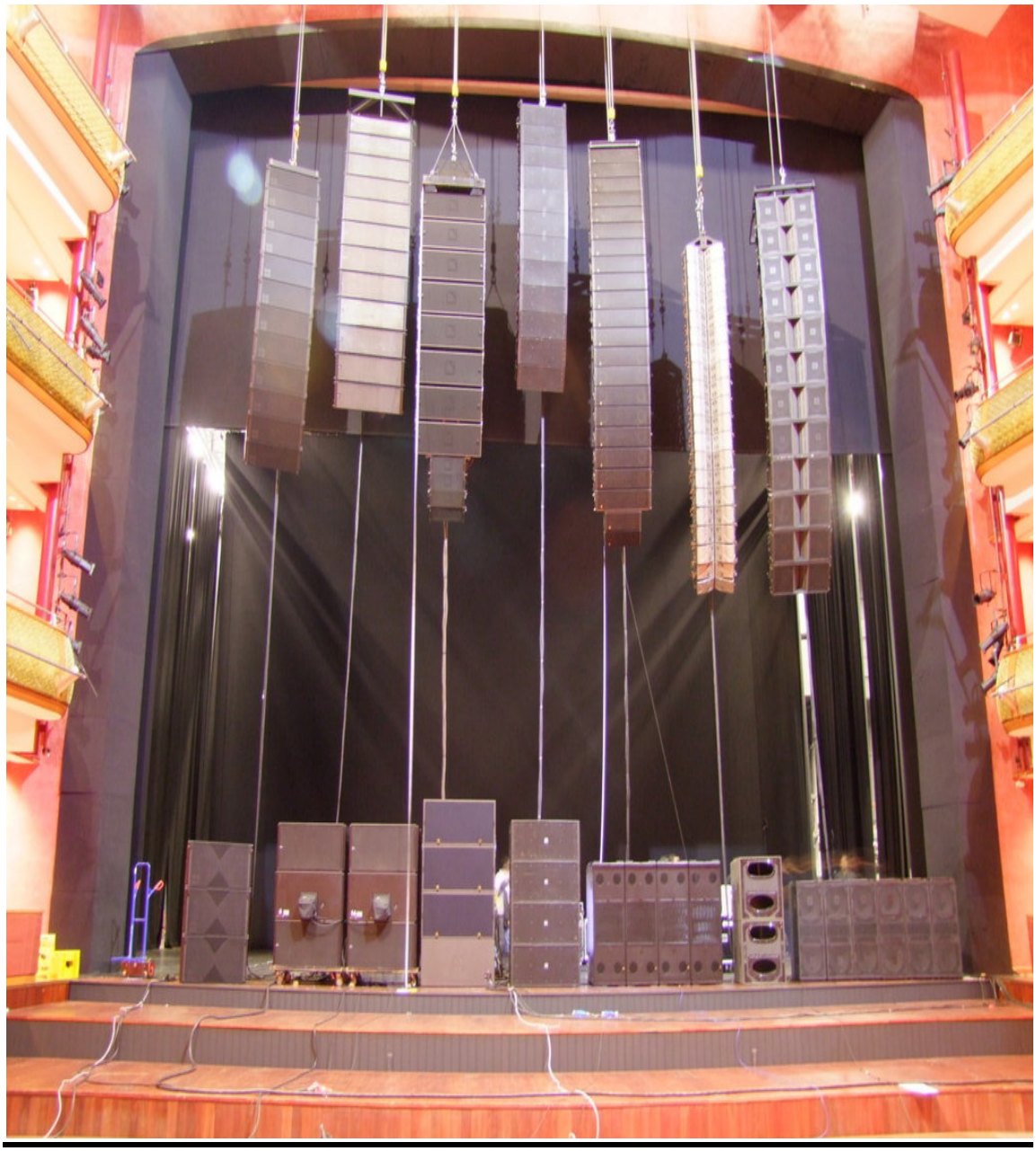
Giani MANSARD
Diplôme Professionnel Son 2ème Année
2008-2009

LES SYSTEMES DE DIFFUSION TRADITIONNELS ET LE LINE ARRAY



Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

PLAN

I) Introduction **p.2**

II) Système de diffusion traditionnel **p.3**

1. Technologie appliqué et principe de fonctionnement d'un système traditionnel p.3
2. Installation Mise en œuvre p.4
3. Les limites de ce système p.9

III) Le line array **p.11**

1. Introduction au line array p.11
   a. Pourquoi le line array ? p.11
2. Description et principe de fonctionnement du line array p.11
   a. L'approche de Fresnel p.11
   b. La WST et ses critères p.13

IV) Technologie appliqué aux line array *Meyer Sound.* **p.*22***

1. Le guide d'onde REM p.22

V) Les Sources **p.25**

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

I) INTRODUCTION

Les systèmes de sonorisation utilisées pour la reproduction sonore d'événements et de concerts, ont sans cesse, subit des évolutions technologiques au fil du temps.

L'objectif étant d'obtenir une intelligibilité et un confort d'écoute optimale sur toute l'audience.

De ce fait, mon mémoire aura pour but, l'étude des systèmes de diffusion.

Avant d'étudier le système line array, il y aura une partie consacrée à l'étude des systèmes traditionnels de types « château », ensuite, j'exposerai la méthode employée pour la conception du système line array, ainsi que l'évolution de celui-ci depuis sa création, jusqu'aujourd'hui.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

II) SYSTEME DE DIFFUSION TRADITIONNEL

1) Technologie appliqué et principe de fonctionnement d'un système traditionnel

Un système de sonorisation traditionnelle se compose d'enceintes de forme trapézoïdale assemblé entre elles, afin d'obtenir une pression et une couverture sonore en adéquation avec l'audience.

De ce fait pour obtenir de la pression et une couverture sonore optimale, certains constructeurs ont opté pour la création d'enceintes à haut parleur chargé par un pavillon.

(Exemple ci-dessous d'une enceinte à haut parleurs pavillonné)



Pourquoi le pavillon ?

Avant d'entrer dans les termes techniques, faisons l'analogie avec une personne qui met ses mains devant sa bouche lorsqu'il veut que sa voix porte loin.

En audio, on a recourt à cette méthode, puisque le fait de charger un haut parleur avec un pavillon, permet d'augmenter son rendu acoustique

Dans une enceinte, le pavillon acoustique, joue le rôle de transformateur entre l'impédance haute de la source rayonnante (c'est-à-dire la membrane du haut-parleur, dont la masse volumique est assez élevé, causé par les matériaux mise en œuvre lors de sa conception), et la basse impédance acoustique de l'air dont la masse volumique est relativement faible (1.18 kg/m3).

Le pavillon a pour mission, d'augmenter la masse volumique de l'air au voisinage du cône, pour que l'adaptation d'impédance soit réalisée.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Il est composé d'un lieu de départ et de fin, respectivement appelé :

- **surface de gorge SG :** elle se situe à l'entrée du pavillon
- **surface de bouche SB :** elle se situe à la sortie du pavillon

La surface de gorge établit le rendement de l'enceinte à pavillon :

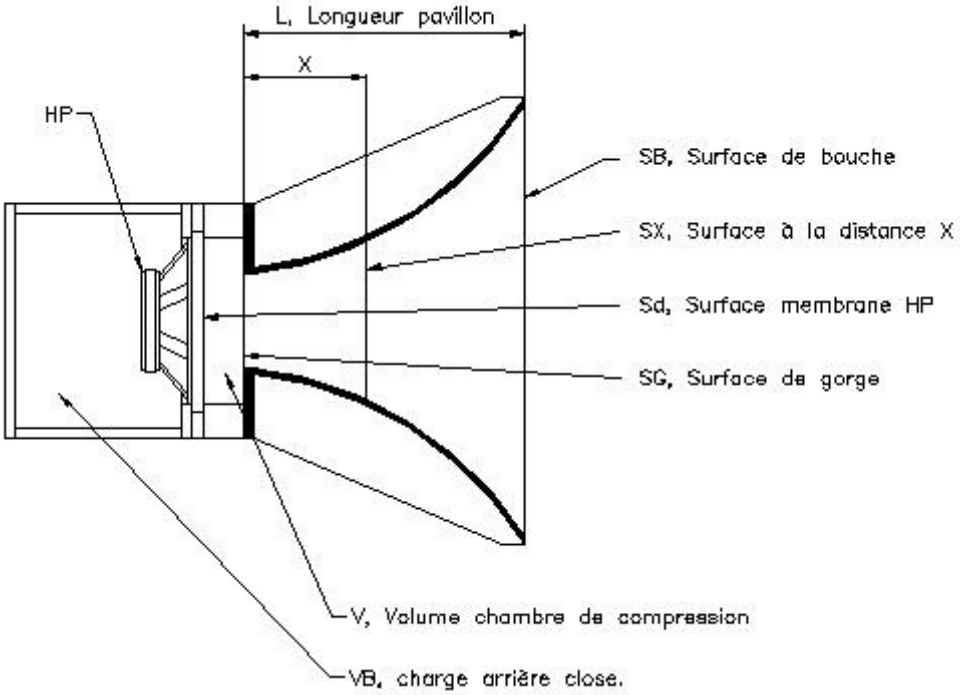
La surface de bouche intervient quant à lui sur le rayonnement de la longueur d'onde d'une fréquence F :

Pour qu'une longueur d'onde soit rayonnée correctement, il faut que la circonférence à la surface de la bouche, soit égale à celle-ci.

