

Les réseaux continus en sonorisation : histoire du développement d'un produit

François Deffarges,
 ORPHEO,
 154, allée des érables,
 ZAC Paris-Nord II Villepinte,
 BP 50042,
 95946 Roissy Charles de Gaulle CEDEX,
 francoisdeffarges@compuserve.com

Depuis de nombreuses années, la recherche de systèmes de sonorisation assurant une homogénéité de couverture toujours meilleure est un enjeu important pour les fabricants dans la conception des enceintes. De bons résultats ont été obtenus avec des enceintes distribuées, implantées à la façon de projecteurs de lumière pour assurer un « éclairage » constant de la zone à couvrir. Les performances en intelligibilité tendent toutefois vers une limite déterminée par l'importance du champ réverbéré induit. En d'autres termes, certaines situations acoustiques ne permettent pas une bonne intelligibilité quelle que soit la qualité du système de sonorisation distribuée implanté. Par ailleurs, ce type de systèmes nécessitant un grand nombre de sources, les coûts d'intégration excèdent souvent le coût du matériel implanté.

La réduction du nombre de points de diffusion a entraîné la construction d'assemblage d'enceintes (« clusters »), non conçues pour être regroupées. Ces assemblages, bien qu'esthétiques, se comportent malheureusement de façon incohérente et incontrôlée.

La société Nexo travaille depuis trois ans au développement d'une nouvelle génération d'enceintes : ce travail de conception et de mise au point est (en partie...) décrit ci-dessous.

Un peu de théorie

Les propriétés de rayonnement des sources ponctuelles (ou de petites dimensions) sont bien connues (figure 1) :

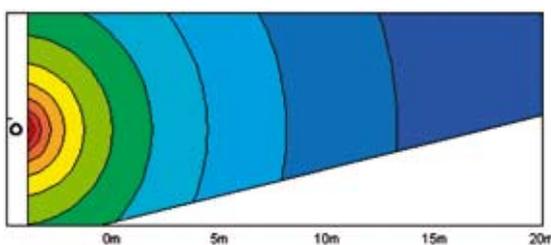


Fig. 1 : Rayonnement d'une source ponctuelle

- décroissance à -6 dB SPL par doublement de distance ;
- directivité mal maîtrisée du fait de la petite taille de la source (généralement, ces sources sont omnidirectionnelles dans les fréquences graves, et n'atteignent leur couverture nominale qu'aux fréquences aiguës).

Lorsque plusieurs sources ponctuelles sont couplées, l'espacement entre les sources induit des différences de marche responsables d'interférences. Malheureusement, ces interférences - constructives ou destructives - sont variantes avec la fréquence et l'angle d'écoute. Ainsi, lorsque deux enceintes supposées avoir une directivité nominale de 30° sont couplées à 30° , la couverture résultante donne est tellement complexe qu'elle ne peut être caractérisée (figures 2 et 3).

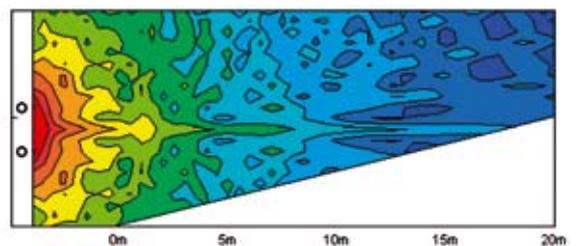


Fig. 2 : Rayonnement de deux sources ponctuelles

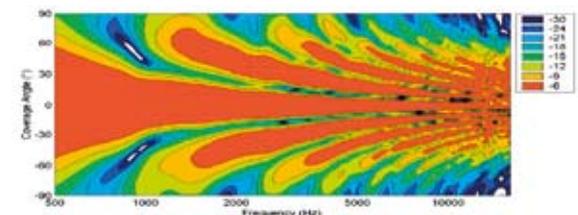


Fig. 3 : Couverture de 2 enceintes traditionnelles couplées à 30°

L'idée est donc de créer une enceinte de sonorisation dont le profil de vitesse est constant sur la largeur (ou la hauteur) de l'enceinte. Dans la pratique, un débit continu

est obtenu dès lors que la longueur d'onde est grande devant la distance séparant les sources. Si cela est aisément obtenable dans les fréquences graves, un débit continu à 8 kHz suppose en revanche un espacement inter-sources de l'ordre du centimètre. Il est donc fondamental de concevoir pour le registre médium et aigu un guide d'onde spécifique.

