

Contrôle numérique de la directivité et intelligibilité de la parole

Alain Vanzella,
DURAN AUDIO FRANCE,
Centre d'affaires international,
28, La Tannerie,
BP 30054,
57072 Metz CEDEX 03,
Tél. : 03 87 21 82 10,
Fax : 03 87 21 82 11,
e-mail : a.vanzella@duran-audio.fr

La sonorisation de la parole et la diffusion de messages intelligibles représente un des enjeux majeurs pour les responsables des grands lieux publics. Les responsables des départements de sécurité incendie sont bien entendu concernés au premier chef, mais les enjeux commerciaux sont également très importants.



Colonnes Intellivox de DURAN AUDIO installées dans le hall du musée du Louvre à Paris

Les services de communication prennent peu à peu conscience des conséquences du sous-équipement fréquent ou de l'inadaptation des systèmes existants dans des lieux dont ils ont la charge. Qu'il s'agisse de voyageurs, de visiteurs, de clients, de supporters ou de fidèles, tous se sont retrouvés un jour où l'autre dans un lieu où le message qui leur était destiné leur est apparu totalement inintelligible. Au-delà de la sensation d'inconfort que cela procure, l'incapacité à juger de l'importance du message et du fait qu'il nous concerne ou non, représente une source de stress et d'inquiétude qui s'ajoute à l'atmosphère souvent impersonnelle de certains lieux.

Il apparaît aujourd'hui essentiel d'intégrer la notion d'intelligibilité de la parole dans les phases de construction ou de rénovation des lieux publics et tout particulièrement dans les grands volumes où les difficultés sont les plus importantes.

Ce document propose un état des lieux et la découverte de quelques-unes des nouvelles technologies disponibles permettant de réaliser des progrès en la matière.

État des lieux

En observant les caractéristiques acoustiques particulières communes aux grands volumes et les équipements de sonorisation qui y sont le plus couramment installés, il apparaît que le niveau de performance résultant de leurs interactions semble devoir se limiter à un niveau moyen et insatisfaisant.

Caractéristiques acoustiques des grands volumes

La plupart des grands volumes se caractérisent par des propriétés acoustiques sources de phénomènes électroacoustiques particuliers :

- Leurs volumes sont importants et la plupart sont construits à base de matériaux tels que le béton, l'acier, le verre, la pierre.
- Un grand nombre de faces intérieures sont donc fortement réfléchissantes et l'absorption y est en conséquence très réduite.

L'interaction des deux paramètres engendre des temps de réverbération très longs pouvant atteindre plusieurs secondes et dépasser, dans certains cas, la dizaine de secondes.

D'autre part, les distances importantes entre les sources sonores, les surfaces et les récepteurs réduisent fortement l'influence bénéfique des premières réflexions ($t < 50$ ms) qui viennent renforcer le champ direct. L'importance des surfaces réfléchissantes génère de surcroît de nombreuses réflexions, souvent très tardives, identifiées comme des échos francs ($t > 50$ ms).

Certains grands volumes comme les gares et les lieux sportifs sont également caractérisés par un niveau de bruit de fond important généré par le public ou les machines.

L'intelligibilité de la parole

L'importance de la notion d'intelligibilité de la parole dans la qualification des lieux publics est croissante depuis quelques années et les critères la définissant ont évolué au fil des ans.

Si le temps de réverbération et le rapport signal/bruit étaient seuls pris en compte à l'origine, des notions plus complexes ont été progressivement intégrées dans les calculs telles que :

- Les distributions spectrales
- Les distributions et discriminations spatiales
- Les effets fréquentiels de masque
- Les effets temporels de masque et leurs différences interaurales

De nombreux critères d'appréciation ont été proposés parmi lesquels :

- L'indice d'articulation (AI) - Knudsen, 1936 ; French et Steinberg, 1947 ; Kryter, 1962
- Le niveau d'interférence de la parole (SIL)
- Le décompte de mots phonétiquement équilibrés (PB)
- La méthode de la rime modifiée
- Les critères de clarté - Thiele, 1953
- Le pourcentage de perte d'articulation des consonnes (ALCons) - V.M.A. Peutz 2
- L'indice de transmission de la parole (STI, RASTI) - Houtgast et Steeneken

Certains de ces critères (STI, RASTI) sont obtenus par mesures informatiques mettant en œuvre des techniques telles que la mesure de la fonction de transfert de la modulation (MTF) par méthode MLS, (Maximum Length Sequence) permettant de générer et d'analyser la réponse impulsionnelle.