La forme du pavillon est exprimée par la loi d'expansion, celle-ci détermine la fréquence la plus basse à reproduire

Entre le pavillon et le haut parleur, se trouve *le volume de chambre de compression* qui se comporte comme un filtre passe bas dont la fréquence dépend de sa dimension.

Afin de renvoyer toute l'énergie sonore dans le pavillon, le Haut parleur est placé dans *une charge arrière close.*



Le critère déterminant de ce type de montage, c'est le rendement, qui est nettement supérieur à celui d'un haut parleur monté dans une enceinte à évent.

De ce fait, pour avoir un rendement maximal, il faut que le calcul du pavillon, de la charge arrière close ainsi que celui du volume de la chambre de compression par rapport au haut parleur, soit le plus précis possible.

2) Installation et Mise en œuvre

Avant toute installation de système de diffusion dans un lieu donné les paramètres à tenir en compte sont le niveau de pression acoustique SPL et la couverture.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

2.1) Le niveau de pression acoustique Spl

Il est difficile de donner une recommandation générale sur le niveau de pression acoustique (SPL) nécessaires pour des applications. La pertinence d'un système de sonorisation sera dépendant de divers facteurs tels que la nature de l'environnement sonore, de ses propres programmes d'utilisation ainsi que de l'emplacement des haut-parleurs par rapport au public.

Aussi, le niveau de pression acoustique d'un système diminue avec la distance.

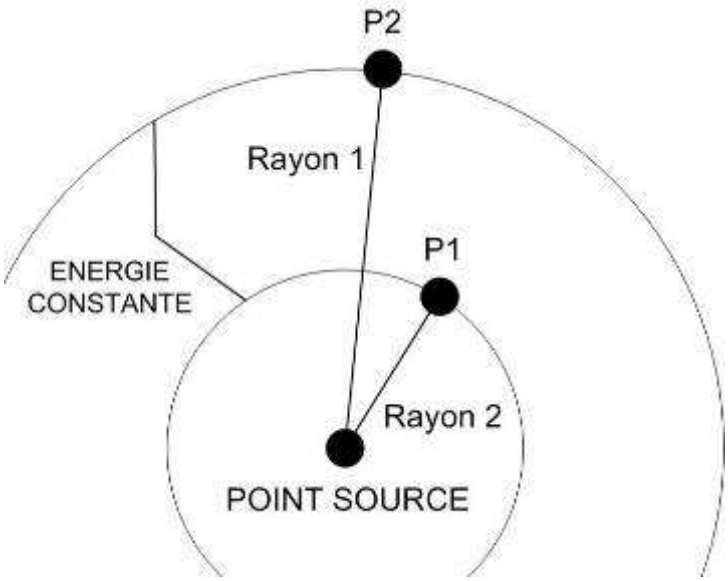
A chaque doublement de la distance, on observe une perte de 6 dB SPL dont la formule de calcul est :

Niveau à la distance r1 (dB) – niveau à la distance r2 (dB)

= 10log $\left(\frac{Ir1}{Ir2}\right) = 10log\left(\frac{r2^2}{r1^2}\right) = 20log\left(\frac{r2}{r1}\right)$

I =intensité sonore

r = Rayon du cercle



Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Voici quelque valeur d'atténuation du niveau SPL en fonction de la distance :

Distance	Rel. Level
2m (6.5 ft)	-6 dB
3m (9.8 ft)	-10 dB
5m (16 ft)	-14 dB
10m (33 ft)	-20 dB
20m (65 ft)	-26 dB
30m (98 ft)	-30 dB
40m (131 ft)	-32 dB
80m (262 ft)	-38 dB

En théorie, une paire de haut parleur utilisé à gauche et à droite de la scène, augmentera le niveau SPL de 3dB.

Dans un système stéréo le niveau SPL requis à la position de mixage est en moyenne de 100 dB SPL.

Si la console de mixage est placée à 20 mètres de la scène, et que l'on veut obtenir une pression de 100 dB Spl, chaque partie du système devra délivrer 126 dB Spl : 100 dB +26dB =126 dB Spl.

Compte tenu du couplage de ces deux systèmes, le niveau Spl à obtenir serait plutôt de 123dB Spl : 126 dB – 3 dB = 123 dB Spl.

De plus, il serait judicieux de garder une marge de manœuvre d'environ 12dB, afin de reproduire aisément les niveaux élevés. Dans ce cas, un système de diffusion capable de délivrer 135 dB Spl devrait s'avérer suffisante.

2.2) La couverture

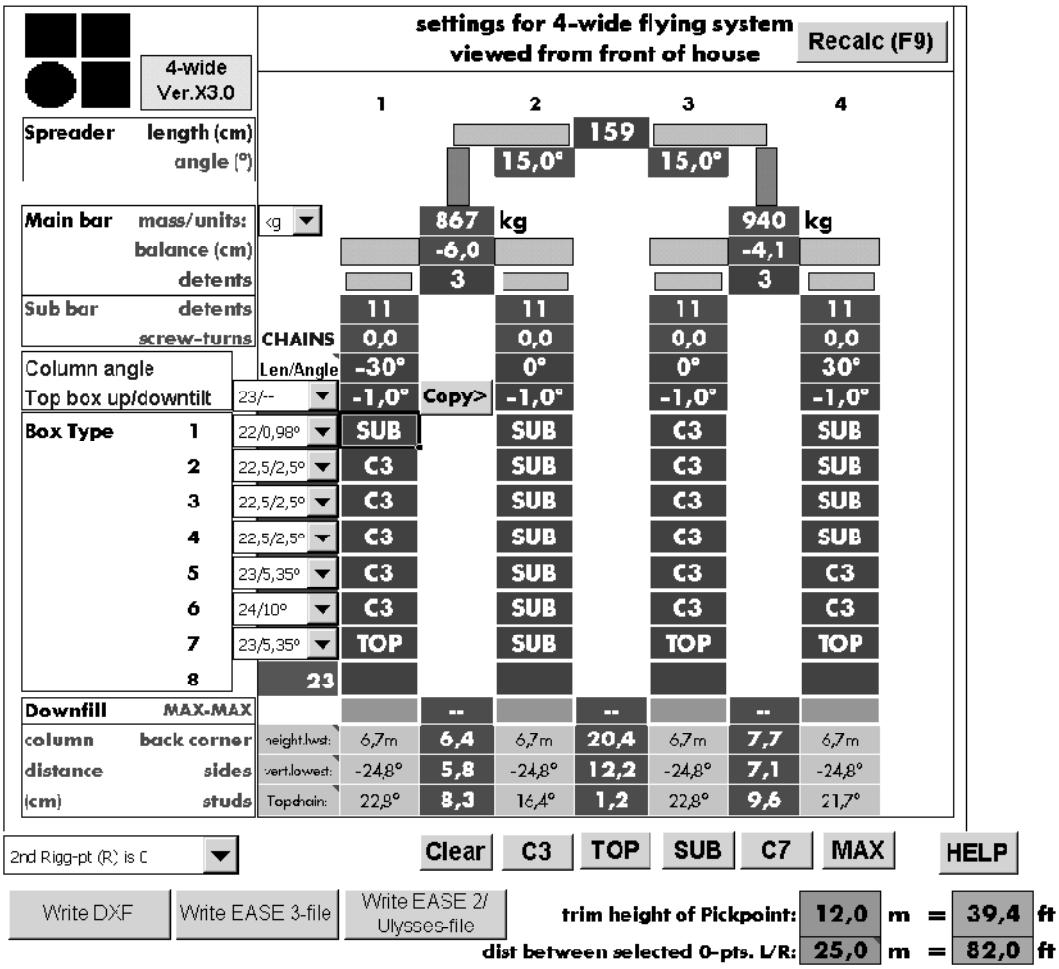
La couverture est un critère décisif pour la perception du message retransmis.

