



# LIGNE SOURCE – CS-12 TLS

Un document technique  
de  
**C2R**

2ème édition / Février 2014

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 / DIRECTIVITE DES SOURCES SONORES ET COUVERTURE ANGULAIRE

- 1.1 Longueur d'onde, fréquence et vitesse du son
- 1.2 Propagation sphérique en champ libre
- 1.3 Champ proche – lointain / distance critique
- 1.4 Couverture angulaire
- 1.5 Gain

### 2 / WST (Wavefront Sculpture Technology).

- 2.1 Définition
- 2.2 Les critères de la WST

### 3 / *Questions & constats / Conséquences / Solutions*

- 3.1 *Questions & constats*
- 3.2 *Conséquences*
- 3.3 *Solutions*

### 4 / La pratique

### 5 / Notes

## 1 / DIRECTIVITE DES SOURCES SONORES ET COUVERTURE ANGULAIRE

### 1.1 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.

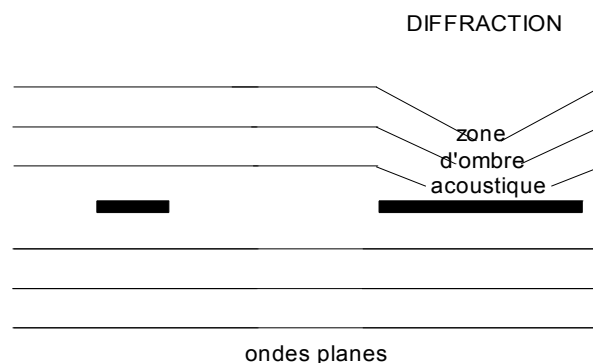
$$T = 1 / F$$

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

$$F = 1 / T$$

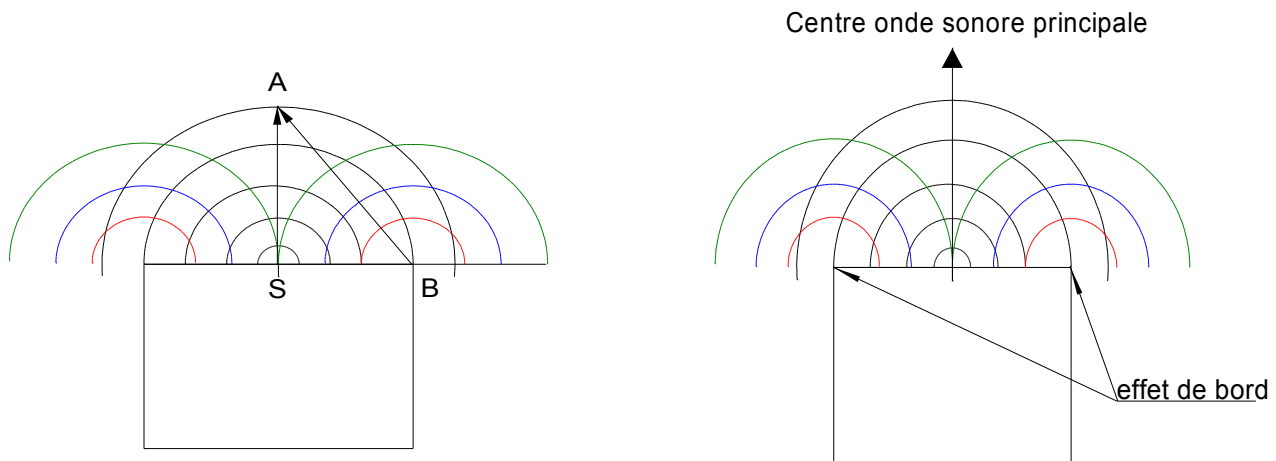
La diffraction :

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.

### 1.2 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:

$$P = \frac{j\rho_0ck}{4\pi r} Q_s e^{j(\omega t - kr)}$$

Avec P = pression instantanée,  $j = \sqrt{-1}$ ,  $\rho_0$  = 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,  $\omega = 2\pi \cdot F$ , etc...

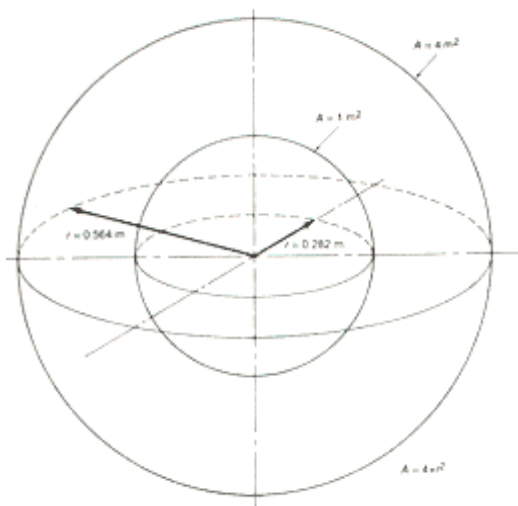
*Nous écrivons, pour le niveau de pression cette relation :*

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

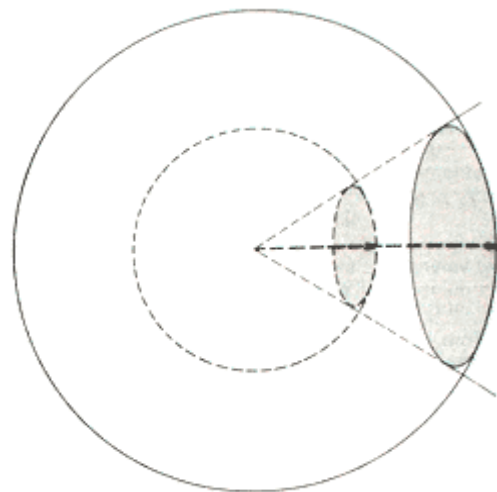
Avec P = pression instantanée, P<sub>0</sub> = pression atmosphérique de référence.

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.

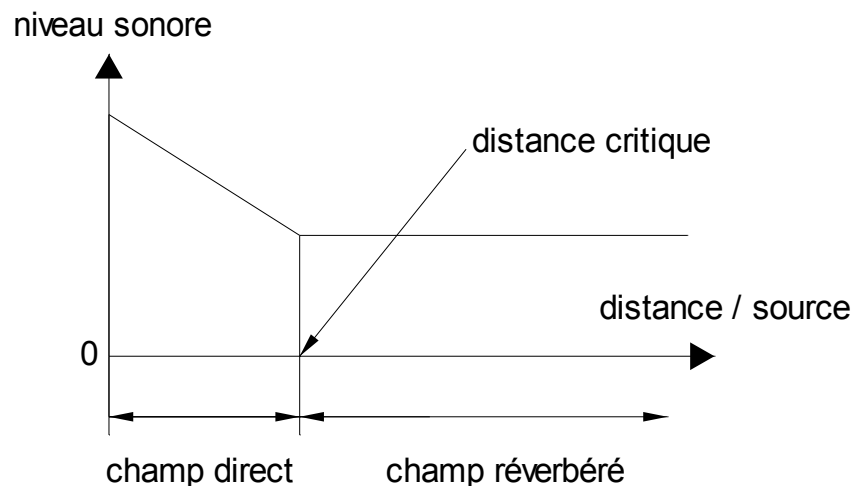
### 1.3 Champ proche – lointain / distance critique

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 delà 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.

### 1.4 Couverture angulaire

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

Définition :

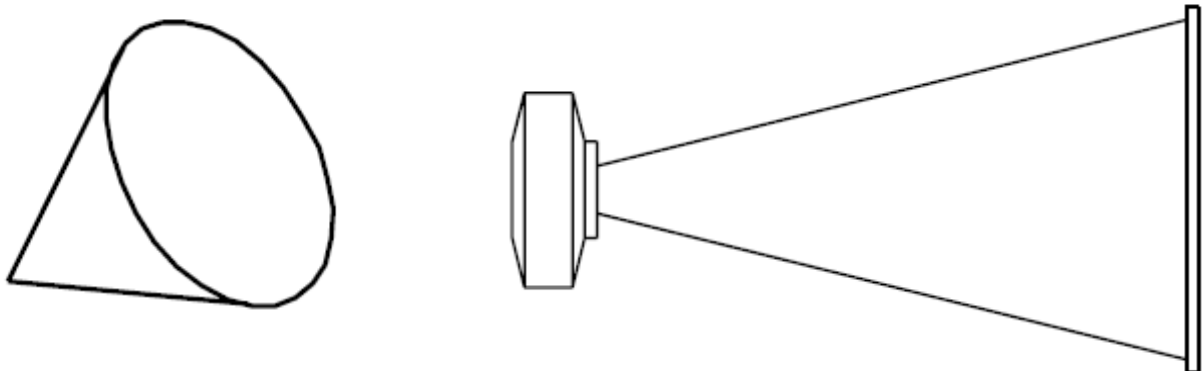
**On appelle angle nominale de dispersion, l'angle dans lequel le niveau sonore à une distance donnée par la source ne varie pas plus de 6 dB.**