Avec un tel guide, plusieurs enceintes peuvent être assemblées entre elles à 0° et constituer une antenne acoustique. Les propriétés de l'antenne sont connues (figure 4) :

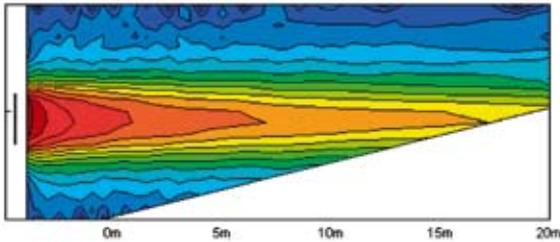


Fig. 4 : rayonnement d'une antenne droite

- décroissance à - 3 dB SPL par doublement de distance en champ proche ;
- décroissance à - 6 dB par doublement de distance en champ lointain ;
- la limite entre champ proche et champ lointain est proportionnelle à la fréquence et au carré de la hauteur de l'assemblage constitué.

Toutefois, la couverture d'un tel objet est tellement serrée qu'elle ne peut trouver d'application dans le domaine de la sonorisation : l'essentiel des applications concerne le domaine militaire (sonar...).

En revanche, si l'on augmente progressivement la courbure entre les enceintes, il est possible de construire un assemblage dont les propriétés sont intéressantes (figure 5) :

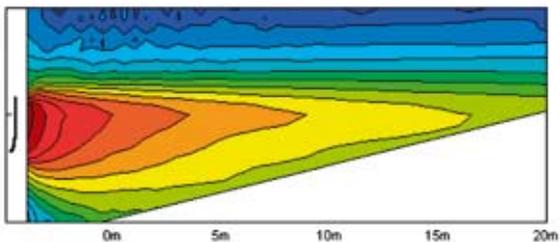


Fig. 5 : Rayonnement d'une antenne progressivement incurvée

- Niveau constant sur la zone à couvrir à partir d'un point de diffusion unique (pour une bonne définition de la géométrie de l'assemblage) ;
- forte atténuation en dehors de la zone à couvrir (typiquement plus de 15 dB SPL) ;
- grande stabilité de la réponse en fréquence, y compris aux fréquences aiguës.

Développement du guide

Le guide d'onde décrit ci-dessous a fait l'objet d'un dépôt de brevet à l'INPI le 8 septembre 2000, et a été publié le 13 mars 2002 sous le n° 1187094. Il a fait l'objet d'extension internationale.

Le guide d'onde Geo utilise un miroir acoustique pour conformer les ondes acoustiques suivant un profil déterminé.

Ce miroir est défini comme une portion de conicoïde (surface construite par révolution d'une courbe conique autour de l'axe défini par les deux foyers de la courbe). Quand le son est généré sur l'un des foyers de la conique, le profil de vitesse obtenu après réflexion est celui d'une onde acoustique générée au deuxième foyer, typiquement en dehors de l'enceinte contenant le guide d'onde.

Trois cas peuvent être distingués :

- le miroir est une portion d'hyperboloïde : le profil sphérique de l'onde acoustique générée en sortie du moteur à chambre de compression est conformé après réflexion en un nouveau profil sphérique concave de rayon supérieur (figure 6) ;

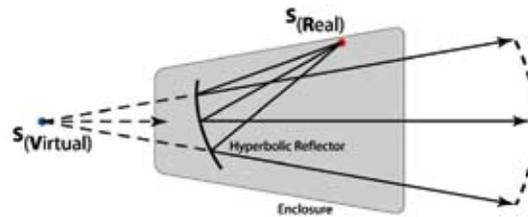


Fig. 6 : Réflecteur hyperbolique

- le miroir est une portion de paraboloïde : le profil sphérique se transforme en un profil plan (figure 7) ;

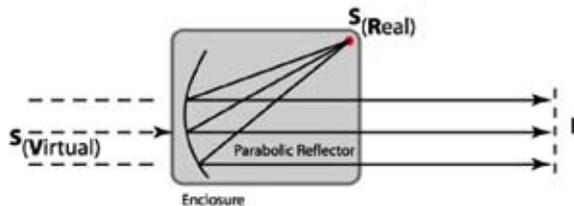


Fig. 7 : Réflecteur parabolique

- le miroir est une portion d'ellipsoïde : le profil sphérique est conformé après réflexion en un nouveau profil sphérique convexe de rayon supérieur (figure 8).

