

INTRODUCTION AUX ARRANGEMENTS DE SUBS MATRICES

Le document qui suit explique les principes de fonctionnement d'un arrangement en ligne de sources ponctuelles diffusant de 80 à 160hz. Cet arrangement a pour particularités d'être physiquement droit et d'adopter une courbure progressive par retard matricé entre les sources. Cette technique présente plusieurs avantages technologiques :

- un assemblage mécanique simplifié et des contraintes de forces moindres
- une homogénéité de pression acoustique sur la distance accrue
- une réduction des lobes de couplage dans le champ proche du système
- une constance de phase et de dispersion quelque soit la célérité du son dans l'air

Principes :

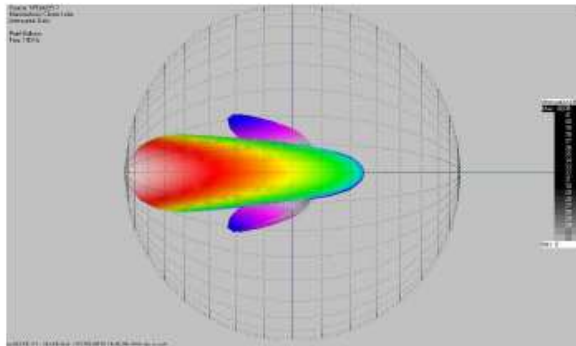
Soit un arrangement en ligne droite de 16 sources ponctuelles rayonnantes de manière hémisphérique entre 80 hertz et 160 hertz. Chaque source adopte une hauteur physique de 0,45 mètres, l'arrangement total a donc une hauteur totale de 7,2 mètres.

Ci-dessous voici les caractéristiques de dispersion de cet arrangement droit :

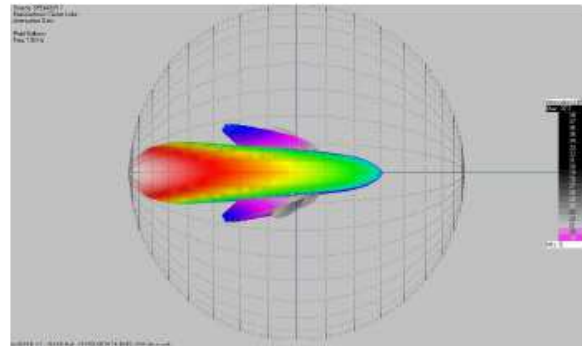
| 1/6oct | Dborder (m) | dv (°) |
|--------|-------------|-------------|
| 100 | 9,314101778 | 13,77059801 |
| 125 | 12,04569918 | 11,05561409 |
| 160 | 15,76599008 | 8,658415979 |
| 200 | 19,94826227 | 6,936315585 |

Dborder, correspondant à la distance en mètres que parcourt le front d'onde dans un mode de propagation cylindrique, dv est l'angle que le front d'onde adopte dans le mode sphérique.

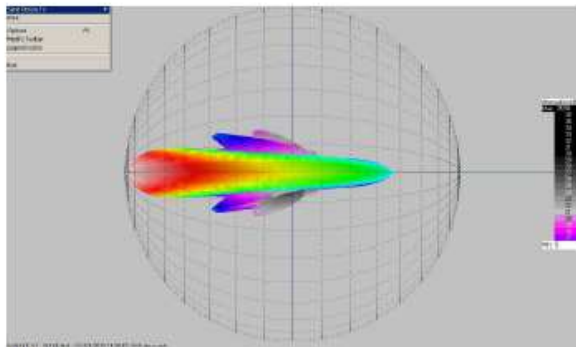
Plus la longueur d'antenne est importante, plus le facteur de directivité verticale le sera aussi. Ci-dessous voici les ballons de directivité de l'arrangement droit non traité pour les tiers d'octave respectivement centrés sur 100, 125 et 160 Hz.



100 Hz



125 Hz



160 Hz

A 100Hz l'arrangement droit ne génère qu'un lobe de couplage. Le lobe secondaire n'apparaît qu'à partir de 125 Hz.

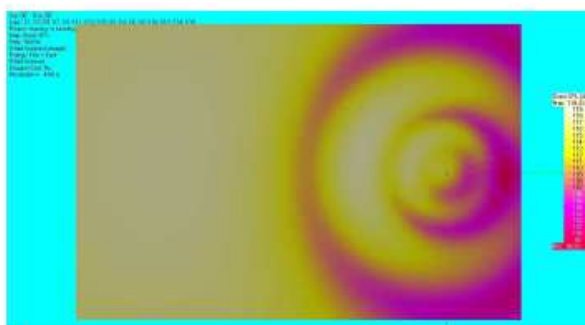
Ci-dessous le même arrangement projeté sur une audience d'une profondeur de 100 mètres et une largeur de 80 mètres.



100 Hz



125 Hz



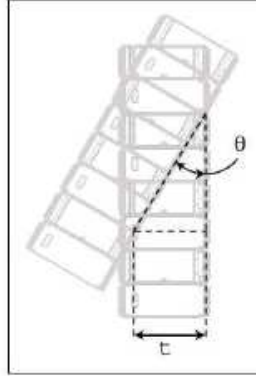
160 Hz

Un arrangement droit ne peut donc être satisfaisant lorsque de grandes longueurs d'antennes sont déployées. Pourtant ces dernières sont le seul moyen connu aujourd'hui pour répondre aux critères d'homogénéité en basses fréquences sur les très larges audiences.

Steering :

La technique la plus utilisée consiste à incliner par retard progressif dans l'arrangement l'ensemble de l'arrangement de façon à déplacer le lobe de couplage et gagner en homogénéité.

Le principe général de cette méthode est représenté par le schéma ci-dessous :

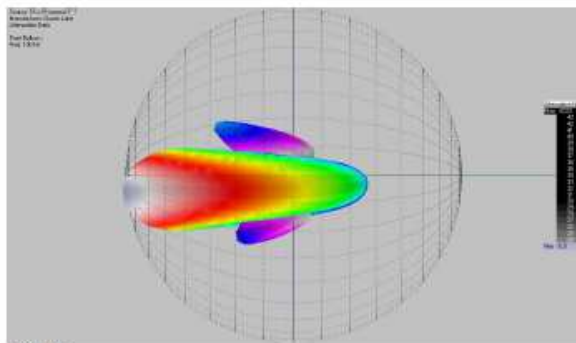


Le calcul du retard s'effectue en appliquant la formule

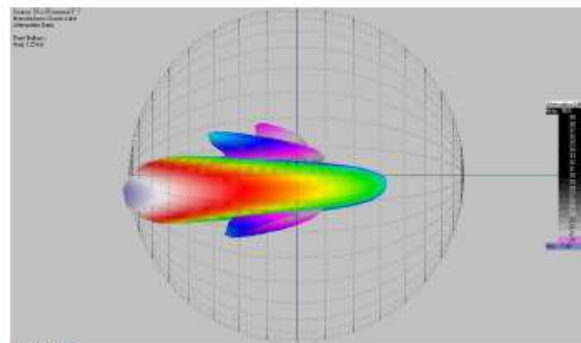
$$\tau = h * \sin(\theta) / C \quad (1)$$

- τ est le retard à appliquer au deuxième groupe de subs (les groupes suivants adopteront un retard de 2τ , 3τ , ...).
- h est la hauteur d'un groupe de subs (hauteur de l'élément multiplié par le nombre d'éléments dans le groupe).
- C est la vitesse de propagation du son en m/s.

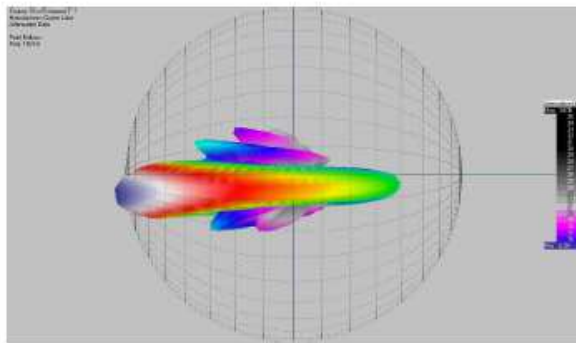
Ci-dessous sont représentés les ballons de directivité du même arrangement ayant subit une inclinaison électronique de 7° vers le bas :



100 Hz



125 Hz



160 Hz

Cette méthode présente plusieurs inconvénients :

- Les lobes de couplage ne sont pas supprimés voir même accentués par le retard progressif au sein de la ligne. En effet sur les vues à 125 et 160Hz apparaissent des lobes tertiaires qui n'étaient pas présents lorsque l'arrangement était droit
- La pression acoustique reste inhomogène bien que le champ proche du système (zone de Fresnel) ait été « focalisé » sur l'audience.
- La pression acoustique directe décroît plus vite en fond d'audience.

Ci-dessous sont représentées les vues de l'arrangement «steered » projeté sur l'audience de l'exemple :



100 Hz



125 Hz

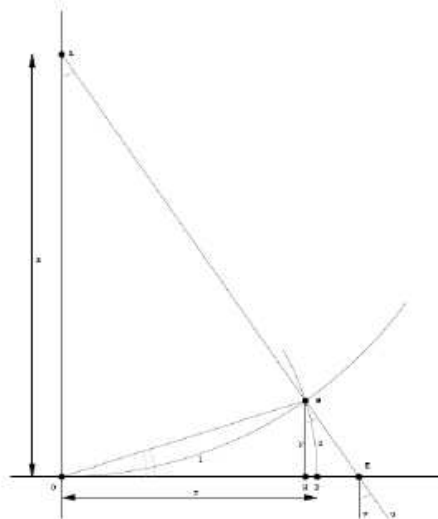


160 Hz

Arc sub (courbure constante) :

Pour éliminer les lobes de couplages des grands arrangements de grave il faut appliquer une autre formule qui consiste à repositionner chaque élément autour d'un centre acoustique commun.

Le principe général de cette méthode est illustré par le schéma ci-dessous :



Où :

- A est le centre acoustique virtuel à l'arrière de l'arrangement
- O est le centre de l'arrangement linéique dans le cas d'un arrangement symétrique ou son extrémité dans le cas d'un arrangement asymétrique
- r la distance qui sépare chaque élément de O
- z est la corde en mètres, c'est-à-dire la distance (retard) à appliquer à chaque élément ou groupe d'éléments.
- D est le point réel de l'élément
- B est le point virtuel une fois le process appliqué.
- Les angles OAB, HBE et vEu sont identiques à l'angle de dispersion de l'arrangement et seront nommés x dans les calculs et exprimés en radians.
- R est la distance OA.

La longueur de la corde z se calcule par la formule :

$$R = 1/x \quad (2)$$

$$z = r \arcsin (1r/2R) \quad (3)$$

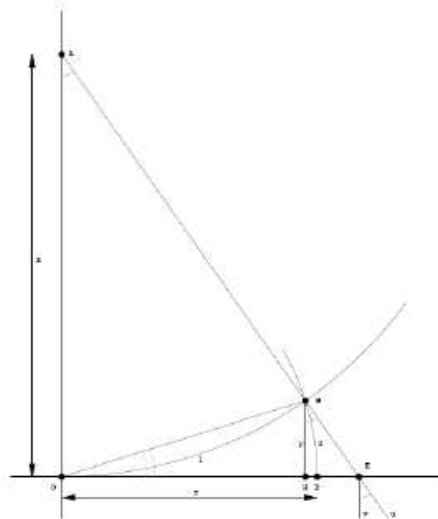
D'après (2) et (3), on obtient :

$$z = r \arcsin (1rx / 2l) \quad (4)$$

Arc sub (courbure constante) :

Pour éliminer les lobes de couplages des grands arrangements de grave il faut appliquer une autre formule qui consiste à repositionner chaque élément autour d'un centre acoustique commun.

Le principe général de cette méthode est illustré par le schéma ci-dessous :



Où :

- A est le centre acoustique virtuel à l'arrière de l'arrangement
- O est le centre de l'arrangement linéique dans le cas d'un arrangement symétrique ou son extrémité dans le cas d'un arrangement asymétrique
- r la distance qui sépare chaque élément de O
- z est la corde en mètres, c'est-à-dire la distance (retard) à appliquer à chaque élément ou groupe d'éléments.
- D est le point réel de l'élément
- B est le point virtuel une fois le process appliqué.
- Les angles OAB, HBE et vEu sont identiques à l'angle de dispersion de l'arrangement et seront nommés x dans les calculs et exprimés en radians.
- R est la distance OA.

La longueur de la corde z se calcule par la formule :

$$R = 1/x \quad (2)$$

$$z = r \arcsin (1r/2R) \quad (3)$$

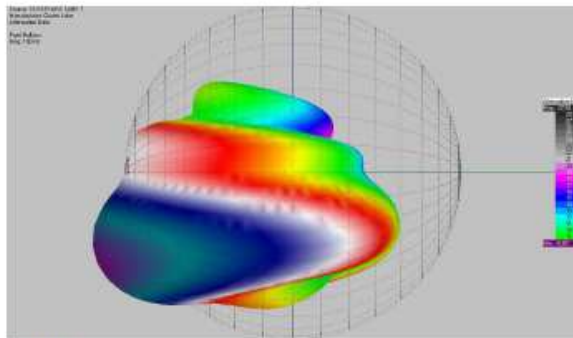
D'après (2) et (3), on obtient :

$$z = r \arcsin (1rx / 2l) \quad (4)$$

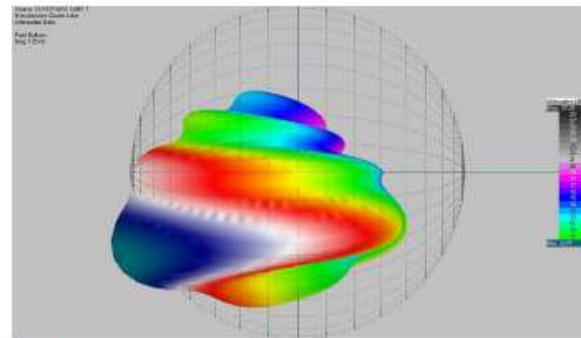
Application :

Nous appliquons maintenant la formule à l'arrangement de notre exemple.

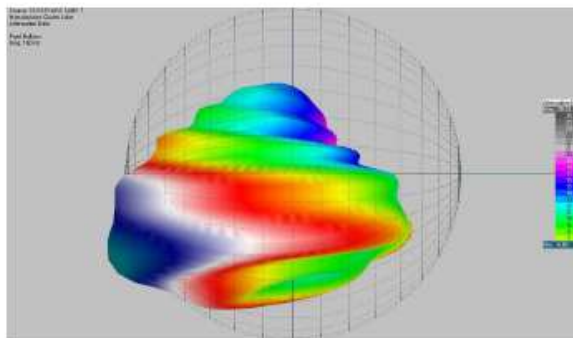
Ci-dessous sont représentés les ballons de directivité de l'arrangement ayant subi une courbure :



100 Hz



125 Hz



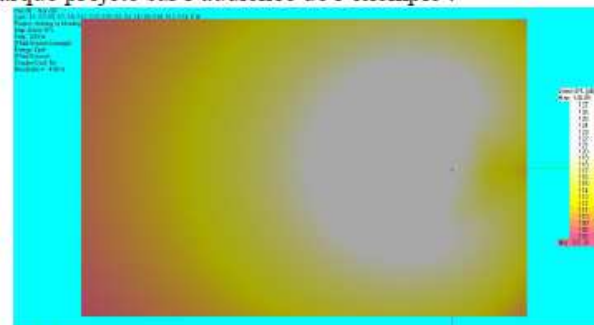
160 Hz

Les lobes primaires et secondaires ont été supprimés et la dispersion verticale de l'arrangement semble plus adaptée à la couverture de l'audience.

Ci-dessous sont représentées les vues de l'arrangement arqué projeté sur l'audience de l'exemple :



100 Hz



125 Hz



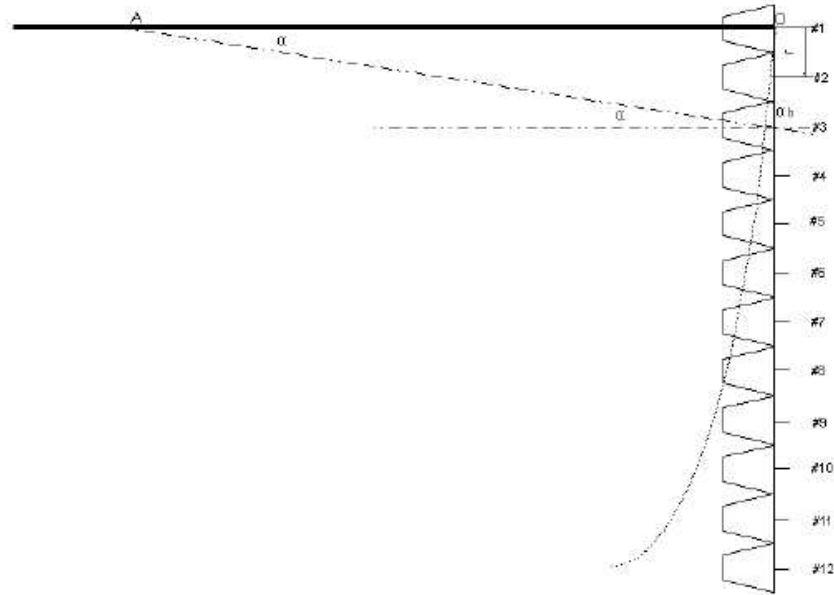
160 Hz

Le couplage des sources est parfait, les lobes ont été supprimés mais la pression acoustique décroît plus rapidement du fait que l'arrangement rejoint la sphère pulsante et que son front d'onde adopte par conséquent un mode de propagation sphérique (6dB/2D).

Bending sub, la ligne source à courbure progressive :

A l'instar des enceintes de médium/aigu nous pouvons envisager d'opérer au sein de notre arrangement un calcul des retards permettant à l'arrangement d'adopter une courbure progressive.

Ci – dessous sont exposés le principe général ainsi que les principes mathématiques qui le régissent :



Où :

- O est l'origine de l'arrangement. Le centre acoustique du premier groupe d'élément étant toujours égal à O, le retard à lui appliquer sera toujours nul.
- α est l'angle nominal que doit adopter l'élément pour s'approcher du front d'onde théorique. Il est donc la résultante de tous les angles indexés en amont plus le sien :

$$\alpha = \alpha (\#1) + \alpha (\#2) + \alpha (\#3) \quad (5)$$

- r est la distance séparant le centre acoustique de chaque groupe d'éléments de celui qui le précède :

$$r = h (\text{elmt}) * \text{nb elmts} \quad (6)$$

- A est l'intersection des axes de l'élément concerné et de l'élément d'origine. Il est donc le centre acoustique commun à l'élément d'origine et celui étudié :

$$R = OA = r / \text{Tan}\alpha \text{ (en radians)} \quad (7)$$

D'après (3) :

$$z = r \arcsin (1r/2R)$$

D'après (3) et (7) :