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    **S<sub>1</sub>** = 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

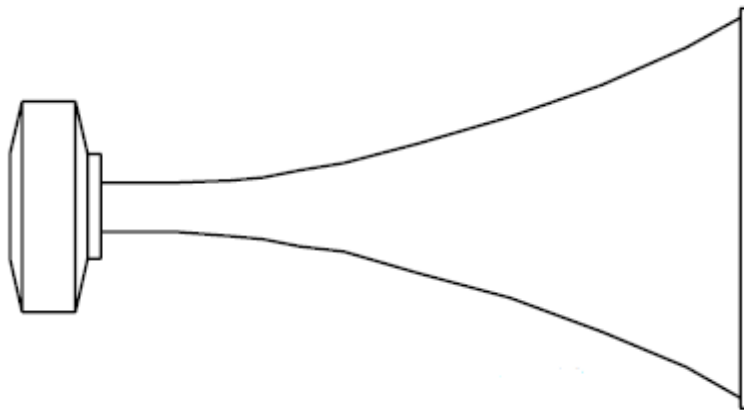
dirons que c'est alors une approximation ou une facilité d'interprétation... Cela dit, pour ce type de pavillon nous retiendrons que, plus la fréquence de coupure sera basse plus il y aura des altérations et moins l'angle nominal sera respecté.

**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, **S<sub>1</sub>** 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 dû 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 :

$$D = 1900 / F_b$$

Ou, **D** est la distance à chaque doublement de la surface, **1900** est une constante et **F<sub>b</sub>** la fréquence de coupure basse en fonction de **D**.

Pour la deuxième, on pose :

$$D_m = 1000 / F_b$$

Ou, **D<sub>m</sub>** est le diamètre minimal (en cm), **1000** une constante et **F<sub>b</sub>** la fréquence de coupure basse en fonction de **D<sub>m</sub>**.

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  $S = \text{Pi } r^2$ .

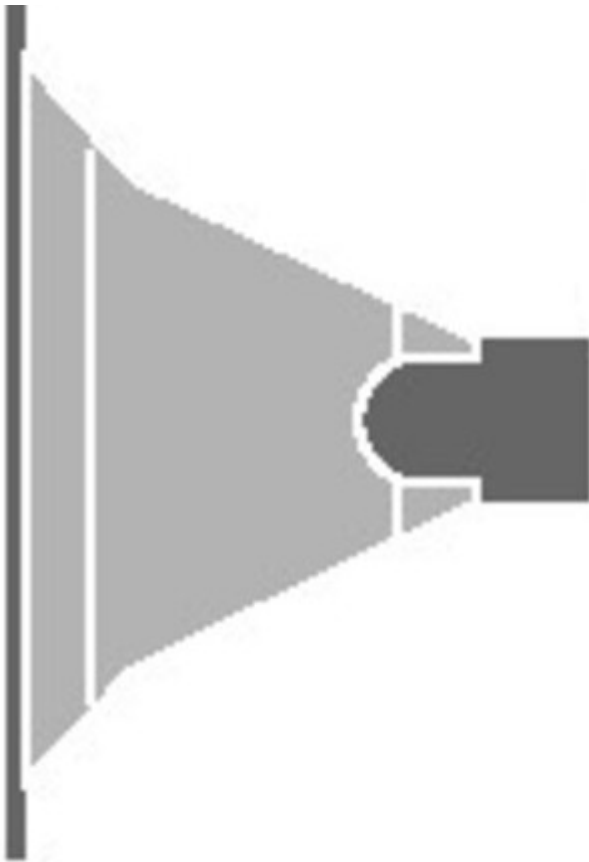
Une variante de ces horns est le pavillon multicellulaire qui regroupe une multitude de pavillons exponentiels au sein même d'un rectangle pour ne former qu'une source rayonnante selon des angles de dispersions désirés.

**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).

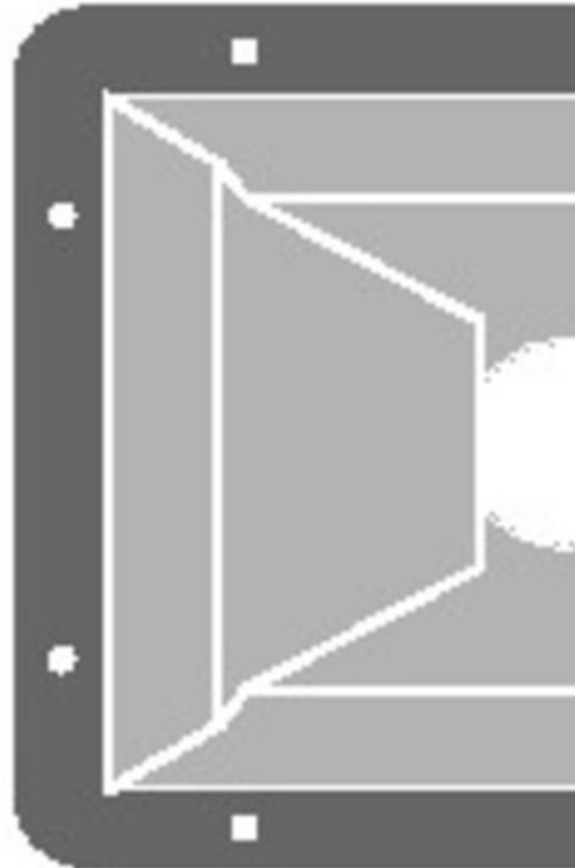
Pour ce pavillon, nous retiendrons une formule permettant de calculer les dimensions de la bouche en fonction de la fréquence basse à contrôler.

$$F_c = K / \theta X$$

Avec, **K** une constante valant 25400, **X** les dimensions de la bouche (en m)  
**θ** angle nominal du pavillon et **F<sub>c</sub>** 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.

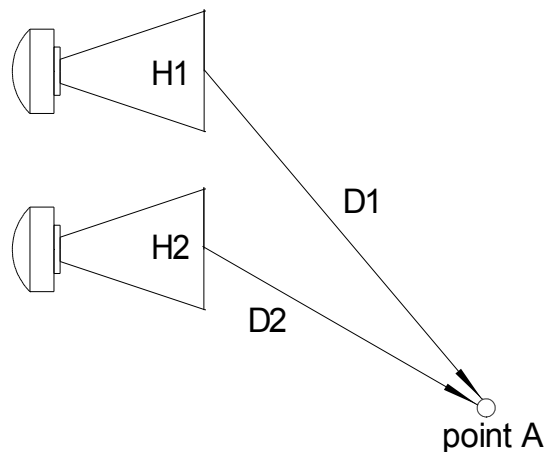
Pour les fréquences inférieures à  $F_c$ , le pavillon présente comme une source plane de dimensions connues, une directivité variant et s'accroissant avec la fréquence, inversement on peut aussi dire que plus la fréquence baissera moins la directivité sera marquée.

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.

### 1.5 Addition de niveaux sonores - Gain

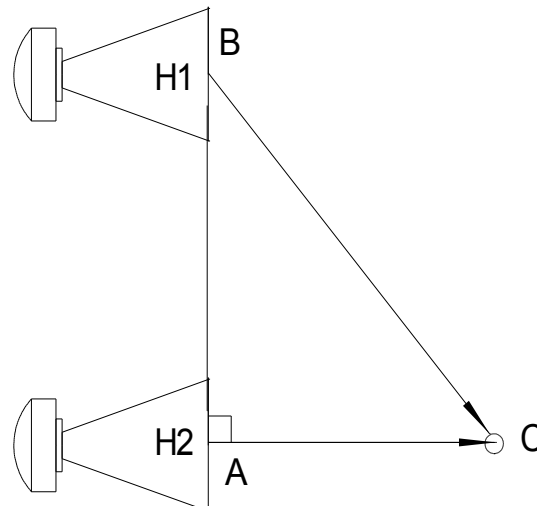
L'addition de plusieurs niveaux sonores ne se fait pas de façon linéaire mais bien par addition logarithmique. Le tableau ci-après donne une idée précise sur le sujet. Si l'on doit additionner 2 niveaux identiques la différence sera de 0 donc le gain sera de + 3dB soit par exemple, 2 sources sonores 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.