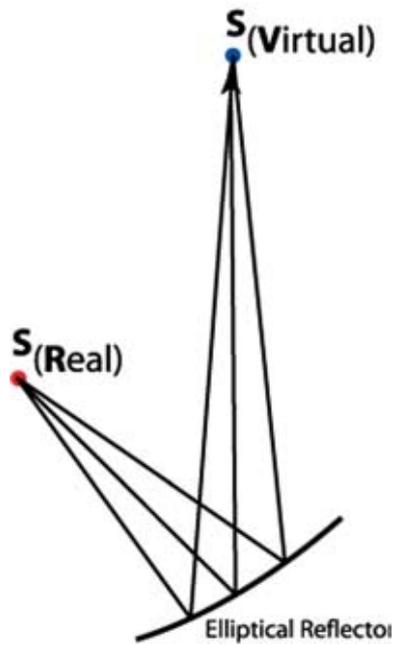


Fig. 8 : Réflecteur elliptique

La figure 9 décrit les étapes de conception du guide à miroir hyperboloïde à partir d'un profil de sortie voulu.

Réalisation de l'enceinte

Ce guide d'onde a été implanté pour la première fois dans les enceintes Nexo Geo S805 (profil de sortie de 5°) et S830 (profil de sortie de 30°), au terme d'un travail de 3 ans de bureau d'étude. Elles ont été présentées au public pour la première fois à l'AES de New York en novembre 2001.

Les Geo S805 et S830 sont des enceintes 2 voies à filtrage passif, équipées d'un haut-parleur de 20 cm de diamètre et d'un moteur à chambre de compression chargé par le guide d'onde. Le recours à des haut-parleurs Neodymium entraîne un allègement important de l'ensemble (poids avec accrochage = 12,5 kg). Les dimensions sont de 406 mm (H) x 250 mm (L) x 219 mm (P). L'impédance nominale de l'enceinte est de 16 ohms, autorisant la mise en parallèle de 6 à 8 enceintes sur un seul canal d'amplification. La dispersion dans le plan orthogonal au plan de couplage est configurable à 80° ou à 120° grâce à une modification du profil d'expansion du pavillon de sortie. Le système d'accrochage intégré permet d'angler les enceintes entre elles de 0,31° à 5° par incrément logarithmique (figures 10 et 11).

