

Sculpture d'un front d'onde

Un document technique

de



2ème édition / Mars 2013

Toute reproduction ou copie, même partielle de cette brochure sans l'accord écrit de l'auteur est interdite. La protection du droit d'auteur s'étend non seulement au contenu mais également aux schémas, dessins et tableaux figurant dans ces pages. Leurs applications et exécutions se font en dehors de toute responsabilité de l'auteur, de l'éditeur et de C2R AUDIO.

SOMMAIRE

1 / INTRODUCTION

- 1.1 Analyse du marché
- 1.2 Analyse des besoins

2 / DIRECTIVITE DES SOURCES SONORES ET COUVERTURE ANGULAIRE

- 2.1 Longueur d'onde, fréquence et vitesse du son
- 2.2 Propagation sphérique en champ libre
- 2.3 Champ proche – lointain / distance critique
- 2.4 *Couverture angulaire*
- 2.5 *Gain*

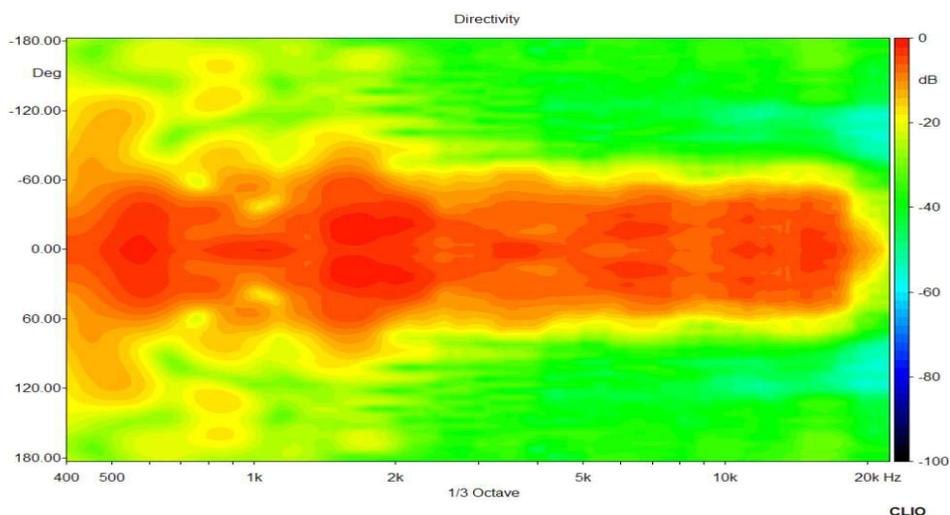
3 / DEFINITION DES BESOINS / CAHIER DES CHARGES

- 3.1 *Définition des besoins*
- 3.2 *Cahier des charges*

4 / DESCRIPTION DES SOLUTIONS / SIMULATIONS / MESURES

- 4.1 *Description des solutions - simulations*
- 4.2 *Conclusions*
- 4.3 *Shoots & conseils d'utilisations*

5 / NOTES



1 / INTRODUCTION.

1.1 Analyse du marché.

Qu'en est-il du marché de la sonorisation professionnelle... Ce secteur professionnel évolue aussi en fonction de la santé de l'économie mondiale, qui peut d'ailleurs s'échapper de cette contrainte ? personne bien sûr, et encore moins les domaines de l'artistique ! La tendance générale dans les métiers de la prestation technique audiovisuelle est morose depuis quelques temps déjà et cela s'accroît lentement mais sûrement. Les causes probables: les baisses continues des budgets accordés, les coûts d'investissement et de fonctionnement en augmentation constants ainsi que divers facteurs économiques...

La conséquence de ces divers travers sont une baisse des marges des sociétés de prestations techniques ces dernières étant contraintes d'amorcer des changements profonds et se tournant vers des secteurs d'activités jusqu'alors non convoités comme par exemple, l'installation, le conseil, l'évènementiel etc... Le Rock, la musique live bref le spectacle vivant ne paie plus, il y a inadéquation entre le matériel, l'humain mis à disposition et les budgets alloués.

Le prestataire de service doit être en mesure de fournir à ses clients certaines marques de matériels exigés...certains louent, d'autres achètent espérant amortir aux mieux ces lourds investissements, passer le cap des remboursements des leasings en se mettant sur le rang pour des marchés plus importants et ensuite rentabiliser ces achats. Il faut donc que ces matériels soient les plus souvent utilisés pour espérer rentabiliser (ou juste pouvoir rembourser les prêts) au plus vite ces achats conséquents, comment faire ? Prendre des parts de marché, donc des contrats à ceux déjà en place, acheter des produits assez polyvalents pour les utiliser le plus souvent possible, proposer plus pour le même prix, etc... Question, comment utiliser une ligne source de 6 à 8 unités par côté sur un simple concert de 200 personnes ? Mais surtout comment facturer une telle prestation ? Impossible bien sûr, le projet s'arrêtera au devis. Pour ce qui est de la polyvalence des produits, comment utiliser une enceinte touring de gros gabarit pour le spectacle d'une école d'un village de 500 âmes ou seulement 80 à 100 personnes viendront y assister. Inversement, comment sonoriser un feu d'artifice de grande importance (grande zone de couverture et grosses pressions sonores demandées pour 10000 personnes) avec 2 enceintes coaxiales prédestinées à une utilisation courte portée ? La liste est longue et les exemples infinis

Voilà un des dilemmes auquel est confronté le prestataire de service technique en audiovisuel mais dans ce constat je mettrais de côté les grosses structures qui signent les tournées nationales voir Européennes ...

Les fiches techniques dictent leurs lois ! De moins en moins bien sûr car faute de budget. Les exigences outrancières sont maintenant (pour le plus grand bonheur de tout le monde) limitées directement par le payeur ainsi que par les prestataires en charge de l'accueil annuel d'artistes dans des salles communales de spectacle, travailler dans des conditions honnêtes et sereines ne rime plus avec débauche technique inutile et sans intérêt... Ce constat tend à se généraliser et va dans l'intérêt du petit, moyen prestataire de service, ce dernier ne pouvant rivaliser avec les plus grosses structures en place de puis de très longues années. La tendance de ces petites structures rêvant à posséder de grosses façades ou de consoles sur-dimensionnées de marques prestigieuses n'est plus trop à la "mode" ils évitent de prendre dorénavant des risques financiers inappropriés, rêver c'est bien mais continuer de vivre c'est quand même mieux...

La concurrence s'endurcit... oui, un peut comme de partout, personne n'y échappe c'est la dure loi de l'économie de marché ! Les magasins deviennent prestataires pour essayer de compenser le manque de volume de vente et la baisse globale de leurs marges du à l'effet internet et les prestataires deviennent aussi vendeurs et installateurs pour pallier aux baisses des marges et volume des prestations ! A cela nous pouvons ajouter un nombre croissant de prestations privées réalisées par des personnes non-déclarées ou attachées à une association basique se targuant de pratiquer des prix très bas et non-acceptables par la profession. Ces derniers se procurant leur matériel par achat direct sur internet. Ce circuit infernal, incontrôlable et parallèle dépouille des prestataires professionnels déclarés d'une part non négligeable de CA et donc de revenus substantiels, ce manque est d'autant de volume d'argent non investi dans le renouvellement des parcs de prestation audiovisuel en France.

Le marché de l'installation n'est pas en hausse, loin s'en faut... Le premier secteur touché est celui des lieux de loisirs tels que les discothèques et autres bars de nuit. Si jadis les patrons de ces établissements étaient soucieux de proposer à leur clientèle des équipements de qualité et ne rechignaient pas à investir dans des systèmes de diffusion reconnus cette démarche est aujourd'hui bien différente, les investissements consentis sont en grande partie consacrés au relooking des établissements par les systèmes à Led dans tous ses états, la limitation des consommations et la peur de la répression ont fait envoler une partie de la manne de ces lieux freinant d'autant le pourcentage de renouvellement des équipements techniques, la réglementation des niveaux sonores, la fameuse loi des 105dB est elle aussi en partie responsable de cette stagnation des lieux de loisirs Français pour que elle soit respectée et appliquée !

Les marchés d'équipements publics sont en stagnation ; oui et non et tout dépend de la volonté des élus, certains contrats et investissements sont gelés en attendant des jours meilleurs ces budgets sont ainsi alloués à d'autres postes, récession et solidarité oblige, d'autres voient le jour ou se trouvent reconduits, la tendance étant tout de même plus à la baisse que l'inverse.

Les salles de spectacles ne se remplissent plus ! C'est un constat de plus en plus vrai et vérifiable tout le long de l'année, même certaine tête d'affiche n'attire plus ou pas assez de spectateurs pour rentabiliser les dates de concert ainsi les conséquences sont et peuvent être la cause de manque de date pour les prestataires, le gèle du renouvellement des équipements de salles publics et privées de spectacle. A l'inverse les grosses tournées mondiales et européennes ne connaissent pas la crise ! c'est plutôt vrai, même si le prix de certaines places atteints parfois des sommes élevées, elles se vendent vite et bien. Cependant, cela est à relativiser car une très grosse vedette ne fait pas non plus une tournée mondiale de 1 à quelques dates par pays tous les ans alors que l'artiste national devra se produire 20 fois ou plus mais dans le même pays !

Quid de l'évolution des systèmes de diffusion professionnels, les systèmes lignes sources et autres line array ont-ils perturbés le marché de la sonorisation ?, 2 questions en une seule, oui bien sûr car elles sont liées et indissociables. Globalement on peut dire que l'aspect qualitatif est une des avancées majeures dans le monde de la sonorisation professionnelle tant sur le plan cohérence et respect du message spectral ainsi que l'homogénéité de la couverture sonore sans oublier l'augmentation de la portée utile des sections médium-aiguë grâce à l'emploi de chambres acoustiques. L'emploi de ces systèmes de diffusion performants a demandé des approches techniques différentes. De la nécessité de l'utilisation de l'outil informatique en passant par l'obligation de formations techniques des fabricants il a fallu que les professionnels s'adaptent. Mais si certaines de ces avancées ne peuvent être controversées d'autres pourtant ne provoquent-elles pas des effets modes ? dans ce cas précis comme dans les secteurs de l'audiovisuel grand public et de la micro-informatique le mot d'ordre est : il faut être à la hauteur des autres pour ne pas être ridicule...Pourtant chacun sait que le ridicule ne tue pas mais la bêtise si. Les autres avancées technologiques: Des consoles de mixages numériques High-End aux montages acoustiques cardioïdes en passant par les processeurs de traitement ultra sophistiqué, nul doute que les techniciens en diffusion sonores ont maintenant toute une panoplie de matériel très haut de gamme permettant un travail de qualité mais y a-t'il un produit qui n'a pas foncièrement évolué ? Oui, il en reste un, le haut-parleur électrodynamique et par malchance il se trouve que c'est le dernier maillon de la chaîne audio !

1.2 Analyse des besoins.

Que dire sur les besoins des prestataires. Dans l'idéal un seul et même produit couvrant l'ensemble des besoins comblerait de bonheur n'importe quel sonorisateur et chef d'entreprise, une seule et même référence dans le parc pouvant être utilisée par n'importe quel technicien. Une enceinte wedge avec plusieurs angles de diffusion, façade simple et complexe, clustable en array, utilisable en vertical et en horizontal, en front fill, center fill, positionnable sur pied de 35mm en verticale et horizontale, légère, pour une sensibilité de 100 db pleine bande, etc...L'enceinte parfaite en somme, à priori oui, existe-t-elle? Non.

2 / DIRECTIVITE DES SOURCES SONORES ET COUVERTURE ANGULAIRE

2.1 Vitesse du son, longueurs d'onde et diffraction

Les ondes sonores se déplacent à la vitesse moyenne de 344 m/s (mètres – seconde) mais cette dernière dépend aussi de la température environnante. Les fréquences audio sont comprises entre 20Hz et 20kHz. La longueur d'onde d'un son, d'une fréquence donnée est la distance que sépare 2 répétitions successive de cette dernière et est donné par la relation :

Longueur d'onde = Vitesse / fréquence

$$\lambda = C / F$$

avec c = vitesse du son en m/s et f, la fréquence en Hz

la période d'un signal T se définit comme la durée d'un cycle de l'onde, elle est l'inverse de la fréquence et s'exprime en seconde.