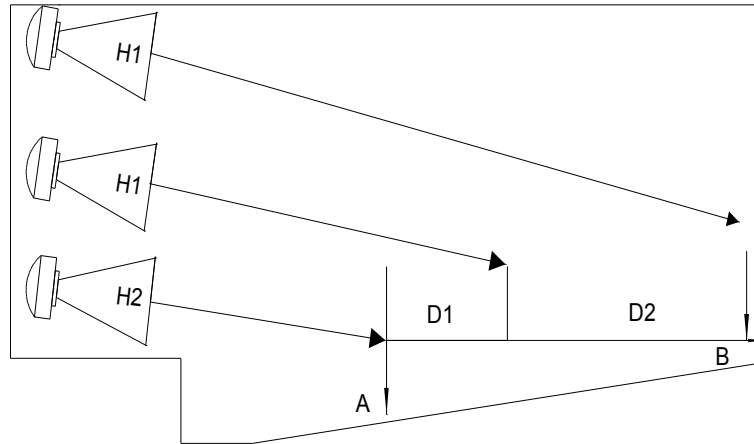
Nous disposons cette fois le point d'écoute dans l'axe de la source dénommée H2 et cet exemple reprend une pratique souvent utilisée en terme de diffusion sonore professionnelle : H1 représente une source sonore clustée (array vertical) et H2 une source posée à hauteur du public ayant pour but de combler 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  $1,66 / 340 = 4,88\text{ms}$  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 pavillonnée 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.

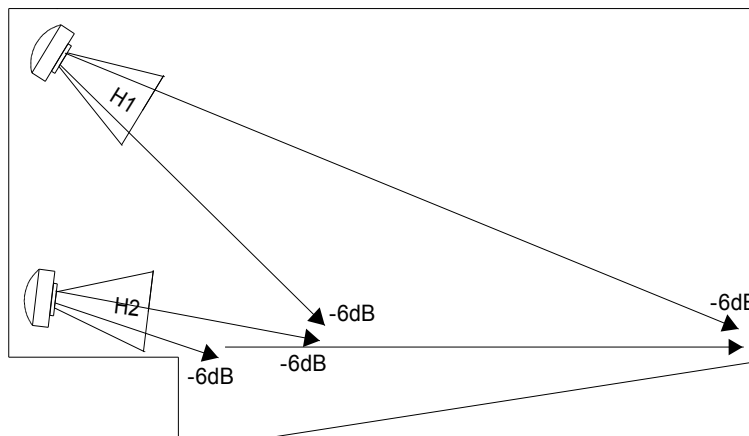
La superposition de pavillons provoque donc des interférences acoustiques et ne permet pas un gain substantiel de niveaux sonores hormis dans l'axe du couplage, l'ouverture nominale s'en trouve modifiée de façon importante permettant du même coup une portée utile supérieure...Pas si simple que cela !

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 :  $\Delta SPL = 20 \log D_{min} / D_{max}$ .

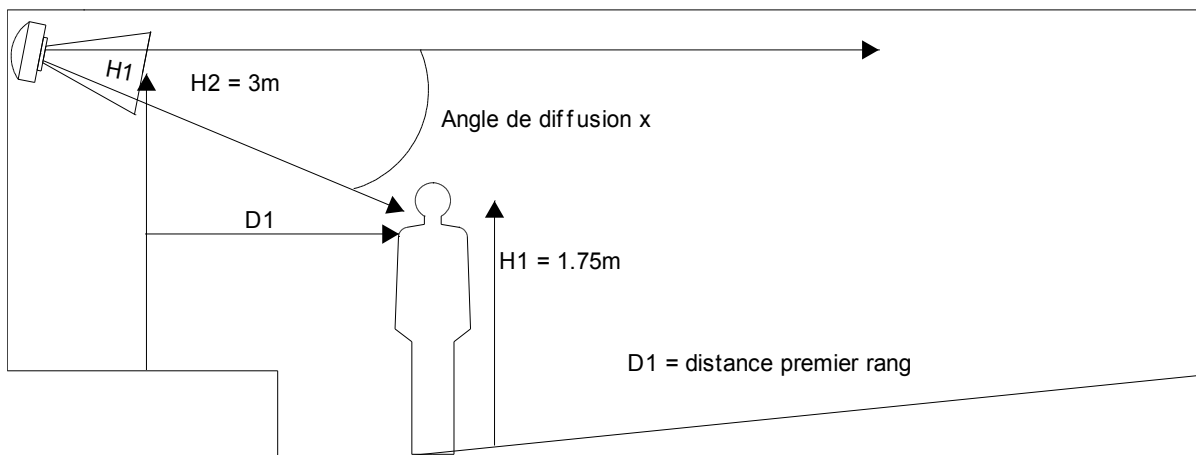


Plus H1 sera élevé plus la distance AB sera importante, la couverture sonore variera selon la hauteur du cluster H1, ainsi que de son inclinaison. La portée utile d'un système de diffusion sonore et la longueur importante d'une aire d'audition sont tributaires d'une hauteur d'accroche minimale, et d'un 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 Dmin et Dmax 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'a 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 :  $(360 / 90) \cdot (360 / 40) = 36 = R\theta$

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

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 :

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

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  $110\text{dB} + 15.56\text{dB} = 125.56\text{dB}$ , 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 :

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

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 :

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

## 2 / WST (Wavefront Sculpture Technology)

### 2.1 Définition

Ce principe de diffusion est élaboré en 1984, par C.Heil et M.Urban s'appuyant sur les travaux de A.Fresnel à propos des interférences lumineuses et la notion de longueurs d'onde. Il consiste dans la création d'une source sonore unique (ligne source) par la superposition de plusieurs sources distinctes.

La WST décrit et dicte les principes physiques de cette superposition (alignement vertical) et en fixe les limites par 5 critères fondamentaux.

### 2.2 Les critères de la WST.

ARF (Active Radiating Factor) est le premier critère, il correspond à la surface d'émission en pourcentage par rapport à la dimension max de la ligne.

Le 2ème critères fait référence à la fameuse loi d'Olson qui induit la notion fusion (addition / sommation) entre 2 sources sonores si la distance séparant ces dernières est inférieur ou égale à la demi longueur d'onde de la fréquence la plus haute à reproduire par ces mêmes sources. On inclut, dans ce 2ème critère, la création d'un guide d'onde spécifique afin de s'assurer de la mise en phase parfaites des signaux issus des moteurs hautes fréquences. Ce point est nécessaire pour que la loi d'Olson soit applicable sur des fréquences élevées.

Le 3ème critères fait référence à la courbure du front d'onde généré par chaque élément fixant les limites acceptables afin de rester une ligne source.

Les critères 4 et 5 reprennent plus spécifiquement le critère 3.

Le 4ème revient sur les modes de propagations d'un système dit : "line array" en s'appuyant sur les zones de champs proches et champs lointains puis la courbure inter-éléments qui se doit d'être inversement proportionnelle selon la distance de l'auditoire visé. Plus la distance sera importante moins les angles inter-éléments seront grands.

Le 5ème critère donne les méthodes, et fixe les limites afin que la ligne ne devienne pas interférentielle malgré les courbures inter-éléments (angles).



### 3 / Questions & constats / Conséquences / Solutions

#### 3.1 Questions & constats.

Les lignes sources sont ils les systèmes de diffusion quasi parfait ?, non bien sur et pourtant.

Un système de diffusion idéal doit fournir le même niveau de pression acoustique quelque soit la fréquence sur l'ensemble de l'auditoire, l'enceinte idéale doit donc être capable de :

- 1 - de fournir le niveau SPL suffisant quel que soit l'application : conférence, concert rock etc....
- 2 - de couvrir la zone à sonoriser de façon homogène - directivité adaptable en fonction du lieu.

En fonction de ces 2 critères nous pouvons exprimer 2 choses :

- 1- Rendement :HP=5% ou moins , Moteur HF=10%, donc il faut beaucoup d'unités pour délivrer de fortes pressions car une seule ne suffira pas dans beaucoup de cas.
- 2-Complexité à concevoir une telle enceinte.

Pour obtenir les deux points nommés juste avant, il faut donc **coupler** plusieurs enceintes pour:

#### 1- délivrer le niveau nécessaire

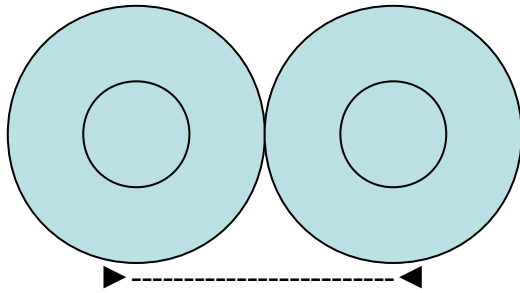
#### 2- obtenir l'ouverture souhaitée

#### 3.2 Conséquences.

Quelles sont les conséquences de tels dispositifs (couplage acoustique) ?

Comme vu au début de ce document, lors des rappels des lois sur l'acoustique, Il faut que le couplage soit constructif, il faut donc créer une source unique à partir de sources distinctes.

On applique donc la **Loi d'Olson** pour les sources coniques, le but étant que les sources fusionnent. Pour que deux sources fusionnent entre elles il faut que la distance qui séparent les centres acoustiques n'excèdent pas la 1/2 longueur de la fréquence maximale à reproduire.