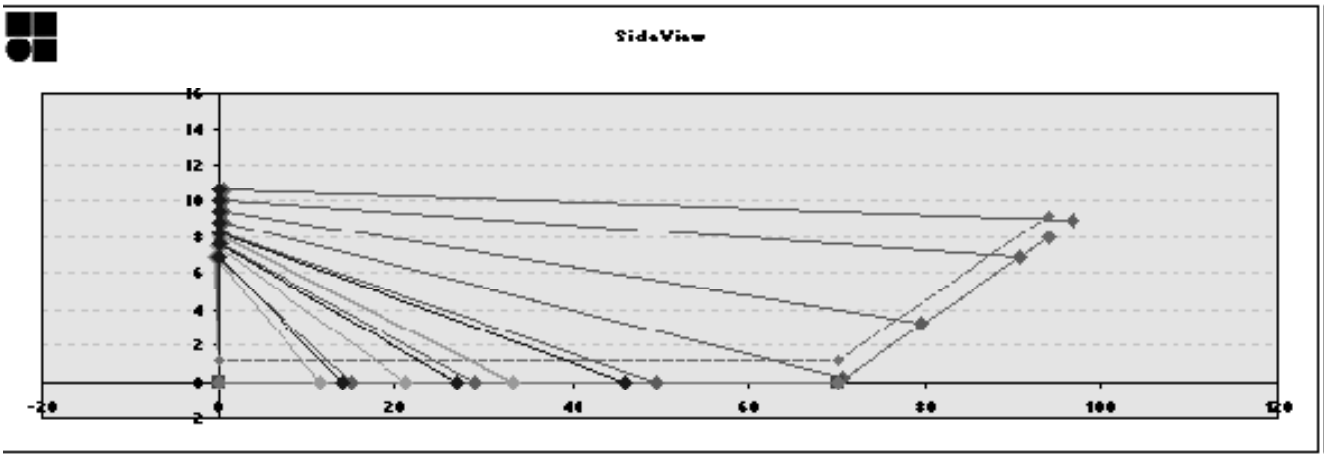
Naturellement, le système de diffusion doit avoir une couverture suffisamment large horizontalement et verticalement, pour tenir dans l'ensemble de l'auditoire.

Placer des enceintes trop bas et trop proche du public donnera un niveau sonore élevé en champ proche et provoquera une couverture incohérente sur l'audience.

Sur le plan vertical, la colonne d'enceintes, sa hauteur et l'angle déterminera la distribution du niveau sonore. Pour avoir une bonne couverture, l'angle de chaque enceinte est défini de façon indépendante à l'aide de logiciel de calcul *(Voir image ci-dessous page de calcul d&b Audioteknik)*.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr





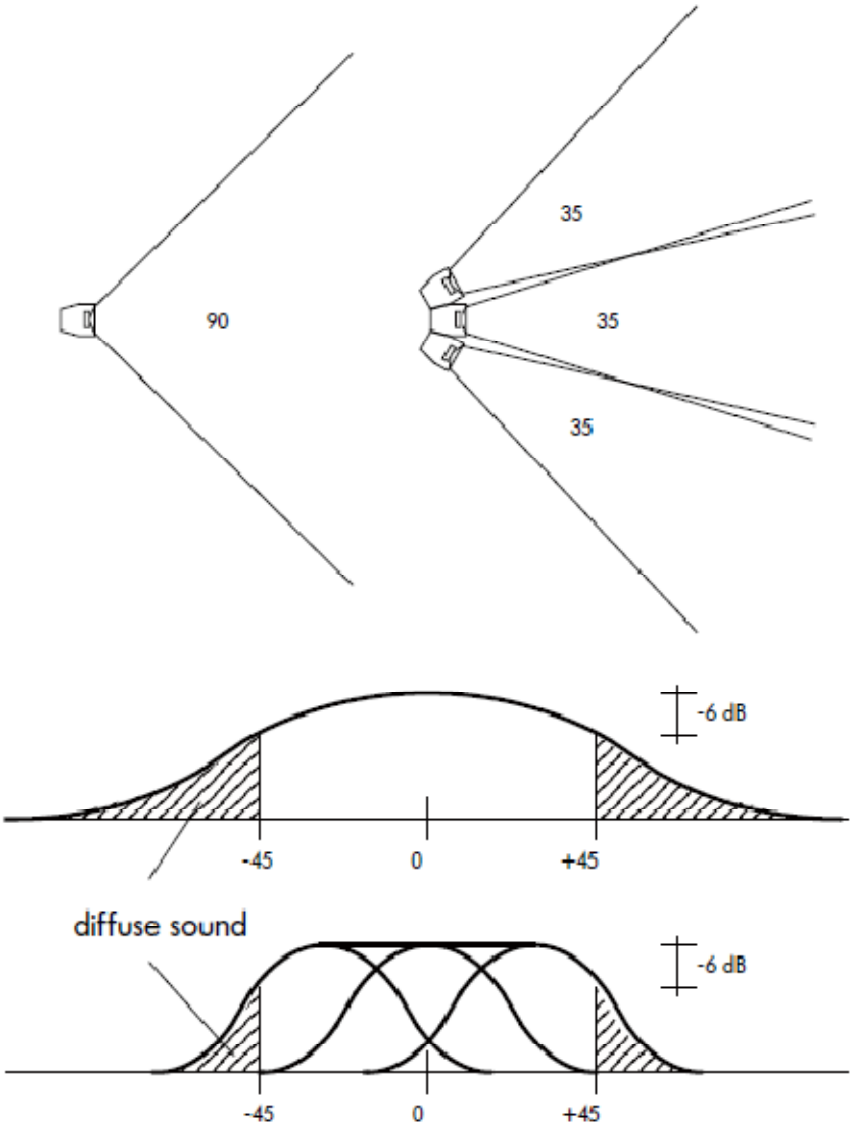
Sur le plan horizontal, la couverture ne devra pas être plus large que ce qui est nécessaire pour couvrir l'audience, Son rayonnement dans d'autres directions ajoute l'énergie dans le champ sonore diffus, ce qui rend le message moins intelligible.

Si, par exemple, une couverture horizontale de 90° est nécessaire, le système de sonorisation peut être composé d'une enceinte ouvrant à 90° ou de plusieurs enceintes ayant une ouverture moins importante (30 à 40°) : Cette dernière solution donnera une couverture plus homogène, un

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

meilleur contrôle de la directivité du système qui permettra d'atténuer le niveau sonore en périphérie de la zone d'écoute.

Cette atténuation est très utile lorsque l'on travaille dans un environnement réverbérant. *(Voir image ci-dessous)*.



Comparison of a single 90° coverage cabinet with a 3-wide array of 35° systems

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

3) Les limites de ce système

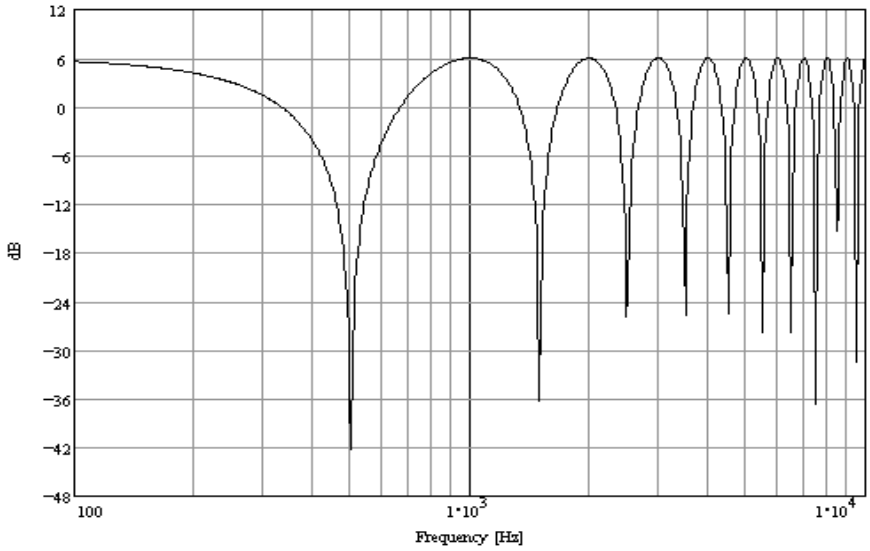
En ayant un système de diffusion composé de plus d'une enceinte de chaque coté de la scène, un problème inévitable apparait : l'Effet de filtre en peigne.

