

WAVEFORMING

*Guide de placement des caissons
de grave pour des performances
optimales avec WaveForming™*

I. Introduction

Un système audio idéal d'un système home-cinéma doit assurer une réponse acoustique uniforme sur toute la zone d'écoute. Un défi majeur pour atteindre cet objectif réside dans le contrôle du champ acoustique à de très basses fréquences (en dessous de 100 Hz). Le champ acoustique à ces fréquences est fortement dominé par les modes propres de la pièce, qui introduisent de grandes différences de pression acoustique dans la zone d'écoute en raison des minimum et maximum en amplitude. Aussi, les nombreuses réflexions et les temps de décroissance des modes de la salle ont tendance à masquer une grande partie de la dynamique et des détails qui pourraient, dans le cas contraire, être audibles et certainement appréciés.

Les solutions de correction acoustique passive traditionnelles nécessitent de grands volumes d'absorption pour être efficaces dans les basses fréquences, ce qui entraîne un encombrement déraisonnablement important, non seulement coûteux en matériaux mais également en surface. D'autres approches, telles que les bass traps, ne sont généralement efficaces qu'à des fréquences spécifiques et ne sont pas toujours pertinentes en tant que solution large bande. Par ces contraintes d'espace, les traitements acoustiques passifs adaptés aux basses fréquences, ne sont peut être pas forcément souhaitables dans toutes les salles home-cinéma, en particulier de petite taille.

Face à cette contrainte, de nombreux spécialistes et enthousiastes du monde du home-cinéma ont essayé différentes configurations avec plusieurs caissons de grave en plus du traitement passif. Ces dispositions spécifiques de caissons de graves visent à faire disparaître les modes propres. Nos recherches ont constaté que si certaines approches peuvent effectivement atténuer l'effet des modes propres d'une salle, elles ne s'attaquent pas à la cause profonde: les interférences des ondes qui génèrent des effets secondaires indésirables sans pour autant résoudre le problème dans son ensemble.

L'exception notable est la méthode du Double Bass Array (DBA). L'approche DBA traditionnelle, comme son nom l'indique, utilise deux groupes de caissons de grave : l'un sur la paroi avant (le groupe émetteur) et l'autre sur la paroi arrière (le groupe absorbeur). Dans un monde parfait, le groupe émetteur produit une onde plane afin de réduire la quantité d'interférences dans la pièce provenant des réflexions issues des murs latéraux, du plafond et du sol. Ensuite, le groupe absorbeur tente d'annuler la réflexion issue du mur arrière avec le même signal, mais il est inversé et retardé du temps nécessaire à l'onde sonore pour parcourir toute la longueur de la pièce.

Cependant, cette approche ne donne de bons résultats que dans des conditions idéales, difficiles à atteindre en pratique. Bien souvent, les murs ne sont pas suffisamment réfléchissants pour générer une onde suffisamment plane. De plus, cette même onde pourrait ne pas être correctement guidée par des murs trop peu rigides ou parallèles et sera modifiée, le temps de son parcours dans la salle, avant d'arriver au mur arrière. Enfin, l'onde sera aussi perturbée dès qu'elle atteint du mobilier, des fauteuils, des marches ou des gradins. Autrement dit, la forme de l'onde qui atteint le mur arrière est significativement différente de la forme de cette même onde, mais émise au niveau du mur avant quelques instants plus tôt. Par conséquent, elle ne peut pas être efficacement annulée car l'onde absorbante arrière, identique à la forme initiale de l'onde avant, sera trop différente de l'onde avant modifiée par la pièce. Dans la mesure, on remarque ces différences liées aux énergies parasites introduites pendant le parcours dans la pièce.

Trinnov WaveForming™ dépasse les limites actuelles de ces solutions existantes, procurant un outil plus efficace et polyvalent pour contrôler les champs acoustiques à très basses fréquences. Les points clés de WaveForming™ sont présentés ci-dessous, ainsi que quelques lignes directrices et recommandations pour tirer le meilleur parti de cette technologie.

WaveForming™ est un outil puissant et flexible. Cependant, les règles de la physique s'appliquent toujours, quelle que soit la sophistication du traitement du signal. Plus précisément, deux facteurs déterminent le nombre recommandé de caissons de grave pour une pièce donnée :

1. Les dimensions des murs avant et arrière.

Naturellement, les pièces plus grandes demanderont plus de caissons de basse que les pièces plus petites.

2. La fréquence la plus élevée que vous souhaitez contrôler.

Des fréquences plus hautes ont des longueurs d'onde plus courtes qui vont demander un espacement entre les caissons de grave plus faible pour maintenir le contrôle sur la formation des ondes planes. Higher frequencies mean shorter wavelengths which, in turn, require closer spacing of the subwoofers to maintain control over the planar wave formation.

A noter que ce document traite du nombre de caissons de grave et de leur emplacement recommandé pour obtenir des performances optimales de Waveforming. Il ne comprend pas de recommandations sur le type de caisson de grave à utiliser, ni aucun conseil sur les spécifications techniques recommandées pour chaque caisson de grave. Ce document n'inclut pas non plus de moyens permettant de calculer le niveau de pression acoustique du système WaveForming™ en fonction de la capacité de chaque caisson de grave. Ces recommandations figureront ultérieurement dans un document distinct de mise en pratique.

Dans son développement actuel, la technologie WaveForming™ impose l'utilisation de plusieurs caissons de graves, il est donc nécessaire d'introduire la notion de groupes de caissons, qui sera abondamment utilisée dans la suite de ce document.

Un groupe de caisson est constitué d'au moins 2 caissons, disposés en rangées et colonnes. La limite haute pour le nombre de caissons dépend des dimensions de la salle, et de la possibilité physique d'installer les caissons suivant leur encombrement.