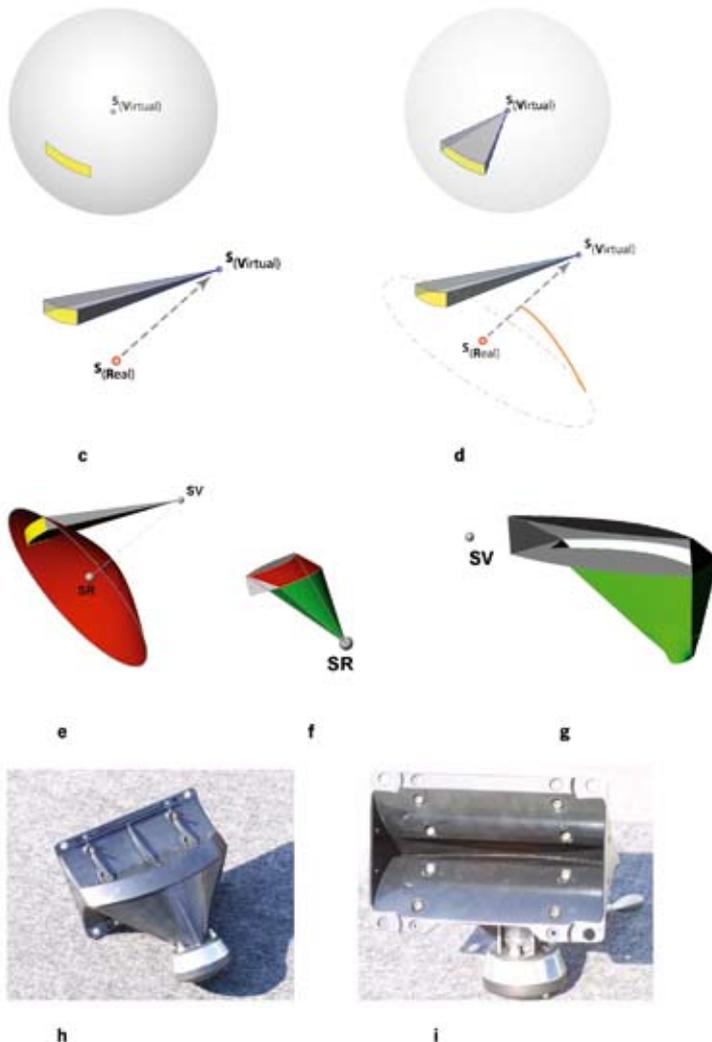


Fig. 9 : Définition et construction du guide

- a : définition du profil de sortie découpé sur une portion de sphère de centre S_v (si le rayon de la sphère est infini, ce profil devient plan) ; son contour peut être quelconque, il est rectangulaire dans le cas décrit ;
- b : définition du pavillon radial équivalent constitué de l'enveloppe reliant le centre de la sphère au contour de la portion de sphère découpée ;
- c : positionnement du générateur en S_r , typiquement au plus près de la portion découpée ;
- d : le centre de la sphère S_v et le point S_r constituent les deux foyers d'une hyperbole, représentée par la ligne rouge (à noter qu'une infinité d'hyperboles peuvent être définies à partir de ces deux foyers) ;
- e : la révolution de cette hyperbole autour de l'axe $S_r - S_v$ définit une surface hyperboloïde, dont l'intersection avec l'enveloppe du pavillon radial équivalent constitue le miroir acoustique.
- f : la jonction du générateur placé en S_r avec le miroir donne la forme générale du guide d'onde.
- g : création d'une partie adaptatrice pour un moteur à chambre de compression.
- h, i : photos d'un prototype avec un profil de sortie de 10° ; la sortie du guide d'onde est chargée par un pavillon permettant une dispersion de 80° ou de 120° dans le plan orthogonal au plan de couplage.



Fig. 10 : Vue de face Nexo Geo S805/830

Fig. 11 : Assemblage de 6 Nexo Geo S805 + Geo S830

- la directivité en pression des guides d'ondes ;
- le profil de vitesse en sortie de guide avec capteur de vitesse 3D ;
- la directivité en pression des guides couplés.

Les résultats ont été systématiquement comparés au comportement des antennes acoustiques droites et incurvées équivalentes, et ont permis de valider le comportement de la technologie.

Les figures 12 à 14 donnent les résultats de quelques-unes de ces mesures.

Une deuxième campagne de mesure a été menée sur un grand nombre d'enceintes en août 2001 en Grande-Bretagne au National Exhibition Center de Birmingham. Le lieu présente le double avantage d'être très réverbérant tout en présentant un parterre libre de tout obstacle de 2 500 m². Ces mesures ont porté sur :

- l'évolution des niveaux de pression et de la réponse en fréquence avec l'augmentation du nombre d'enceintes ;
- l'évolution des niveaux de pression et de la réponse en fréquence sur la distance ;
- le gain en intelligibilité comparé à un système traditionnel ;
- la tenue mécanique du système d'accrochage ;
- la validation d'un logiciel de simulation développé pour le bureau d'études sous Matlab™ ;

Mesures et résultats

Une première campagne de mesures a été menée au printemps 2001 au bureau d'études de Nexo. Ces mesures ont porté sur :