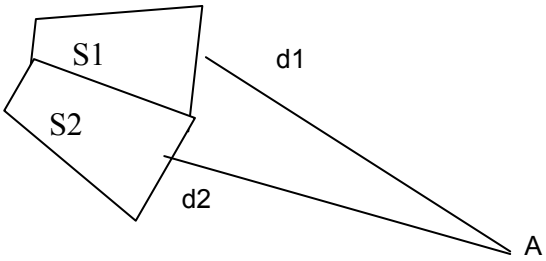
Les enceintes se comportent comme un assemblage de sources ponctuelles dans le stack créant un front d'onde incohérent.

La réponse en fréquence est très inégale caractérisé par des creux et des bosses dans le spectre audio variant selon la fréquence et la position de l'auditeur.

Si les signaux identiques, reproduit par différentes sources, arrivent à un point de l'espace sans une différence de temps, ces signaux sont appelés cohérent. Dans ce cas, on observera une augmentation du niveau de 6dB Spl.

Néanmoins, si les signaux arrivent à un point de l'espace avec un décalage dans le temps, les ondes s'annulent et donne lieu à des interférences destructives (Dans cette zone d'écoute, la fréquence est considérée comme inexistante).





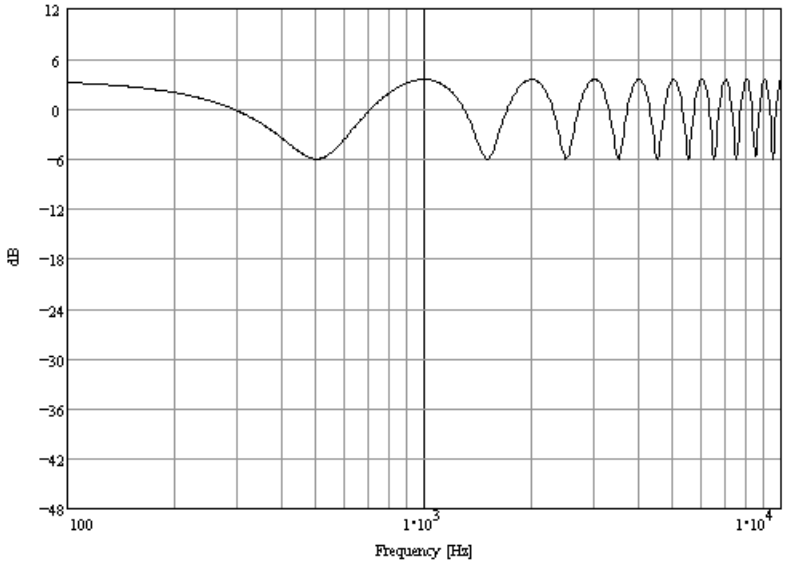
Dans l'exemple ci-dessus, on a deux sources de niveau égal et une différence de temps de 1ms est ajoutée.

1ms correspond à un cycle complet à fcomb = 1 Khz

Nous savons qu'une opposition de phase a lieu à 180° c'est-à-dire à la moitié d'un cycle, la 1ère annulation de fréquence apparaitra pour fcomb =1 / 2x 0,001 = 500 Hz.

Cependant, si les niveaux des sources sont différents, l'effet de filtre en peigne reste le même, seule la profondeur de l'annulation est atténuée. (Voir image ci-dessous).

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr



Pour minimiser l'effet de filtre en peigne, les enceintes doivent être disposées de façon à ce que la zone de recouvrement entre elles, soit réduite.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

III) LE LINE ARRAY

1) Introduction au Line Array

a) Pourquoi le Line Array ?

Dans un système de sonorisation les critères qui ont toujours été recherché, sont une couverture sonore uniforme, tant en puissance qu'en bande passante.

Néanmoins, on a vu dans le chapitre précédent que l'assemblage d'enceintes traditionnelles formant un éventail en fonction de la couverture horizontale laisser apparaitre des interférences destructives entre elles.

De plus l'onde sonore rayonnée par les hauts parleurs ne couple pas avec cohérence, provoquant une perte de l'énergie acoustique. Dans ce cas il faudrait multiplier le nombre d'enceintes pour obtenir la même pression acoustique générer par une seule source.

Avec ce type d'installation, la clarté sonore optimale ne peut être obtenue que par l'usage d'une enceinte individuelle.

En conclusion une couverture sonore uniforme peut être obtenue par le rayonnement d'une source sonore ponctuelle.

C'est de cette façon que le principe du line source a été développé.

Le principe étant de créer une source sonore ponctuelle (source constitué par un seul point d'émission) en utilisant plusieurs enceintes dont on puisse contrôler l'ouverture afin de concentrer l'énergie sur la zone d'audience qui nous intéresse.

On aurait donc un front d'onde cohérent.

2) Description et principe de fonctionnement du line array

a) L'approche de Fresnel

Fresnel démontrait que le fait que la lumière est une onde, cela impliquait un phénomène d'interférences lorsqu'une source lumineuse étendue et isophase était observé à partir d'un point.

Son idée, était de séparer une principale source lumineuse dans différentes zones composées de sources lumineuses élémentaires.

Les zones sont classées en fonction du temps d'arrivée à l'observateur, de telle manière que la première zone apparait en phase, la deuxième zone est composée de sources primaires qui sont en phase à la position de l'observateur, mais en opposition de phase avec la première zone.

Le Dr Christian Heil s'est inspiré des idées de Fresnel afin de réaliser une source sonore ponctuelle.

En considérant une ligne de source plate, continue et isophase et afin de déterminer comment cette onde continue devant être obtenue à la position d'écoute, nous dessinons des sphères centrées sur la position de l'auditeur dont les rayons sont incrémentés par pas de $\lambda/2$

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Le premier rayon correspond à la distance qui sépare l'auditeur à la ligne (*Voir image ci-dessous*).

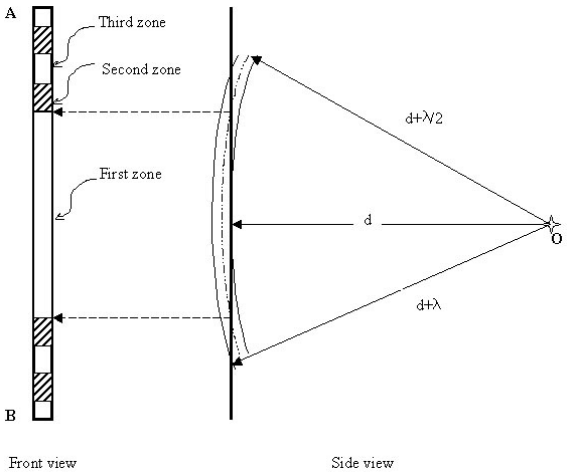


Schéma 1

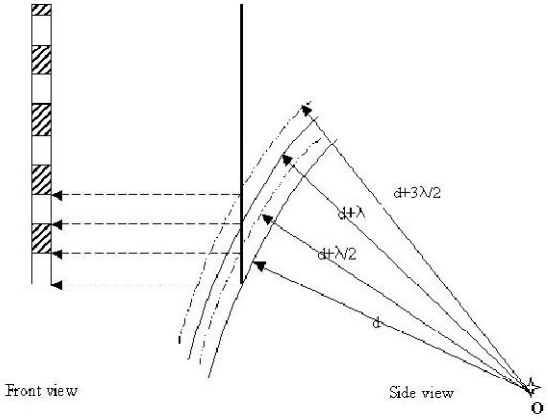


Schéma 2

Sur ces schémas, deux cas peuvent être observés :

- L'apparition d'une zone dominante située entre les deux cercles, on peut penser que les sources sont en phase et qu'elles couplent de manière constructive.

  Les zones extérieures ont quasiment la même taille et sont alternativement en phase et hors phase.

- Il n'y a pas de zone dominante en périphérie de la première zone. Le couplage n'est pas réalisé et des interférences destructives apparaissent.

  Aucun son n'est rayonné à la position de l'auditeur.

A noter qu'on a utilisé une fréquence unique dans le cadre de cette expérience.

Le résultat ne sera pas le même en variant la fréquence :

Si la fréquence est réduite, la taille de l'anneau augmente, tout comme la longueur d'onde de celle-ci.

La zone dominante augmentera aussi.

Néanmoins, si la fréquence augmente, la taille de l'anneau et la zone dominante diminuent.

Enfin, pour une fréquence constante, si on s'éloigne de la ligne de source, la zone dominante aura tendance à croitre et inversement, si on se rapproche de la ligne, la zone dominante décroîtra, causé par la courbure des anneaux (*Voir schéma ci-dessous*).