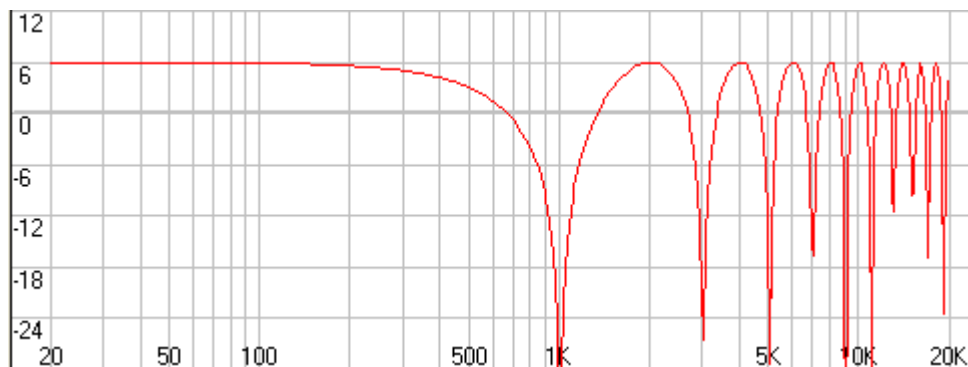
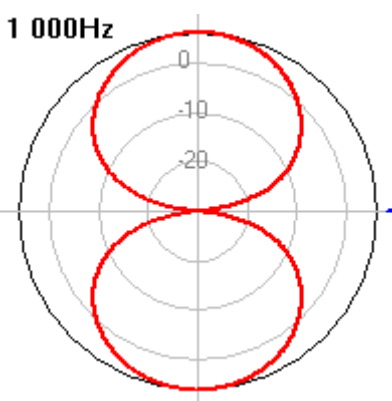


Distance entre les centres acoustiques

$$F_{max} = C / (2 * \text{Lambda})$$

Haut-parleurs de 8 pouces (20cm)

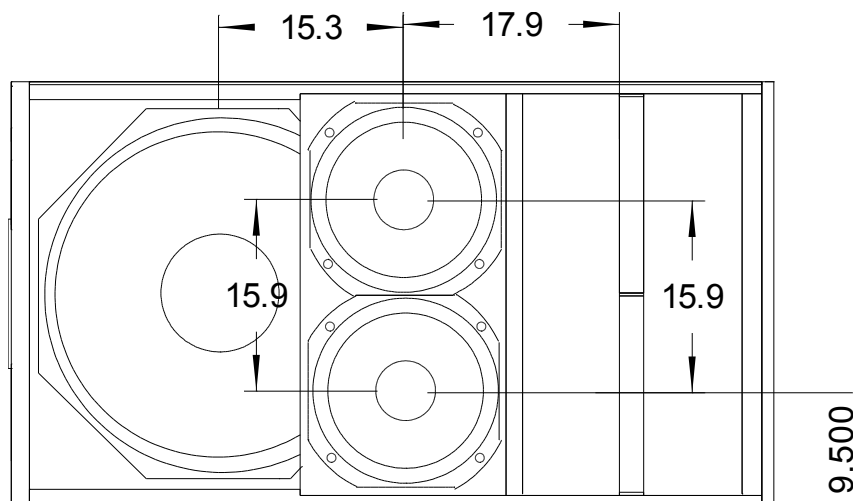
$$F_{max} = 340 / (2 * 0,20) = 850 \text{ hz}$$



Pour illustrer nos propos, sur la figure ci-dessus nous visualisons les 2 lobes des Hps de 17 cm puis leurs réponses en fréquences .... L'espacement entre les centres acoustiques est de 17cm (1/2 longueur d'onde de 1000Hz).

L'annulation apparaît à 90° et à 45° on est à -6dB.

Les mesures sur l'enceinte CS-12



*CS12-tls – Face – mesures distances inter-éléments électroacoustiques.*

Type mesures / Distance	Résultat en cm	Loi d'Olson en Fréquence max
HP 6,5" Vs HF driver	17,9 cm	949.72 hz
HP 6,5" Vs LF 12"	15,3 cm	1111.11 hz
HP 6,5" Vs HP 6,5" MF driver	15,9 cm	1069.18 hz
Centre HP6,5" Vs Bord enceinte	9,5 cm	178,95 hz
Centre HP 6,5" Vs enceinte V2 centre 6,5"	20 cm	850 h

Type de mesure	Fmax calculé - Olson	Fmax utilisée	Différence	remarques
HP 6,5" Vs HF driver	942.72 hz	950 hz	-	NC
HP 6,5" Vs LF 12"	1111.11 hz	350 hz	-	Nc
Centre HP 6,5" Vs enceinte V2 centre 6,5"	850 hz	900 hz	50 hz	Trés léger pincement de la dispersion horizontale.
HP 6,5" Vs HP 6,5" MF driver	1069.18 hz	900 hz	-	

Calcul effectué :  $F \text{ max (en hz) } = 340 \text{ (V son en m) } / 2 * d \text{ (distance inter centres acoustiques en m)}$ .

**Constat : Plus la fréquence sera élevée, et plus il va être difficile de coupler des sources coniques.**

**Si la loi d'Olson n'est pas respecté:**

**1-La directivité augmente (resserrement du lobe)**

**2-Apparition de filtre en peigne**

### **3.3 Solutions.**

**Quelles solutions pour les fréquences supérieures à 1000Hz ?**

**1-Point Source** (CS12VC - VCT, F1, Q1, etc...)

Système à courbure constante, le système se comporte comme une source unique lorsque les éléments sont couplés à la courbure près du front d'onde.

**2-Front d'onde isophasé** (utilisation d'une chambre acoustique type CTR, DOSC etc...)

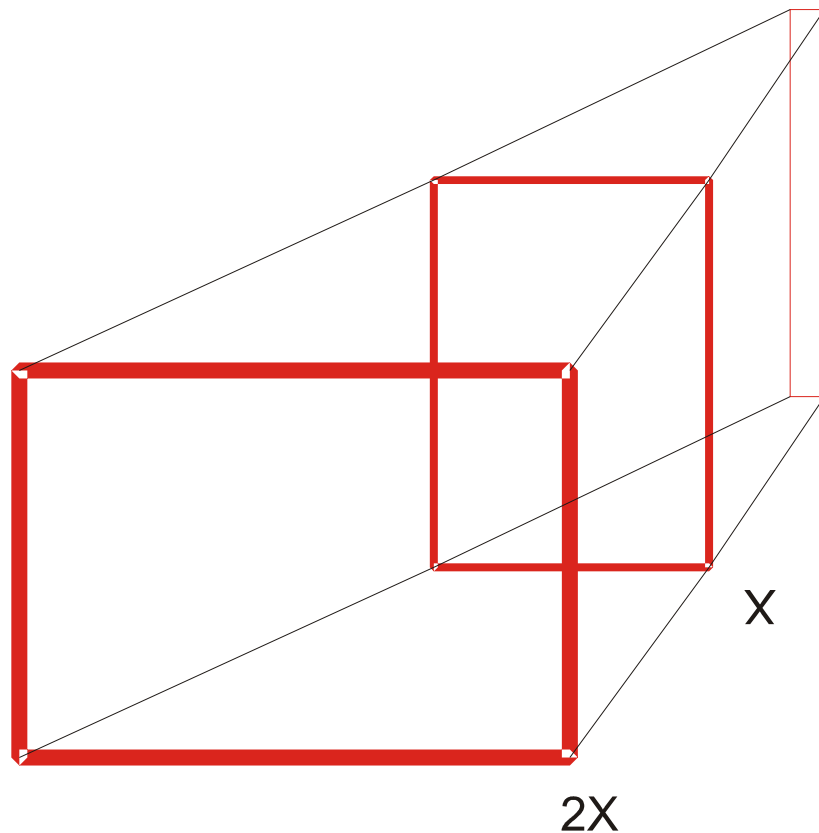
Il a été démontré (WST) que si l'on superpose des front d'ondes isophases, et que la surface émissive représente 80% du ruban, le système se comporte comme une **source linéaire** (line source en Anglais). Dans le cas de la CS12 TLS nous aurons :  $(2 \times 16,7) \times 100 / 36 = 92,78 \%$ .

#### **Propriétés d'une source linéaire**

La particularité d'une source linéaire est de générer une **onde cylindrique** sur l'ensemble du spectre, la théorie veut que celle-ci ait une **longueur infini**, elle n'existe donc pas puisque à ce jour nous ne connaissons pas le fini et l'infini !

**L'expansion ne se fait que dans une seule dimension (pas tout à fait ...), la surface émissive double à chaque doublement de distance, on obtient donc une atténuation de 3dB SPL par doublement de distance.**

**Dans le cas d'une onde sphérique, la surface quadruple à chaque doublement de distance, car l'expansion se fait dans les deux dimensions, on obtient donc une atténuation de 6dB SPL par doublement de doublement de distance**



Sur le dessin, on visualise le mode d'expansion dans une seule dimension.

Que se passe t-il dans notre cas?

On utilise, par exemple, 6 enceintes CS-12 TLS de 36cm de hauteur chacune, la hauteur du réseau (**longueur acoustique**) sera donc de 216cm.