WaveForming™ utilise deux groupe de caissons:

- Un groupe de caissons situé au niveau du mur avant, qui sera simultanément émetteur et absorbeur, appelé **groupe avant**
- Un groupe de caissons situé au niveau du mur arrière, uniquement absorbeur, appelé **groupe arrière**

La meilleure recommandation à ce stade est la suivante :

- A l'intérieur d'un même groupe de caissons (avant ou arrière), les modèles de caissons de graves doivent tous être identiques. Mais, ils peuvent être différents d'un groupe à l'autre.
- Si les modèles de caissons de graves sont différents entre les groupes avant et arrière, les deux modèles doivent proposer la même bande passante utile de reproduction des basses fréquences.
- Si les modèles caissons de graves sont différents entre les groupes avant et arrière, La puissance maximale supportée par le groupe arrière peut être inférieure de celle supportée par le groupe avant.

II. Contrôle avancé des ondes acoustiques basse fréquences avec WaveForming™

La figure 1 ci-dessous décrit le principe du fonctionnement du WaveForming, qui consiste en deux étapes principales :

1. Dans un premier temps , le champ acoustique est évalué dans un volume comprenant toute la zone d'écoute et son environnement proche. Le but de cette étape est de récupérer toutes les informations nécessaires sur les modes propres de la pièce, ainsi que sur les changements introduits par les objets dans la pièce, afin que l'algorithme élimine ces contributions indésirables. Ceci est réalisé en échantillonnant le champ acoustique dans une grille tridimensionnelle de positions de microphones dans toute la zone d'écoute (rectangle bleu en pointillés sur la figure 1).
2. A partir du champ acoustique mesuré à l'étape précédente, l'algorithme WaveForming calcule les filtres à appliquer à chaque caisson de basse du système, et applique ces filtres pour éliminer la signature sonore liée aux modes propres de la pièce. Les filtres appliqués au groupe avant, utilisé en émetteur, garantissent la génération du front d'onde le plus étroit et le plus uniforme possible dans la zone d'écoute, tandis que les filtres appliqués simultanément aux groupes avant et arrière (à tous les caissons de grave) absorbent collectivement la plupart des réflexions et des résonances de la pièce. (modes).

WaveForming procure des performances sans précédent grâce à sa sophistication et sa capacité à s'adapter aux nombreuses contraintes que l'on peut rencontrer dans un projet de salle home-cinéma:

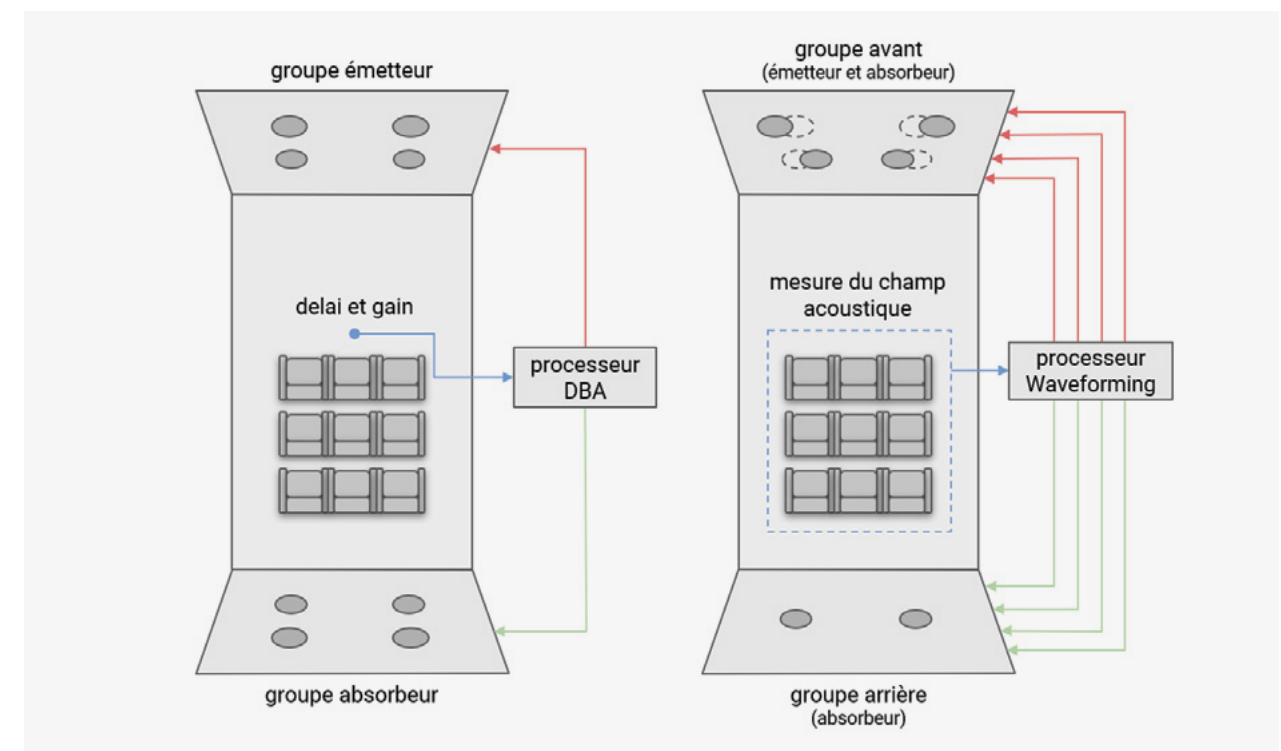


Figure 1. Principe de fonctionnement du DBA (à gauche) par rapport à WaveForming (à droite).