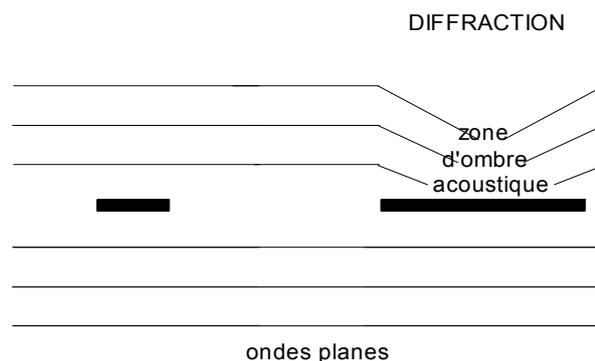
$$T = 1 / F$$

Inversement, la fréquence (donc la période) correspond à l'inverse du temps.

$$F = 1 / T$$

La diffraction :

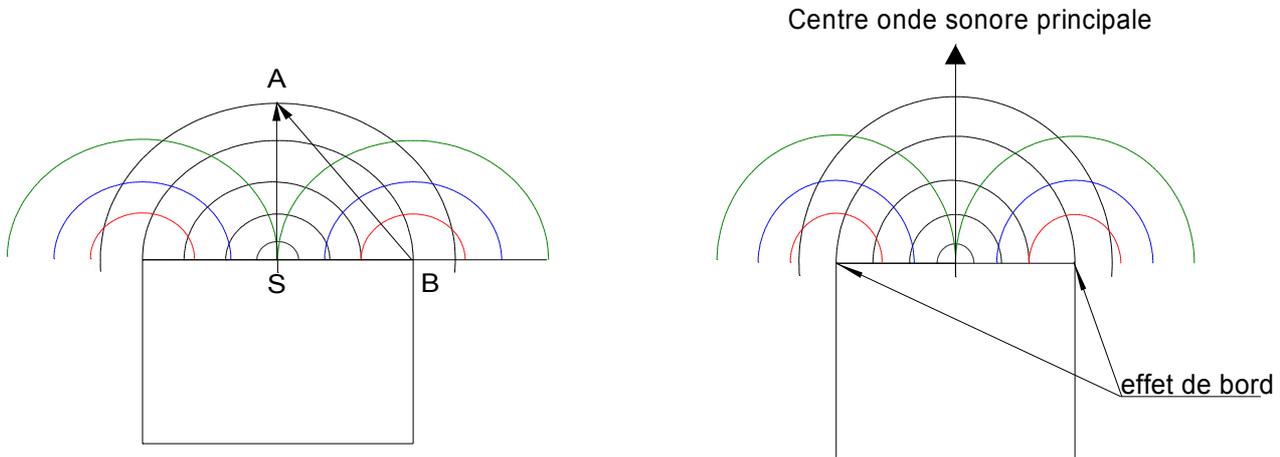
les phénomènes de diffraction se produisent quand les ondes sonores sont confrontées à des obstacles pendant leurs propagations. Nous prenons comme exemple 2 cas comme dessiné ci-dessous.



A gauche, la longueur d'onde de l'onde sonore est bien plus importante que l'obstacle, cette dernière le contourne et continue sa progression. A droite la longueur d'onde est petite devant l'obstacle, il y a diffraction et création d'une zone d'ombre acoustique.

Partant de ce constat, peut-on dire que l'inverse est vrai ? Soit une onde sonore hémisphérique diffusée en partant d'une surface plane de dimensions limitées (une enceinte acoustique par exemple).

Par perte de gain, en atteignant les bords de la surface plane, il y a création de lobes secondaires venant perturber l'onde principale. Les interférences générées par les ondes secondaires sur la principale vont créer des noeuds et ventres de pression le long de l'axe principal de la source.



Selon la fréquence générée par la source S ainsi que la différence de longueur des chemins SA et BA il peut se produire au point A des effets de filtrage en peigne, ceci est d'ailleurs vrai où que se situe le point A tant sur l'axe S A ou sur un point quelconque de l'arc de cercle... il y aura par contre création d'un noeud de pression lorsque SA sera égal à BA.

2.2 Propagation sphérique en champ libre

Un champ libre est un environnement où aucune réflexion ne vient perturber le champ sonore émis, il est donc possible d'exclure tout lieu enfermé de cette appellation (hors chambre sourde), la diffusion sonore extérieure (plein air) quand à elle, tend à se rapprocher de ce modèle. La pression acoustique délivrée par une source omnidirectionnelle (une sphère) est exprimée par cette relation:

$$P = \frac{j\rho_0 c k}{4\pi r} Q_s \Theta_j (\omega t - kr)$$

Avec P = pression instantanée, $j = \sqrt{-1}$, ρ_0 = densité de l'air, C = célérité du son, r = distance entre le point de mesure et la source, Q_s = énergie de la source, a = diamètre de la source, $\omega = 2 \cdot \pi \cdot F$, etc...

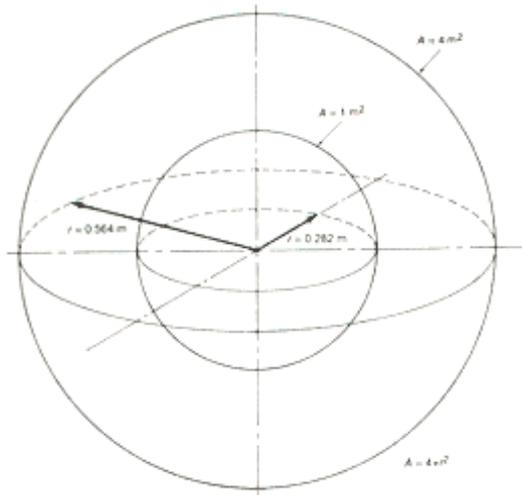
Nous écrivons, pour le niveau de pression cette relation :

$$SPL = 20 \log \frac{P}{P_0}$$

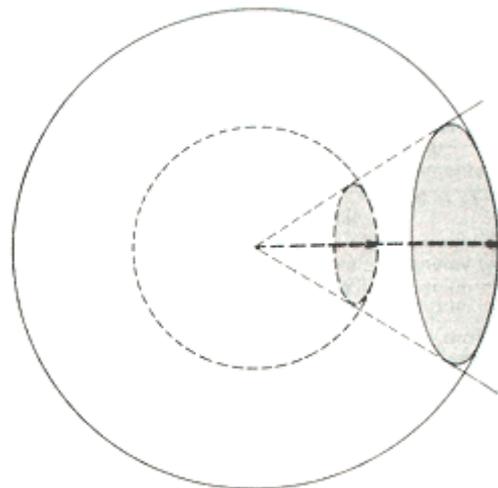
Avec P = pression instantanée, P_0 = pression atmosphérique de référence.

Ainsi on établit une loi disant que, lorsqu'on double la distance d'une source sphérique (distance r) alors, P la pression, est divisée par 2 on obtient donc un affaiblissement de -6db, on peut donc écrire :

$$20 \log (1/2) = - 6 \text{ db}$$



Sphère et rayon



La surface augmente avec le carré du rayon

Les 2 graphiques ci-dessus représentent à gauche une sphère pulsante avec un rayon r de 0,282m dans une direction puis un deuxième de 0,564m soit le double du premier, la surface d'une sphère est égale à : $S = 4\pi \cdot r^2$ soit $\approx 1\text{m}^2$ pour le rayon de 0,282 et $\approx 4\text{m}^2$ pour son double.

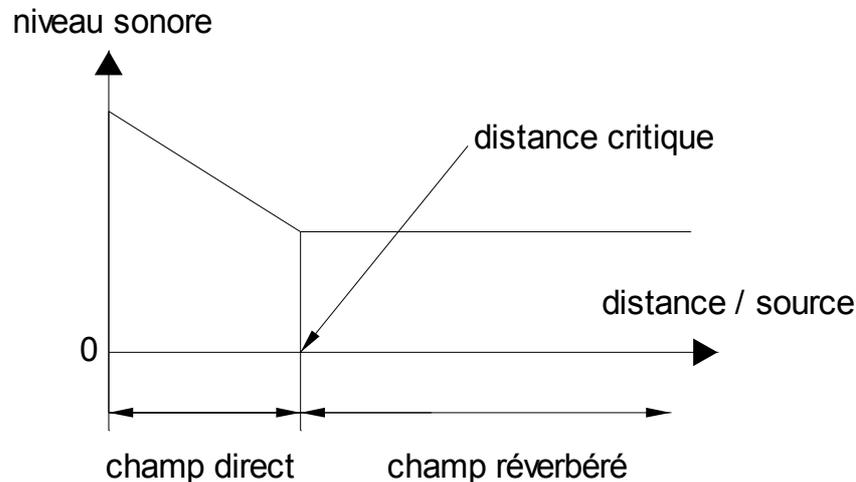
Le rapport de puissance de 4 à 1 représente une différence de 6 dB donc le rapport en pression sera de 2 à 1. Ces rapports sont exprimés par la loi de l'inverse du carré de la distance et elle vaudra pour toutes sources sonores omnidirectionnelles ainsi, comme vu précédemment pour chaque doublement de distance l'affaiblissement sera de 6 dB.

2.3 Champ proche – lointain / distance critique

Nous venons de voir que l'intensité sonore d'une onde sphérique décroît proportionnellement au carré de la distance de la source jusqu'au récepteur signifiant que pour un doublement de distance l'affaiblissement sera de 6 dB mais ceci est uniquement valide dans le champ lointain (zone de Fraunhofer) avant, dans le champ proche (zone de Fresnel) les ondes sont planes et retransmises intégralement jusqu'à cette transition. Notons également qu'au de-la de la distance critique le niveau sonore est constant. La distance critique dénommée D_c peut-être exprimée par la formule :

$$D_c = 0.031 \cdot \sqrt{(R_e \cdot V / T)}$$

R_e directivité de la source sonore, V volume du lieu, T temps de réverbération



Dans le cas d'une diffusion en salle le champ sonore émis par le système de diffusion est soumis également à des perturbations générées par l'excitation du lieu...C'est ainsi que nous pouvons décrire le champ direct, ne comportant pas de composantes perturbatrices et le champ réverbéré qui lui est l'addition du champ direct + les réverbérations du lieu, ces 2 zones sont séparées par une frontière dénommée, distance critique et a la particularité de fluctuer selon les fréquences émises et réverbérées car T (le temps) varie en fonction de la fréquence et par conséquent la distance critique également. Remarquons aussi que le niveau sonore est quasi constant dans le champ réverbéré mais non-homogène.

2.4 Couverture angulaire

Toute source sonore possède sa propre couverture angulaire définie par un ou plusieurs angles nominaux de dispersion.

Définition :

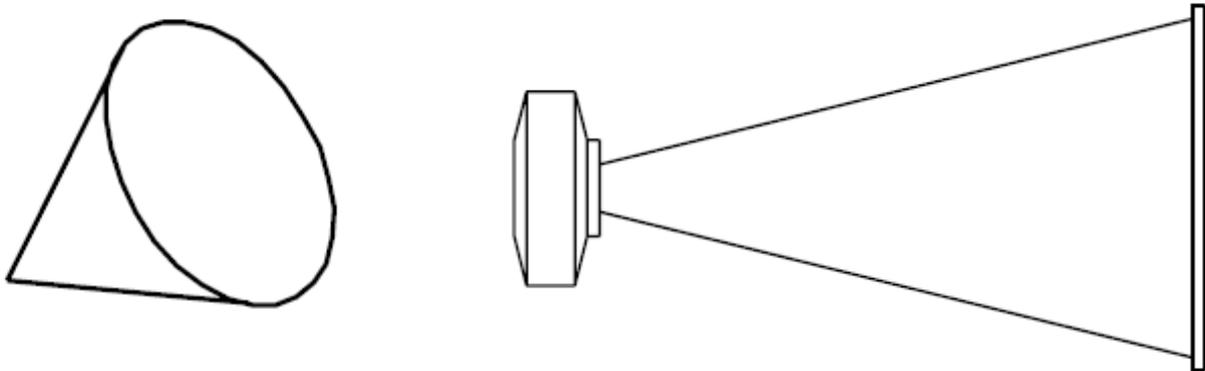
On appelle angle nominale de dispersion, l'angle dans lequel le niveau sonore à une distance donnée par la source ne varie pas plus de 6 dB.

Ces angles nominaux sont obtenus par l'utilisation de pièces mécaniques appelées pavillons acoustiques qui peuvent présenter des caractéristiques de dispersion variables ou constantes. Le pavillon acoustique joue le rôle d'un transformateur en impédance entre la source rayonnante (la membrane du haut-parleur, moteur HF, etc...) et l'air, dont la masse volumique est faible, mais pas seulement dans le cas des pavillons pour fréquence élevée (à partir de 800 hz environ) puisqu'il permet de canaliser ce flux dans des axes de diffusion définis (vertical et horizontal).