Nous allons maintenant distinguer 2 zones :

**A - Le Champ Proche** (Zone de Fresnel)

**B - Champ Lointain** (Zone de Fraunhofer)

**Remarque importante : En champ proche le système génère une onde cylindrique, en champ lointain il génère une onde sphérique.**

### propriétés d'une source linéaire fini & Transition Champ proche / Champ éloigné

La distance  $R_{Lim}$  va varier en fonction:

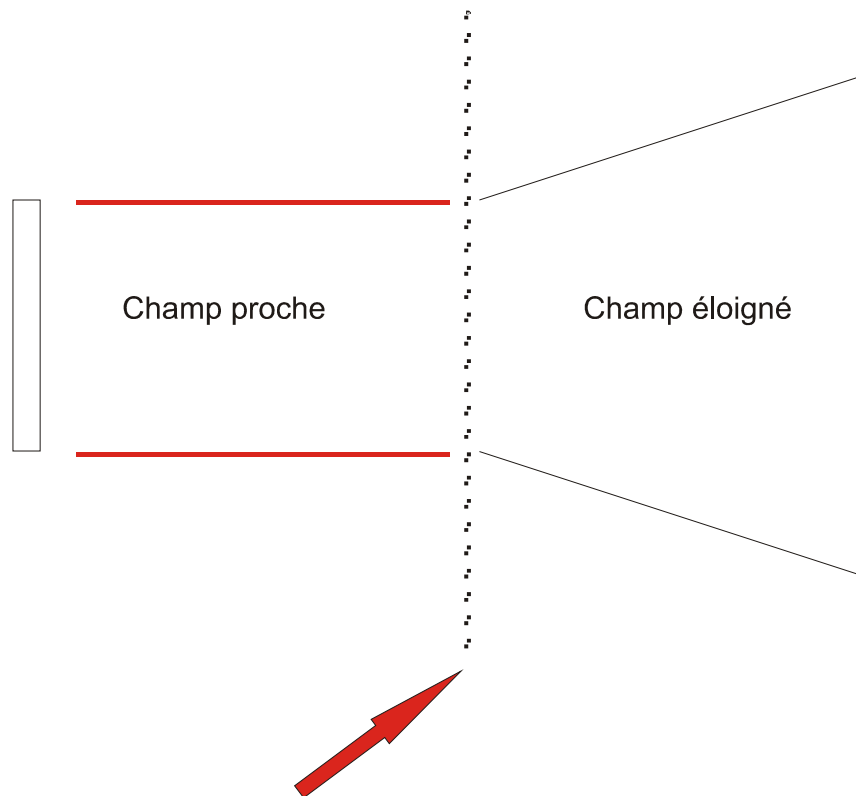
1- de la fréquence

2- de la longueur acoustique

Sur le tableau qui suit, nous visualisons la problématique de l'utilisation d'un système ligne source. Si les fréquences supérieures à 3kHz ne posent pas de réels problèmes (pour 6 enceintes), il en est tout autre pour le reste de la bande passante du système. La transition champ proche / champ éloigné varie bien en fonction de la fréquence.... Nous tenons à votre disposition le tableau permettant ces calculs en fonction du nombre d'éléments dans la ligne, pour les techniciens habilités CS12 TLS.

	Fréquence	Longueur acoustique CS-12	Longueur acoustique	Longueur acoustique
		2,16	3	4
RLIM 100Hz	100	0,6861176471	1,3235294118	2,3529411765
RLIM 200Hz	200	1,3722352941	2,6470588235	4,7058823529
RLIM 400Hz	400	2,7444705882	5,2941176471	9,4117647059
RLIM 800Hz	800	5,4889411765	10,5882352941	18,8235294118
RLIM 1,6KHz	1600	10,9778823529	21,1764705882	37,6470588235
RLIM 3,2KHz	3200	21,9557647059	42,3529411765	75,2941176471
RLIM 6,4KHz	6400	43,9115294118	84,7058823529	150,5882352941
RLIM 13KHz	13400	91,9397647059	177,3529411765	315,2941176471
RLIM 20KHz	20000	137,2235294118	264,7058823529	470,5882352941

CS-12TLS Qté	Longueur acoustique
6	2,16



Zone de transition champ proche vers champ éloigné =  $R_{LIM}$

	Fréquence	Longueur acoustique CS-12	Longueur acoustique	Longueur acoustique
		4,32	3	4
RLIM 100Hz	100	2,7444705882	1,3235294118	2,3529411765
RLIM 200Hz	200	5,4889411765	2,6470588235	4,7058823529
RLIM 400Hz	400	10,9778823529	5,2941176471	9,4117647059
RLIM 800Hz	800	21,9557647059	10,5882352941	18,8235294118
RLIM 1,6KHz	1600	43,9115294118	21,1764705882	37,6470588235
RLIM 3,2KHz	3200	87,8230588235	42,3529411765	75,2941176471
RLIM 6,4KHz	6400	175,6461176471	84,7058823529	150,5882352941
RLIM 13KHz	13400	367,7590588235	177,3529411765	315,2941176471
RLIM 20KHz	20000	548,8941176471	264,7058823529	470,5882352941

CS-12TLS Qté	Longueur acoustique
12	4,32

Ci-dessus, nous augmentons le nombre d'enceintes dans la ligne passant de 6 à 12 unités, la longueur acoustique est alors de 4,32 m. Si nous comparons la fréquence de 1,6 kHz nous passons d'une distance de transition de 10,97 m à 43,91 m ...  
 A la fréquence de 13 kHz la distance de transition est de 367,75 m tandis qu'à 800 Hz cette dernière sera de 21,95 m ... etc, etc...

Avec ces 2 tableaux, vous l'aurez compris, plus la longueur acoustique d'un array est importante plus la distance Dc sera repoussée sur une largeur de bande importante.

## Conséquences

**Il faut une longueur acoustique minimale (en fonction de la profondeur à couvrir) afin d'assurer le bon fonctionnement d'une source linéaire pour une réponse en fréquence la plus étendue possible.**

### formation d'un front d'onde isophasé

Pour reconstituer un signal cohérent en phase dans un axe verticale (c'est dans ce sens que cela nous concerne) il faut que la phase soit cohérente en sortie du horn verticale et pour ce faire nous utilisons le principe de superpositions de signaux afin d'augmenter l'ID (index de directivité) en conservant des trajets de longueurs constantes et en utilisant des guides à parois non-parallèles (tubes – cylindres).

A l'entrée de la chambre acoustique, nous disposons d'une rosace de contour circulaire découpée de portions triangulaires strictement identiques. Ces triangles sont ensuite courbés puis déformés sur une distance des plus rapides (pour les 8 sections). De forme cylindrique et de distances communes, ces chemins débouchent sur des micros-pavillons, permettant une fusion parfaite et à très haute fréquence des 8 canaux acoustiques.

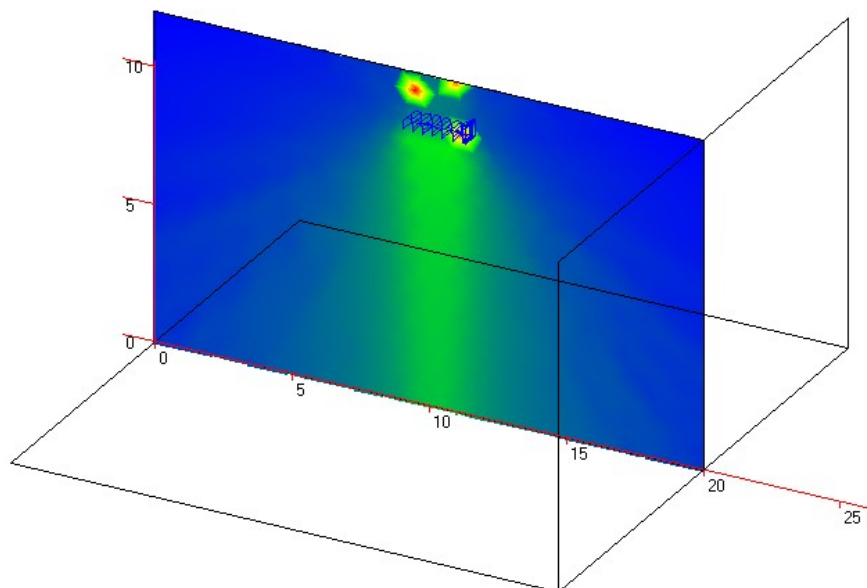
La CTR permet une mise en phase parfaite des signaux Hautes fréquence et donc de constituer une onde cylindrique de 1000 hz à 20 khz et comme nous venons de le voir juste avant ce mode de propagation va fluctuer en fonction de la hauteur de l'array constitué par l'empilement des enceintes CS 12 TLS. La dispersion à  $-6$  dB est de l'ordre de  $8^\circ$  puis de  $5^\circ$  par la juxtaposition de 2 chambres acoustiques (cas de la CS12-TLS), la diminution de l'angle nominal est due à la sommation des chambres.