- **Perfectionné** : WaveForming combine plusieurs technologies avancées et uniques telles que le « Remodelage acoustique », la « Synthèse du front d'onde » et l'« Optimisation multi-sources multi-contrôleurs » pour synthétiser un filtre spécifique pour chaque caisson de basse afin que l'ensemble du système fonctionne comme un seul caissons de basse idéal. Waveforming maximise l'homogénéité du champ acoustique dans le temps, l'espace et la fréquence sur toute la zone d'écoute. Ces filtres complexes vont au-delà des limitations des simples filtres de gain et de délai.
- **Flexible** : Les filtres étant calculés à partir du champ mesuré, ils s'adaptent aux caractéristiques physiques de chaque pièce : cela va de sa forme, aux propriétés acoustiques de chaque paroi, en passant par tout le mobilier et les objets qui peuvent s'y trouver. Encore une fois, Waveforming utilise des filtres bien plus efficaces que de simples filtres de gain et de retard, car ils s'adaptent aux facteurs spécifiques influençant les performances dans la zone d'écoute. Cette analyse puissante permet un contrôle du champ acoustique plus robuste et plus efficace, même dans des conditions difficiles, telles qu'une géométrie de pièce non idéale.

III. Lignes directrices pour l'échantillonnage spatial

Lorsque le champ acoustique doit être échantillonné avec des microphones de mesure, les directives suivantes sont essentielles pour obtenir de bonnes performances.

- La distance entre le groupe avant et la zone de mesure doit être d'au moins 2 mètres.
- La distance entre la zone de mesure et les murs doit être d'au moins 1 m. Cette distance s'applique également au plafond.
- La grille tridimensionnelle de mesure doit se faire sur au minimum sur deux plans horizontaux le premier plan étant à 1 m du sol (hauteur d'oreille typique pour une personne assise).
- La distance maximale entre deux positions adjacentes du microphone doit être de 1 m, de sorte que la caractérisation du champ acoustique se fasse sans ambiguïté jusqu'à des fréquences d'environ 100 Hz.

Une certaine précision dans le placement de ces microphones pendant le processus de mesure est importante puisque l'algorithme WaveForming doit avoir une « compréhension » claire du champ tridimensionnel dans toute la zone d'écoute. Les objets dans la pièce et même la pièce elle-même introduisent des changements dans l'onde sonore lorsqu'elle parcourt la longueur de la pièce. Ces changements doivent être connus de l'algorithme Waveforming pour être pris en compte.

IV. Déterminer le nombre et le placement des caissons de basse

Les premières questions qui viennent à l'esprit de chacun lorsqu'on envisage d'incorporer WaveForming dans la conception de sa pièce sont les suivantes : 1) « De combien de caissons de grave ai-je besoin ? » et 2) « Comment puis-je les positionner dans la pièce ? »

La réponse dépend en grande partie de deux paramètres :

- La taille de votre pièce (plus précisément, les dimensions de vos murs avant et arrière)
- La fréquence la plus élevée que vous souhaitez (ou devez) contrôler.

Il est assez intuitif que des pièces plus grandes puissent demander plus de caissons de basse. Mais la densité de ces caissons de basse sur les murs avant et arrière détermine la fréquence la plus élevée à laquelle un front d'onde plan et cohérent peut être créé. Les deux paramètres doivent être déterminés avant qu'une décision éclairée puisse être prise.

Nous aborderons ces deux considérations dans l'ordre inverse. Nous pensons qu'il vous sera plus facile de comprendre le nombre requis de caissons de basse une fois que vous aurez une meilleure compréhension des différentes dispositions possibles et de la flexibilité dont nous disposons dans le placement des dits caissons.

V. Recommandations pour les positions de caissons de basse

Cette section donne des règles pour un positionnement optimal des caissons de basse. Ces recommandations sont issues de recherches approfondies impliquant des analyses théoriques, simulations numériques, et expériences pratiques. Toutes les données expérimentales ont été développées à l'aide d'un ensemble de microphones spécifiques respectant les directives d'échantillonnage spatial du champ acoustique décrites précédemment. Les recommandations suivantes pour le positionnement des caissons de grave découlent de ces données théoriques et pratiques ainsi que des directives d'échantillonnage spatial.

C'est également le moment d'introduire plusieurs notions importantes:

La **position** est l'emplacement du caisson de basse sur le mur. Cette position est donnée en distance, par rapport à l'élément précédent (paroi ou caisson)

La **disposition** est l'ensemble des positions de caissons de basse répartis sur le mur à l'intérieur d'un groupe (avant ou arrière). Pour une disposition donnée, on associe la dimension notée $A \times B$ avec A le nombre de rangées et B le nombre de colonnes.

L'**arrangement** est l'ensemble des dispositions constituées des caissons des groupes avant et arrière. Les arrangements utilisent une nomenclature sous la forme de $N_f - N_r$ qui désigne, respectivement, le nombre de caissons de grave dans le groupe avant et le nombre de caissons de basse dans le groupe arrière.