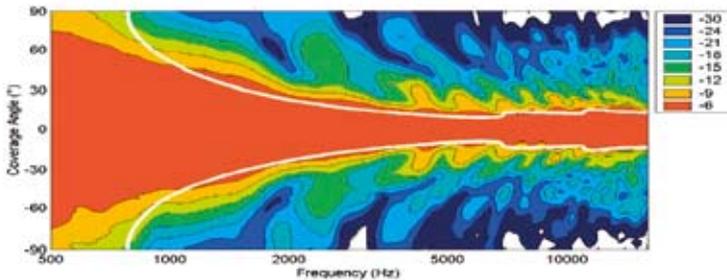


Fig. 12 : Couverture d'un guide Geo S830 comparé à l'antenne incurvée à 30° équivalente (ligne blanche) ;

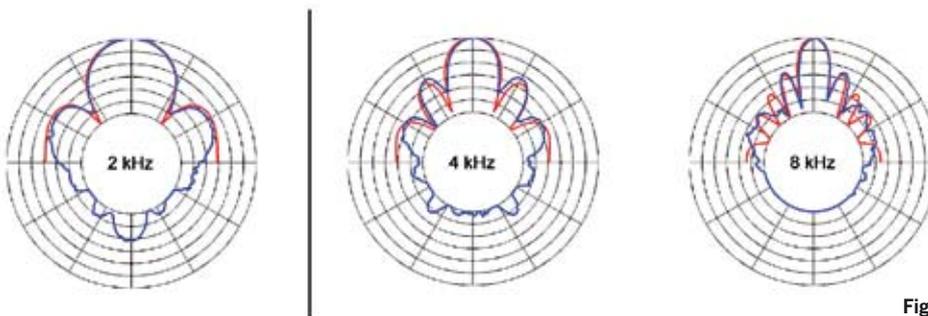


Fig. 13 : Diagrammes polaires comparés d'un guide Geo S805 et de l'antenne équivalente ;

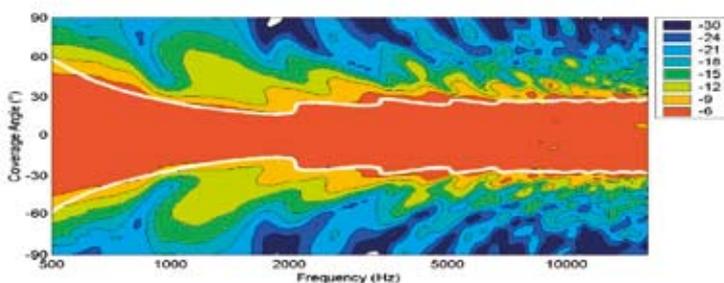


Fig. 14 : Couverture de deux guides Geo 830 couplés à 30° comparée à l'antenne incurvée à 60° équivalente (ligne blanche)

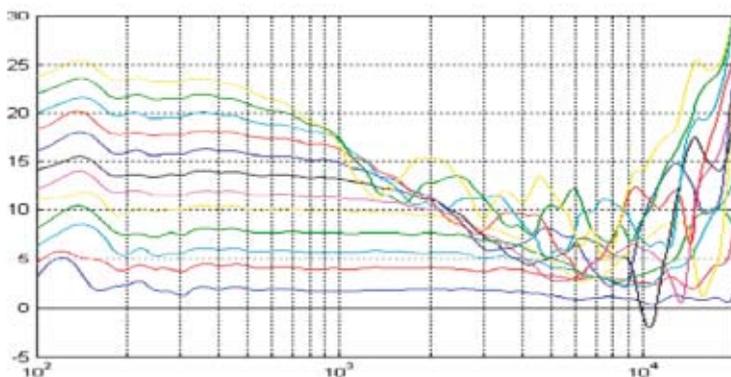


Fig. 15 : Décroissance du niveau de 2 mètres à 31 mètres pour 8 Nexo Geo S805 (référéncées à la réponse à 31 mètres)