Pavillon conique (polynomial) : Premier pavillon acoustique conçu par les acousticiens, il est obtenu par la forme d'un cône à profil plat et rectiligne, sa particularité principale est de ne proposer qu'un seul angle de dispersion nominal. La formule d'expansion de ce type de pavillon est donnée par la relation :

$$S = S_1 x^2$$

S = L'aire de la bouche du pavillon **S1** = L'aire du throat (gorge) du pavillon **x** = Longueur du pavillon.



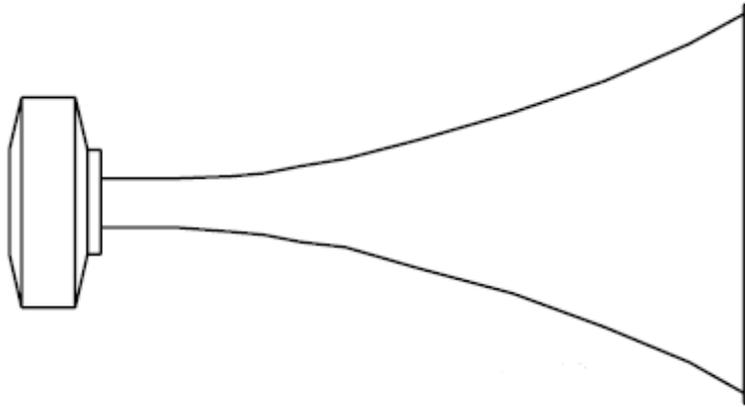
Ces pavillons altèrent partiellement le flux à restituer car les trajets dans ce cône ne sont pas strictement respectés. Les déviations sur les parois concaves du horn conique sont à l'origine de ces altérations, le modèle mathématique d'expansion n'étant alors plus respecté. N'oublions pas que le modèle d'expansion sphérique tend à devenir plan avec la distance de propagation, ce qui ne veut pas dire que les courbes deviennent planes mais que leurs courbures sont de moins en moins prononcées, d'ailleurs les calculs et simulations acoustiques sont définis à partir de ces dernières (ondes planes) alors que le mode de propagation reste bien sphérique, nous dirons que c'est alors une approximation ou une facilité d'interprétation... Cela dit, pour ce type de pavillon nous retiendrons que, plus la fréquence de coupure sera basse plus il y aura des altérations et moins l'angle nominal sera respecté.

Pavillon exponentiel (hyperbolique) : C'est un pavillon où les longueurs des côtés (H & V) ont un profil exponentiel.

La formule de ce type de pavillon est donnée par la relation :

$$S = S_1 e^{mx}$$

Avec **S** l'aire de la bouche du pavillon, **S1** l'aire du throat (gorge) du pavillon
m la constante du profil (évasement) et **x** la longueur du pavillon.



Ce type de pavillon, si il est calculé correctement, donne de très bons résultats permettant la restitution de niveaux sonores élevés sur une bande de fréquence étendue. Toutefois, son rayonnement et rendement à haute fréquence n'est pas absolument parfait cela étant du à ses profils de courbes exponentielles (réflexions parasites du front d'onde).

Pour ces pavillons, les calculs de profils font apparaître la notion de *distance de duplication* et *diamètre minimum de l'embouchure*.

Pour la première, on pose simplement :

$$D = 1900 / Fb$$

Ou, **D** est la distance à chaque doublement de la surface, **1900** est une constante et **Fb** la fréquence de coupure basse en fonction de **D**.

Pour la deuxième, on pose :

$$Dm = 1000 / Fb$$

Ou, **Dm** est le diamètre minimal (en cm), **1000** une constante et **Fb** la fréquence de coupure basse en fonction de **Dm**.

Cette dernière formule, permet de réduire sensiblement les dimensions des bouches des pavillons exponentiels (il est vrai avec quelques approximations dans le rendu spectral). Notons également que, dans cette dernière formule on parle de diamètre et que très souvent les pavillons sont de forme rectangulaire, on considère par approximation que si la surface est égale ou supérieure à celle du diamètre calculé alors la formule est valide. Pour finir, rappelons que la surface d'un cercle se calcul avec $S = \text{Pi } r^2$.

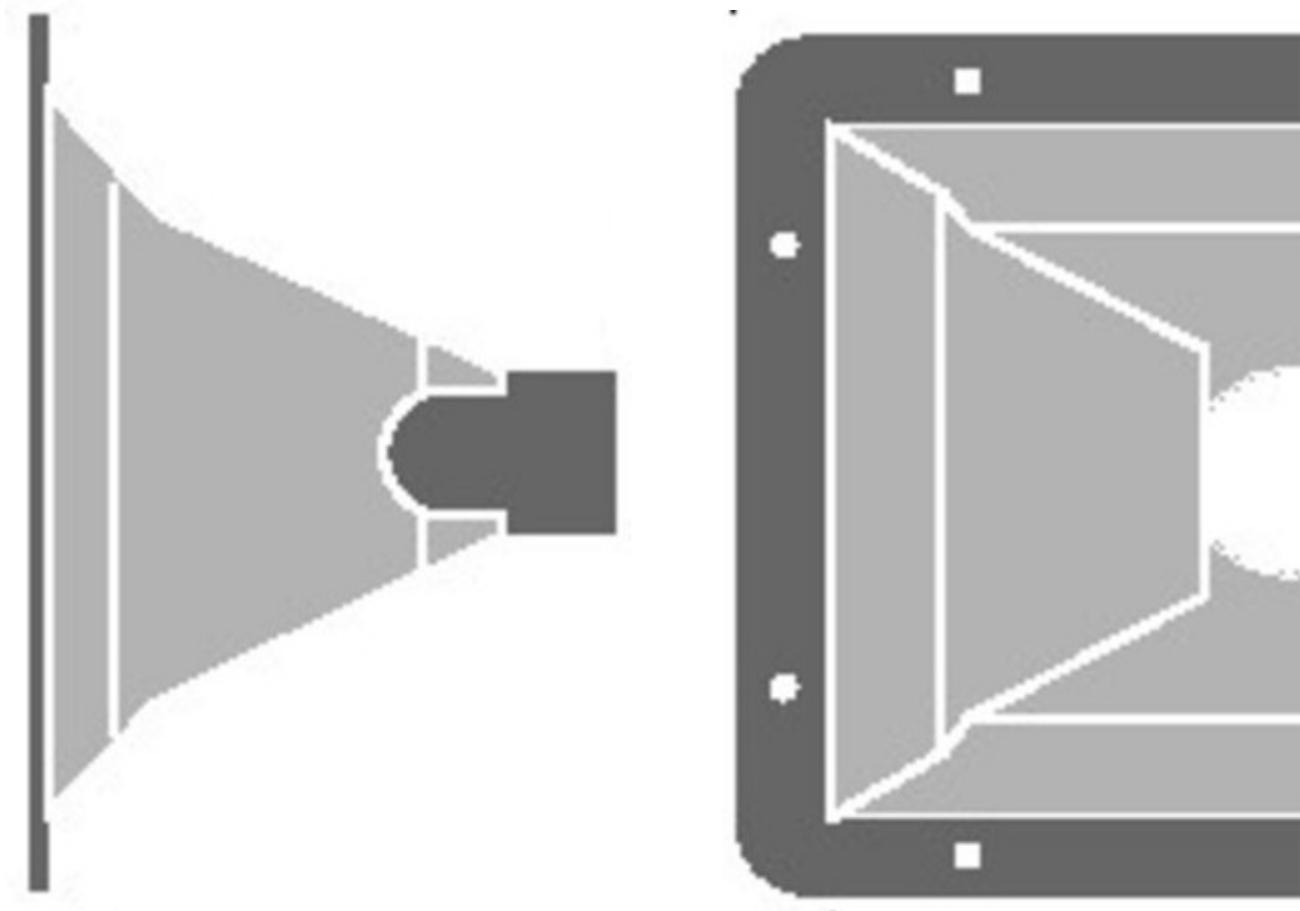
Une variante de ces horns est le pavillon multicellulaire qui regroupe une multitude de pavillons exponentiels au sein même d'un rectangle pour ne former qu'une source rayonnante selon des angles de dispersions désirés.

Pavillon à directivité constante : C'est un pavillon qui regroupe ou mélange 2 profils de courbes : Hyperbole, exponentielle, ces dernières étant couplées à un profil conique (famille des courbes planes algébriques- polynomial).

Pour ce pavillon, nous retiendrons une formule permettant de calculer les dimensions de la bouche en fonction de la fréquence basse à contrôler.

$$F_c = K / \theta X$$

Avec, K une constante valant 25400, X les dimensions de la bouche (en m)
 θ angle nominal du pavillon et F_c la fréquence minimum du contrôle de la directivité.



La caractéristique positive de ces pavillons est le fait de contrôler parfaitement et dans les 2 axes (H & V) les lobes acoustiques, avec des indices de directivité (ID) pouvant être élevés ainsi que les facteurs de directivité (Q).

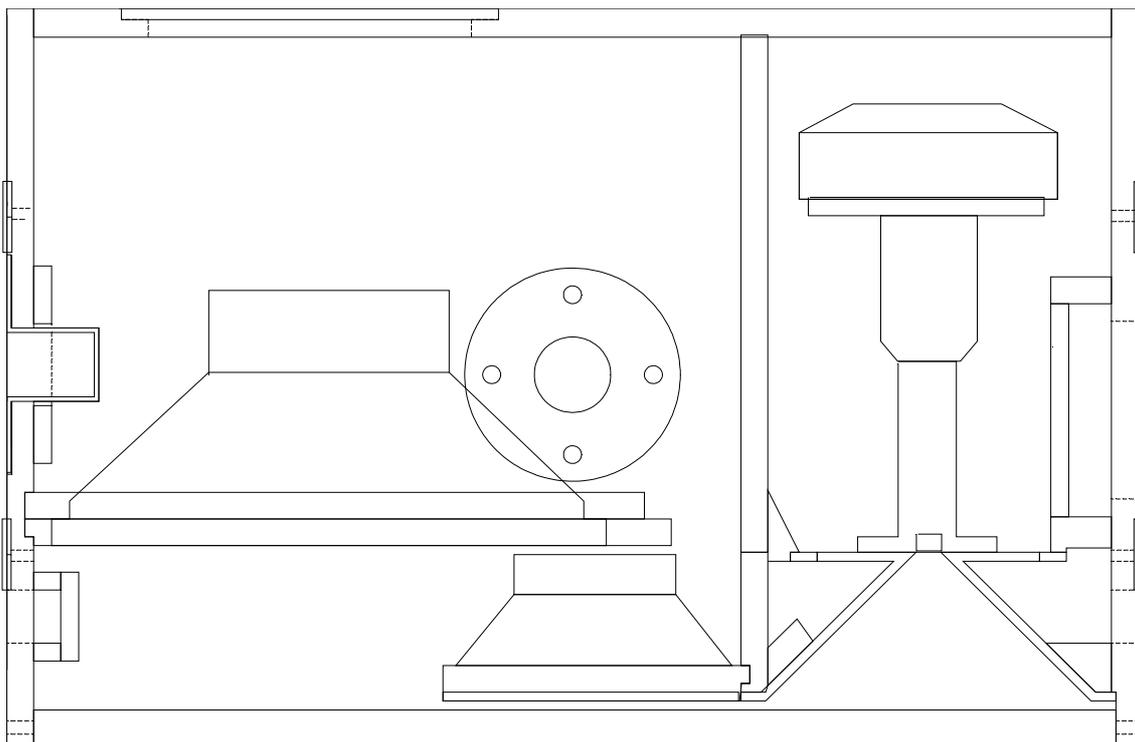
Ces données sont reliées par des relations :

$$ID = 10 \log Q \text{ et } Q = 10^{ID/10}$$

il existe tout de même souvent un différentiel dans la cohérence de l'ouverture vertical à contrôler et ce qu'il se passe véritablement dans les basses fréquences, cela est du par la distance (dimensions égales entre le V et le H) de trajet du faisceau V & H qui est trop court dans le cas du V, ramenant une surface de bouche trop faible en rapport avec un angle faible désiré.

Pour les fréquences inférieures à F_c , le pavillon présente comme une source plane de dimensions connues, une directivité variant et s'accroissant avec la fréquence, inversement on peut aussi dire que plus la fréquence baissera moins la directivité sera marquée.