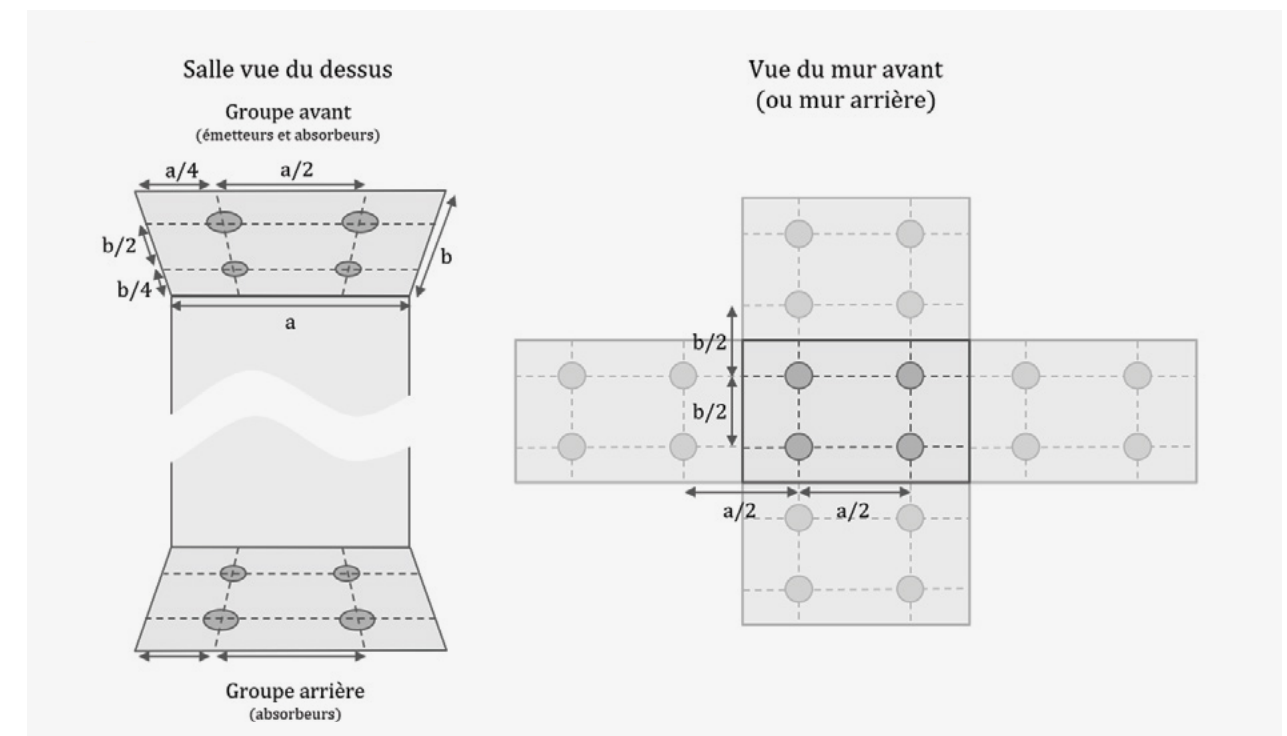


Figure 2. Un arrangement régulier 4-4 (à gauche, vue de dessus) et le mur d'émetteurs avec leurs sources d'images (à droite, vue de face).

A. Disposition normale des caissons de graves

Dans la très grande majorité des configurations de salles de cinéma, les caissons de graves, même s'ils adoptent des dispositions particulières pour réduire l'influence des modes propres, **sont posés au sol**.

Avec WaveForming, pour une efficacité maximale, ce n'est plus le cas.

En effet, il est essentiel que l'énergie provoquée par les surfaces de la pièce agisse comme des caissons virtuels, ou miroirs, dont la distance avec le premier caisson réel doit être égale à celle entre deux caissons réels présents dans la pièce. Ces caissons virtuels seront aussi symétriques par rapport à la paroi, autrement dit la distance entre le caisson virtuel et la paroi et le caisson réel et la paroi sont égales. La règle est relativement simple. La distance entre deux caissons réels est la largeur (ou hauteur) de la pièce divisée par le nombre de caissons. Pour simplifier on va prendre pour exemple, une configuration en 2x2, avec 2 caissons par rangée et 2 caissons par colonne. Si on a deux caissons réels sur la largeur du mur a , ils sont séparés par $a/2$, la distance entre un caisson réel et le premier caisson virtuel est aussi $a/2$. Par conséquent, entre un caisson réel et la paroi la plus proche est à la moitié de cette distance, donc $a/4$.

C'est exactement le même principe pour la hauteur b , avec des caissons réels séparés de $b/2$ et qui sont à $b/4$ des parois. Voilà pourquoi, avec Waveforming, **les caissons ne sont plus posés au sol, mais en hauteur**.

C'est que le on appelle une "disposition normale" ou "normale" fait référence à la cohérence de la disposition.

Dans un cas plus concret, une salle home-cinéma par exemple, il peut être plus difficile d'imaginer les caissons virtuels. Pratiquement, en utilisant les symétries des parois, voici un exemple de construction d'une configuration 2x2

1. On prend le premier caisson, posé au sol, on le déplace jusqu'au premier quart de la paroi sur la largeur.
2. On élève ce premier caisson jusqu'au quart de la hauteur du mur. On a la position du 1^{er} caisson.
3. Le deuxième caisson s'obtient par symétrie du premier, par symétrie par rapport à la mi-hauteur de la salle.
4. Le troisième caisson s'obtient par symétrie du deuxième, par symétrie par rapport à la mi-largeur de la salle.
5. Le quatrième caisson s'obtient par symétrie du troisième, par symétrie par rapport à la mi-hauteur de la salle.

Si on extrapole à un cas plus général:

- a est la largeur de la pièce et b la hauteur de la pièce
- C le nombre de colonnes et R le nombre de rangées de caissons de grave

La distance entre deux colonnes de caissons de grave est a/C

La distance entre deux rangées de caissons de grave est b/R

La distance entre un caisson de grave et la paroi verticale (mur, etc...) la plus proche est $a/2C$

La distance entre un caisson de grave et la paroi horizontale (sol, plafond, ...) la plus proche est $b/2R$

Pour une configuration en 2x3, c'est à dire 3 caissons par rangée et 2 caissons par colonnes, cela donnerait:

- Dans le sens de la largeur a on aurait 3 caissons séparés par $a/3$ et éloignés de $a/6$ des parois
- Dans le sens de la hauteur b on aurait 2 caissons séparés par $b/2$ et éloignés de $b/4$ des parois

Notez qu'avec WaveForming, le nombre de caissons de grave du groupe avant ne doit pas nécessairement être égal au nombre de caissons de grave du groupe arrière. L'arrangement où les deux dispositions ont les mêmes dimensions et le même nombre de caissons de grave est connu sous le nom de Double Bass Array (DBA). La figure 2 montre une disposition 4-4 avec un groupe 2x2 dans une pièce de largeur a et de hauteur b . Mais d'autres combinaisons sont possibles et peuvent même être préférables.