Les valeurs obtenues par les différentes méthodes sont généralement classées sur une échelle allant de mauvais à excellent en passant par limite, correct et bon. Dans le but de simplifier les exigences relatives à l'intelligibilité de

la parole sur le plan réglementaire (cf. norme européenne NF EN 60849 – 08/1998, relative aux systèmes électroacoustiques pour services de secours), certains de ces critères ont été corrélés et convertis sur une nouvelle échelle intitulée « échelle commune d'intelligibilité » (CIS en anglais).

Solutions classiques, difficultés et problèmes

Un volume peut être considéré comme un système de transmission acoustique entre une source et un récepteur ; l'intelligibilité de la parole sera directement liée à la qualité de transmission du son. Cette transmission est principalement affectée par :

- La multiplication des cheminements source(s)/récepteur (Fig. 1 et Fig. 2). Cette multiplication connaît des causes acoustiques (réverbération, réflexions tardives) et électroacoustiques (contributions incohérentes, mauvaises localisations et caractéristiques des sources telles que directivité et réponse en fréquence)

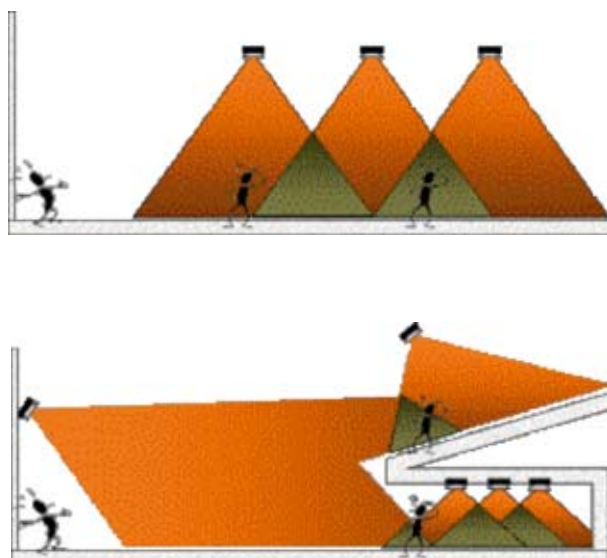


Fig. 1 et 2 : Multiplication des cheminements source(s) / récepteur

- Le rapport champ direct/champ réverbéré (P_{dir}/P_{rev}) et la notion de distance critique.
- Le rapport signal/bruit

Le niveau d'intelligibilité de la parole est donc fonction d'un certain nombre de critères interdépendants qu'il faut tenter d'optimiser et que l'on peut résumer comme suit :

- Le champ direct (P_{dir}) devra être maximisé et distribué de façon uniforme sur toutes les zones d'écoute.
- Le rapport signal/bruit ($P_{dir}/P_{rev} + \text{bruit}$) devra être suffisamment important.
- Le champ diffus (P_{rev}) devra être minimisé par des mesures :

- acoustiques : réduction du temps de réverbération et réduction des réflexions tardives
- électroacoustiques : utilisation de sources à forte directivité et réduction du nombre de sources.

Partant du principe que l'intelligibilité décroît avec le nombre de sources et que l'homogénéité de pression en champ direct varie en sens inverse, une des principales difficultés résidera dans l'inévitable compromis entre intelligibilité et homogénéité. En effet, l'utilisation quasi exclusive de sources sonores ponctuelles peu directives pose le problème de l'atténuation géométrique de la pression en $1/r$ (6 dB par doublement de la distance source/récepteur) et impose en conséquence une inévitable multiplication des sources.

Objectifs de progrès

Un des principaux objectifs de progrès résidera donc dans le maintien d'un niveau de pression en champ direct le plus uniforme possible, en minimisant le niveau de pression en champ diffus tout en réduisant le nombre de sources (Fig. 3 et Fig. 4). Seule une décroissance spatiale moindre alliée à une forte maîtrise de la directivité peut permettre d'atteindre cet objectif

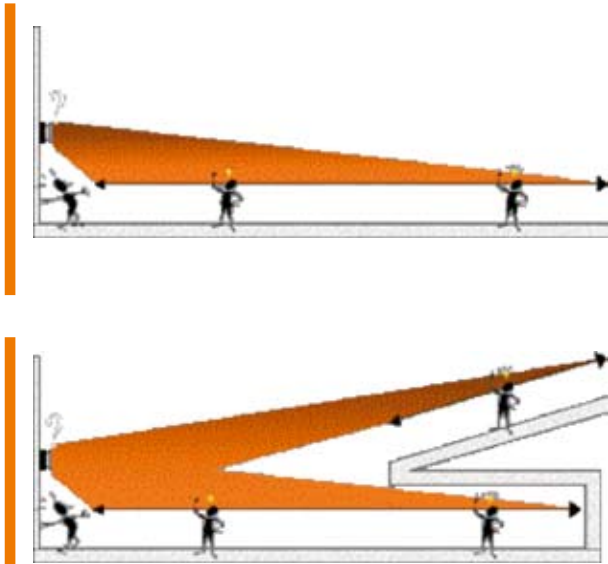


Fig. 3 et 4 : Minimiser le niveau de pression en champ diffus tout en réduisant le nombre de sources.