En essayant de calculer les dimensions d'un tel pavillon, on aura remarqué que les dimensions induites par rapport à F_c peuvent être importante, si ces dernières sont erronées, le contrôle de se fera pas à la fréquence désirée, il peut être alors importun de mixer plusieurs profils.

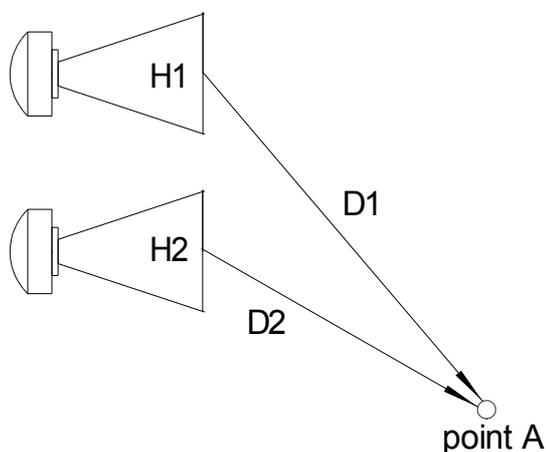


Vue en coupe dessus de l'enceinte CS-12VCT

2.5 Addition de niveaux sonores - Gain

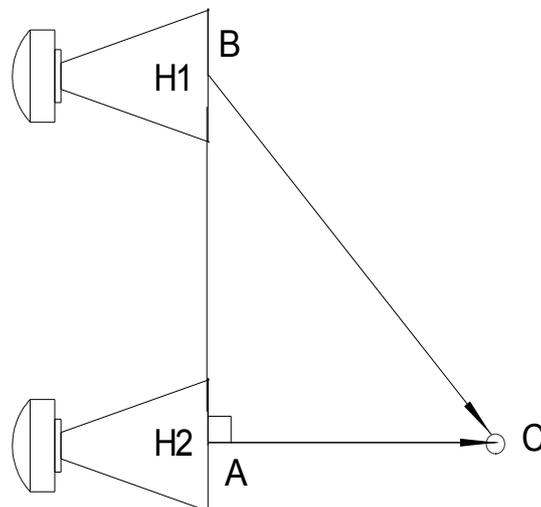
L'addition de plusieurs niveaux sonores ne se fait pas de façon linéaire mais bien par addition logarithmique. Le tableau ci-après donne une idée précise sur le sujet. Si l'on doit additionner 2 niveaux identiques la différence sera de 0 donc le gain sera de + 3dB soit par exemple, 2 sources sonores de 100 dB chacune, l'addition des 2 vaudra : 103 dB. Par contre si nous prenons 2 sources de 90 dB pour l'une et 100 dB pour l'autre le résultat sera de 100,05 dB...

Différence entre 2 niveaux	Facteur correctif à additionner à la valeur la plus élevée	Différence entre 2 niveaux	Facteur correctif à additionner à la valeur la plus élevée
0	+ 3,00 dB	7	+ 0,78 dB
1	+ 2,54 dB	8	+ 0,63 dB
1,5	+ 2,32 dB	9	+ 0,51 dB
2	+ 2,12 dB	10	+ 0,41 dB
2,5	+ 1,94 dB	12	+ 0,27 dB
3	+ 1,75 dB	14	+ 0,17 dB
4	+ 1,45 dB	16	+ 0,11 dB
5	+ 1,20 dB	18	+ 0,07 dB
6	+ 0,97 dB	20	+ 0,05 dB



Ci-dessus nous prenons 2 sources sonores montées verticalement et disposons un point A de façon dissymétrique par rapport aux 2 sources... le niveau acoustique au point A va varier en fonction de la différence de trajet de D1 et D2 ainsi que de la longueur d'onde produite. Si la distance correspond à une ou plusieurs longueurs d'ondes complètes, il se produira un accroissement de niveaux sonore à ce point, on parle de noeud de pression.

Si par contre, la distance induite correspond à une demi-longueur d'onde ou à un nombre impair de longueur d'onde il y aura atténuation du niveau sonore, on parle de ventre de pression.



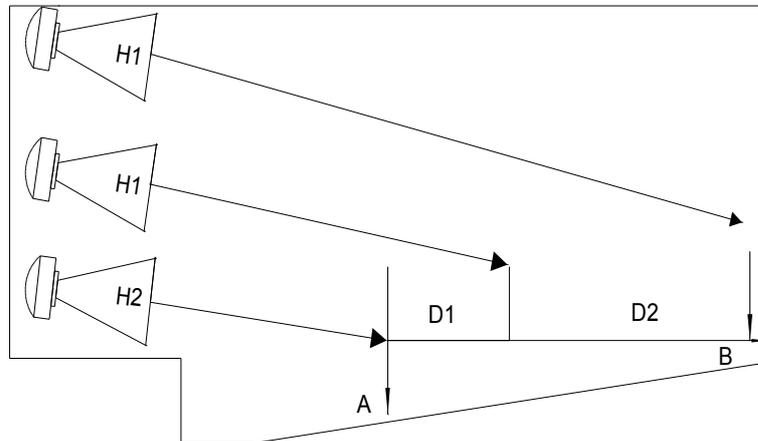
Nous disposons cette fois le point d'écoute dans l'axe de la source dénommée H2 et cet exemple reprend une pratique souvent utilisée en terme de diffusion sonore professionnelle : H1 représente une source sonore clustée (array vertical) et H2 une source posée à hauteur du public ayant pour but de combler la zone d'avant scène (front-fill / avant scène). Pour éviter les effets néfastes dénommés juste avant ; il faut donc appliquer un retard (délais) sur la source H2 pour que les 2 fronts d'ondes coïncident en un point (C) pour y arriver au même moment. Les points BAC forment un triangle rectangle en A, il suffit donc d'appliquer: $BC^2 = AC^2 + BA^2$. Si AB vaut 6 mètres et AC 10 mètres alors $BC^2 = 100 + 36 = 136$ donc $BC = \sqrt{136} = 11,66$ mètres. La différence de trajet sera égale à : 1,66 mètres soit un retard de $1,66 / 340 = 4,88$ ms à appliquer sur H2 ($T = \text{distance} / \text{vitesse du son}$ que nous retenons à 340m/s).

Nous pouvons aussi différencier 2 types de sources sonores, celle à radiation directe et celle pavillonée et si dans le premier cas, à basse fréquence le couplage de ces sources ne présentent pas de problèmes particuliers en respectant des écartements maximums inter-éléments de l'ordre de la demi-longueur d'onde de la fréquence maxi à reproduire (loi d'Olson), il en est tout autre pour les pavillons MF-HF.

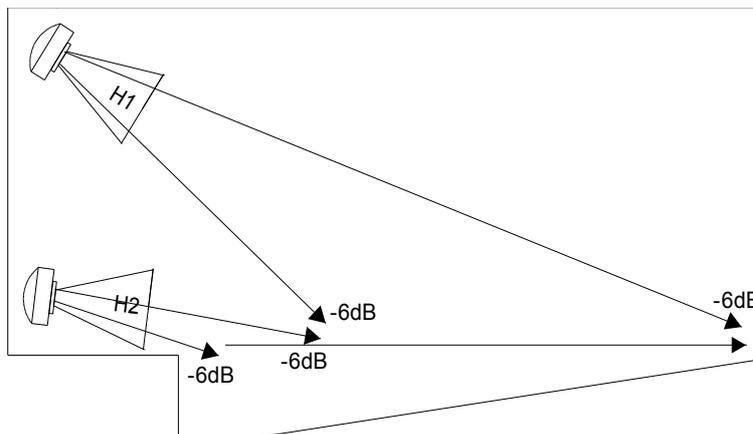
La superposition de pavillons provoque donc des interférences acoustiques et ne permet pas un gain substantiel de niveaux sonores hormis dans l'axe du couplage, l'ouverture nominale s'en trouve modifiée de façon importante permettant du même coup une portée utile supérieure...Pas si simple que cela !

L'élévation d'un système de diffusion sonore permet d'augmenter la zone de couverture donc la distance induite entre le premier rang et le dernier...

La distance à couvrir est donc égale à : $D_{tot} = D_{min} / D_{max}$ ainsi, la différence de niveau sonore entre D_{min} et D_{max} sera : $\Delta SPL = 20 \log D_{min} / D_{max}$.

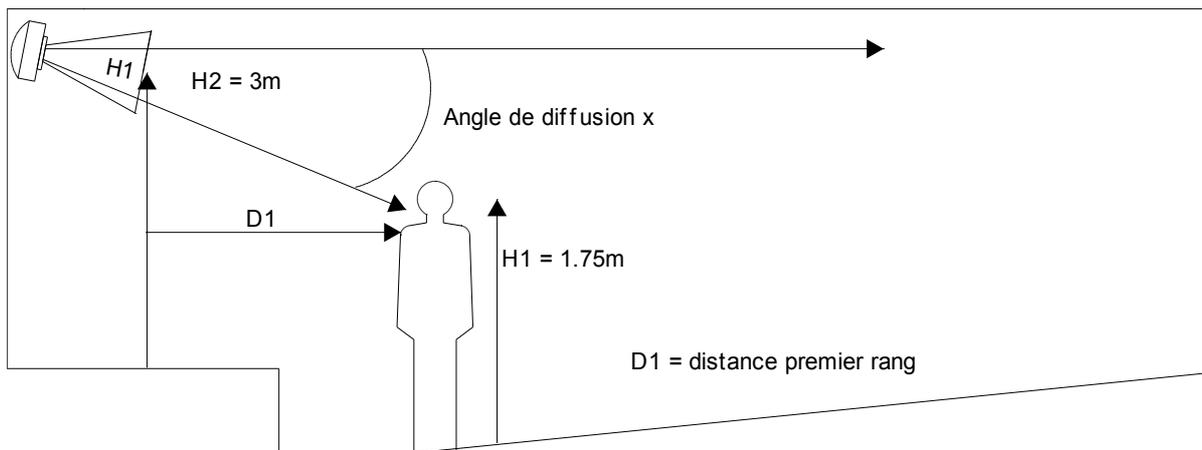


Plus H1 sera élevé plus la distance AB sera importante, la couverture sonore variera selon la hauteur du cluster H1, ainsi que de son inclinaison. La portée utile d'un système de diffusion sonore et la longueur importante d'une aire d'audition sont tributaires d'une hauteur d'accroche minimale, et d'un nombre cohérent et judicieux d'enceintes disposant d'angles verticaux non égaux.



Les angles nominaux de H1 et H2 sont différents et dans 99,99% des cas nous aurons $H1 > H2$. Pour un fonctionnement optimum H2 devra être choisit et vraisemblablement incliné vers le bas ou bien son gain sera limité afin de coïncider parfaitement avec le bas du lobe de H1.

Partant du fait que H1 est en fait un array vertical d'enceintes il est fort probable que l'enceinte la plus haute possède un angle de diffusion plus faible que l'enceinte la plus basse...



il est parfois utile de connaître les distances D_{\min} et D_{\max} afin de valider le choix des angles de diffusion des enceintes utilisées. Connaissant la hauteur d'accroche, le demi-angle d'ouverture de l'enceinte de diffusion et la distance séparant l'auditeur du point milieu de l'angle de diffusion nominal, il suffit d'appliquer les relations trigonométriques dans un triangle rectangle.

$$D1 = H2 - H1 / \tan x$$

Dans notre exemple ci-dessus nous trouvons pour un angle x de 20° : $3 - 1.75 / \tan 20^\circ = 3.4$ mètres, début de couverture de la zone d'audition, pour une hauteur d'écoute de 1.75m à une hauteur d'accroche système de et 3m en utilisant un pavillon de 40° d'ouverture verticale nominal.

Gain acoustique / dB spl / Puissance

Le gain des pavillons acoustiques est fonction de ses angles d'ouvertures nominaux de son ou ses profils d'expansions ainsi que de sa longueur et il est tout à fait possible de quantifier mathématiquement ces données importantes par le biais de ID et Q, notons également que l'accroissement de la directivité augmente d'autant le niveau sonore.

ID, l'index de directivité quantifie une différence de niveau sonore dans une direction indiquée ainsi qu'à une distance constante pour une source défini en la comparant avec une source omnidirectionnelle à puissance similaire. $ID = 10 \log Q$; **Q**, le facteur de directivité est le rapport de 2 intensités sonores.

$$Q = 10^{ID/10}$$

Pour augmenter le niveau sonore dans un angle voulu on peut coupler plusieurs moteurs HF dans un même diffuseur acoustique ou coupler plusieurs sources dont l'angle total est celui désiré en les disposant l'un par rapport à l'autre selon leurs angles contigus nominaux, recréant un pavillon multicellulaire cependant, dans beaucoup de cas, la fréquence ou la dispersion contrôlée aura pour valeur le double que dans le cas d'un seul pavillon à directivité constante.