B. Arrangement idéal : nombre idéal de caissons de basses

L'**espacement** entre les caissons de grave détermine la limite de fréquence supérieure qui peut être efficacement contrôlée comme une onde plane. Cela découle du fait que les fréquences plus élevées ont des longueurs d'onde plus courtes et que les caissons de basse émetteurs doivent être suffisamment proches les uns des autres pour "s'intégrer" dans une certaine partie de cette longueur d'onde afin que la création d'ondes planes fonctionne bien. (Il n'y a pas de triche avec les lois de la physique).

Un **arrangement idéal** est constitué de deux **dispositions normales** de dimensions identiques, c'est-à-dire que le nombre de caissons à l'avant et à l'arrière sont identiques. Dans une telle disposition, les positions des rangées et des colonnes de caissons de grave sont dictées respectivement par la hauteur et la largeur de la pièce. De plus, la distance entre deux caissons de grave détermine la bande passante de l'optimisation¹. Par conséquent, pour une pièce de taille donnée, le nombre de lignes et de colonnes détermine la limite supérieure de la bande passante contrôlée.

La figure 3 donne le nombre de lignes et de colonnes de la disposition idéale pour une largeur et une hauteur données, pour une bande passante typique allant jusqu'à 100 Hz. Notez que puisque nous proposons une valeur finie (le nombre de caissons de grave) pour une entrée continue (les dimensions d'un mur), la bande passante contrôlée ne sera pas la même pour toutes les combinaisons de dimensions de pièce. Ainsi, les zones grises sur la figure 3 représentent les zones de chevauchement, lorsque au moins une des dimensions se situe à moins de 15 cm de la limite.

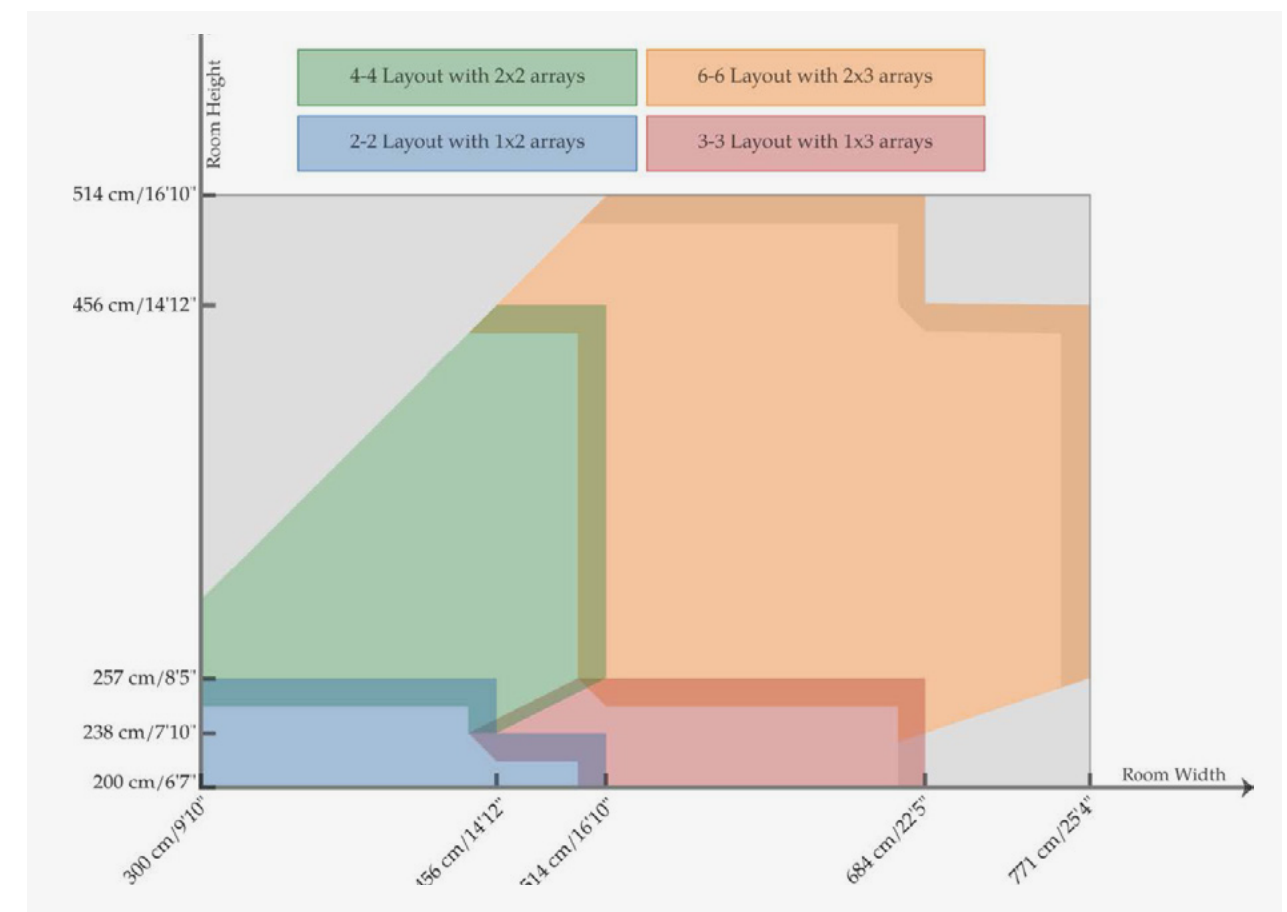


Figure 3. Agencements recommandés en termes de largeur et de hauteur de la pièce

¹ La bande passante de fréquence sur laquelle le champ acoustique peut être contrôlé.

L'arrangement idéal donne les meilleures performances de WaveForming. Cela signifie avoir le nombre recommandé de caissons de basse (voir section V. A) avec un nombre égal de caissons avant et arrière, tous dans une disposition normale voir section V. B).