Solutions nouvelles

Conscients des limites imposées par les solutions classiques, quelques constructeurs ont déployé d'importants efforts en recherche et développement dans le but d'ouvrir de nouvelles voies, et, depuis quelques années, des approches nouvelles ont vu le jour.

Les solutions techniques proposées par le constructeur hollandais Duran Audio sont basées sur l'utilisation des réseaux acoustiques linéaires pondérés. Les principaux travaux ont été réalisés sur le contrôle et l'optimisation du rayonnement de ce type de sources.

Principes de base des sources linéaires

Historique

Le principe de la source linéaire n'est pas nouveau en soi. Les premiers exemples datent des années 1930. Une

réponse en fréquence limitée, une forte dépendance de la directivité en fonction de la fréquence et, en conséquence, de fortes irrégularités de réponse hors axe ont cantonné les colonnes acoustiques dans la sonorisation exclusive de la parole.

L'arrivée sur le marché de pavillons de qualité, dans les années 1970, relégua alors les colonnes aux installations à faible budget (lieux de culte, gares). Les progrès rapides et constants en micro-électronique, en particulier dans le développement des processeurs de signaux numériques (DSP), ont offert de nouvelles possibilités pour le contrôle du rayonnement de ce type de source. Duran Audio commercialise au début des années 1990, la première enceinte colonne à contrôle de directivité numérique.

Le succès considérable de cette technologie a, depuis, ravivé l'intérêt des constructeurs pour les sources linéaires particulièrement sur le marché de la sonorisation de spectacle.

Principes acoustiques fondamentaux

Le son est une onde. Dans le cas de l'onde sonore, l'énergie est transportée d'un point à un autre de l'espace, ce qui signifie qu'une onde sonore se caractérise par des propriétés temporelles (le contenu du signal) et spatiales (les propriétés de directivité).

La source acoustique la plus simple est le monopole. Le monopole est un point source qui peut être considéré comme une sphère pulsante infiniment petite. Le rayonnement d'un monopole est sphériquement symétrique ce qui signifie que l'énergie est rayonnée de façon égale dans toutes les directions. Bien qu'un point source de ce type n'existe pas, il représente un modèle théorique permettant de décrire le rayonnement de sources plus complexes.

Sur le plan de l'atténuation géométrique, l'énergie se dilue sur la surface d'une sphère, l'intensité acoustique sera inversement proportionnelle au carré du rayon de la sphère ($1/r^2$) et la pression inversement proportionnelle à son rayon ($1/r$) ce qui se traduira par une décroissance de pression de 6 dB par doublement de distance source/récepteur.

Une source linéaire peut être définie comme la distribution spatiale de haut-parleurs le long d'une ligne (line-array). Une des principales caractéristiques de ce type de source est de générer des fronts d'ondes cylindriques qui présentent une atténuation géométrique de pression de 3 dB par doublement de la distance source/récepteur dans la zone de champ proche, puis à nouveau 6 dB dans la zone de champ éloigné.

Puisque les éléments d'un tel réseau peuvent être pilotés indépendamment, ses propriétés spatiales et temporelles pourront être contrôlées.

Calcul de la réponse du réseau

La réponse en pression P_m^r du réseau à la position du récepteur m peut être mathématiquement décrite comme la superposition des contributions individuelles P_n^r des éléments n du réseau :

$$P_{\text{tot}}^m = \sum_{n=1}^n P_n^r \quad (1)$$

Notez que l'équation 1 est une sommation complexe puisque à chaque point dans l'espace, le rayonnement de chaque haut-parleur présente une certaine amplitude et une certaine phase.

En conséquence, la réponse du réseau sera la résultante de l'interférence des champs rayonnés individuels et non pas uniquement la combinaison des contributions énergétiques des différents éléments.

La notion de champ éloigné

En acoustique, la réponse d'une enceinte ou d'un réseau est souvent rapprochée à sa réponse en champ éloigné. Un grand nombre de paramètres d'acoustique des salles peuvent être prédis dans une hypothèse de champ éloigné. La condition de champ éloigné (ou zone de Fraunhofer) est donnée par :

$$r \gg L^2 / 2\lambda \quad (2)$$

avec r la distance source/récepteur, L la taille de la source et λ la longueur d'onde.