Pour de plus de détails techniques sur notre chambre acoustique, merci de se reporter au fascicule dénommé **CTR Annexe 1 – V2**.

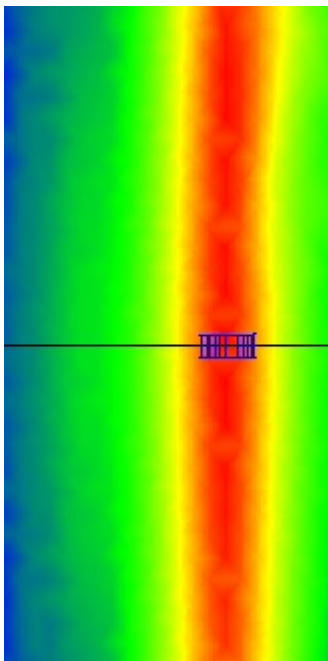
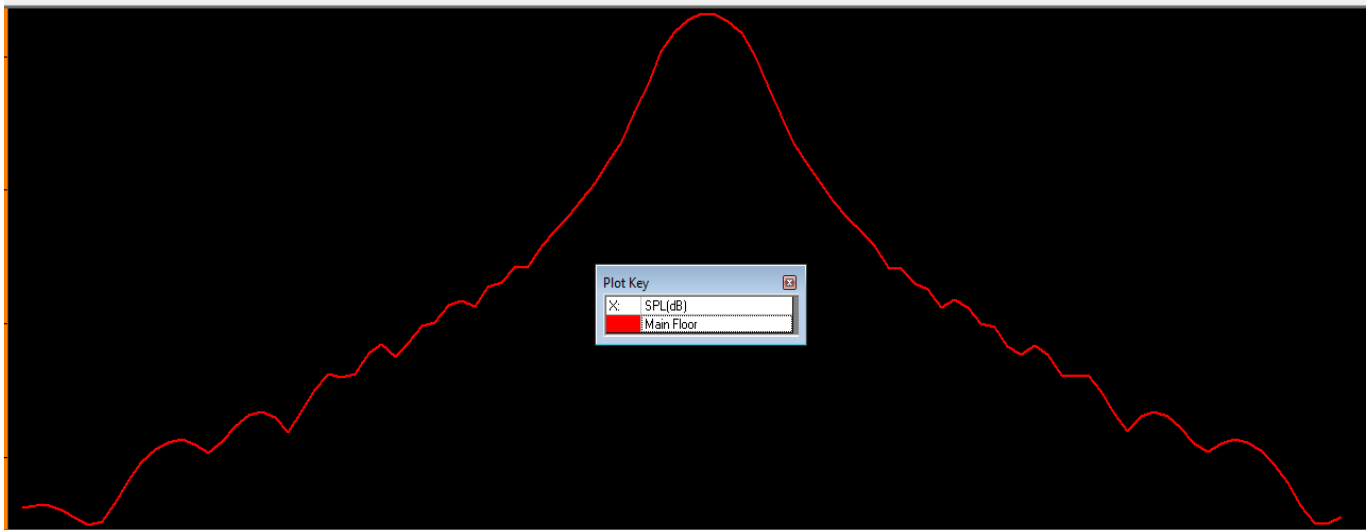
## 4 | Shoots & conseils d'utilisations / La pratique

### 4.1 Shoots & conseils

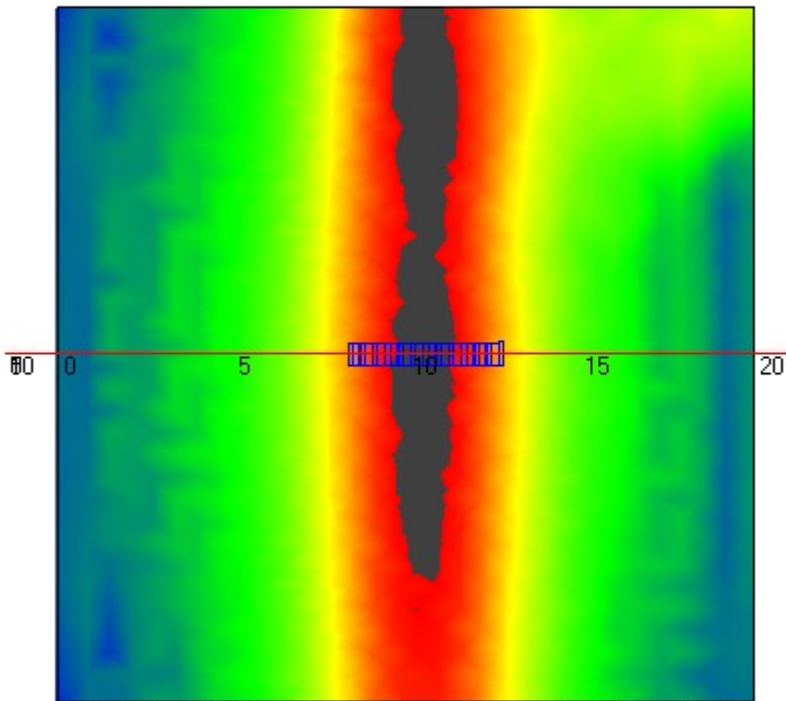
Ci-dessous, nous représentons un array de 6 enceintes TLS. Le tilt général de  $90^\circ$  (array face à l'aire d'audition) va nous permettre de visualiser la forme de l'onde globale générée par ce type d'empilement puis nous le déformerons, augmenterons sa taille afin de voir comment il réagit.