Tout ceci nous amène à évoquer la question de puissance requise pour l'obtention d'un niveau Spl voulu à une distance donnée, quelles incidences sur la variation d'un angle de diffusion sur le niveau Spl d'un pavillon...Etc.

Pour cette étude de cas nous prendrons une CS-12VC(T) avec volets réglés @ 40°V et 90° H puis @ 15°V.

A / Un horn de 90°x40° représente un gain relatif de : $(360 / 90) \cdot (360 / 40) = 36 = R_e$

donc $ID = 10 \log R_e = 10 \log 36 = 15.56 \text{dB}$

On admet une puissance admissible de 20 Watts continu pour une sensibilité moteur de 110dB Spl, ce qui nous procure une pression @ 1m qui sera égale à :

$$\text{Spl @ 1m} = 110 + 10 \log 20 + 15.56 \text{dB} = 138.56 \text{dB Spl}$$

Ensuite pour calculer la pression sonore à une distance donnée, il suffit de retrancher au résultat obtenu précédemment l'affaiblissement d'une source sonore.

Pour une distance de 35 mètres nous aurons :

$$\begin{aligned} \text{Spl @ 35m} &= (110 + 10 \log 20 + 15.56) - 20 \log (D_{\text{max}} / \text{Distance référence du Spl de la source}) \\ &= (110 + 10 \log 20 + 15.56) - 20 \log (35 / 1) = 107.68 \text{ dB Spl} \end{aligned}$$

Le niveau Spl requis pour une exploitation quelconque doit être de 115dB Spl pour cette même distance, il faut donc en déduire l'amplification adéquate.

Le Spl max du couple pavillon + moteur qui est de 110dB + 15.56dB = 125.56dB, le niveau demandé est de 115dB Spl à 35m le calcul se fera comme suit :

$$P_w = \text{Inv.log} \cdot \left[115 - (125.56 - 20 \log 35) / 10 \right] = 107.68 \text{ W}$$

$$\text{Soit un gain en puissance de : } 107.68 / 20 = 5.36$$

$$\text{En dB le gain vaudra : } G_w = 10 \log 107.86 / 20 = 7.29 \text{ dB}$$

B / Prenons maintenant le horn pour un angle de diffusion de 15° soit un gain relatif calculé de :

$$R_e = (360 / 90) \cdot (360 / 15) = 96 \quad \text{donc } ID = 10 \log 96 = 19.82 \text{ dB}$$

Nous obtenons les résultats suivants :

$$\text{Spl @ 35m} = (110 + 10 \log 20 + 19.82) - 20 \log (35 / 1) = 111,94 \text{dB Spl}$$

Pour obtenir le niveau de 115dB Spl @ 35m comme dans l'exemple précédent nous calculons le niveau de puissance comme suit :

$$P_w = \text{Inv.log} . \left[115 - (129.82 - 20\log 35) / 10 \right] = 40.45 \text{ W}$$

3 / DEFINITION DES BESOINS / CAHIER DES CHARGES

3.1 Définition des besoins

Nous avons besoin de trouver un moyen technique rationnel et efficace afin de proposer des solutions pérennes pour plusieurs domaines applicatifs.

En effet, chaque unités de diffusion doit pouvoir être utilisée seule et donc proposer une dispersion contrôlée importante. Après avoir étudié les besoins de plusieurs partenaires, nous partirons sur 90° en H et 60° en V. Ces angles de dispersions ne sont pas pénalisants quand aux dimensions minimales d'un pavillon pouvant les contrôler.

Le second objectif est de pouvoir rassembler plusieurs unités, les faire fonctionner en array de façon cohérente afin de profiter pleinement de ce type de montage. Un array d'enceintes permet de gagner en puissance nominal de façon drastique et donc de pouvoir prétendre à sonoriser des jauges plus importantes, de maîtriser la diffusion sur la profondeur d'une zone d'audience, de gagner en portée utile sur le haut du spectre et enfin de proposer une solution de diffusion demandée par les prescripteurs et donneurs d'ordres.

3.2 Cahier des charges

Le cahier des charges d'un tel produit, comme définit par les besoins cités précédemment ne laisse que peu de doutes quand au fait qu'il va falloir trouver une ou plusieurs solutions techniques pour mener à bien un tel projet.

Aux besoins évoqués plus haut, nous allons ajouter des contraintes et besoins pour que le produit final proposé puisse être en adéquation total avec le milieu de la prestation en sonorisation professionnelle.

- Utilisation seule ou à plusieurs.
- Utilisation en position moniteur (wedge).
- Poids raisonnable (< 40kgs).
- Compacité et maniabilité optimale (en rapport avec le poids, position des poignées, etc...).
- Puissance admissible et sensibilité en adéquation avec des jauges d'envergures à sonoriser.
- Pouvant descendre en fréquence pour une utilisation FR (Full Range, env 45hz-50hz).
- Pouvant être utilisée en mode tout passif ou bi-amplification.

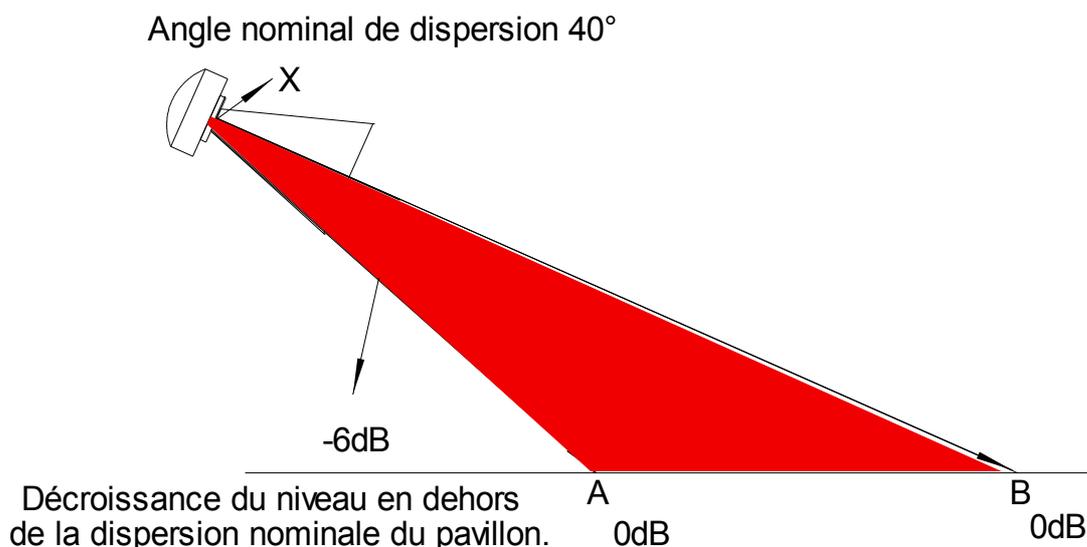
- Rigging d'accroche simple, afin de ne pas pénaliser l'enceinte par le poids d'accessoires inutiles lorsque le produit est utilisé de façon autonome.
- Rigging intégré au maximum au produit afin de ramener un nombre de pièces minimum pour la mise en place des arrays.
- Etc, etc, ...

4 / DESCRIPTION DES SOLUTIONS / SIMULATIONS / MESURES

4.1 Description des solutions

Avant toute autre chose il faut trouver et proposer une solution technique afin de proposer 2 produits en un. Le premier avec une dispersion nominale "importante" pour une utilisation solo puis pour le deuxième une dispersion contrôlée permettant un couplage inter-enceinte non destructeur afin de permettre la construction d'un array performant.

En matière de couplage cohérent, la solution consisterai à transformer l'onde sphérique en une onde cylindrique par la mise en phase parfaite des signaux HF. Ce faisant et en respectant certains critères (WST) nous pouvons être constructifs et reproduire un ruban sonore de façon parfaite. Un tel système existe chez C2R audio par l'emploi d'une chambre acoustique CTR déjà utilisée dans notre premier ligne source LA208. Cette technologie fonctionne parfaitement bien mais ne permet pas de remplir le premier cas d'utilisation vu plus avant dans le texte. En effet, si ce guide d'onde rend isophasé un flux acoustique, sa dispersion verticale est par contre de l'ordre de 6°..... Nous sommes donc bien loin des 60° voulus plus avant pour permettre une utilisation single du produit !



Si $XA = XB / 2$ Alors le niveau de pression dans la portion A-B est quasi constant



Ci-dessus nous visualisons les courbes isobares à 1000 hz de 2 horns CS-12 VCT dans le plan vertical dont les bords sont coïncidents à - 6 dB.

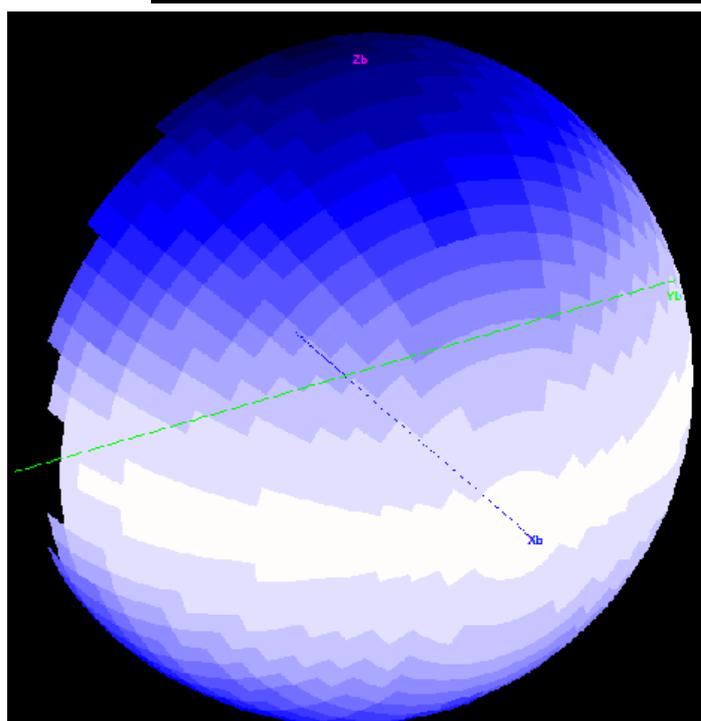
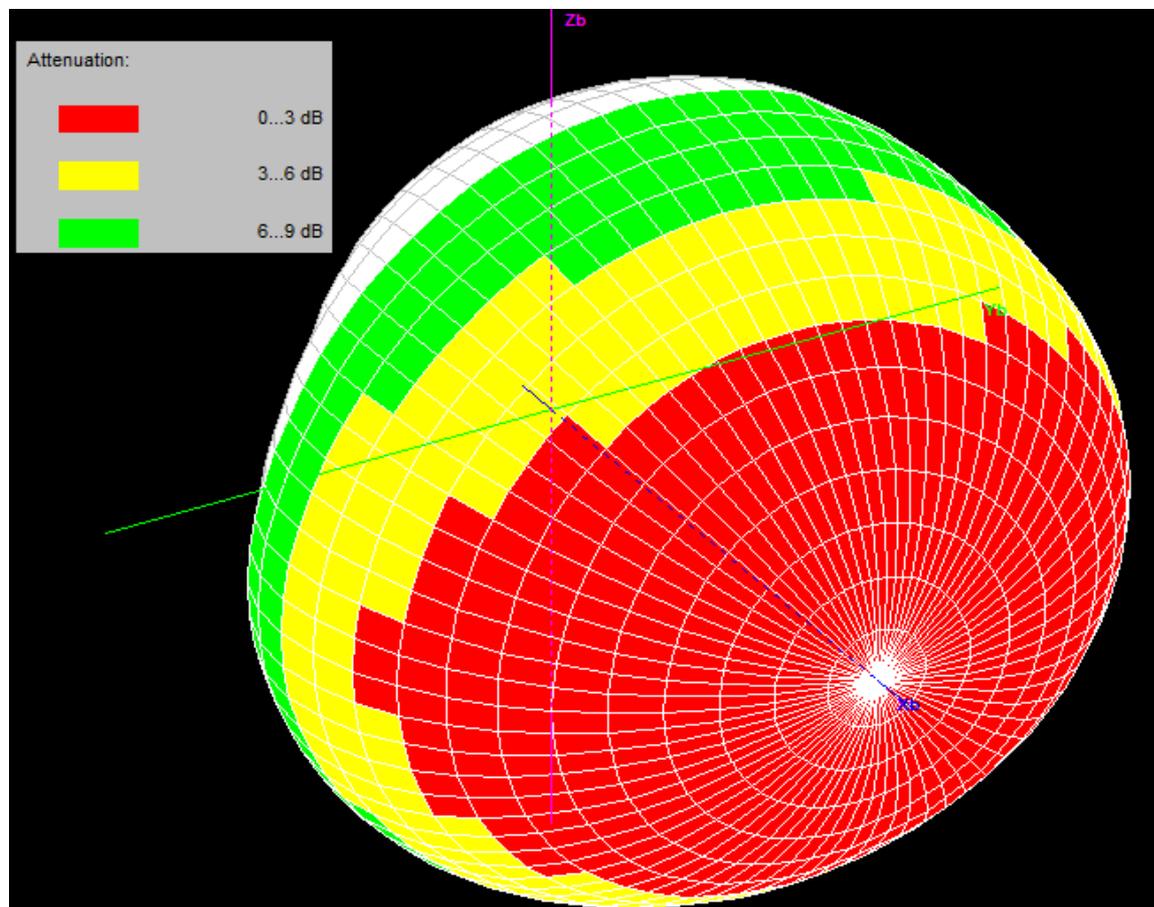
Après ce qui vient d'être écrit plus avant, nous en déduisons qu'il est donc possible de coupler des pavillons en les orientant les uns par rapport aux autres selon leurs angles nominaux sans interférences notables.