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

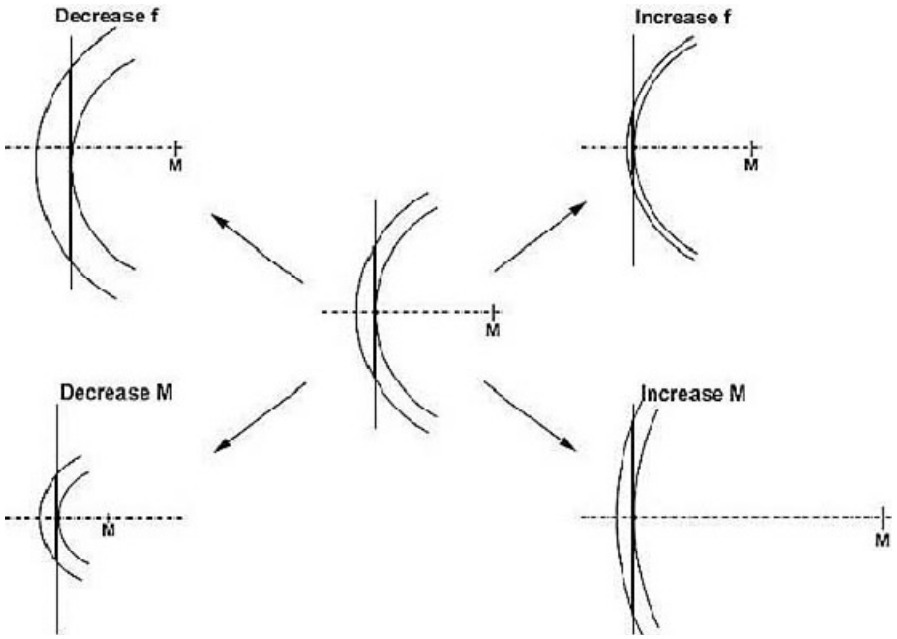


Schéma n°3 : L'effet de l'évolution de la fréquence et la position d'écoute.

b) La Wst et ses critères.

Pour créer une line source, Christian Heil a du respecter au maximum les idées de Fresnel, ce qui lui a conduit à développer les principes de la WST (WaveFront Sculpture Technology) dont l'objectif est de trouver les conditions physiques pour qu'un assemblage de plusieurs enceintes en ligne soit assimilable à une source sonore unique.

Le line array consiste à réaliser un empilage d'enceintes acoustique en ligne.

C'est cet assemblage qui est préconisé pour créer une line source

De plus il y a d'autres paramètres à tenir en compte définis sous les critères de la WST qui seront décrit ci-dessous.

Le 1er critère :

Il faut que la surface couverte par l'ensemble des sources acoustiques (haut-parleurs et guides d'ondes) soit supérieur ou égale à 80% de la surface totale de la ligne.

On parlera donc du facteur ARF (Active Radiating Factor).

Le 2è critère :

Selon la loi d'olson, pour qu'un ensemble se comporte comme une source unique, les distances séparant les différentes sources émissives doivent être inférieure ou égale à la demi-longueur d'onde de la fréquence d'utilisation la plus élevée

$$STEP \leq \frac{\lambda}{2}$$

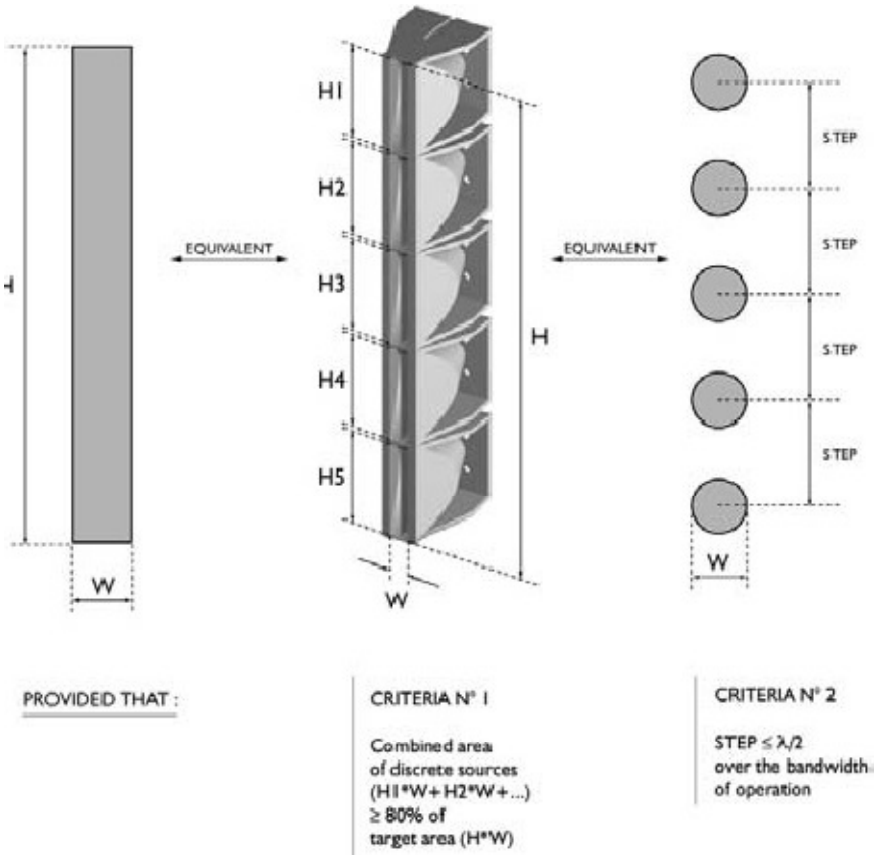
Dans ce cas, chaque source sonore fusionnent entre elles et forment un front d'onde dont la directivité sera dépendante de la longueur acoustique de la ligne.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Si la distance doit être égale à la demi-longueur d'onde de la fréquence à reproduire, on constate que ce critère est facile à respecter dans les basses fréquences, mais dans les hautes fréquences cela est moins évident car si l'on veut réaliser un couplage à une fréquence de 16000 Hz, il faut que la distance entre les haut parleurs soit inférieure à 1cm, cela est impossible.

- $\Lambda = \frac{16000}{340} = 2\,cm$
- $\frac{2}{2} = 1\ \text{cm}$

Ce critère exige également la mise en œuvre d'épaisseurs de matière la plus faibles possibles entre chaque enceinte de la ligne.



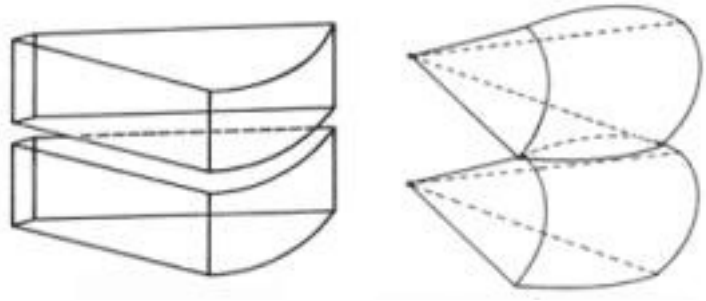
De plus les pavillons conventionnels ne sont pas adaptés pour diffuser les hautes fréquences.

Leurs courbure du front d'onde est supérieur au quart de la longueur d'onde pour les fréquences situées au-delà de 6 à 8khz selon la forme du pavillon.

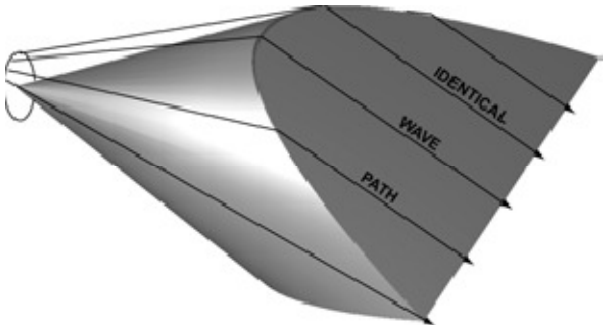
Ce qui nous ramène à des recouvrements provoquant des interférences destructives.

Un guide d'onde a été spécialement mis au point pour palier à ce problème : le Dosc (Diffuseur d'Ondes Sonores Cylindriques) génère un front d'onde plan et isophase en sortie d'une ouverture rectangulaire.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr



La particularité de celui-ci, vient du fait que chaque onde sonore emprunte des trajets de longueur identique. En sortie du guide, on retrouve un front d'onde parfaitement en phase en forme de ruban.



