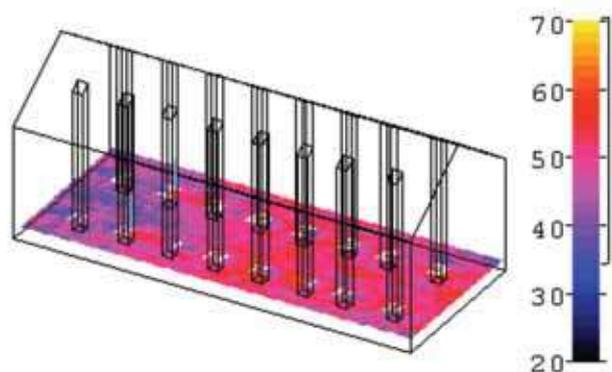


Fig. 12 : Résultat de simulation issu du logiciel Catt-A muni de la DLL StepArray. Carte de RASTI dans une basilique de dimensions 43x18x12 m et de TR 3,2 s à 1 kHz, sonorisée avec deux colonnes SA250P (bleu clair).

Result from a simulation by Catt-A equipped with the SetpArray DLL. RASTI map in a basilica of dimensions 43x18x12 m and of RT 3,2 s at 1 kHz. Two columns SA250P (cyan)

De même, nous avons pu par exemple mesurer dans un vaste hall de gare de TR 2,7 s à 1 kHz un STI compris entre 0,53 à 0,59 sur toute la zone d'écoute.

Étude et mise en œuvre des réseaux de haut-parleurs

Il est clair que la sonorisation d'un grand volume ne requiert que très peu de colonnes, comme le montrent les simulations (cartes de niveau sonore et d'intelligibilité) qu'on peut obtenir avec les logiciels d'acoustique des salles. Multiplier le nombre de diffuseurs (au-delà du strict nécessaire à la couverture sonore voulu) a en général un effet négatif sur l'intelligibilité, car les diffuseurs ajoutés renforcent plus la réverbération que le son direct.

Lors de l'étude du positionnement des colonnes, il faut prendre garde à ce que nulle part sur l'auditoire les sons directs (d'amplitudes similaires) issus de 2 colonnes ne soient séparés de plus de 30 ms, faute de quoi un phénomène désagréable d'écho sera perceptible.

De plus, dans certains cas, il importe de placer les colonnes de telle sorte que la localisation sonore corresponde autant que possible à la localisation visuelle (sonorisation d'un locuteur ou d'un musicien sur scène par exemple).

Le nombre réduit de colonnes se traduit par une pose de câbles très largement simplifiée par rapport à ce que nécessite en général une sonorisation distribuée. En outre, il est le plus souvent possible de rendre ces enceintes presque invisibles car elles sont très peu larges et se fondent facilement dans les lignes verticales (piliers par exemple) du local.

D'autres avantages pour l'installateur, le loueur et l'exploitant sont la rapidité de pose, la souplesse du réglage et la facilité de maintenance.

Conclusion

Après un bref rappel de la problématique de la sonorisation des grands volumes, nous avons présenté les réseaux de haut-parleurs, en distinguant les réseaux géométrique et électronique, leurs avantages et inconvénients respectifs. Nous avons vu qu'un nombre très limité de réseaux permet d'obtenir dans des locaux réverbérants une très bonne intelligibilité sur toute la zone couverte, ainsi qu'une excellente homogénéité de couverture. Par rapport à une solution de sonorisation distribuée traditionnelle, le nombre restreint de réseaux nécessaires se traduit par une simplification du câblage, une maintenance facilitée, et un impact esthétique limité. Les processeurs DSP utilisés dans les réseaux électroniques peuvent en outre assurer les fonctions d'égalisation, de retard, ainsi que des fonctions évoluées tel le contrôle automatique de gain.

Nous avons ensuite introduit le nouveau principe DGRC, qui peut être considéré comme une synthèse des réseaux géométrique et électronique, et présente sur les réseaux électroniques l'avantage d'un nombre très limité de canaux DSP-ampli. Le nombre de canaux étant indépendant du nombre de haut-parleurs, on peut avec ce principe utiliser de petits haut-parleurs, ce qui permet de limiter les lobes secondaires et d'étendre la réponse fréquentielle.

Nous avons enfin abordé la question de la modélisation de ces réseaux avec les logiciels de prévision d'acoustique des

salles, qui permettent en particulier de prévoir la couverture sonore et l'intelligibilité. Nous avons enfin évoqué quelques autres aspects liés à la mise en œuvre des réseaux de haut-parleurs.

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement Benoit Bierra (AREP) pour les mesures de STI, et Gilles Grégoire pour son aide lors de la rédaction de cet article.

Références bibliographiques

- [1] Sound Wave Guide, US Patent # 5,163,167, Inventor : C. Heil, nov 10 1992.
- [2] Van der Wal M., Start E.W., de Vries D., Design of Logarithmically Spaced Constant-Directivity Transducer Arrays, JAES 44, Number 6, pp. 497-507, June 1996.
- [3] van Beuningen G.W.J., Start E.W., Optimizing Directivity Properties of DSP Controlled Loudspeaker Arrays, Présenté à Reproduced Sound 16 Conference, Stratford (UK), 17-19 Nov 2000, Institute of Acoustics.
- [4] Dispositif de sonorisation à contrôle de rayonnement géométrique et électronique, Brevets Français n° 04 03052 du 25/03/04, et PCT et brevets étrangers associés. Inventeur : X. Meynial.
- [5] Meynial Xavier , DGRC arrays : A synthesis of geometric and electronic loudspeaker arrays, 120th AES Convention, Paris, 2006 May 20-23, Preprint 6786.