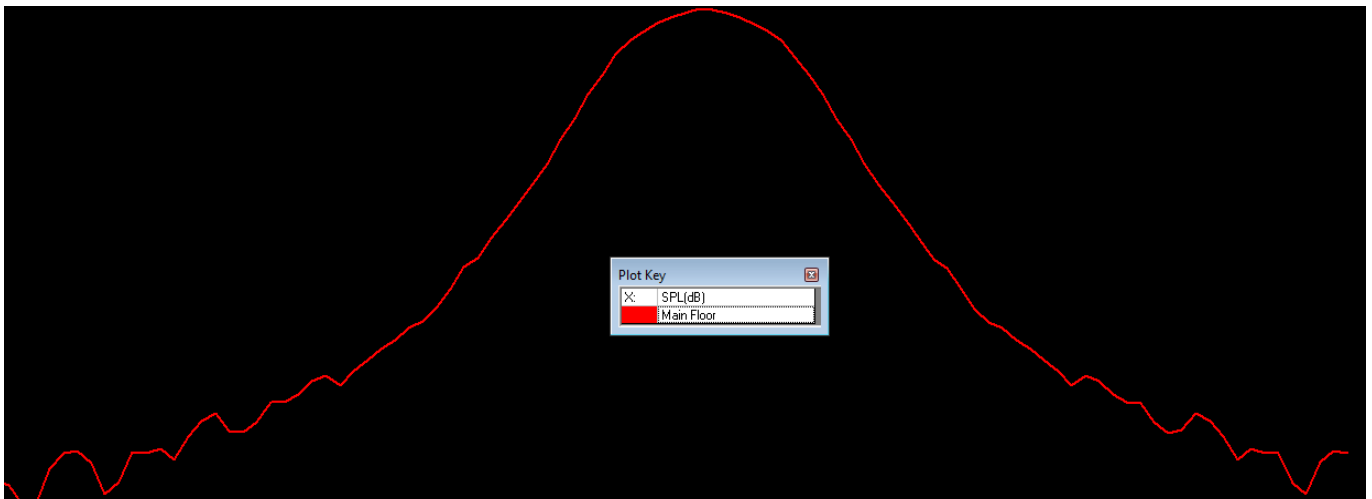




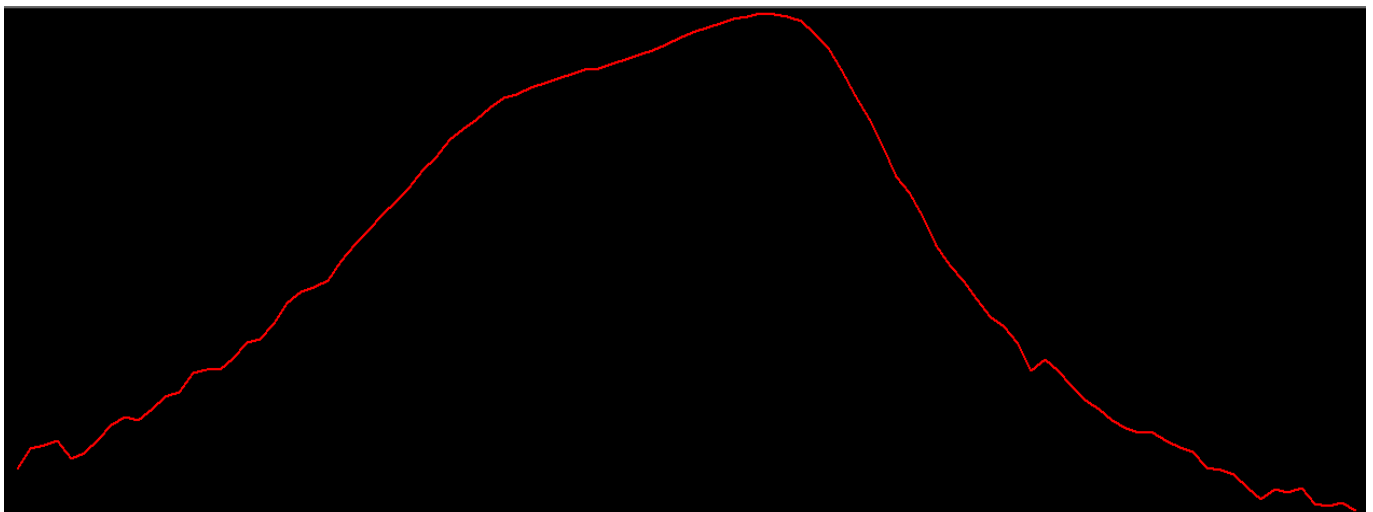
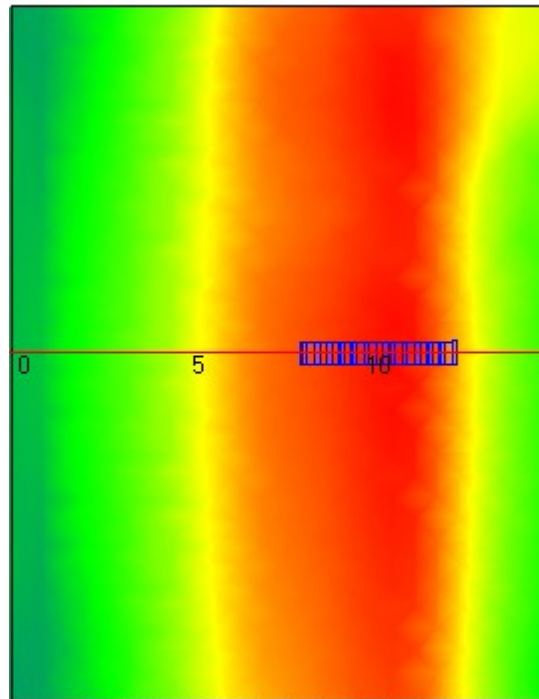
Les 2 images (dessus et ci-contre à gauche) nous permettent de visualiser la forme de l'onde et comme nous pouvons le supposer des CTR provoque une focalisation au centre de l'array, ce qui veut que l'énergie acoustique maximale se trouve au centre de l'array.



Ces 2 images représentent un array de 12 enceintes CS12 TLS, les angles inter-enceintes étant tous de 0°. La largeur du front vertical s'est élargi le point de focale au centre du cylindre s'est renforcé (couleur grise).

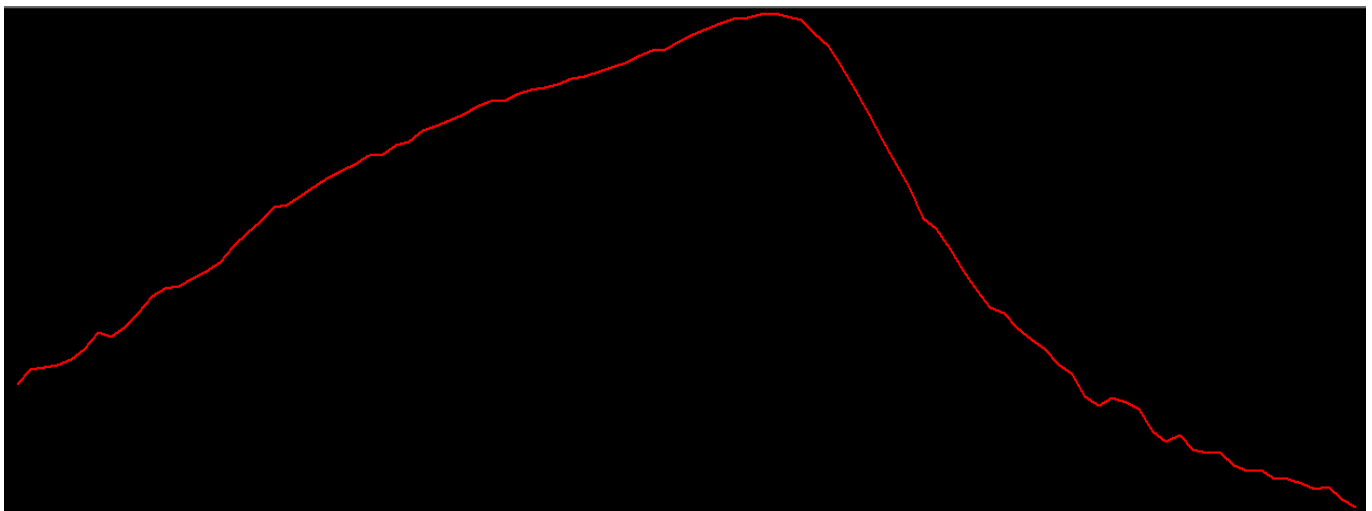
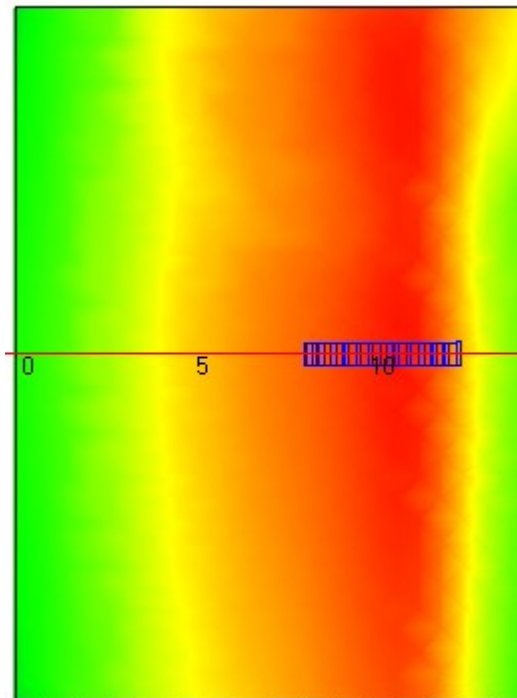


CS-12 TLS Cabinet		
CS-12 TLS Cabinet	0,00	▲▼
CS-12 TLS Cabinet	0,00	▲▼
CS-12 TLS Cabinet	0,00	▲▼
CS-12 TLS Cabinet	0,25	▲▼
CS-12 TLS Cabinet	0,25	▲▼
CS-12 TLS Cabinet	0,25	▲▼
CS-12 TLS Cabinet	0,70	▲▼
CS-12 TLS Cabinet	0,70	▲▼
CS-12 TLS Cabinet	0,70	▲▼
CS-12 TLS Cabinet	1,50	▲▼
CS-12 TLS Cabinet	1,50	▲▼



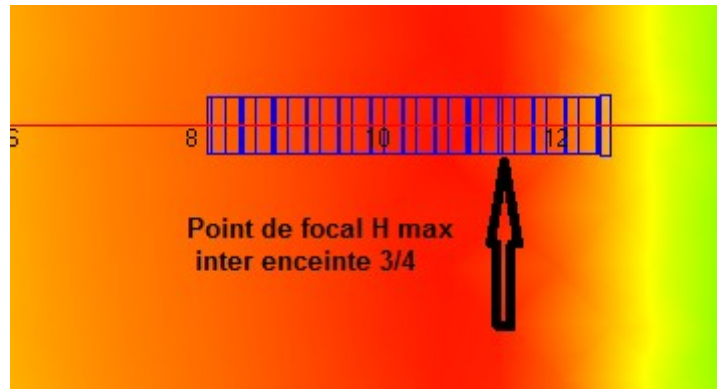
En gardant le précédent array, nous allons désormais le courber sur sa gauche et visualiser ainsi son nouveau profil. Nous observons un décalage du cylindre vers la gauche, ce dernier s'élargit, le point de focale est présent, la pente de perte en gain est beaucoup moins marquée début du signe de linéarisation de notre empilement.

CS-12 TLS Cabinet		
CS-12 TLS Cabinet	0,00	▲▼
CS-12 TLS Cabinet	0,00	▲▼
CS-12 TLS Cabinet	0,25	▲▼
CS-12 TLS Cabinet	0,25	▲▼
CS-12 TLS Cabinet	0,25	▲▼
CS-12 TLS Cabinet	0,70	▲▼
CS-12 TLS Cabinet	0,70	▲▼
CS-12 TLS Cabinet	0,70	▲▼
CS-12 TLS Cabinet	1,50	▲▼
CS-12 TLS Cabinet	2,50	▲▼
CS-12 TLS Cabinet	3,50	▲▼



La courbure de notre array est encore un peu plus prononcée, ce qui provoque une belle linéarisation de la courbe côté gauche du point de focal. Nous remarquerons tout de même un surplus de gain (courbe bombée) sur cette dernière.