En termes de directivité, il a une couverture verticale très étroite et une couverture horizontale large

Le guide d'onde est couplé à un moteur à chambre de compression classique

Il permet un couplage cohérent jusqu'à des fréquences supérieures à 16khz.

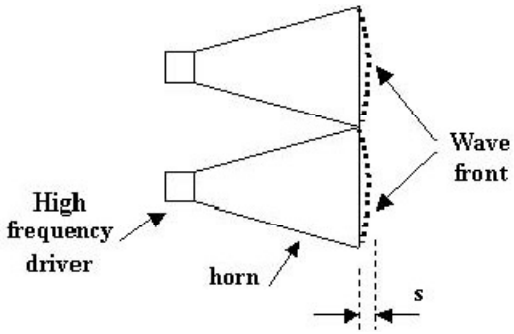
Avec la création du Dosc, le deuxième critère de la WST est respecté.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Le 3è critère :

Considérons une série de trompes disposées verticalement, séparés que par leurs bords.

On obtient un front d'onde ayant des ondulations de magnitude S (*voir schéma ci-dessous*).



Le cas le plus critique a lieu à hautes fréquences où la longueur d'onde est de plus petite taille, par exemple, 2 cm à 16 kHz. Selon Fresnel, lorsque l'on est situé dans le champ lointain le rayonnement du front d'onde ne doit pas être supérieure à la moitié de la longueur d'onde, c'est-à-dire, 1 cm à 16 kHz. Malheureusement, les conditions sont beaucoup plus restrictives dans le champ proche.

Le schéma ci-dessous, affiche le niveau SPL calculé en fonction de la distance d'une ligne de 30 trompes, faisant chacun 15cm de haut et produisant un front d'onde incurvé de 0,3 m (ondulation s=10 mm).La comparaison avec une onde plane montre le comportement chaotique de la ligne à partir de 8Khz et augmentant avec la fréquence.
Mise à part les fortes fluctuations du niveau SPL à des fréquences plus élevées, il y a aussi une perte de 4 dB à 16 kHz de 10 à 100 mètres.

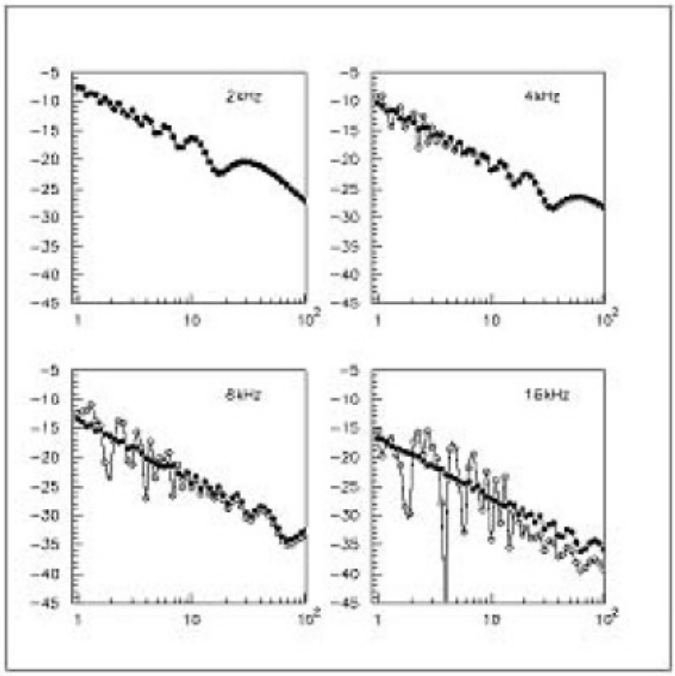


Figure 9:
SPL vs distance for a vertical array of 30 horns (total height = 4.5 m, wavefront curvature s=10 mm) calculated at 2, 4, 8 and 16 kHz. White dots: line array, black dots: continuous line source.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Une seconde comparaison concernant la directivité de l'array de 30 trompes : On constate des pics dans le champ proche aux fréquences supérieures à 8 Khz.

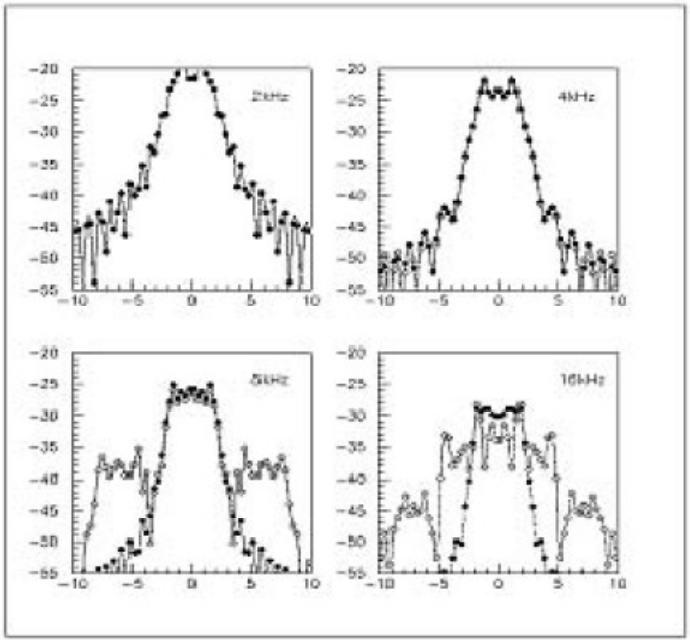
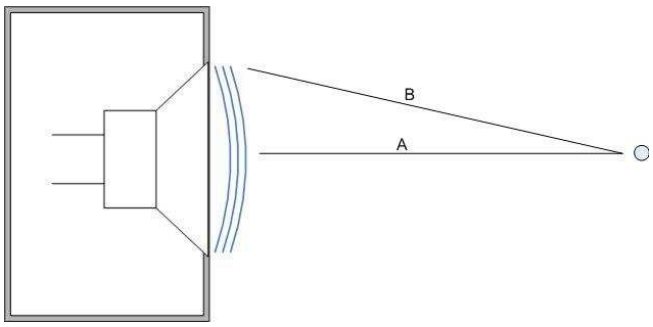


Figure 10:
SPL along a vertical path, 20 m away from the vertical array of 30 horns (total height = 4.5 m, wavefront curvature s=10 mm) calculated at 2, 4, 8 and 16 kHz. White dots: line array, black dots: continuous line source.

Il est donc nécessaire de réduire la courbure du front d'onde de moitié (S<5mm). De cette façon on obtient un résultat le plus proche d'un line source allant jusqu'à 16 KHz.

Dans le cas contraire, la différence de chemin parcourue par les deux ondes provoquera des interférences destructives.



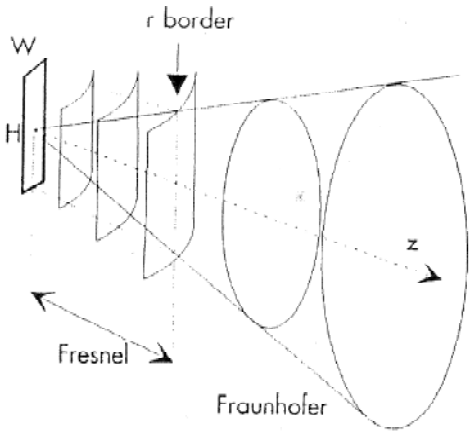
En conclusion, on peut dire que la déviation par rapport à un front d'onde plat doit être inférieure à λ/4 à la fréquence la plus haute à reproduire, ce qui équivaut à 5mm à 16 KHz.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Le 4è critère :

Le 4è critère traite du mode de propagation de l'onde sonore d'un système Line array.

Le champ sonore est donc diviser en deux parties : le champ proche (nearfield) ou zone de Fresnel, et le champ lointain (farfield), ou zone de Fraunhofer.



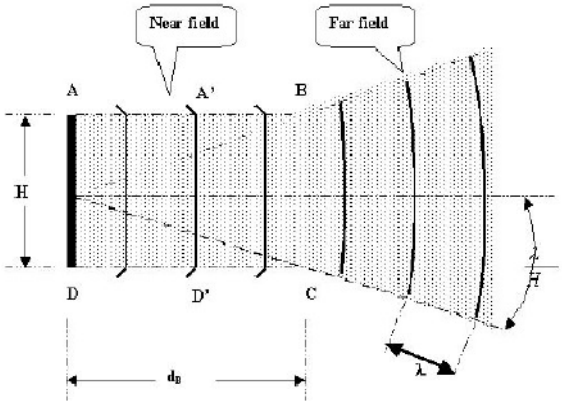


Figure 1:
Radiated SPL of a line source AD of height H. In the near field, the SPL decreases as 3 dB per doubling of distance, whereas in the far field, the SPL decreases as 6 dB per doubling of distance.