Si tel est le cas, et les courbes de simulations tendent à valider cette hypothèse, nous pouvons alors dire que les niveaux sonores de chaque sources vont s'additionner sur l'axe mitoyen de chaque pavillon (atténuation d'au moins 6 dB). Ceci veut dire que le niveau sonore généré sera quasi constant pour ce type de montage....

Sur la copie d'écran ci-dessus, nous observons une préaccentuation au centre des isobares et ceci est logique, car pour toute addition acoustique cohérente de 2 sources sonores on remarque un résultat de + 3 dB dans l'axe de ces dernières, le lobe résultant de cette somme s'en trouve donc déformé sur l'axe mitoyen des 2 pavillons.

En réalité, nous pouvons affirmer après mesures que le fait de coupler des pavillons de cette façon ne permet pas un accroissement du niveau sonore, mais accentue la directivité dans le plan de couplage.

Ci-dessous nous visualisons le ballon 3D à 1000 hz de 2 horns CS-12 VCT dans le plan vertical dont les bords sont coïncidents à - 6 dB.



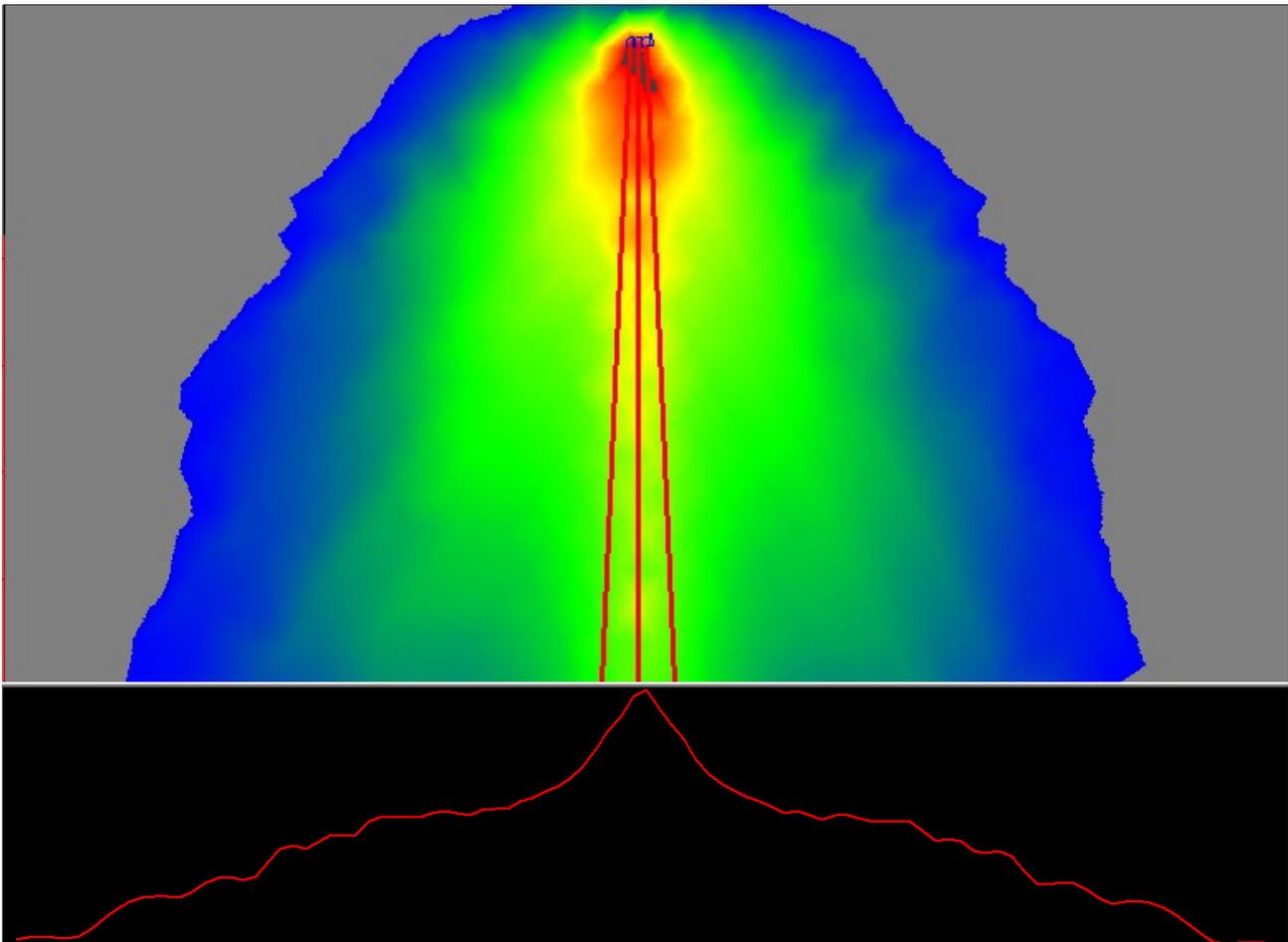
A gauche, nous visualisons la représentation en phase de l'assemblage des 2 pavillons dans le plan vertical dont les bords sont coïncidents à - 6 dB. En lisant ce ballon, nous pouvons remarquer que en son centre, la variation en phase relative est de 0° ce qui correspond à une addition acoustique des 2 pavillons en leurs milieux.

4.2 Conclusion

- lorsque la distance induite entre le milieu d'un pavillon et l'extrémité de la zone à sonoriser est 2 fois plus importante que la distance entre le bord du pavillon et le début de l'aire d'audition alors, le niveau est quasi constant entre les 2 points du début à la fin de l'aire sonorisée.
- Nous considérons que lorsqu'une source sonore se confond avec une autre (2 pavillons) et que l'une des 2 présente un niveau minimum inférieur de 6 dB par rapport à l'autre alors, les interférences générées peuvent être négligeables.
- la dispersion est constante à partir ou au-delà de F_c , le couplage se fait sans interférences sous cette dernière si la largeur totale des sources couplées dans le même axe est inférieure à la longueur d'onde à cette même fréquence.
- Le couplage dénommé ci-avant permet théoriquement d'abaisser la fréquence F_c . Cependant et en pratique il existe tout de même des divergences de résultats entre le fait de disposer d'une F_c par rapport à une dimension donnée et d'obtenir $F_c/2$ si l'on double cette même surface, il ne fait par contre pas de doutes sur le fait que F_c sera abaissée et le comportement d'un tel système est assimilable à celui d'un pavillon multicellulaire.
- Le couplage cohérent, comme expliqué avant de 2 pavillons permet de doubler l'angle de diffusion sonore.
- Coupler des pavillons de cette façon ne permet pas un accroissement du niveau sonore, mais accentue la directivité dans le plan de couplage.
- Un resserrement de la directivité provoque un accroissement du niveau sonore.

4.3 Shoots & conseils d'utilisations

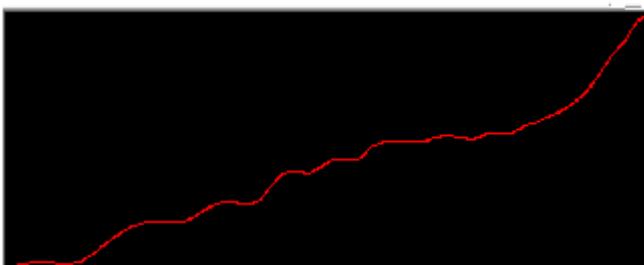
Après avoir étudié succinctement le fonctionnement des pavillons ainsi que leurs comportements par couplage, nous allons pouvoir appliquer notre solution pour la construction d'un array, prévoir son comportement afin d'apporter des solutions efficaces aux problèmes de diffusion sonore professionnelle.



Ci-dessus, nous avons simulé un array de 3 enceintes équipées du pavillon vertical VC et comme nous le supposions, sa réponse en fréquence ne laisse place à aucune ambiguïté. au centre de l'array la sensibilité est maximale, la courbe de réponse est symétrique par rapport à l'axe de symétrie de l'array soit le centre acoustique de l'enceinte du milieu. Ce point, que nous allons dénommer *point de focale* est donc le point où l'énergie sonore restituée est la plus importante.

Partant de ce premier constat, lors d'un shoot, sachant que le point le plus éloigné aura besoin du maximum d'énergie acoustique c'est bien le point de focale (voir un peu plus haut afin d'atteindre une atténuation de l'ordre de 6 dB) qui devra être situé en fond d'auditoire et non le haut de l'array.

Fin de la zone
d'audition

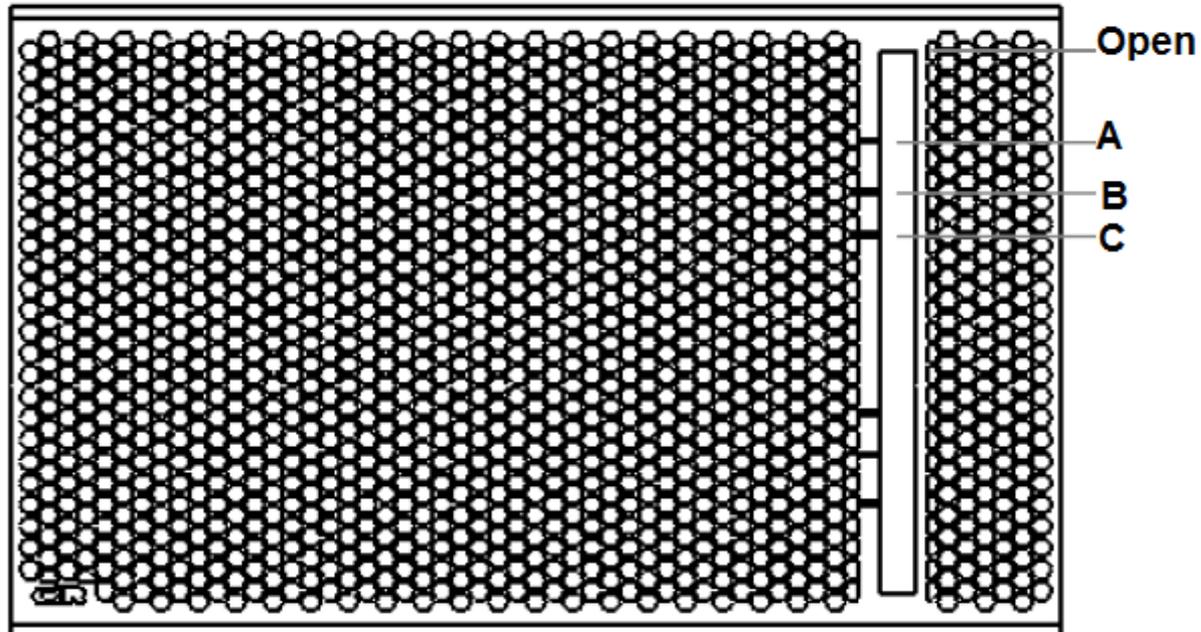


Ci-contre à gauche, nous coupons en 2 la réponse en fréquence obtenue puis nous la marquons avec 2 flèches, symbolisant le début et la fin de la zone d'audition possible avec ce profil de rendu acoustique.