Nous sommes arrivés à la conclusion de cette petite démonstration qui veut simplement faire comprendre le rôle des angles inter-enceintes dans une ligne source source. Plus les angles sont serrés, plus la focal sera importante au centre de l'array (typiquement si tous les angles sont à 0°), plus les angles seront importants et croissants, plus le point de focale sera déplacé vers le haut de l'array, le niveau Spl sera moindre mais on tendra à linéariser la courbe de restitution de l'array.



C'est exactement ce qui est visible sur la copie d'écran ci-dessus.

#### 4.2 La pratique / étude de cas

A / Tir lointain.

Nous allons prendre le cas de la sonorisation d'un feu d'artifice sur une distance de 300 m. Nous disposons d'un ensemble de 12 enceintes CS12TLS, d'un point d'accroche d'une hauteur de 8 m.

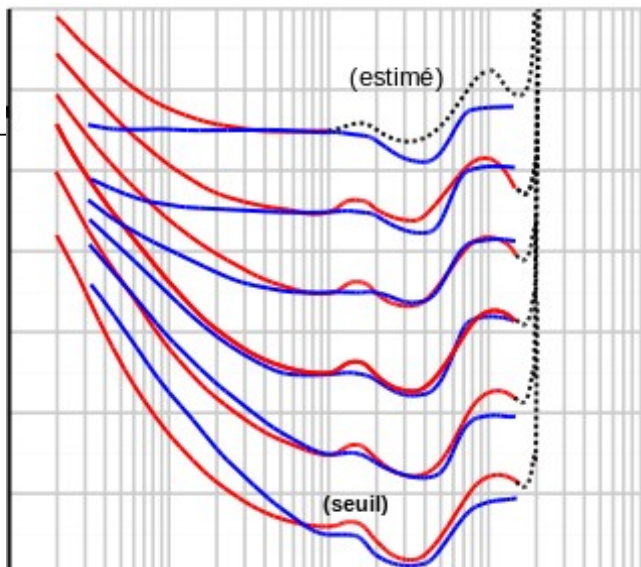
1 / Nous savons que 12 enceintes CS12 représente une hauteur de :

	Fréquence	Longueur acoustique CS-12
		4,32
RLIM 100Hz	100	2,7444705882
RLIM 200Hz	200	5,4889411765
RLIM 400Hz	400	10,9778823529
RLIM 800Hz	800	21,9557647059
RLIM 1,6KHz	1600	43,9115294118
RLIM 3,2KHz	3200	87,8230588235
RLIM 6,4KHz	6400	175,6461176471
RLIM 13KHz	13400	367,7590588235
RLIM 20KHz	20000	548,8941176471

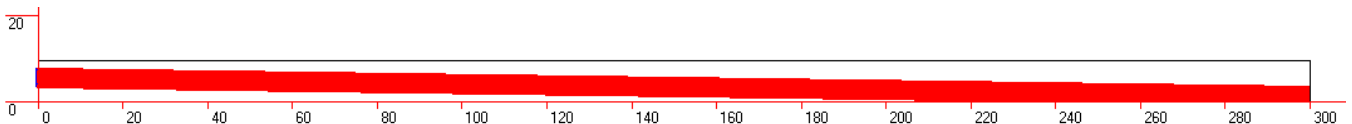
CS-12TLS Qté	Longueur acoustique
12	4,32

A la lecture de notre tableau, nous savons déjà que notre onde cylindrique sera à partir de 10 k Hz environ à la distance max de la zone d'audition, ce qui sous-entend que nous aurons un détimbrage sur la totalité du shoot en-dessous de cette fréquence !

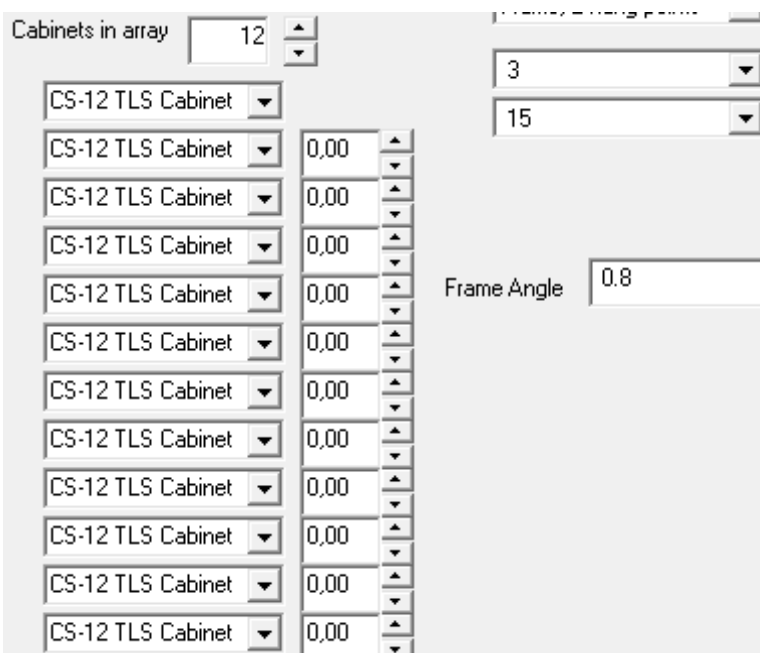
Sachant que, ce qui va nous intéresser en premier point c'est l'intelligibilité et que, par miracle, notre zone d'audition maximale ressentie se situe, selon Fletcher & Munson de 2Khz à 4KHz (4000 Hz point culminant, ce dernier pouvant se dégrader suivant les personnes, en moyenne 2600 Hz). le ressenti auditeur devrait être correct de 2KHz à 8KHz... Nous vous rappelons qu'il existe un écart moyen de 15 dB de sensibilité de notre oreille entre 200Hz et 4000Hz et que 10 dB correspond à un doublement de sensation sonore.



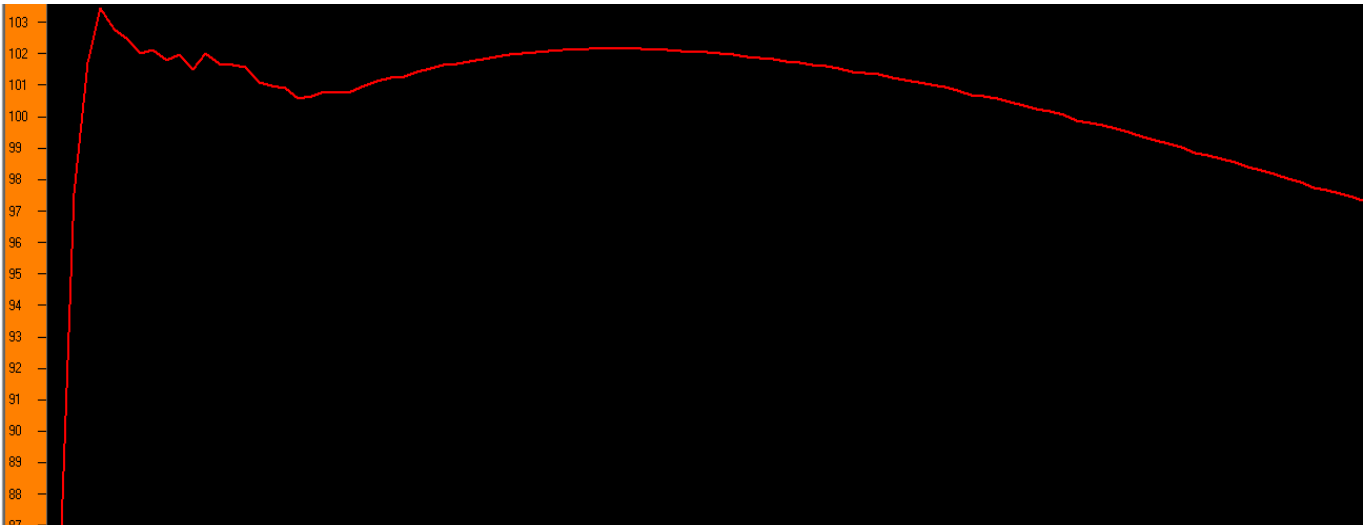
Courbe isosonique



## Le shoot



L'interface de configuration pour le shoot d'un système audio. Elle permet de sélectionner le nombre de caissons dans l'array (12), le modèle de caisson (CS-12 TLS Cabinet), la distance entre les caissons (0,00), l'angle de la trame (Frame Angle) (0,8), le nombre de haut-parleurs par caisson (3) et le nombre de caissons par haut-parleur (15).



*La réponse d'un tel système en fonction de la distance.*

**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](mailto:contact@c2r-audio.com)