Dans la zone de Fresnel, la propagation de l'onde sonore est cylindrique, elle se propage sur le plan horizontal uniquement. On obtient une atténuation de 3dB par doublement de la distance (varie selon la distance)

Dans la zone de Fraunhofer, la propagation de celle-ci est sphérique, elle se déplacement horizontalement et verticalement. On obtient une atténuation de 6dB par doublement de la distance.

L'emplacement de la transition entre le champ proche et le champ lointain dépendra de la hauteur H de l'array et de la fréquence du signal émis.

On a :

dB = longueur de la zone de Fresnel

F est la fréquence en kHz alors λ = 1 / (3F) où λ est la longueur d'onde en mètres.

Ce qui nous donne ce calcul :

$$d_B = \frac{3}{2} F \quad H^2 \sqrt{1 - \frac{1}{(3FH)^2}}$$

On peut déduire 3 choses de cette formule :

- La racine indique qu'il n'existe pas de champ proche pour les fréquences inférieures à 1/(3H). De ce fait, un array de 4 m de haut rayonnera immédiatement dans le champ lointain pour des fréquences inférieures à 80 Hz.
- Pour des fréquences supérieures à 1/(3H) l'extension du champ proche est presque linéaire avec la fréquence.
- La dépendance à l'égard de la dimension H de la ligne n'est pas linéaire mais quadratique.

Voici un schéma qui représente les angles déterminant le passage du champ proche vers le champ lointain pour un array ayant une hauteur H=5,4mètres.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

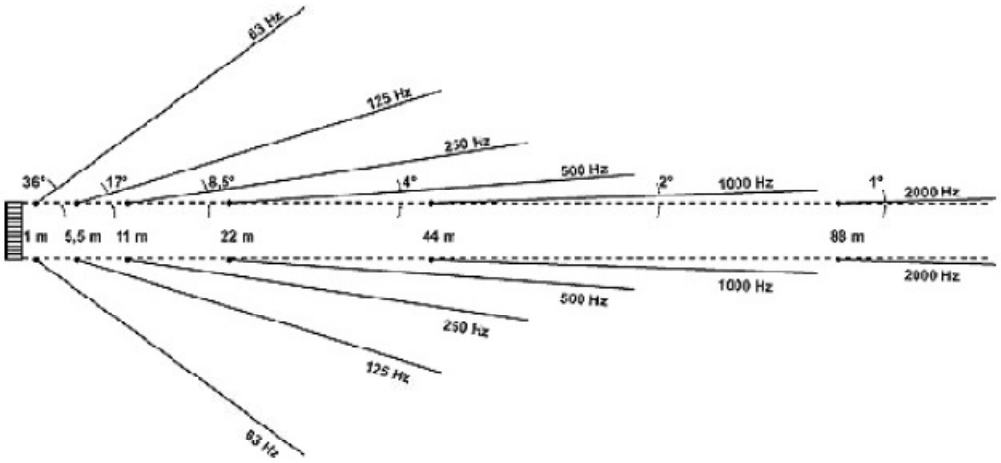


Figure 2:
Representation of the variation of border distance and far field divergence angle with frequency for a flat line source array of height 5.4 metres.

Dans la pratique, la courbure de l'array sera réalisée de façon à ce que sa directivité soit adaptée à la géométrie de la salle.

Aussi, pour conserver l'atténuation de 3 dB par doublement de la distance, il faut que l'angle d'inclinaison entre chaque enceinte soit inversement proportionnel à la distance de l'auditeur. Donc il faut que les angles de couplage entre chaque enceinte soient serrés.

Le 5è critère :

Pour éviter l'apparition d'interférences appelé aussi lobes secondaires, il faut calculer l'écart entre deux boites.
D'après le schéma ci-dessous, chaque source sonore diffuse individuellement un champ proche dont la distance dépend de sa taille et de la fréquence F émise.
Le niveau de pression acoustique Spl se situe dans la zone en pointillé.
La zone AC à un niveau Spl faible.

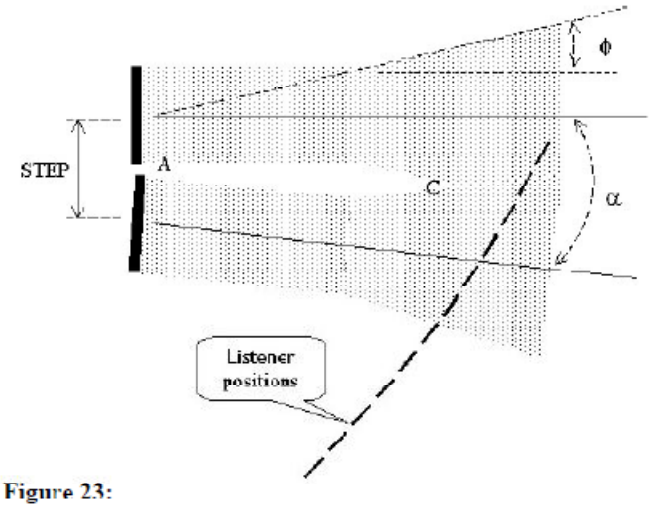


Figure 23:
Two sources separated by distance STEP and tilted by angle α with respect to each other. The SPL is shown as a dotted region.

L'écart entre les boites correspondra à un angle maximum à ne pas dépasser.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Pour réaliser ce calcul, on aura besoin de plusieurs éléments dont :

- ARF : le pourcentage de la surface rayonnante
- STEP : l'écart entre le centre acoustique de chaque boite
- d : distance de l'array (en mètres)
- dmin : distance de l'auditeur par rapport à l'array
- λ : 1/3 F

Considérons Φ comme l'angle de couverture d'une seule boite dans le champ lointain à une fréquence F :

$$\phi = \frac{\lambda}{ARF\ STEP}$$

La distance et l'angle qui sépare deux éléments adjacents sont respectivement STEP et α.

On a vu précédemment que la zone AC présente un Spl faible, il faudra donc éviter que le point C atteigne le public, AC sera représenté de cette manière :

$$AC = \frac{STEP}{2\phi - \alpha}$$

En réécrivant Φ en termes de fréquence et en précisant que AC est plus petit que d, nous avons:

$$\alpha < \frac{2}{3F\ ARF\ STEP} - \frac{STEP}{d}$$

Où α est en radians, F en kHz et STEP est en mètres.

De plus il faut que α soit supérieur à zéro :

$$STEP < \sqrt{\frac{2d}{3F\ ARF}}$$

Le cas critique est lorsque la fréquence F =16 KHz et d = dmin, ce qui donne le résultat ci-dessous :

$$STEP_{\max} = \sqrt{\frac{d_{\min}}{24\ ARF}}$$

Le calcul pour obtenir l'angle maximum d'inclinaison entre chaque boite sera :

$$\alpha_{\max} = \frac{STEP_{\max}}{d_{\min}}\ \frac{STEP_{\max}}{STEP}\left(1 - \left(\frac{STEP}{STEP_{\max}}\right)^2\right)$$

De cette expression, on constate qu'il y a un compromis à faire entre la taille maximum de l'élément et l'angle maximale autorisée inter-éléments.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

C'est-à-dire, si nous voulons augmenter les angles entre les sources, nous devons réduire la taille de la boite.

A titre d'exemple, considérons dmin à 10 mètres. On a un haut parleur de grave de 15 pouces correspondant environ à 0,40 mètre, compte tenu de l'épaisseur des parois de l'enceinte, on a STEP = 0,44m.

En réalisant le calcul avec ces valeurs, on a :

$$\alpha_{\max} = \frac{5.7^\circ}{ARF} - 2.6^\circ$$

Comme ARF doit être compris entre 0,8 et 1, αmax se situera entre 4,5 ° et 3,1 °, ce qui représente l'angle d'inclinaison max entre chaque enceinte.

En réutilisant les valeurs ci-dessus tel que STEP = 0,44 mètre et dmin = 10 mètres, il y aura une atténuation de l'intensité de 3 dB dans l'axe par rapport à un array droit (angle nulle inter-élément).

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

IV) TECHNOLOGIE APPLIQUEE AUX LINE ARRAY MEYER SOUND

1. Le guide d'onde REM (Ribbon Emulation Manifold)

Le constructeur américain *Meyer Sound*, a développé un guide d'onde ayant pour principe d'émuler un tweeter à ruban.

A hautes fréquences et à la sortie de la chambre de compression, le guide d'onde REM, crée un front d'onde étroit verticalement et large horizontalement.