Début de la zone
d'audition

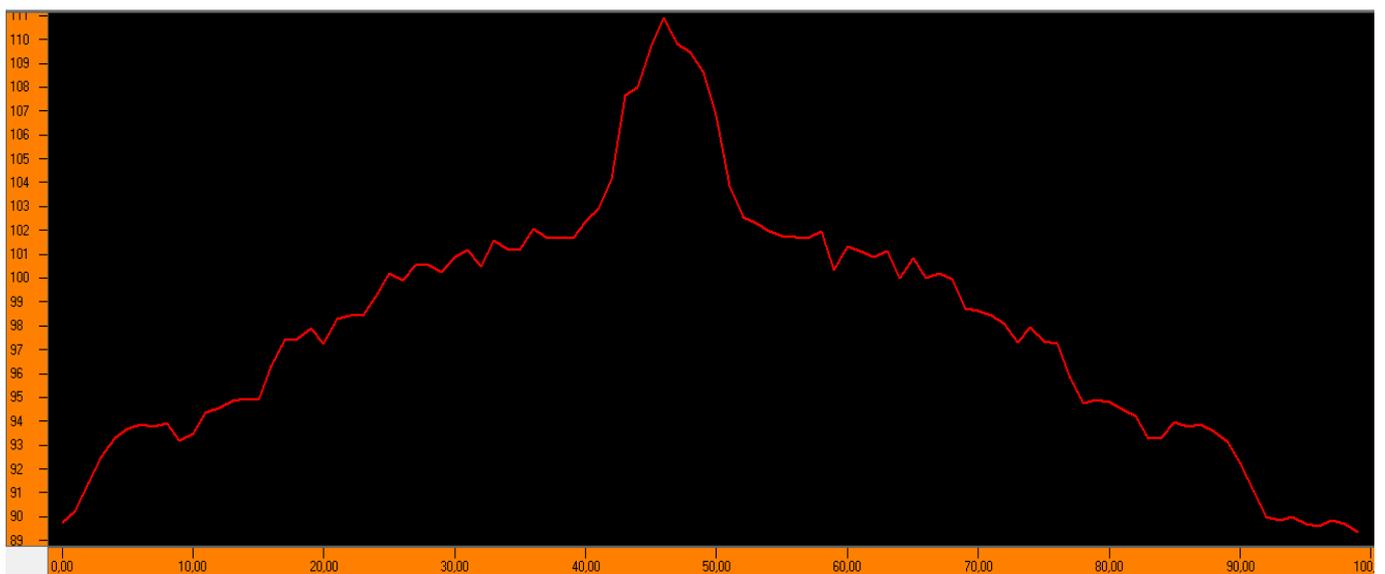


Ci-contre à droite, la grille de l'enceinte CS-12 VCT, on visualise nettement le marquage du type d'ouverture des volets du pavillon vertical.

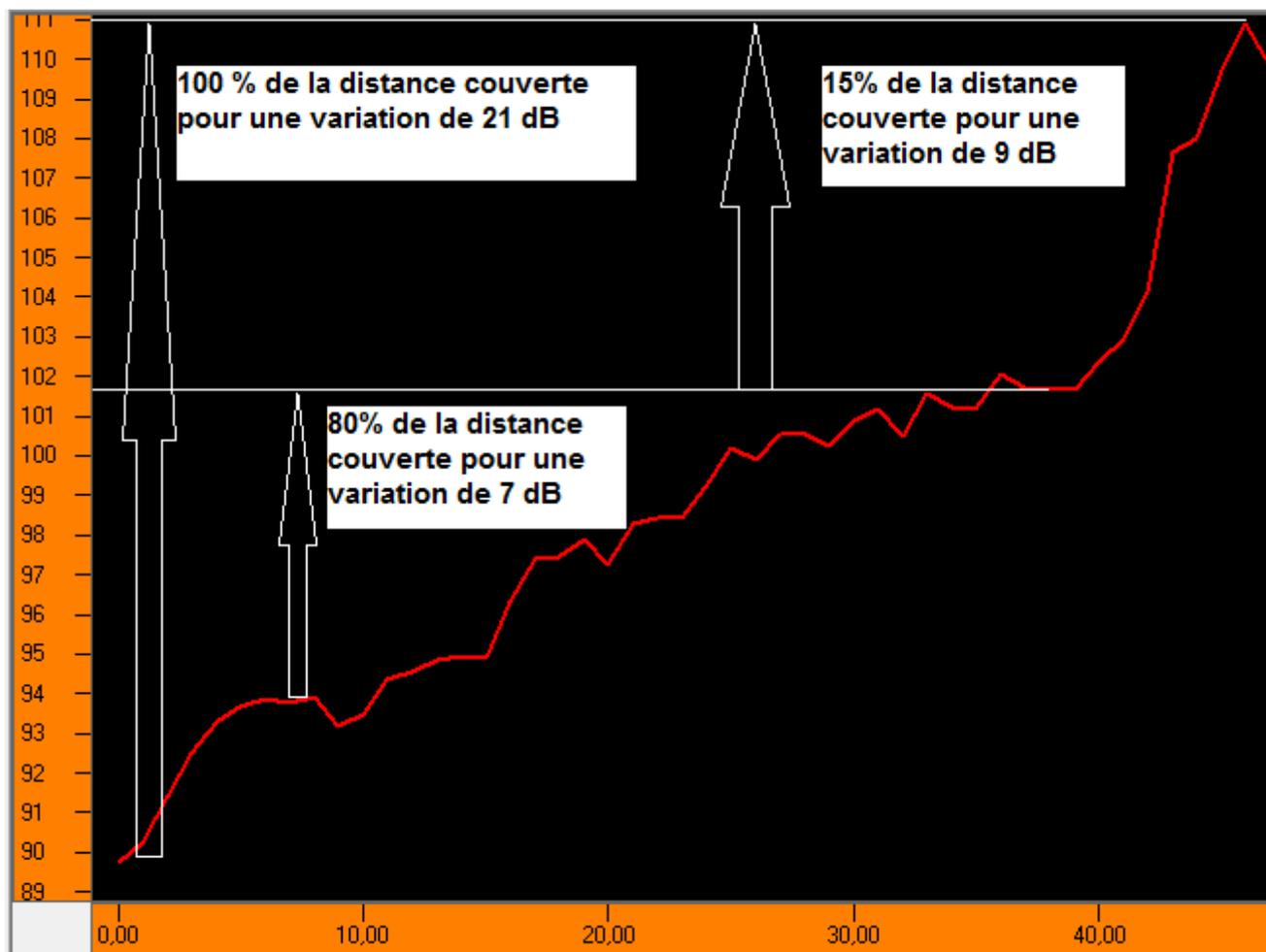


Nous allons maintenant regarder comment coupler des enceintes entre elles et ce de façon optimale, il est donc important de savoir ce qu'il est possible ou pas de faire avec les guides d'ondes VC, quelles sont les combinaisons possibles entre les réglages d'ouverture des volets, etc, etc...

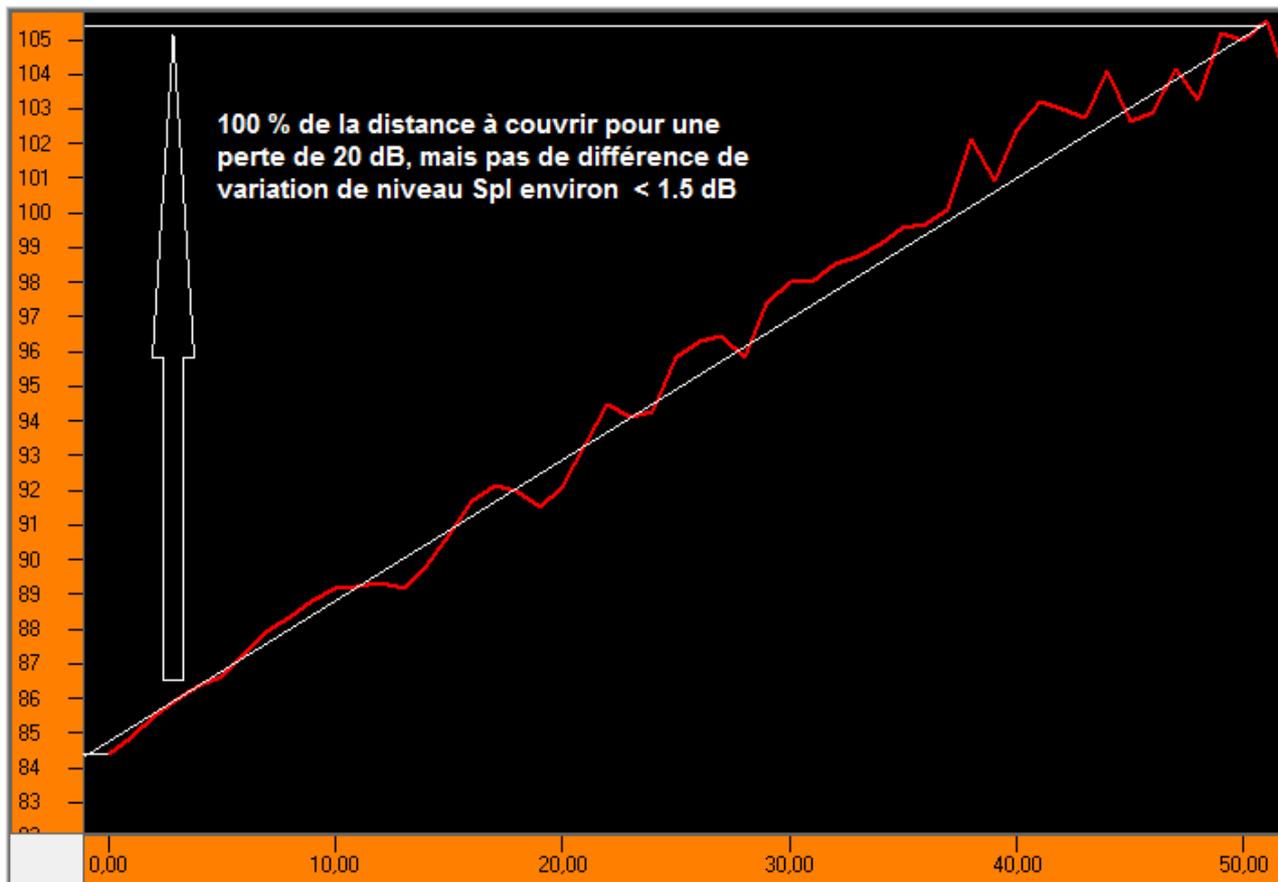
Nous pouvons déjà conseiller l'ouverture intermédiaire des volets type B dans le cas d'une utilisation en array standard de 6 unités de diffusion. Cette position est proposée pour ce type d'assemblage et associée à des angles inter-enceinte de l'ordre de 2,5° à 5°, vous êtes certain d'obtenir une diffusion cohérente.