Par exemple, pour une colonne de 5 m, la zone de champ éloigné commence approximativement à 3,7 m pour un signal de 100 Hz et à 370 m pour un signal de 10 kHz.

En champ éloigné, le rayonnement complexe du réseau peut être décrit comme la réponse d'une source ponctuelle avec une fonction de directivité $G^{\text{réseau}}$:

$$P_{\text{far}}^m = G^{\text{réseau}}(\varphi, \theta, f) \frac{e^{-jkr/c}}{r} \quad (3)$$

avec φ et θ les angles d'azimut et d'élévation, f la fréquence et c la vitesse du son et k le nombre d'onde ($k = 2\pi / \lambda$).

Si tous les haut-parleurs présentent la même fonction de directivité en champ éloigné G , la fonction de directivité $G^{\text{réseau}}$ du réseau complet en champ éloigné est donnée par :

$$G^{\text{réseau}}(\varphi, \theta, f) = G(\varphi, \theta, f) F\{W(\vec{r}_n, f)\} \quad (4)$$

avec $F\{W(\vec{r}_n, f)\}$ la transformée de Fourier spatiale de la fonction W représentant le facteur de pondération complexe et dépendant de la fréquence de chaque haut-parleur à la position \vec{r}_n . (le signal alimentant chaque haut-parleur).

En champ proche

Dans beaucoup de situations (en utilisant des réseaux de grande taille et/ou aux hautes fréquences), les conditions de champ éloigné ne sont pas remplies. Afin de calculer la réponse en champ proche l'équation 1 doit être appliquée.

En admettant que tous les récepteurs soient dans le champ éloigné de chacun des haut-parleurs, bien que dans le champ proche du réseau, l'équation 1 peut devenir approximativement :

$$P_{\text{tot}}^m = \sum_{n=1}^N W_n(f) G_n(\varphi, \theta, f) \frac{e^{-jkr_{m,n}/c}}{r_{m,n}} \quad (5)$$

avec $r_{m,n}$ la distance entre le haut-parleur n et le récepteur m . Bien entendu, l'équation 5 est également valable dans le champ éloigné du réseau.

Comportement des sources linéaires

Influence de la taille de la colonne et de l'espacement des haut-parleurs

Les principaux paramètres affectant la directivité d'un réseau de haut-parleurs sont :

- La taille de la colonne
- L'espacement des haut-parleurs

La taille de la colonne

L'influence de la taille de la colonne est illustrée dans l'exemple suivant. Considérons une source linéaire (colonne) consistant en un nombre croissant de monopoles ($N = 2$ à 16). La distance Δz entre les monopoles est fixe ($0,17 \text{ m} = \lambda / 2$ @ 1 kHz) ce qui signifie que la longueur de la colonne $\Delta(Nz)$ est une variable dans cet exemple. Tous les monopoles sont alimentés avec le même signal, successivement un signal sinusoïdal à 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz et 1 kHz. Dans cet exemple, en se référant à l'équation 5, la fonction de directivité G et le facteur de pondération W sont égal à 1.

Les signaux d'alimentation ont été normalisés pour chaque situation ce qui signifie que la réponse axiale en champ éloigné est maintenue constante. Pour chaque situation le niveau de pression SPL est calculé sur une grille de 200×200 points dans le plan $y-z$. Les résultats sont montrés dans la Fig. 5.

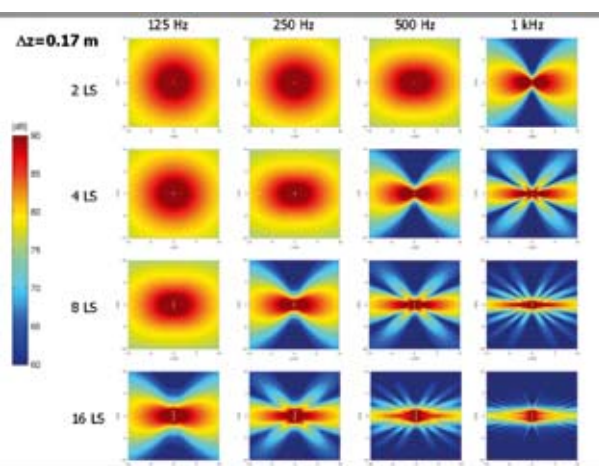


Fig. 5 : Influence de la taille de la colonne sur le comportement des sources linéaires

Quelques observations importantes peuvent être faites à la lecture des résultats de la Fig. 5 :

- Pour la même fréquence (en regardant une colonne) l'angle d'ouverture vertical du lobe principal réduit en fonction de la longueur du réseau.
- Pour une longueur de réseau fixe (en regardant une ligne), l'angle d'ouverture du lobe principal réduit en fonction de la fréquence.