Cependant, comme mentionné précédemment, le perfectionnement et la flexibilité de WaveForming lui permettent de prendre en charge une grande diversité de dispositions tout en conservant un haut niveau de performances. Bref, il tolère de s'écarter du tracé « idéal » :

- **Prise en charge des arrangements asymétriques.**

Avec WaveForming, les groupes avant et arrière n'ont pas besoin d'être strictement identiques tant qu'ils restent dans des dispositions normales. Dans ce cas, le scénario préféré est celui où le groupe arrière comporte moins de caissons de grave que le groupe avant. L'utilisation de moins de caissons de graves sur le mur arrière n'altère pas les performances globales, contrairement à l'utilisation de moins de caissons à l'avant. C'est une simple conséquence du fait que les caissons de grave du groupe avant sont plus importants : ils sont émetteurs en plus d'être également absorbeurs . Les groupes asymétriques avec moins de caissons de grave à l'arrière peuvent être utiles de deux manières. D'abord, c'est un moyen efficace de réduire le nombre de caissons de grave du mur arrière tout en conservant un haut niveau de performances. Ensuite, c'est un bon moyen d'obtenir les meilleures performances pour un nombre donné de caissons de basse. Par exemple, avec 6 caissons de basse, une configuration 4-2 offrira souvent des performances globales supérieures à celles d'une configuration 3-3. Et avec 8 caissons de grave, une configuration 6-2 offrira souvent des performances supérieures à une configuration 4-4. Il s'agit plus d'une tendance générale que d'une règle absolue, car chaque situation dépend des proportions spécifiques de la pièce.

- **Prise en charge des dispositions irrégulières :**

une certaine distance de déplacement d'un caisson de grave au sein d'un groupe peut être tolérée et parfois même recommandée, comme mettre 3 caissons de basse dans une disposition triangulaire irrégulière. Cette « marge de manœuvre » est précieuse dans les cas où les options de placement du caisson de basse sont limitées par des contraintes physiques, telles que le fait de devoir contourner les enceintes frontales ou surround arrière. (Voir la section D pour les recommandations de déplacement.)

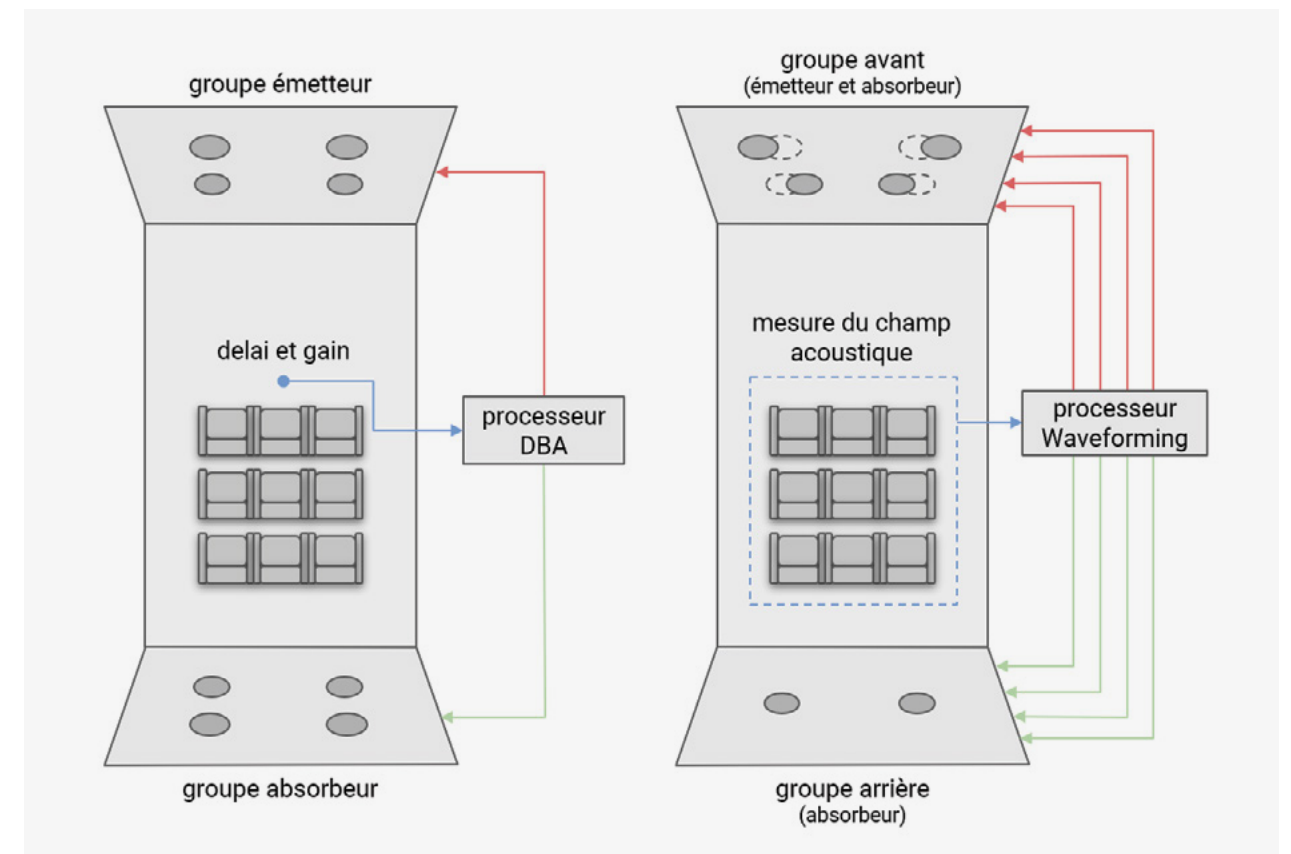


Figure 1b. Principe de fonctionnement du DBA (à gauche) versus WaveForming (à droite) avec une disposition asymétrique et irrégulière.