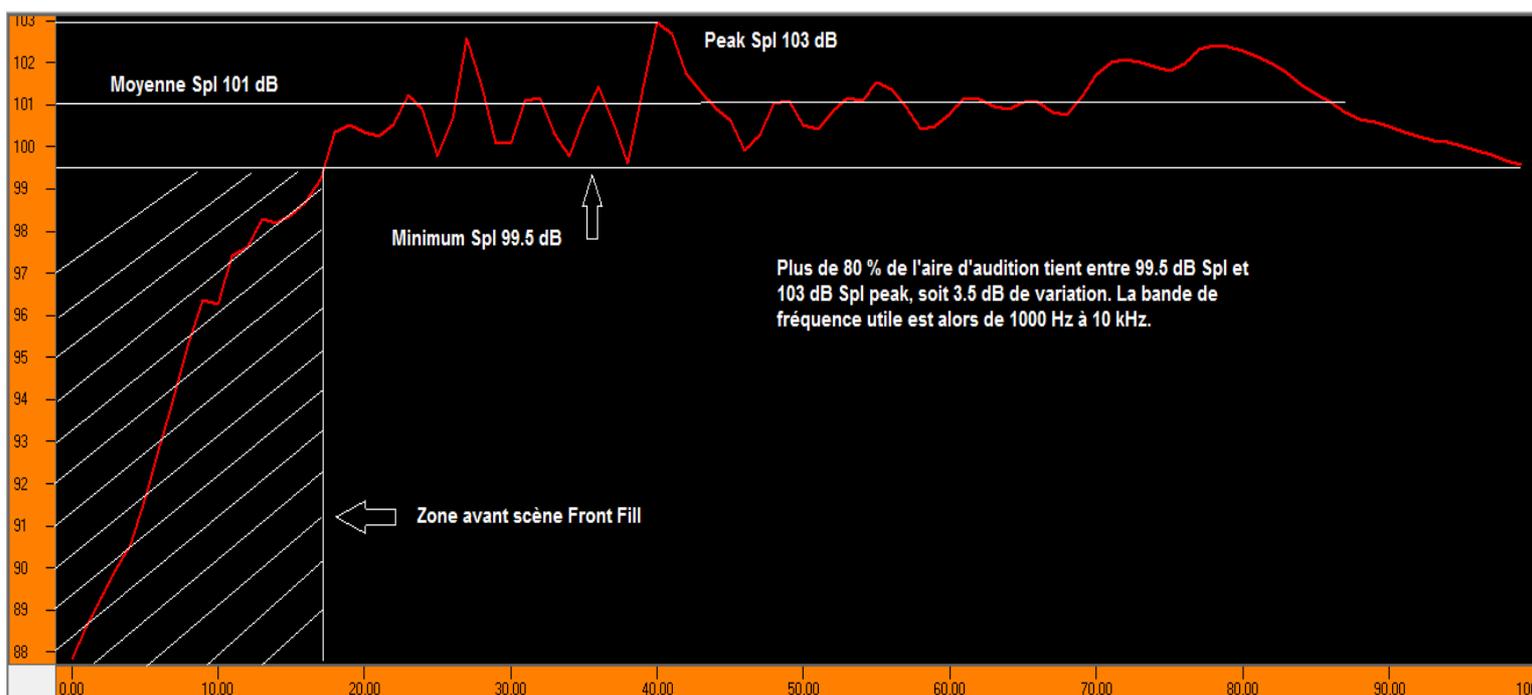
Ci-dessus, nous visualisons un array de 6 enceintes CS-12VCT avec des angles inter-enceintes de 0° et une ouverture volets B, la bande de fréquence analysée va de 1Khz à 10khz. Nous observons une surcharge d'énergie marquée au centre de l'array avec une décroissance rapide puis lente et linéaire sur le reste de la courbe. Ce genre de configuration permet-elle d'obtenir un niveau constant sur une aire d'audition ?

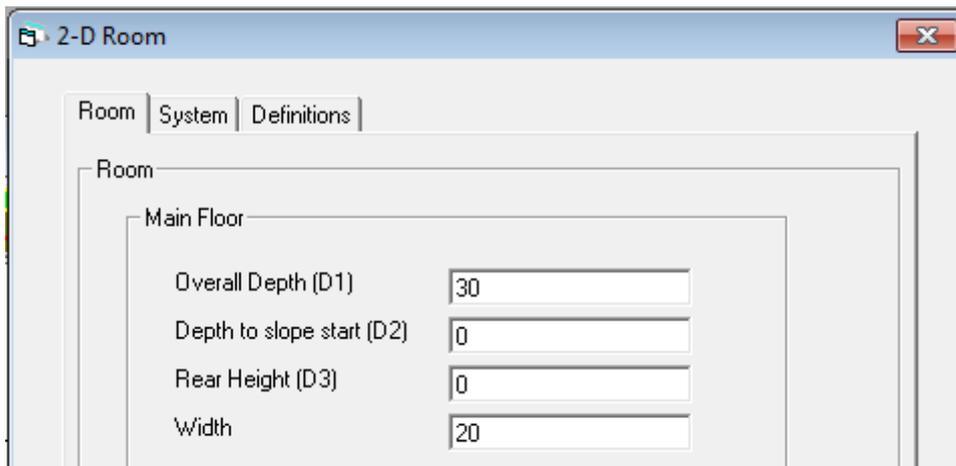


Ci-dessus, nous coupons cette courbe en 2 et allons analyser cette dernière. Dans la première partie, nous observons que pour 80% de de la distance couverte, la variation en sensibilité est de 7 dB tandis que la dernière partie représentant 15% de la distance couverte, on peut observer un affaiblissement de 9 dB, cette remontée du niveau sonore en fin d'auditoire n'est bien sur pas tolérable (sauf si bien sur ceci était voulu).

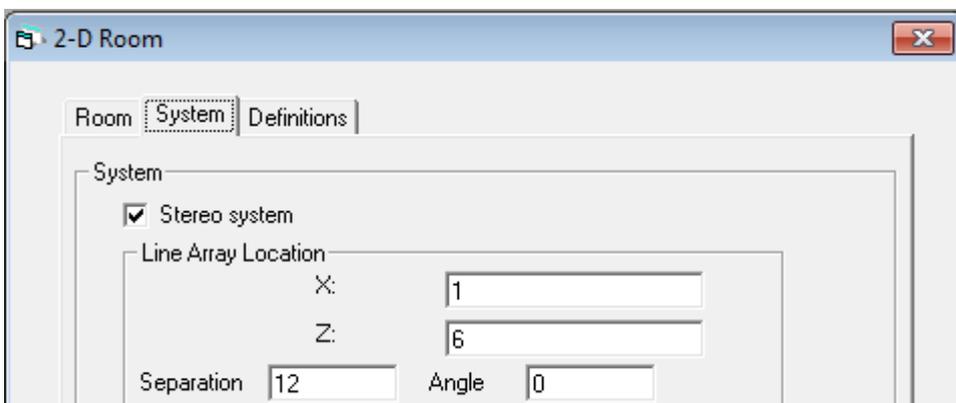


La courbe ci-dessus permet une diffusion homogène sur 100 % de l'aire d'audition. Ce résultat a été obtenu en courbant le réseau par des angles inter-enceintes égaux. Si ces 2 exemples démontrent l'importance des angles et la nécessité de courber un réseau pour être homogène, la façon de faire va quelque peu différer dans le cas d'une utilisation normale.

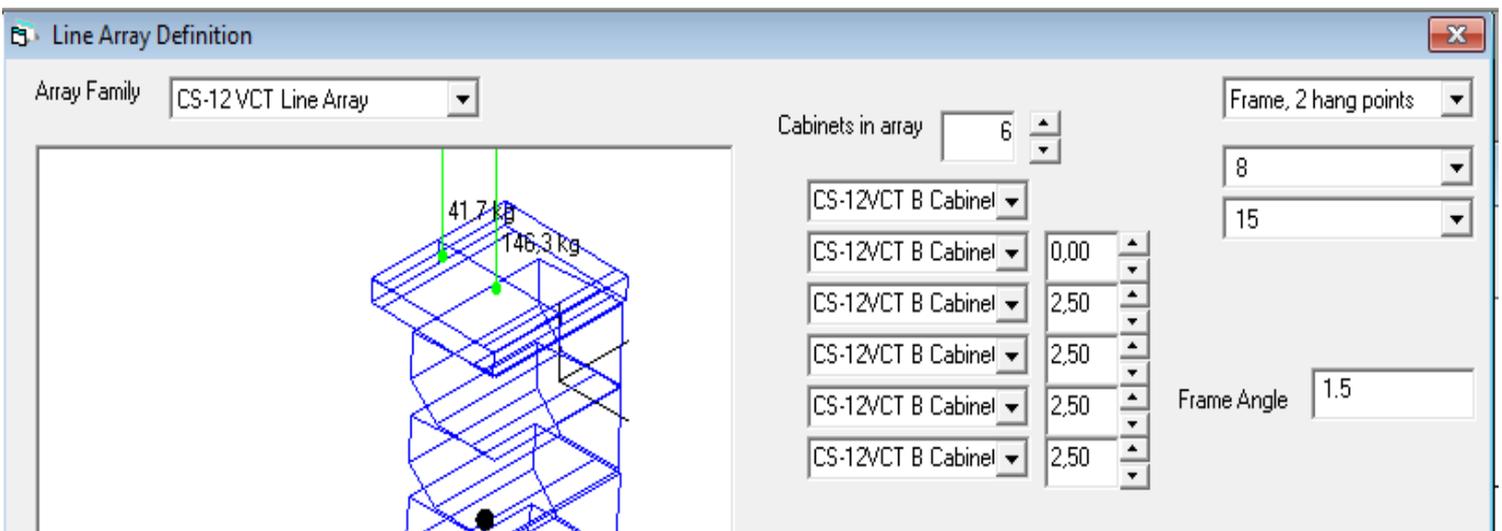




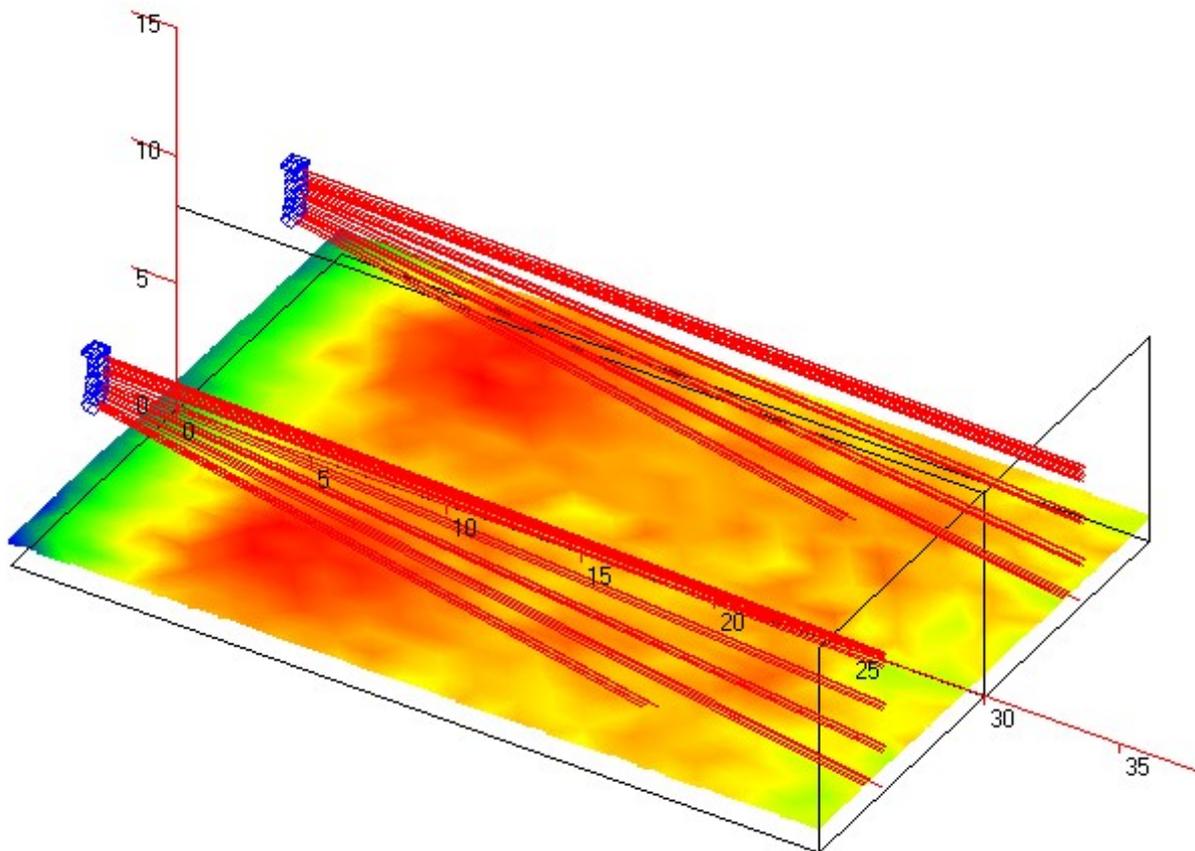
La courbe Spl en fonction de la distance vu juste avant, représente un exemple de ce qu'il est possible de réaliser avec 2 points de diffusion équipés en CS-12VCT, l'écran ci-contre permet de visualiser les dimensions de l'aire d'audition.



La copie d'écran ci-contre nous indique l'emplacement des 2 arrays, leurs hauteurs d'accroches et la distance de séparation des 2 points de diffusion.



Ci-dessus, nous révélons quels sont les réglages inter-enceintes, les ouvertures de volets et enfin le tilt utilisé.



Ci-dessus nous visualisons le mapping du cas précédemment étudié.

5 / NOTES

C2R AUDIO

BP77

ZAE des iles, Bat E

26241 SAINT-VALLIER

TEL : 09 50 71 93 73

FAX : 04 75 23 10 87

email : contact@c2r-audio.com