Cette directivité serrée sur le plan vertical est nécessaire afin de réduire l'interaction (interférences destructives) entre les éléments adjacents de l'array.

En respectant cette condition, le couplage est optimal et on arrive à projeter l'énergie sonore sur de longues distances.

En associant un moteur à chambre de compression et le guide d'onde REM on obtiendrait une propagation sonore de forme circulaire *(voir image ci-dessous)*.

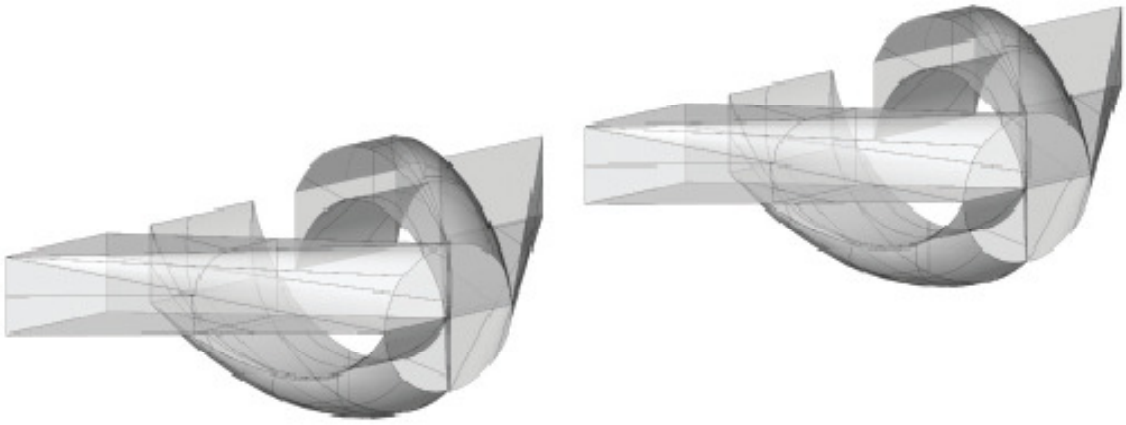


Figure 1: A 3D lit wireframe drawing of two REM waveguides

Pour réaliser l'émulation d'un moteur à ruban rectangulaire *(voir image page suivante)*, Meyer Sound a dû créer des moteurs à compression circulaire avec une pression acoustique isophase à la sortie de la gorge.

Le guide d'onde REM prend la sortie circulaire isophase de celui ci et le divise vers quatre guides d'ondes séparé.

Le trajet de chaque son dans les différents guides, est aligné à la sortie. De plus, les plusieurs sorties permettent de créer un contrôle directionnel serré au dessus des fréquences dont les longueurs d'onde sont plus petites par rapport à la longueur d'onde du REM.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

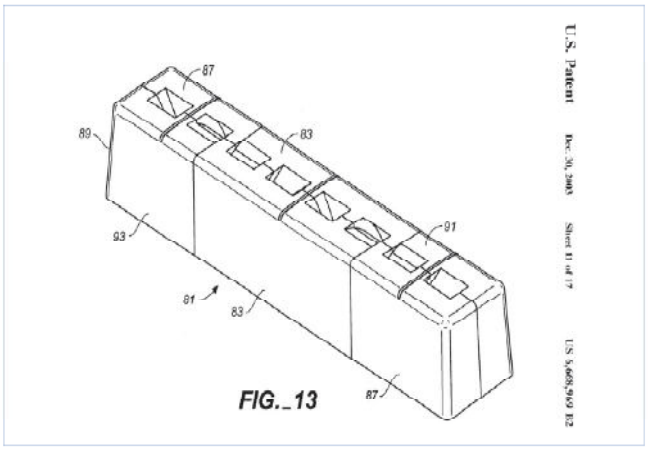




Figure 2: REM in an M3D line array loudspeaker

La longueur et la forme de chaque canal du guide d'onde sont conçues de façon à ce que l'onde sonore arrive en phase avec les autres sorties du guide d'onde.

De ce fait, les quatre canaux ont la même longueur de la sortie de la gorge du moteur à compression à la sortie du guide d'onde.

Enfin, les quatre sortie sont à leur tour couplé à un nouveau guide d'onde pavilloné afin d'affiner la directivité verticale et horizontale *(voir image ci-dessous)*.



Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Des mesures ont été réalisées en comparant un élément du line array Milo ayant ses transducteurs à haute fréquences couplés au guide d'onde REM et un guide d'onde classique.

On peut constater que la directivité verticale étroite est conservée quelque soi la fréquence.

On peut aussi noter, l'absence de lobes secondaires avec le guide d'onde REM, contrairement au guide d'onde classique.

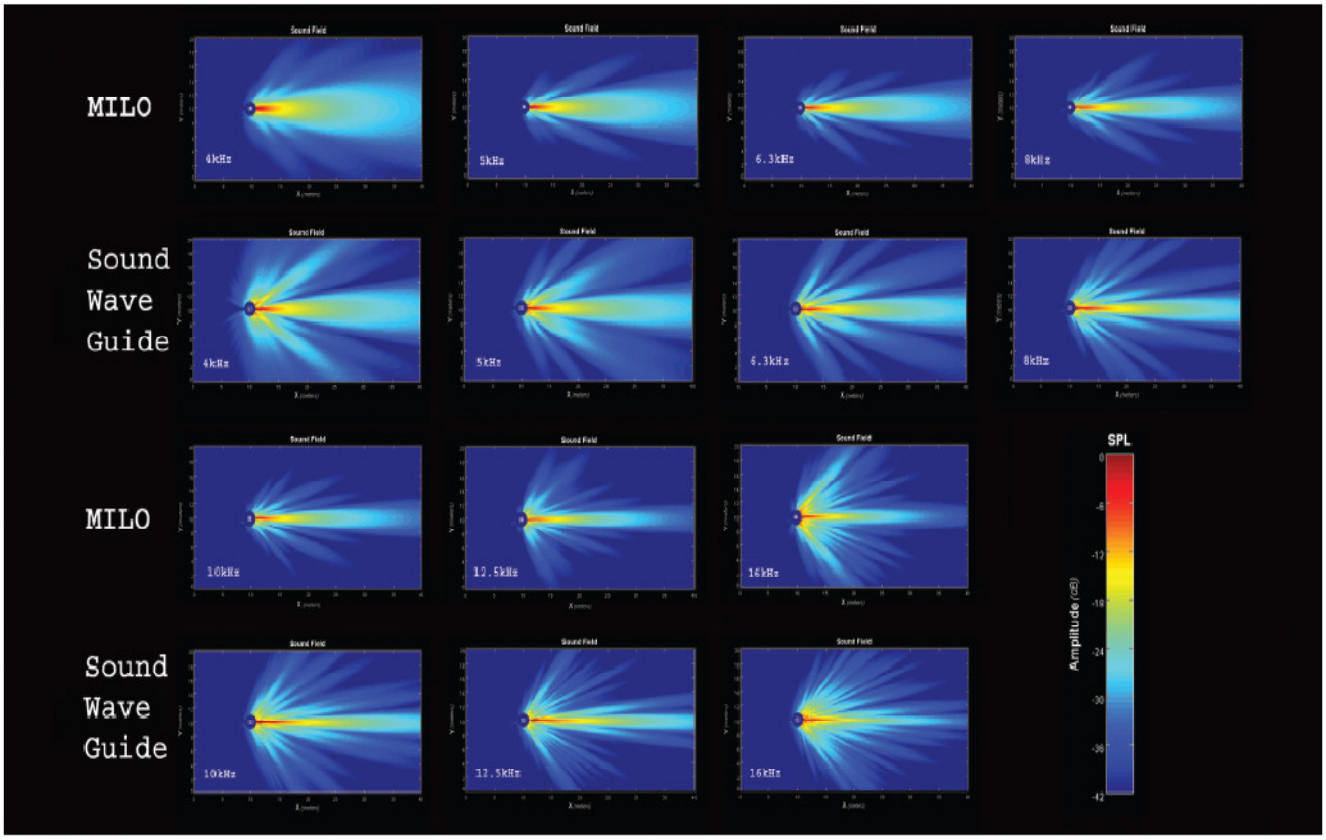


Figure 4: A MAPP Online comparison of vertical directivity patterns

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

V) LES SOURCES

Le site L-acoustics : www.l-acoustics.fr

Le site Meyer Sound : www.meyersound.com

Le site D&B audioteknik : www.dbaudio.com

Les supports de cours EMC : www.emc.fr

Le site de Petoin Dominique : www.petoindominique.fr

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr