

ASSOCIATION DE BOOMER et TH4001

Jimmy THOMAS - mardi 8 novembre 2011

INTRODUCTION.....	1
INTRODUCTION.....	2
1.1 Avant de commencer.....	2
1.2 Limite de la simulation sous LspCAD	3
1.3 Approche théorique	5
2 Le cas des boomers de 38cm.....	6
2.1 Directivité d'un 38cm.....	6
2.2 Directivité du TH4001	7
2.3 Directivité de deux 38cm alignés horizontalement	8
2.4 Directivité de deux 38cm alignés verticalement avec pavillon intercalé (MTM ou APOLITO)	10
2.5 Directivité de deux 38cm alignés verticalement avec filtrage du second 38cm	11
2.6 Directivité de deux 38cm alignés horizontalement avec face avant en angle	12
3 Le cas des boomers de 30cm.....	13
3.1 Directivité d'un 30cm.....	13
3.2 Directivité de deux 30cm alignés horizontalement	14
3.2.1 La mesure	15
4 CONCLUSION	16

8 novembre 2011 – Mise à jour majeure

- L'angle d'ouverture va être indiqué pour une atténuation de 6dB au lieu de 3dB.
- Lors des mesures de directivité sur le couple de 30cm, j'ai utilisé 2 méthodes, celle indiquée précédemment était perturbée par une réflexion du sol.
- La définition et la référence au DI est ajoutée.
- D'autres exemples de mesure fournis par JBL sont ajoutés et valident le modèle de simulation.

INTRODUCTION

Ce document présente les diverses configurations de boomer utilisées sur les monitors studio utilisant le pavillon TAD TH4001 ou son plus proche équivalent, le Arai A290.

1.1 Avant de commencer

Définition de la directivité (dispersion)

Le son émis par un haut-parleur se propage dans plus d'une direction. À mesure que l'auditeur se déplace hors axe, le niveau des aigus baisse davantage que le niveau des graves. Ce phénomène est dû à la longueur d'onde : plus la fréquence est grave, plus la longueur d'onde est élevée, donc plus le comportement se rapproche de l'omnidirectionnalité. À l'inverse, plus la fréquence est aiguë, plus la longueur d'onde est courte, donc plus le comportement est directionnel.

Définition de l'angle d'ouverture à -6 dB

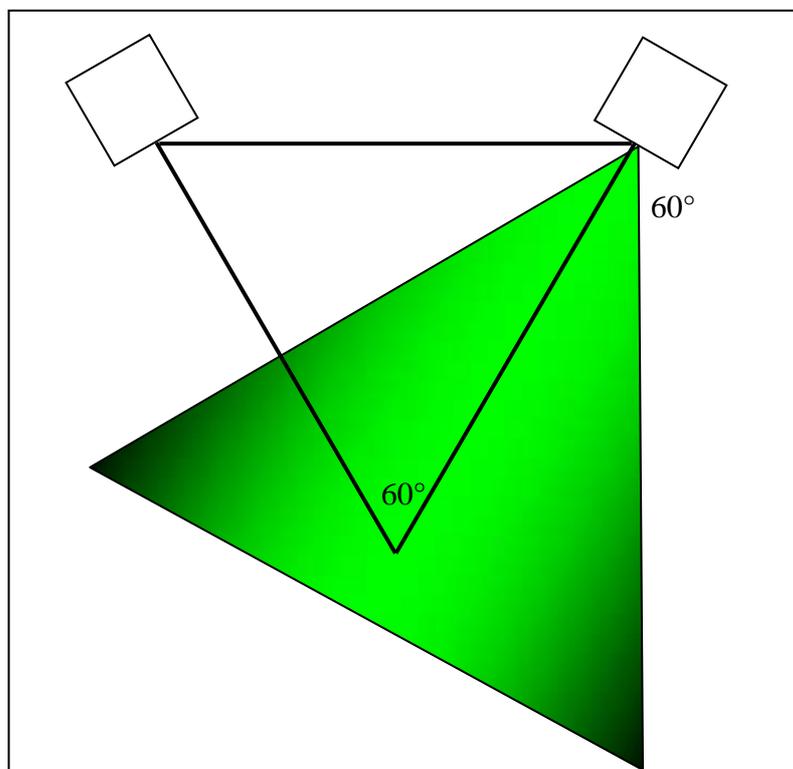
On appelle « angle d'ouverture » l'angle θ_0 à l'intérieur duquel le niveau n'est pas inférieur de plus de 6dB au niveau dans l'axe.

Définition du facteur (Q) et de l'indice de directivité (Directivity index)

Le facteur de directivité est un rapport entre l'intensité dans l'axe et la moyenne de l'intensité pour toutes les directions.

L'indice de directivité vaut $ID = 10 \log Q$

Pour une diffusion stéréo, un angle d'ouverture horizontal de 60 degrés est jugé suffisant. Nous aurons donc une restitution homogène quelque soit la position dans cet angle.



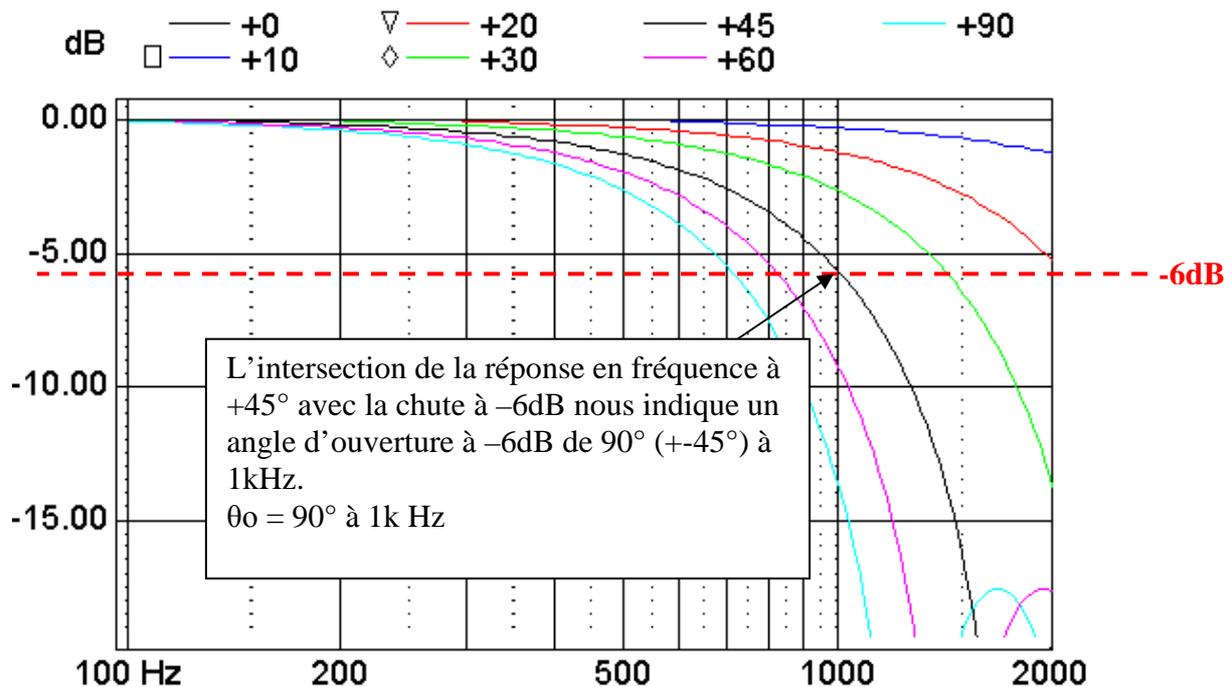
Le cône vert correspond à un angle d'ouverture de 60°, les enceintes sont orientées à +/-30°.

En vertical, une ouverture de 40°, voir 20° est suffisante suivant le placement et l'orientation de l'enceinte. Voir la directivité du pavillon TH4001.

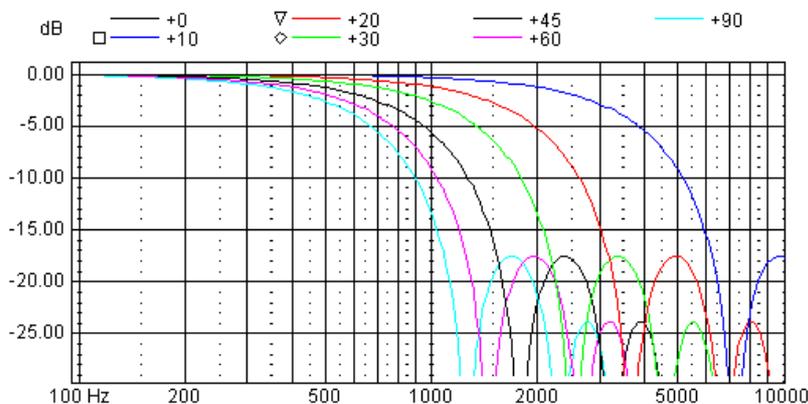
Dr. Floyd Toole's défini l'angle normal d'écoute dans un angle solide de 60°H x 30°V.

1.2 Limite de la simulation sous LspCAD

Les simulations représentent la réponse en fréquence à + x degrés par rapport à l'axe.



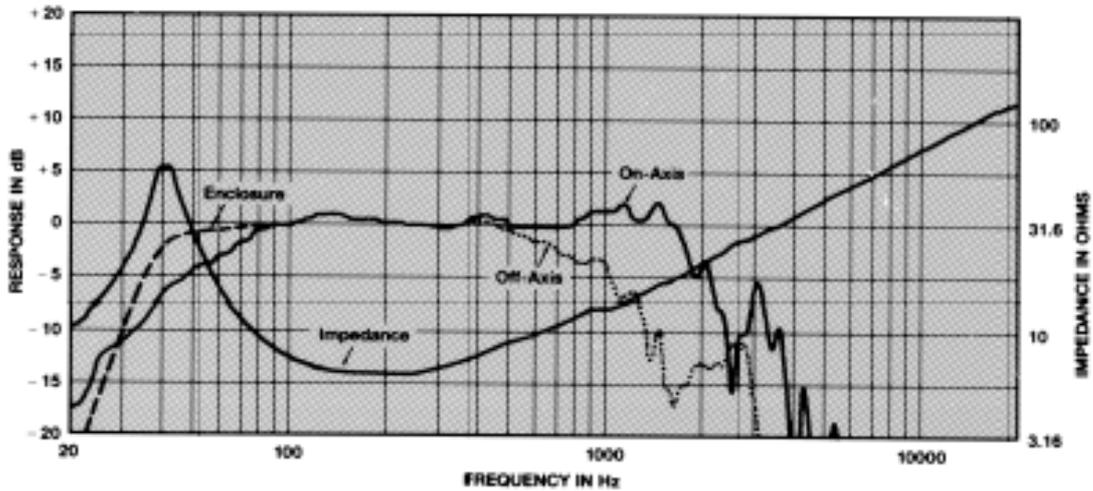
Voici la même simulation d'un 38cm avec une échelle plus large.



Les simulations réalisées ici supposent un fonctionnement en piston parfait des boomers.

La mesure ci-dessous est présente sur la documentation JBL du 38cm 2226. On y voit la réponse en fréquence dans l'axe et à 45°, elle se superpose parfaitement avec la simulation. On peut donc estimer **la simulation fiable et un fonctionnement en piston jusqu'à 1k Hz minimum.**

Au delà de 1kHz, ce n'est que pure théorie et ce n'est pas la zone qui nous intéresse.



Ce relevé est tiré d'un « Paper » de l'AES (*Improvements in Monitor Loudspeaker Systems*), il donne l'évolution du DI pour un 38cm.

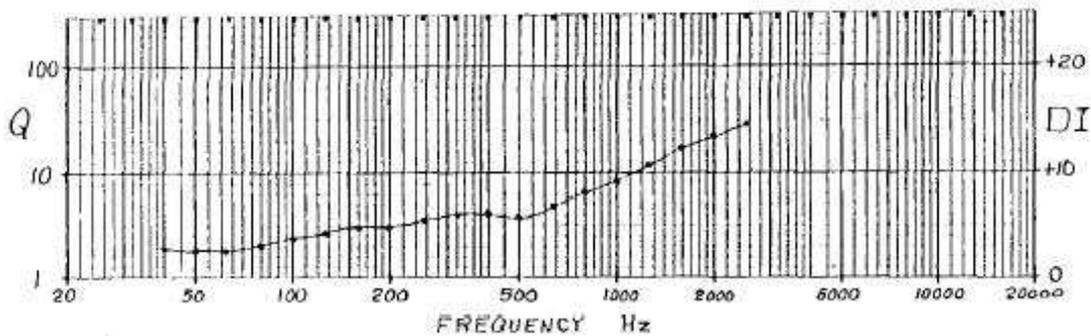


Fig. 9. Directivity index of 380-mm woofer.

1.3 Approche théorique

Voici une synthèse du comportement directif d'un Hp (piston), de l'association de 2 HP ou d'une ligne.

A la suite de la vérification de ces données, les simulations Lspcad seront remplacées.

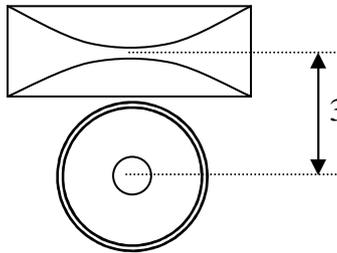
	2-element array	continuous line array	circular piston
defining parameters	element separation distance - d	array length - L	array diameter - D
beam pattern function $b(\theta) =$	$\cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta\right)$	$\left(\frac{\sin\left[\frac{\pi L}{\lambda} \sin \theta\right]}{\frac{\pi L}{\lambda} \sin \theta}\right)^2$	$\left[\frac{2J_1\left(\frac{\pi D}{\lambda} \sin \theta\right)}{\frac{\pi D}{\lambda} \sin \theta}\right]^2$
directivity index DI	$10 \log \left[\frac{2}{1 + \left(\frac{\sin\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right)}{2\pi d/\lambda}\right)} \right]$	$10 \log \frac{2L}{\lambda}$ for $L \gg \lambda$	$10 \log \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2$ for $D \gg \lambda$
null angles $b(\theta) = 0$ θ_{null}	$\sin \theta = (m) \frac{\lambda}{2d}$ $m = 1, 3, 5, \dots$	$\sin \theta = (m) \frac{\lambda}{L}$ $m = 1, 2, 3, \dots$	$\sin \theta = (z) \frac{\lambda}{D}$ $z = 1.22, 2.23, 3.24, 4.24, \dots$ roots of $J_1\left(\frac{\pi D}{\lambda} \sin \theta\right) = 0$
side lobes $b(\theta) = 1$ θ_{max}	$\sin \theta = m \frac{\lambda}{d}$ $m = 0, 1, 2, 3, \dots$	$\tan\left(\frac{\pi L \sin \theta}{\lambda}\right) = \left(\frac{\pi L \sin \theta}{\lambda}\right)$ $\sin \theta = y \left(\frac{\lambda}{L}\right)$ where $y = 1.43, 2.46, 3.47, 4.4$	$\sin \theta = w \frac{\lambda}{D}$ where $w = 1.64, 2.68, 3.70, \dots$
half power angles $b(\theta) = 0.5$ θ_{hp} $\theta_{BW} = 2\theta_{hp}$ (only for beam about array axis)	$\sin \theta_{hp} = \frac{n\lambda}{4d}$ $n = 1, 3, 5, 7, \dots$	$\sin \theta_{hp} = 0.442 \frac{\lambda}{L}$	$\sin \theta_{hp} = 0.51 \frac{\lambda}{D}$

2 Le cas des boomers de 38cm

2.1 Directivité d'un 38cm

Données utilisées : diamètre extérieur 380mm

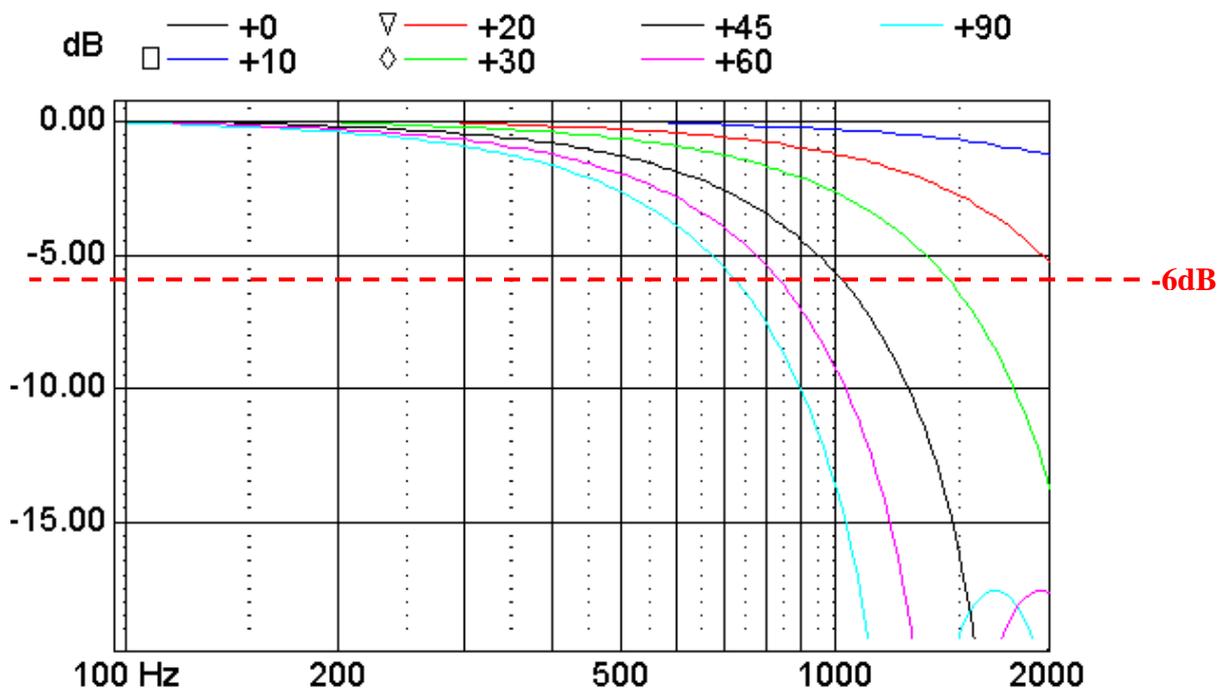
Surface émissive : 0.088m² soit un diamètre émissif équivalent de 334 mm



$\theta_0 = 180^\circ$ à 700Hz

$\theta_0 = 120^\circ$ à 850Hz

$\theta_0 = 90^\circ$ à 1k Hz



2.2 Directivité du TH4001

Info générale.

Les dimensions du pavillon sont L 612mm x H 239mm x P410mm.

Il est adapté aux moteurs à sortie 2 pouces et principalement au moteur TAD4001.

Egalement utilisable avec les moteurs JBL, Beyma, Radian, etc

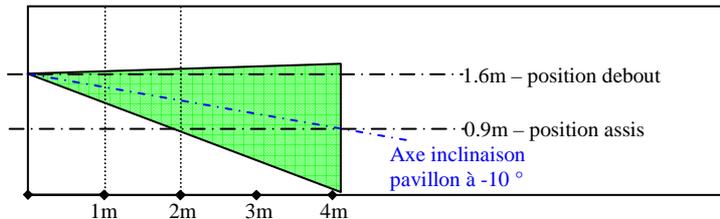
Sa fréquence de coupure acoustique est de 320Hz.

La directivité est donné pour H90° x V40°.

La directivité horizontale est maintenu très bas de part la dimension du pavillon et très haut grâce à l'utilisation de secteurs de gorge.

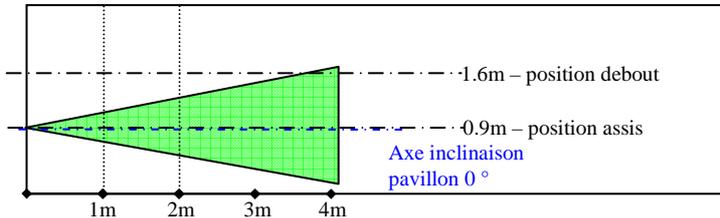
La directivité verticale n'est pas contrôlée, très ouverte en dessous de 1k Hz >90° et très fermé au dessus de 8/10kHz, 22°.

La directivité verticale très marquée n'est pas un problème si le pavillon est placé en hauteur avec une inclinaison de -10°. Cette disposition permet une écoute debout/assis cohérente et limite les réflexions primaire au sol.



Pavillon placé à 1.6m de haut avec inclinaison à -10°

L'enceinte peut être écoutée assis à partir de 2m de recul et quelque soit le recul debout



Pavillon placé à 0.9m de haut sans inclinaison

L'enceinte peut être écoutée assis quelque soit le recul et à partir de 3.5m de recul debout.

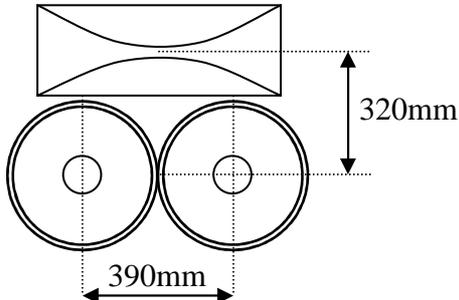
En général, les fauteuils ne sont pas collés aux enceintes !

Relevé à faire

2.3 Directivité de deux 38cm alignés horizontalement

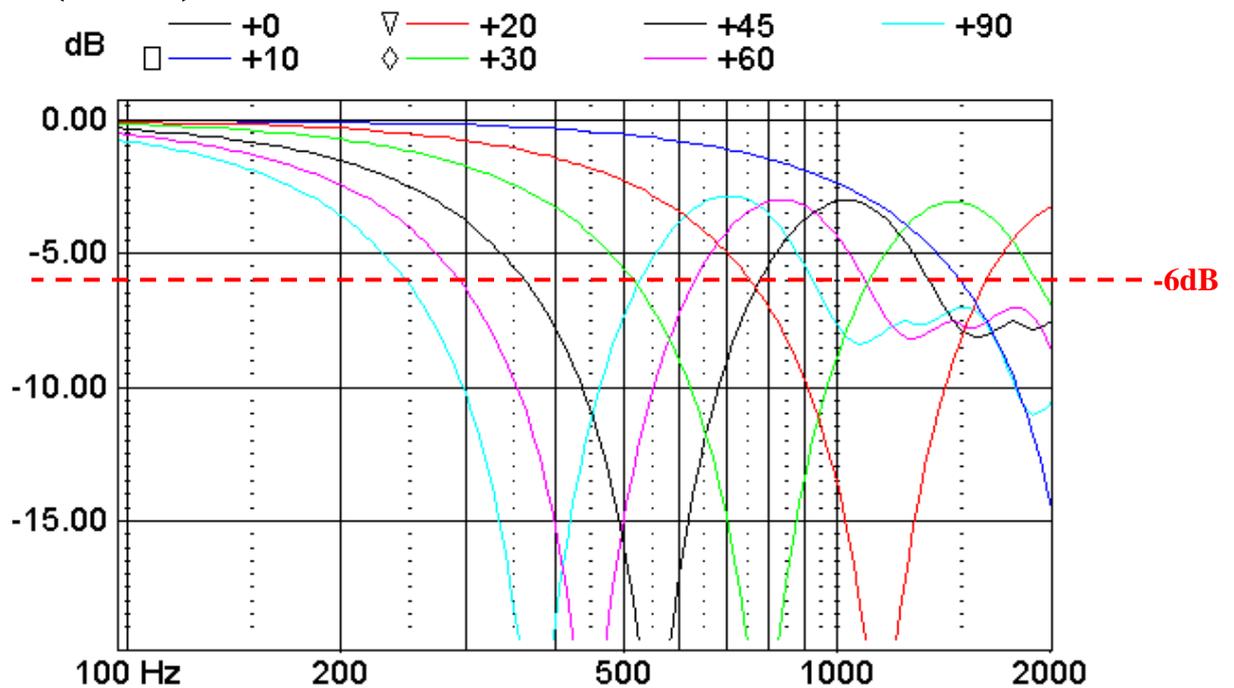
Espace entre les saladiers de chaque boomer = 10mm.

Entraxe = 390mm



$\theta_0 = 60^\circ$ à 500 Hz

$\theta_0 = 50^\circ$ à 650Hz



La configuration horizontale est un peu trop directive, la fréquence de coupure doit être la plus basse possible afin d'élargir au maximum la zone d'écoute.

Directivité assez cohérente avec le pavillon à la fréquence de coupure.

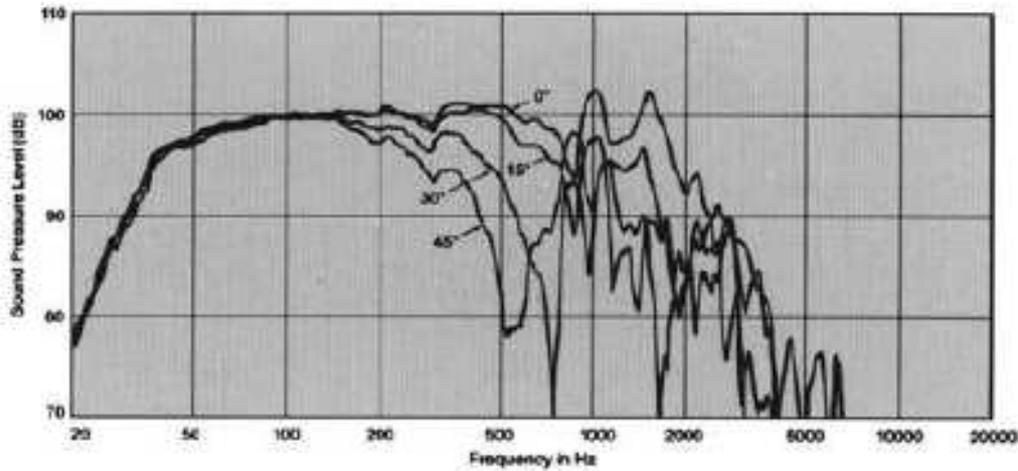
Les annulations hors axe débutent à 370Hz.

Orientation des enceintes obligatoire.

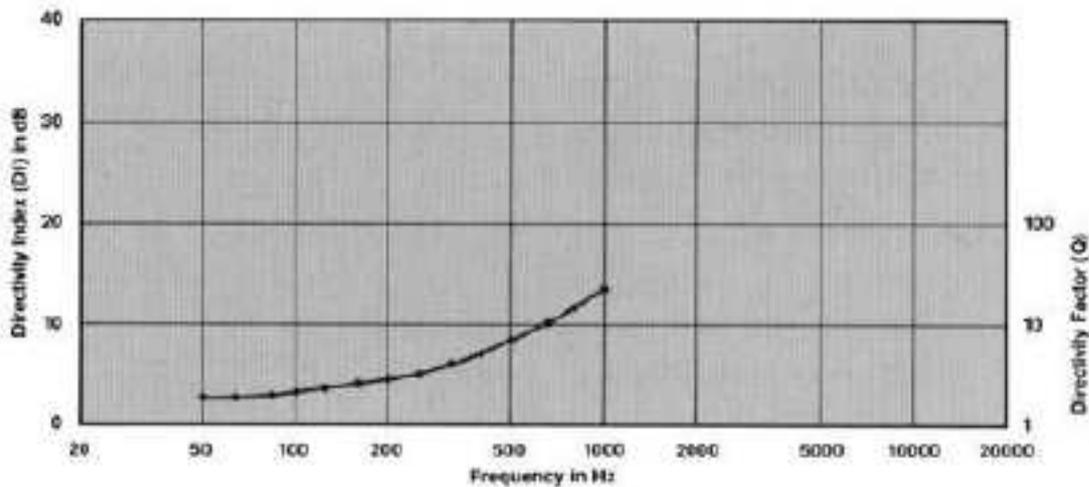
Directivité et DI correspondant du caisson JBL 4648 utilisant 2x 38cm (tiré de la documentation).

L'entraxe n'est pas indiqué mais il semble légèrement supérieur.

Malgré ce petit écart, ça corrobore et valide à nouveau le modèle utilisé dans Lspcad (annulation vers 550Hz à 45° et 750Hz à 30°)



4648A system vertical off-axis response (0, 15, 30 and 45 degrees); one watt at one meter.

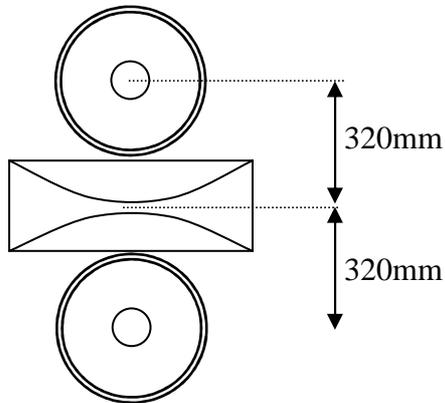


Directivity Index (DI) and Directivity Factor (Q), on-axis, half-space (2π).

2.4 Directivité de deux 38cm alignés verticalement avec pavillon intercalé (MTM ou APPOLITO)

Espace entre les saladiers de chaque boomer et le pavillon = 10 mm.

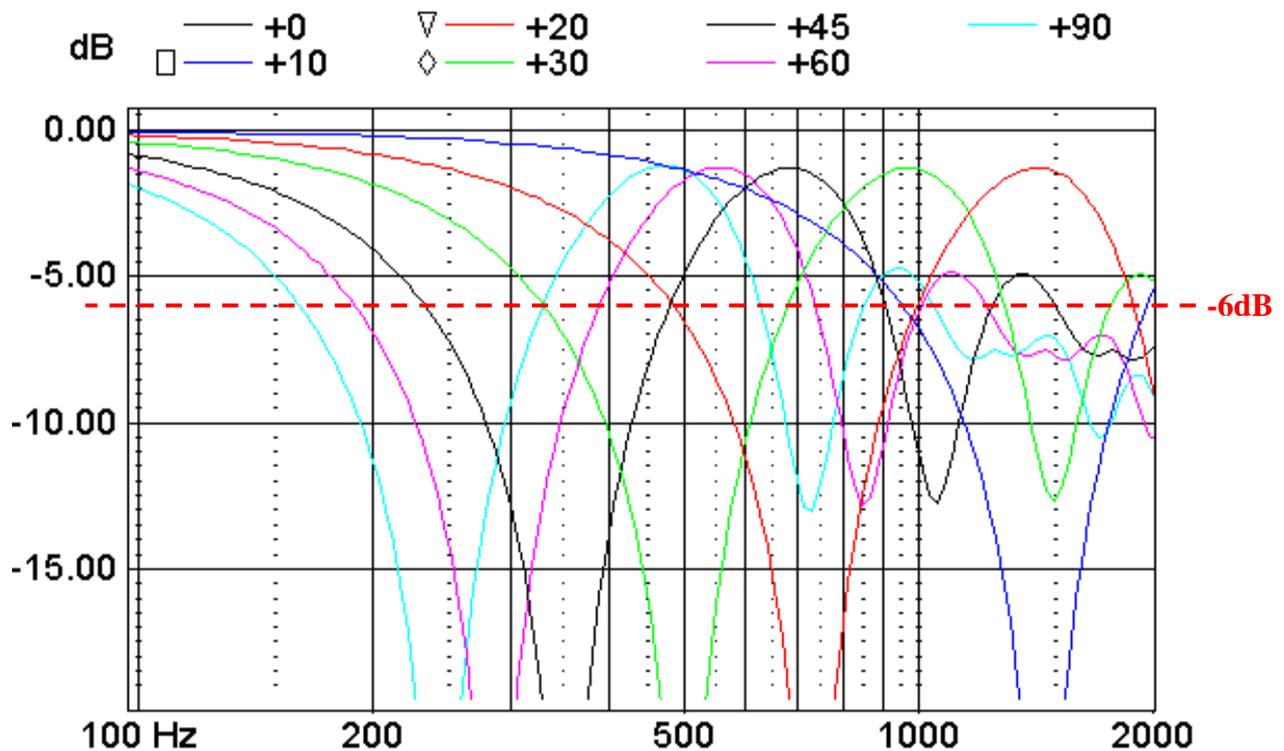
Entraxe = 640 mm



Directivité verticale

$\theta_0 = 40^\circ$ à 500 Hz

$\theta_0 = 30^\circ$ à 650 Hz



La configuration verticale de deux 38cm est très directive et pas homogène avec la directivité du pavillon à la fréquence de coupure.

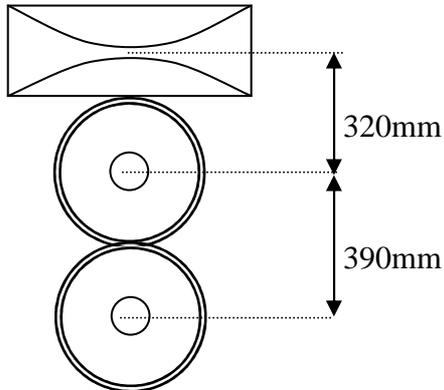
Néanmoins, les contraintes globale sont les même, à savoir une directivité verticale à la fréquence de coupure sur les 38cm inférieure à celle du pavillon dans l'aigu.

La directivité horizontale ne posera pas de problèmes.

A noter également, la présence d'annulation brutale en dehors de la zone d'écoute dès 250Hz.

2.5 Directivité de deux 38cm alignés verticalement avec filtrage du second 38cm

Espace entre les saladiers de chaque boomer = 10 mm.

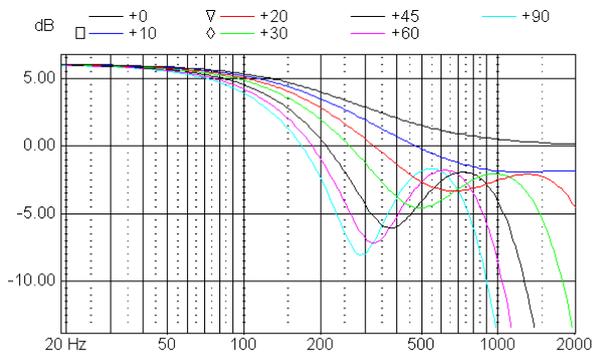


Directivité verticale

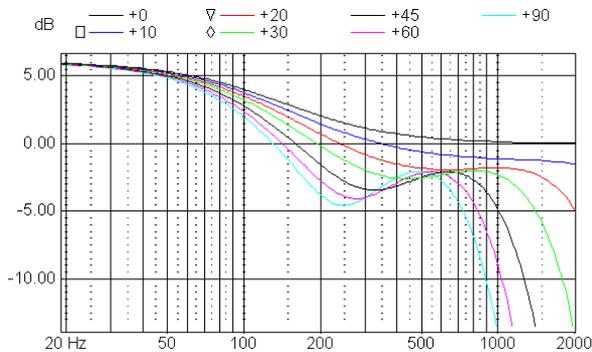
Solution élégante en apparence mais le déphasage du filtre provoque des accidents important irrécupérable avec des délais.

Seul le filtre du 1^o ordre avec une fréquence de coupure basse rend le principe utilisable.

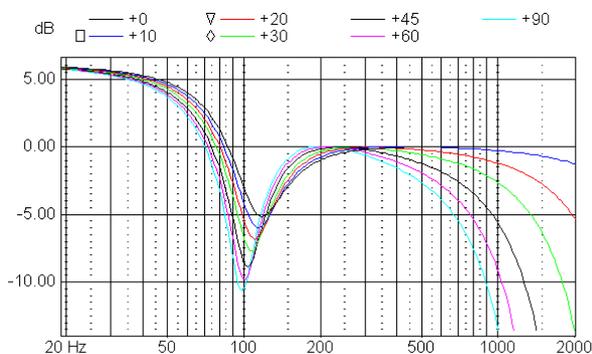
Ps : Solution qui peut fonctionner avec un filtre FIR



Filtrage IIR 1^o ordre 200Hz



Filtrage IIR 1^o ordre 100Hz



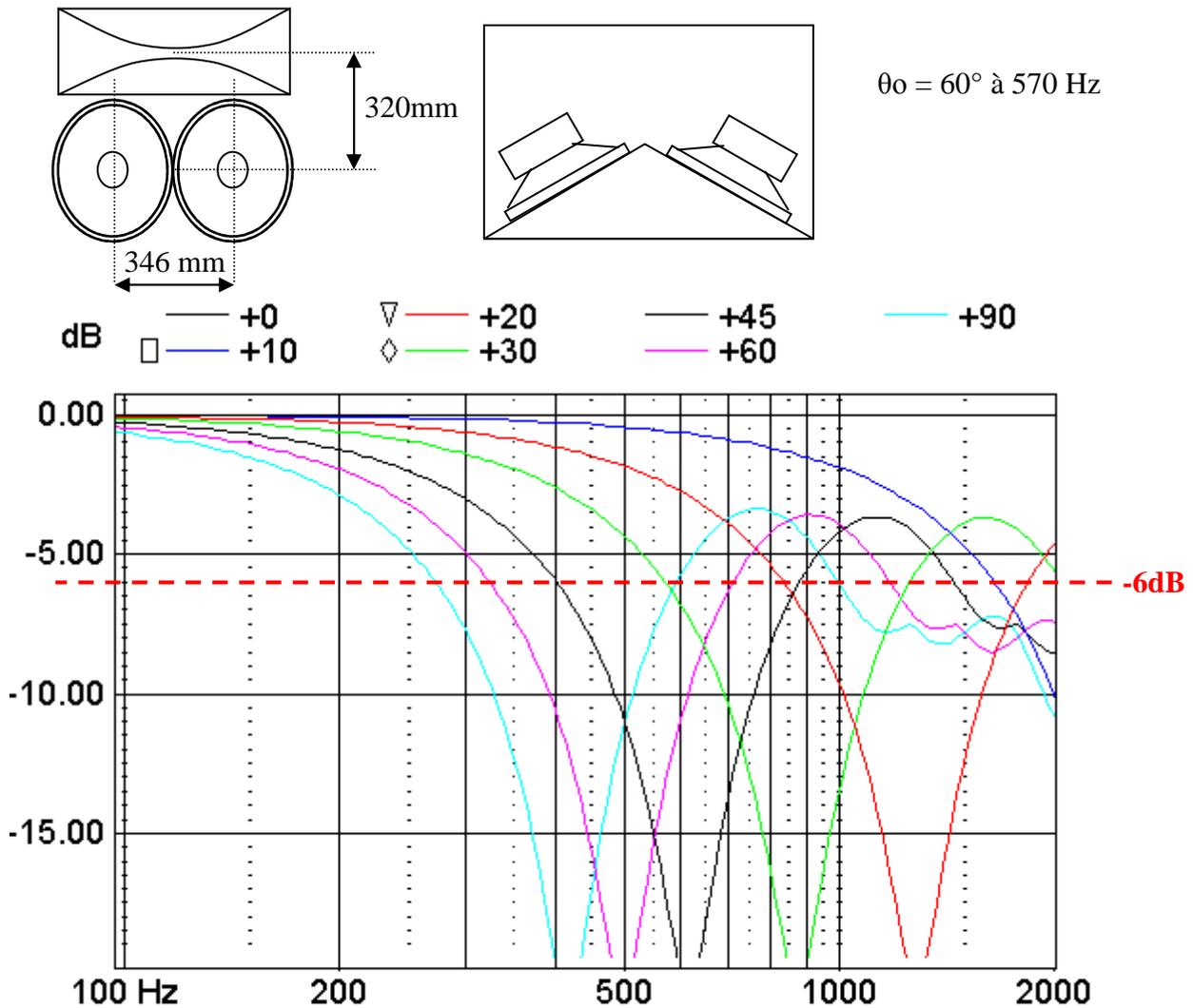
Filtrage IIR 3^o ordre 100Hz

2.6 Directivité de deux 38cm alignés horizontalement avec face avant en angle

Les boomer sont placés au sommet d'un triangle dont l'angle d'ouverture est de 120° ou plus.

L'entraxe passe alors à 346mm pour un angle de 120°.

Attention : Cette simulation ne prend pas en compte l'orientation des Hp mais la réduction de l'entraxe.



L'orientation des 38cm améliore sensiblement la directivité et la cohérence avec le pavillon.

3 Le cas des boomers de 30cm

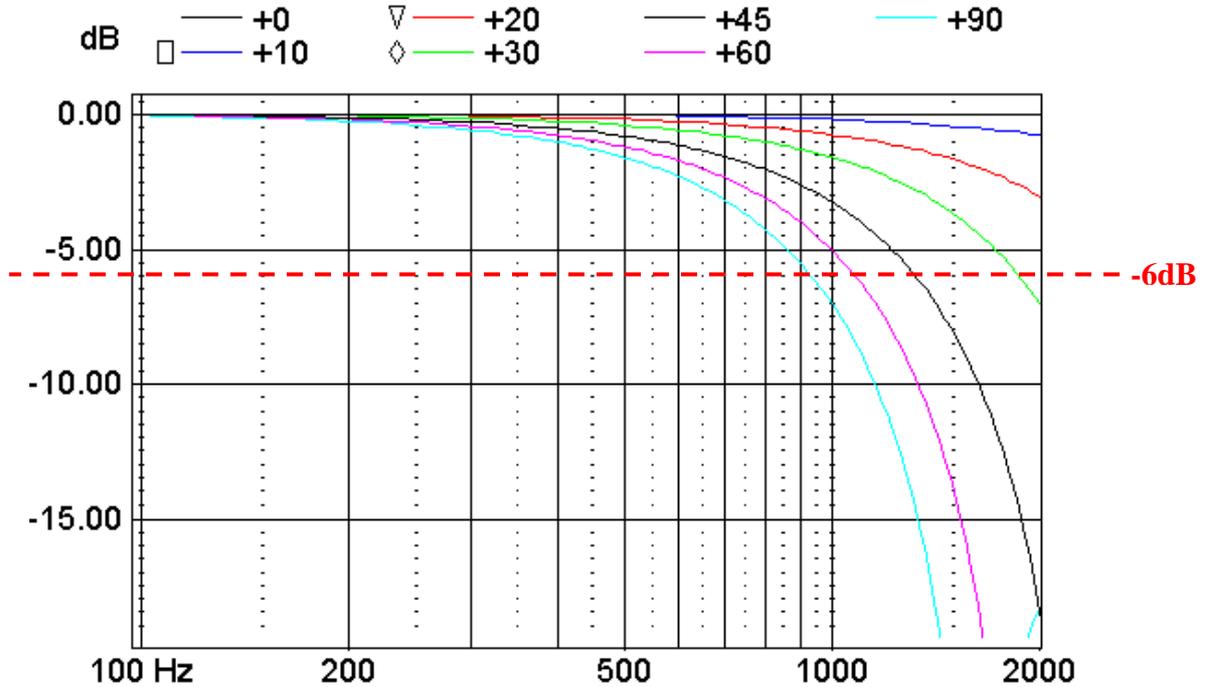
3.1 Directivité d'un 30cm

Données utilisées : diamètre extérieur 320mm

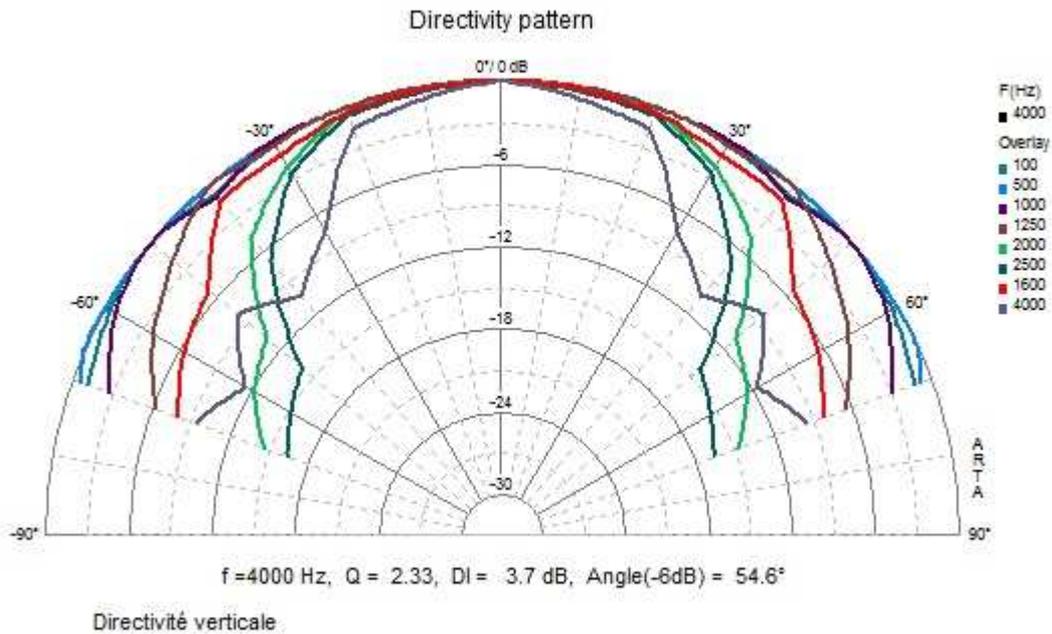
Surface émissive : 0.053m² soit un diamètre émissif équivalent de 260mm.

$\theta_0 > 180^\circ$ pour $f < 900\text{Hz}$

$\theta_0 = 90^\circ$ à 1400 Hz



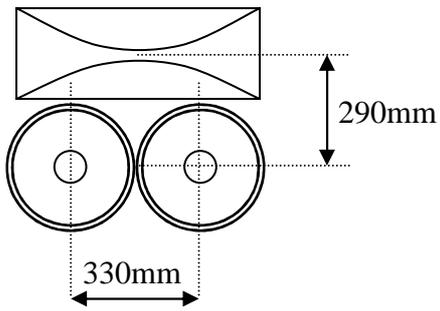
Sur le relevé ci dessous réalisé en extérieur sur un 30cm dont la membrane à un profil exponentiel, la directivité est inférieure à la théorie $\theta_0 = 60^\circ$ à 2500 Hz



3.2 Directivité de deux 30cm alignés horizontalement

Espace entre les saladiers de chaque boomer = 10mm.

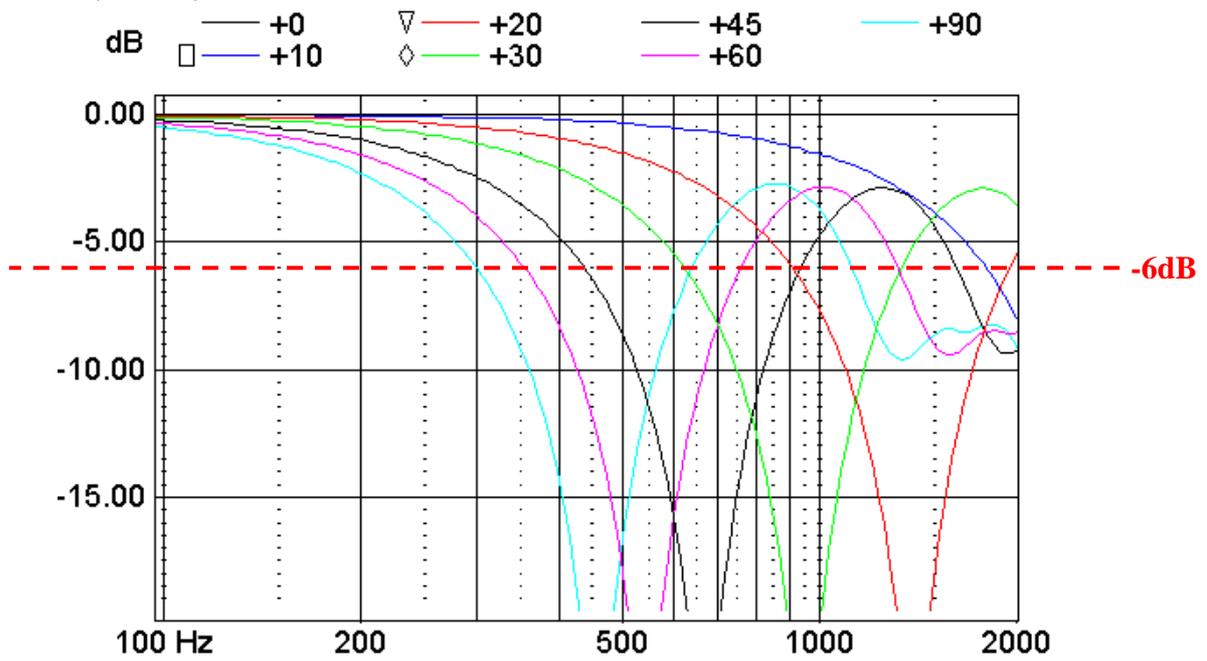
Entraxe = 330mm



$\theta_0 = 90^\circ$ à 450 Hz

$\theta_0 = 60^\circ$ à 620 Hz

$\theta_0 = 40^\circ$ à 900Hz



3.2.1 La mesure



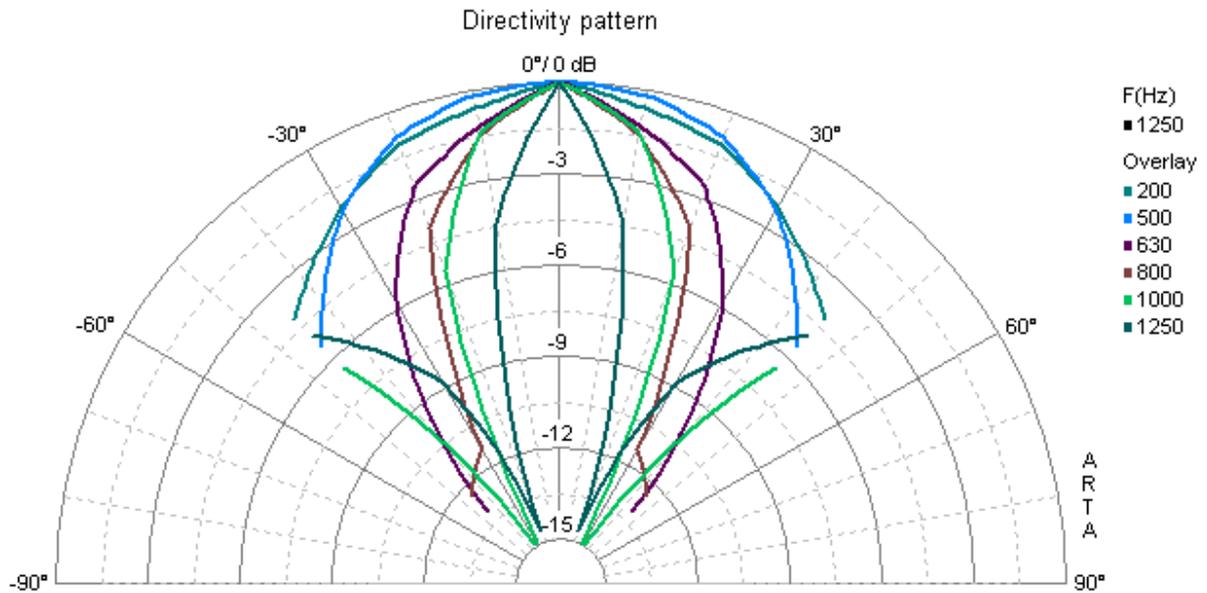
Pour ce relevé, le placement en rayonnement 2PI (voir photo) corrobore la simulation.

$\theta_0 = 60^\circ$ vers 600Hz

$\theta_0 = 90^\circ$ vers 450Hz

ps : J'ai effectué des mesures avec des angle plus ouvert mais avec un placement différent qui perturbais la mesure.

Le relevé est donc tronqué à $\pm 45^\circ$.



Double 30cm 12k200 - entraxe de 330 mm

4 CONCLUSION

A venir

Quelques liens :

<http://www.techniquesduson.com/sourcessonores.html>

<http://www.jblpro.com>

www.jblpro.com/pages/pub/components/2226.pdf

Loudspeaker handbook par John Eargle

Initiation à l'acoustique par Antonio Fischetti