Remarquez que la directivité en champ éloigné est constante le long de la diagonale (du coin inférieur gauche

au coin supérieur droit). Dans ces situations la longueur acoustique du réseau est constante par rapport à la longueur d'onde.

Les résultats permettent également de vérifier que la réponse angulaire du réseau est dépendante de la distance, particulièrement pour des réseaux de grande taille et/ou les hautes fréquences. En plus du lobe principal on voit apparaître des lobes secondaires. Ces lobes sont la résultante d'une dimension finie du réseau. La pondération de l'amplitude aux bords du réseau peut permettre de réduire ces effets.

L'espacement des haut-parleurs

L'influence de l'espacement des haut-parleurs est illustrée dans l'exemple suivant :

Considérons à nouveau une source linéaire (colonne) consistant en un nombre décroissant de monopoles (N = 16 à 2). La longueur totale du réseau N Δ Z est maintenue constante (2,72 m), ce qui signifie que l'espacement Δz est à présent la variable. Notez que la situation dans la rangée supérieure de la Fig. 6 est identique à la rangée inférieure de la Fig. 5.

On peut faire les observations suivantes : En augmentant la fréquence et/ou en augmentant l'espacement entre les monopoles, le nombre de lobes « discordants » augmente. Ils sont la résultante d'un « sous-échantillonnage spatial » aux hautes fréquences et/ou d'une trop faible densité dans le réseau.

Notez que pour une fréquence fixe (en regardant une colonne) la largeur du lobe principal n'est pas affectée par l'espacement des monopoles.

Les lobes « discordants » n'apparaissent pas si l'on satisfait au théorème de Shannon :

$$\Delta z < \lambda / 2 \tag{6}$$

Avec $\lambda = c/f$, le critère de l'équation 6 peut être reformulé ainsi :

$$f = c / 2\Delta z \tag{7}$$

En dessous de la fréquence de Shannon, les lobes discordants n'apparaîtront pas.

Sources linéaires à directivité contrôlée

Parmi les nouvelles technologies disponibles en matière de contrôle de la directivité des réseaux acoustiques, nous nous intéresserons plus particulièrement au contrôle de directivité par traitement numérique du signal (DSP) implémenté dans les colonnes AXYS® Intellivox et le nouveau système Touring AXYS® Target du constructeur Duran Audio.

Les colonnes Intellivox sont principalement destinées à la reproduction de la parole ou de sources musicales d'ambiance avec des niveaux de pression de l'ordre de 90 dB SPL (pouvant être maintenus sur plusieurs dizaines de mètres). Le système Target, quant à lui, est destiné à toutes les applications nécessitant des niveaux de pression importants sur une large bande de fréquence telles que la sonorisation de spectacles.

Nous étudierons deux technologies baptisées DDC (Digital Directivity Control) et DDS (Digital Directivity Synthesis) à même de répondre aux diverses applications.

Technologie DDC (colonnes Intellivox)

Comme nous venons de le voir, la directivité d'une source linéaire est dépendante de la fréquence, en rapport avec la longueur du réseau, ainsi que de l'espacement des transducteurs.

L'objectif de cette méthode d'optimisation sera de façonner le lobe principal tout en réduisant le niveau des lobes secondaires.

Afin de d'obtenir un lobe principal indépendant de la fréquence et de minimiser l'apparition de lobes secondaires ou discordants, les critères suivants devront être satisfaits :

- La longueur effective du réseau devra être maintenue proportionnellement à la longueur d'onde :

$$L_{\text{eff}}(\lambda) = \text{const.} \cdot \lambda$$

avec

$$\text{const} = \frac{69^\circ}{\text{BW}_{-6\text{dB.Souhaité}}}$$

- La distance Δz entre deux haut-parleurs adjacents devra être inférieure à une 1/2 longueur d'onde (cf. théorème de Shannon, équation 6).

Il peut être démontré mathématiquement que de la combinaison des exigences (8) et (6) résulte un positionnement non-uniforme (logarithmique) des transducteurs. Notez que la distance minimale entre deux transducteurs est limitée par leurs diamètres ce qui signifie que d'un point de vue pratique, la condition (6) ne pourra pas toujours être satisfaite aux hautes fréquences.

L'application de ce schéma breveté permet de réduire le nombre de transducteurs nécessaires pour la reproduction d'une plage de fréquences donnée.