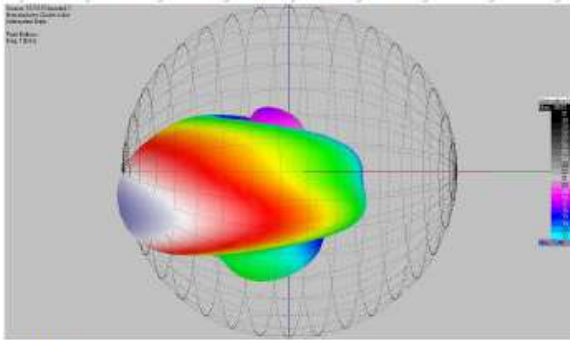
$$z = r \arcsin (\text{tana}/2) \quad (8)$$

Où z est la longueur de la corde en mètres et donc le retard à appliquer sera : $\Delta t \text{ (ms)} = 1000 * z(\text{m}) / C$

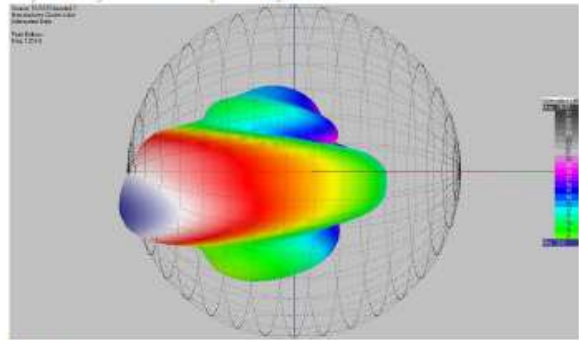
Application :

Nous appliquons maintenant la formule à l'arrangement de notre exemple.

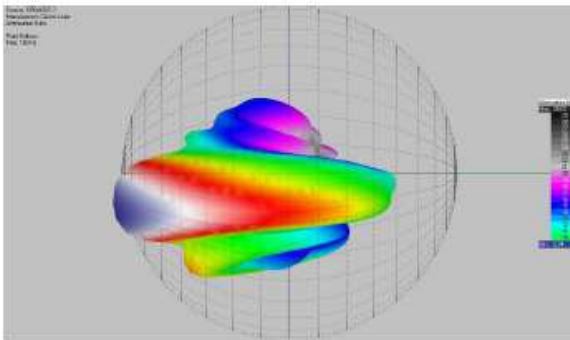
Ci-dessous sont représentés les ballons de directivité de l'arrangement ayant subi une courbure progressive de 0,3° - 0,3° - 0,3° - 0,3° - 0,5° - 0,8° - 1,2° - 1,7° - 2,4° - 3,4° - 4,6° - 6° - 7,6° - 9,6° - 12° - 12°.



100 Hz



125 Hz



160 Hz

| ID box | Angle (°) | Delay(ms) |
|--------|-----------|-----------|
| #1 | 0.3 | 0 |
| #2 | 0.3 | 0.01 |
| #3 | 0.3 | 0.02 |
| #4 | 0.3 | 0.04 |
| #5 | 0.5 | 0.08 |
| #6 | 0.8 | 0.15 |
| #7 | 1.2 | 0.26 |
| #8 | 1.7 | 0.44 |
| #9 | 2.4 | 0.73 |
| #10 | 3.4 | 1.19 |
| #11 | 4.6 | 1.89 |
| #12 | 6 | 2.95 |
| #13 | 7.6 | 4.57 |
| #14 | 9.6 | 7.23 |
| #15 | 12 | 12.42 |
| #16 | 12 | 27.54 |

La courbure de l'arrangement ne semble pas parfaitement adaptée à la géométrie de l'audience mais aucun lobe à proprement parler n'apparaît. Un calculateur plus complexe doit être développé pour assister l'utilisateur final dans la courbure progressive de la ligne.

Ci-dessous sont représentées les vues de l'arrangement projeté sur l'audience de l'exemple :



100 Hz



125 Hz



160 Hz

Dans le cas précis de notre exemple (audience plane horizontale) la troisième solution, bien qu'elle ne soit pas parfaitement optimisée semble la mieux convenir. Aucun lobe n'apparaît et l'ensemble de l'audience est contenu dans un écart maximum de 8dB SPL.