C. Réduction du nombre de caissons de basse et conséquences sur les performances

Rappelez-vous que le nombre optimal de caissons de basse pour une pièce donnée est déterminé par deux facteurs : la taille de la pièce et la fréquence supérieure que vous souhaitez contrôler. Naturellement, les salles plus grandes ont besoin de plus de caissons pour le contrôle et la sortie. Mais, pour une taille de pièce donnée, l'espacement entre les caissons de basse détermine la limite supérieure de la capacité du Waveforming à créer une onde plane.

La section suivante donne les directives générales pour réduire le nombre et/ou déplacer¹ les caissons de grave, ainsi que les niveaux de performances correspondants.

- **Le vert foncé** correspond au niveau de performance maximal.
- **Un vert plus clair** indique que le niveau de performances peuvent être affecté².
- **Le vert le plus clair** correspond à l'implémentation minimale recommandée de WaveForming.

Cependant, toutes les configurations répertoriées garantissent un niveau de performance satisfaisant³.

L'ARRANGEMENT IDÉAL EN 2-2

Il s'agit de la disposition normale avec deux dispositifs de caissons en 1x2 (*par exemple, une rangée de deux caissons de grave sur chaque mur*), soit 4 caissons au total. Comme cet arrangement dispose déjà d'un nombre "réduit" de caissons de basse, il ne peut pas être revu à la baisse.

Arrangement 2-2	Disposition idéale (tolère un déplacement minimal)	Disposition idéale avec déplacement (tolère le déplacement maximum recommandé)
-----------------	--	--

Tableau 1.

L'ARRANGEMENT IDÉAL EN 3-3

Il s'agit de la disposition normale avec deux groupes 1x3 (*par exemple, une rangée de trois caissons de grave sur chaque mur*), soit 6 caissons au total. A partir de cet arrangement, un caisson de grave peut être supprimé à l'arrière, avec un compromis à faire sur le niveau de performances.

Arrangement 3-3	Disposition idéale (tolère un déplacement minimal)	Disposition idéale avec déplacement (tolère le déplacement maximum recommandé)
Arrangement 3-2	Disposition réduite (tolère un déplacement minimal)	Disposition réduite avec déplacement (tolère le déplacement maximum recommandé)

Tableau 2.

Pour l'arrangement réduit, les caissons de grave seront placés dans les positions habituelles, selon la disposition normale (voir paragraphe V. A).

¹ Voir la section suivante pour les directives de déplacement

² Deux aspects peuvent être affectés : l'homogénéité spatiale du champ acoustique ou la limite fréquentielle supérieure d'optimisation de la bande passante .

³ Les résultats sont basés sur des études théoriques et expérimentales et leur validité dépend des conditions physiques de chaque pièce individuelle. Les niveaux indiqués peuvent s'améliorer ou se détériorer dans certains cas spécifiques.

L'ARRANGEMENT IDÉAL EN 4-4

Il s'agit de la disposition normale avec deux groupes 2x2 (*par exemple, deux lignes et deux colonnes de caissons de grave sur chaque mur*), soit 8 caissons au total. A partir de cet arrangement, deux caissons de grave peuvent être supprimés, avec un compromis à faire sur le niveau de performances.

Arrangement 4-4	Disposition idéale (tolère un déplacement minimal)	Disposition idéale avec déplacement (tolère le déplacement maximum recommandé)
4-2 and 3-3 Layouts	Disposition réduite (tolère un déplacement minimal)	Disposition réduite avec déplacement (tolère le déplacement maximum recommandé)

Tableau 3

Pour l'arrangement réduit, les caissons de grave doivent être placés dans les positions habituelles, selon la disposition normale (voir V.a). La réduction à 4-2 est préférable à la réduction à 3-3 dans le cas où le plafond est trop haut pour n'avoir qu'une seule rangée de caissons de basse et la pièce est trop étroite pour recommander trois colonnes de caissons.

L'ARRANGEMENT IDÉAL EN 6-6

Il s'agit de la disposition normale avec deux groupes 2x3 (*deux lignes et trois colonnes de caissons de grave sur chaque mur*), soit 12 caissons au total. A partir de cet arrangement, jusqu'à 4 caissons de grave peuvent être supprimés, avec un compromis à faire sur le niveau de performances.

Arrangement 6-6	Disposition idéale (tolère un déplacement minimal)	Disposition idéale avec déplacement (tolère le déplacement maximum recommandé)
Arrangements 6-5, 6-4, 5-5 et 5-4	Disposition réduite (tolère un déplacement minimal)	Disposition réduite avec déplacement (tolère le déplacement maximum recommandé)
Arrangements 5-3 et 6-2	Disposition réduite (régulier) (tolère un déplacement minimal)	

Tableau 4.

Dans les arrangements réduits en 6-4 et 5-4, les quatre caissons absorbeurs doivent être placés dans les positions habituelles, selon la disposition normale (voir V.a). Il est rare d'avoir une pièce suffisamment large pour recommander 3 colonnes de caissons de grave alors que son plafond est suffisamment bas pour que le traitement fonctionne bien. Par conséquent, lorsque 3 ou 5 caissons de grave doivent être placés sur un même mur, nous recommandons de les positionner, dans ce cas, comme suit : (voir Figure 4)

- 3 caissons de grave (disposition triangulaire irrégulière) : un caisson de grave à 1/2 de la largeur et 1/4 de la hauteur (à partir du sol), et les deux autres à 1/6 et 5/6 de la largeur et 3/4 de la hauteur (à partir du sol).
- 5 caissons de basse (disposition trapézoïdale irrégulière) : deux caissons de grave à 1/4 et 3/4 de la largeur et 1/4 de la hauteur (à partir du sol) et trois caissons de basse à 1/6, 1/2 et 5/6 de la largeur et les 3/4 de la hauteur (à partir du sol).