Afin d'offrir le maximum de flexibilité sur le plan pratique, les paramètres suivants pourront être contrôlés par un logiciel de pilotage dédié (cf. Fig. 7) :

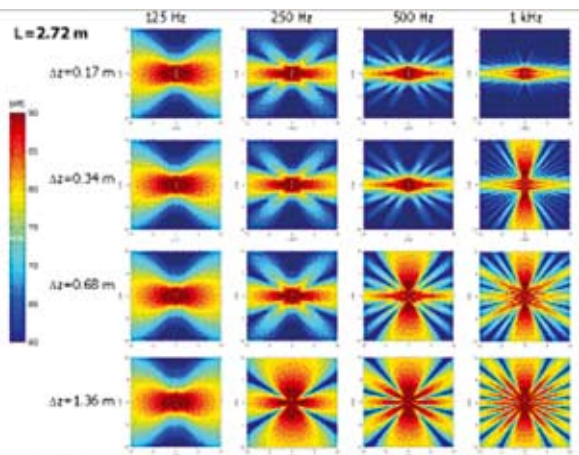


Fig. 6 : Influence de l'espacement des hauts parleurs sur le comportement des sources linéaires



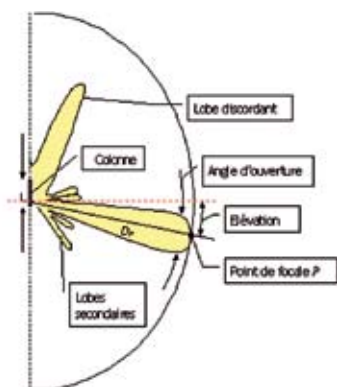


Fig. 7 : Représentation schématique d'un tracé polaire vertical en champ éloigné

- L'angle d'ouverture, défini par la largeur du lobe principal entre les points à -6 dB. Il pourra être modifié en faisant varier, grâce au traitement du signal (filtrage), la longueur acoustique effective de la colonne.

En augmentant ou en diminuant cette valeur, la portée de la colonne pourra être augmentée ou diminuée. Rappelons que l'angle d'ouverture minimal est dépendant de la longueur (acoustique) de la colonne.

- L'élévation du lobe principal, représentée par l'orientation verticale du lobe principal par application de retards différents à chaque transducteur. Le réglage de l'angle d'élévation est fonction de la hauteur du centre acoustique par rapport à la hauteur du plan d'écoute. Pour les modèles de colonnes Intellivox asymétriques, le centre acoustique est positionné au niveau du premier haut-parleur en partant du bas de l'enceinte.

- La distance de focale D_f (du lobe principal) est la distance entre le centre acoustique de la colonne et le point de focale du lobe. Ce point se situe à l'endroit où les contributions de chaque haut-parleur coïncident en temps.

Comme le lobe principal peut être orienté électroniquement (sans rotation des transducteurs) les colonnes Intellivox peuvent être installées verticalement, y compris à fleur de paroi. Cela facilite grandement leur intégration dans les environnements architecturaux. L'énergie rayonnée à l'arrière de la colonne, réfléchi sur la paroi, sera orientée dans la même direction que le lobe principal et contribuera au niveau de pression en champ direct dans la zone de couverture.

En conséquence, le niveau des réflexions tardives sera fortement réduit contribuant ainsi à une meilleure clarté et intelligibilité.

Implémentation et spécifications

En plus des paramètres mentionnés ci-dessus, des égaliseurs paramétriques, prédélais et circuits d'ajustement automatique du gain sont disponibles. Les lobes secondaires sont minimisés par l'application d'un fenêtrage d'amplitude adapté sur les zones externes du réseau (vu depuis le centre acoustique).

Souvenons-nous que l'apparition de lobes discordants ne peut être contrôlée et est totalement dépendante de l'espacement minimum entre les transducteurs ainsi que de leurs propriétés de directivité individuelles.

Le traitement du signal nécessaire est implémenté grâce à un processeur de signaux numériques (DSP). Comme il est important que les filtres des différents canaux de sortie présentent la meilleure linéarité de phase (délai de groupe constant) dans les bandes de fréquences adjacentes, ils sont implémentés dans des filtres à réponse impulsionnelle infinie (RII).

Cette méthode permet de réduire le temps de traitement par rapport à une solution qui mettrait en œuvre des filtres à réponse impulsionnelle finie (RIF). La solution RII nécessite un filtre d'interpolation pour améliorer (doublement) la résolution temporelle des circuits de retards.

Il est également possible, en option, de générer un deuxième lobe.

Exemples

Considérons la géométrie simulée en 3D de la Fig. 8 dans laquelle est représentée une colonne Intellivox-4c à la position $(x, y) = (0, 0)$.

La hauteur du centre acoustique, représenté par le point rouge, est située à une hauteur de 2,5 m du plan horizontal du sol (55×20 m).

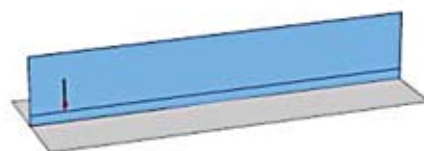


Fig. 8 : représentation en 3d d'une colonne Intellivox 4c à la position $(x,y) = (0,0)$

La hauteur du plan d'écoute est définie à 1,6 m du sol. Un plan virtuel (55×10 m) est placé perpendiculairement au sol. Notez que la colonne est placée exactement dans ce plan vertical.

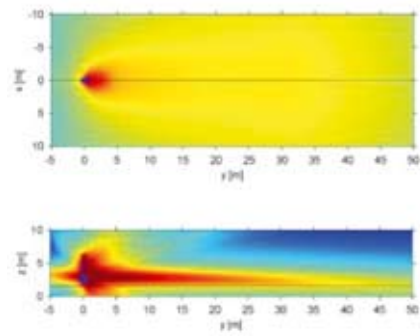
Un signal de type bruit rose est injecté dans le système et la distribution de pression (SPL) pondérée A est calculée au niveau du plan d'écoute et du plan virtuel à travers la colonne.

Ces calculs sont effectués avec les paramètres DDC suivants :

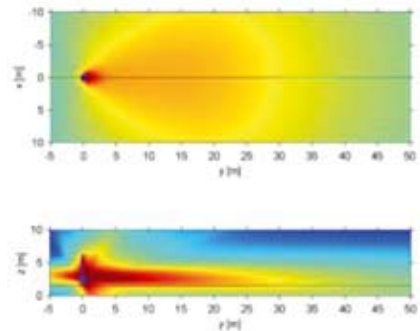
1. Angle d'ouverture 6° , élévation -1° , distance de focale 50 m. Ces réglages sont corrects en fonction de la géométrie et de la position de la colonne.
2. Angle d'ouverture 14° , élévation -1° , distance de focale 50 m
3. Angle d'ouverture 6° , élévation -5° , distance de focale 50 m.
4. Angle d'ouverture 6° , élévation -1° , distance de focale 10 m

Les résultats des simulations sont visualisés ci-dessous et peuvent être résumés comme suit :

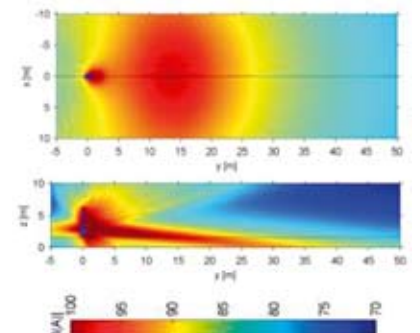
1. Comme prévu, les paramètres 1 donnent les meilleurs résultats. La distribution de pression (SPL) sur le plan d'écoute est très uniforme jusqu'à une distance d'environ 50 m. La distribution verticale montre clairement le comportement très directif de la colonne.



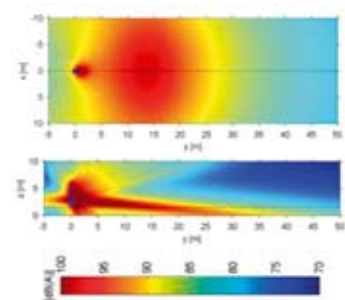
2. L'augmentation de l'angle d'ouverture à 14° réduit la portée de la colonne à 35 m au lieu de 50 m.



3. La réduction de l'angle d'élévation à -5° génère un point de surpression à environ 15 m qui peut être compris aisément en observant la distribution de pression verticale.



4. La réduction de la distance de focale à 10 m produit les effets suivants : Le faisceau converge jusqu'à une distance de 10 m puis devient divergeant au-delà de cette distance. L'utilisation d'une colonne asymétrique comme le modèle Intellivox-4c génère une courbure du lobe principal. Ce comportement peut être mis à profit en présence de fortes réflexions sur le mur du fond. En positionnant le point de focale en avant du mur, le son sera plus diffus au moment de la réflexion.



La technologie DDS

Dans les cas où le réseau est constitué de transducteurs de différents types ou lorsque les plans d'écoute possèdent des formes complexes, la technologie DDC que nous venons d'étudier présente alors certaines limites. Duran Audio a développé et mis au point pour ces applications un nouveau concept de contrôle de la directivité baptisée DDS pour Digital Directivity Synthesis. La technologie DDS est basée sur le modèle de réseau générique décrit avec l'équation 5 (voir page 28).