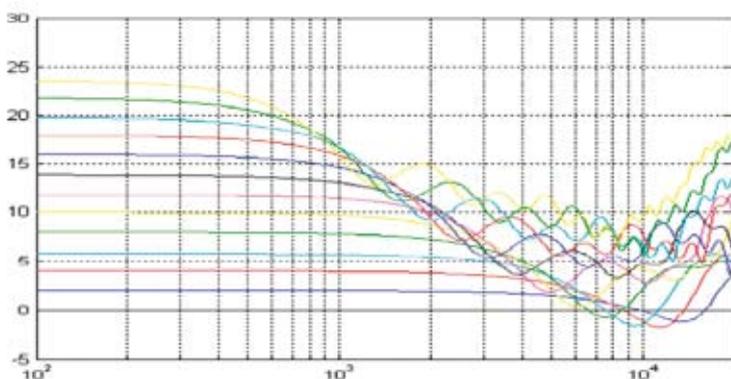


Fig. 16 : Décroissance du niveau de 2 mètres à 31 mètres pour 8 antennes acoustiques incurvées (référéncées à la réponse à 31 mètres)

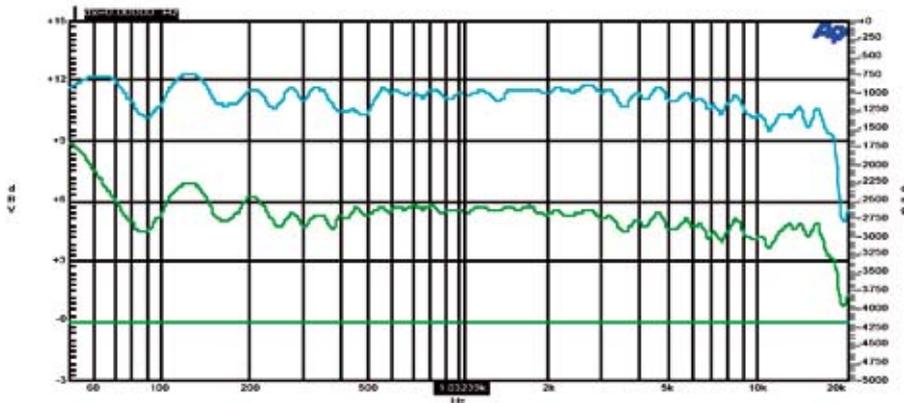


Fig. 17 : Réponse en fréquence pour 1, 2 et 4 Nexo Geo S805 (référéncée à la réponse d'une enceinte)

Les figures 15 à 17 donnent les résultats de quelques-unes de ces mesures :

- les figures 15 et 16 montrent l'évolution de la réponse de 2 mètres à 31 mètres de 8 enceintes Geo S805 comparée au modèle théorique équivalent constitué de 8 antennes acoustiques de 25 cm incurvées à 5° et alignées à 0°; les réponses en fréquence sont référencées à la réponse mesurée à 31 mètres.

- la figure 17 montre la sommation obtenue en pression pour 1 à 4 enceintes anglées entre elles à 0°.

Les disparités observées au-delà de 8 kHz tiennent à l'absorption de l'air - qui n'est pas prise en compte dans les calculs théoriques -, et au dispositif de mesure (microphone placé à même le sol, qui ne se comporte pas comme un miroir parfait aux fréquences élevées). Une fois compensés ces effets, on observe que les divergences mesurées par rapport aux modèles théoriques sont inférieures à 1,5 dB jusqu'à 14 kHz. En particulier, on observe que la sommation se fait à raison de 6 dB par

doublent d'enceintes sur l'ensemble de la bande de fréquence sans interférence.

Avec un assemblage de 8 enceintes, le niveau de pression se maintient dans 4 dB (A) pour des distances variant de 8 mètres à 80 mètres. Le RASTI mesuré varie de 0,8 à 0,65 pour ces mêmes distances.

Les essais d'accrochage ont montré qu'une erreur de 1 degré sur la première enceinte induit une erreur de couverture supérieure à 10 mètres pour les rangs éloignés, et ont entraîné la redéfinition du cahier des charges du dispositif d'accrochage avec des tolérances resserrées.

Suite à ces différentes phases de validation, il est apparu clairement qu'un logiciel d'aide à la conception devait être développé afin de permettre l'optimisation rapide de la géométrie des assemblages en fonction de la géométrie des zones à couvrir. Une version simplifiée du logiciel développé pour le bureau d'étude est aujourd'hui disponible pour les utilisateurs et les concepteurs.