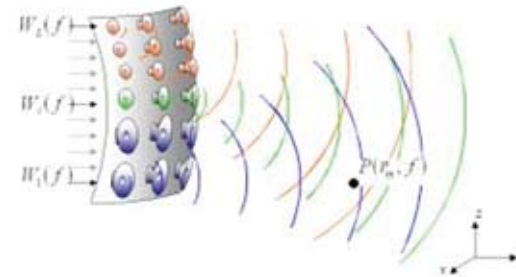
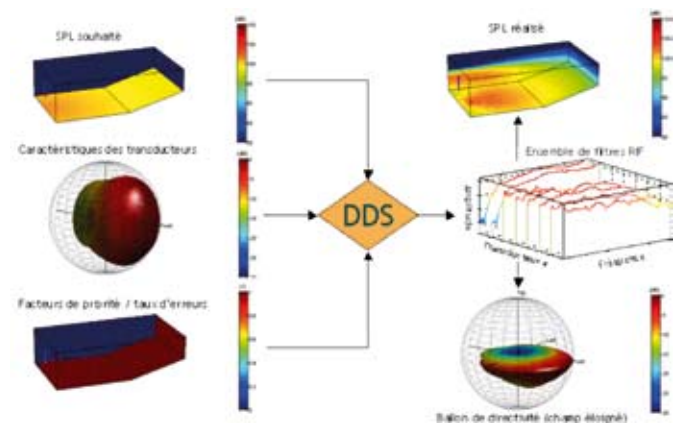


Fig. 9 :

Alors qu'il est possible de prédire la réponse P du réseau à chaque position de récepteur m dès lors que l'on connaît la composition du réseau, les propriétés G_n de chaque élément n le constituant ainsi que les filtres W_n appliqués à chaque élément, La technologie DDS aborde le problème par une méthode inverse.

Le principe de base de l'algorithme de la technologie d'optimisation DDS se décompose en plusieurs phases :



1. La définition de la composition du réseau
2. La définition d'une surface de récepteurs 3D ou d'un contour 2D du réseau
3. La définition de la réponse (en pression et en fréquence) D souhaitée à chaque position de récepteur m (D sera égal à 0 sur les murs et le plafond)
4. La mise en équation de la réponse du réseau avec la réponse D souhaitée.
5. Le calcul des filtres W_n avec le taux d'erreurs minimal :

Les filtres sont alors implémentés dans des filtres à réponse impulsionnelle finie (RIF) après transformée de Fourier inverse et fenêtrage approprié.

Avantages et inconvénients

Technologie DDC

La technologie DDC optimise le façonnage du lobe principal en champ éloigné. C'est une méthode relativement simple mais qui présente des limites pouvant restreindre ses applications dans certaines circonstances.

Avantages :

- Rapide de mise en place
- Nécessite des puissances de calcul modestes

Désavantages :

- N'est optimale que dans les cas simples
- Pas d'optimisation en champ proche

Technologie DDS

La technologie DDS est une solution globale d'optimisation d'un réseau de transducteurs donné, en relation avec la géométrie d'un plan d'écoute donné.

Avantages :

- Conception flexible et transparente du réseau pouvant être non uniformément distribué, non linéaire et/ou constitué de transducteurs de types différents.
- Directivité adaptable aux zones d'écoute
- Contrôle en champ proche et éloigné
- Optimisation du ratio énergie utile/préjudiciable
- Distribution uniforme du SPL même sur des surfaces d'écoute complexes
- Balance spectrale constante à toutes les positions d'écoute

Désavantages :

- Temps de calcul off-line allongés (nécessaire pour le calcul des coefficients de filtrage)
- Peu de place pour les approches intuitives et les ajustements sur site
- Besoins en puissance DSP

Conclusion

Il a été présenté dans ce document un aperçu de nouvelles technologies particulièrement adaptées à la sonorisation des grands volumes et plus particulièrement à la restitution intelligible du message parlé. Ces avancées technologiques ont été rendues possible grâce à une maîtrise accrue du rayonnement des sources linéaires par traitement numérique du signal.

L'accroissement rapide de la puissance des microprocesseurs et des outils informatiques a permis le développement de technologies jusqu'alors peu exploitées en sonorisation.

La démonstration a été faite qu'il existe à présent

des alternatives aux approches conventionnelles de la sonorisation de la parole des grands volumes réverbérants et que l'intelligibilité de la parole pourra y être fortement améliorée.

Références bibliographiques

- [1] Jacques Jouhaneau, *Acoustique des salles et sonorisation* (1997)
- [2] G.W.J van Beuningen, E.W. Start, *Duran Audio Optimizing of directivity properties of DSP controlled loudspeaker arrays* (2000)
- [3] NF EN60268- 16, août 1998 (Norme européenne / norme française)
- [4] NF EN 60849, août 1998 (Norme européenne / norme française)

Pour plus de détails sur les technologies DDC et DDS, le lecteur pourra se référer à la documentation disponible sur le site de Duran Audio France : <http://www.duran-audio.fr>