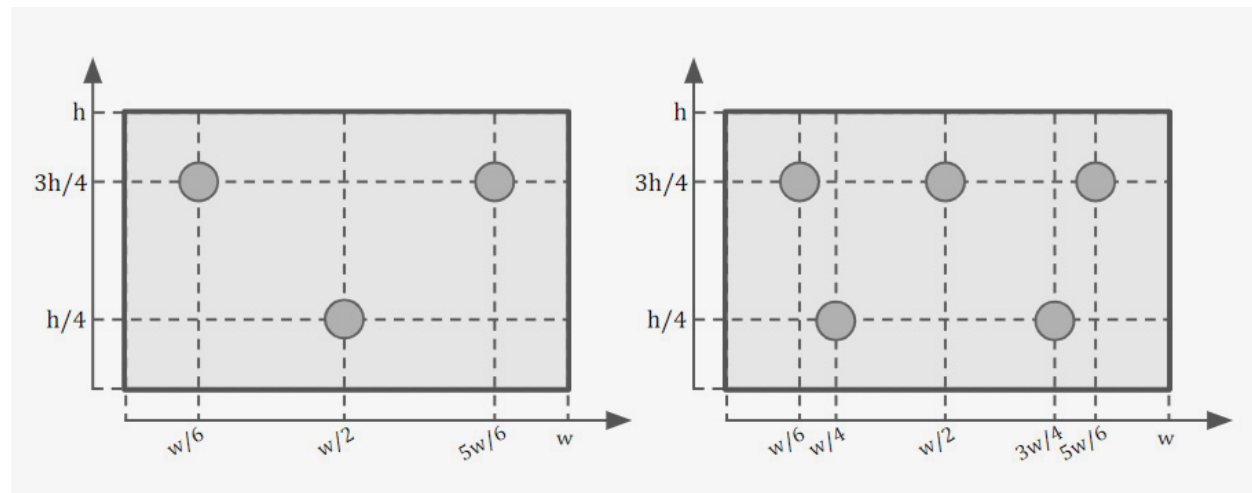


Figure 4. Dispositions irrégulières avec 3 caissons de grave et 5 caissons de grave

D. Lignes directrices pour déplacer les des caissons de grave

Directives communes pour toutes les dispositions

1. En général, il est préférable d'éloigner les caissons de grave plutôt que de les rapprocher les uns des autres, la pire situation étant lorsque tous les caissons de basse sont adjacents (ce qui équivaut à avoir une seule source acoustique).
2. Nous recommandons de respecter au moins une des dimensions des positions normales (lignes ou colonnes). En d'autres termes, les déplacements à partir des positions normales doivent être effectués soit horizontalement, soit verticalement, mais, de préférence, pas dans les deux sens simultanément.

Dans le reste de cette section, le déplacement horizontal est donné en pourcentage de la largeur de la pièce et le déplacement vertical est donné en pourcentage de sa hauteur.

CAS PARTICULIERS POUR L'ARRANGEMENT 2-2 :

- Il convient d'éviter de déplacer simultanément les caissons émetteurs (groupe avant) et absorbeurs (groupe arrière) dans le sens horizontal. Les meilleures performances sont obtenues lorsque les caissons émetteurs et absorbeurs restent à leurs positions horizontales habituelles.
- Les caissons émetteurs et absorbeurs peuvent être déplacés simultanément dans le sens vertical, mais sans dépasser $\pm 10\%$.

CAS PARTICULIERS POUR L'ARRANGEMENT 3-3 :

Si seul le caisson émetteur central est déplacé :

- horizontalement : $\pm 15\%$ (Figure 5)
- verticalement : $\pm 30\%$ (Figure 6)

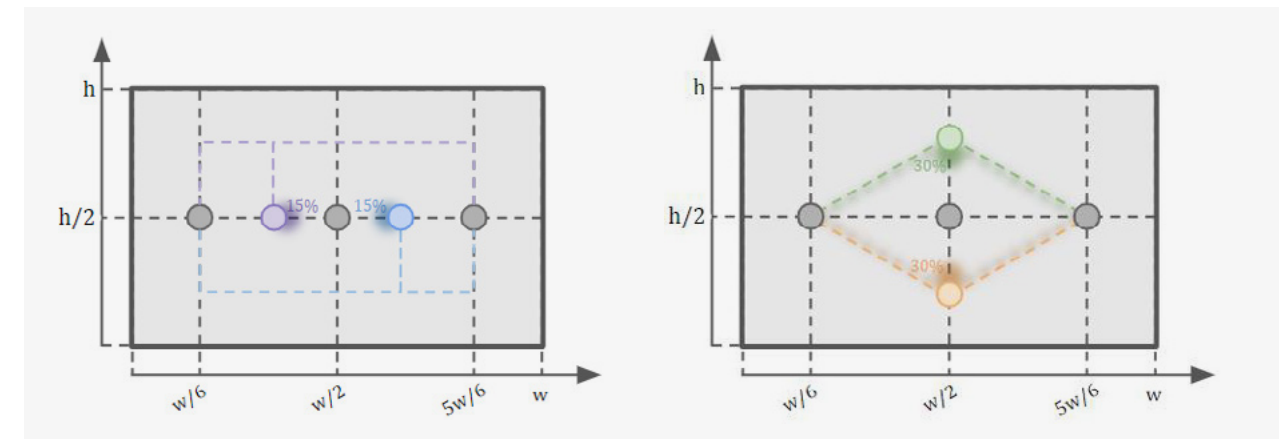


Figure 5 . Déplacer l'émetteur central horizontalement

Figure 6. Déplacement vertical de l'émetteur central

Il est préférable de former des triangles ou des diagonales plutôt que de déplacer de manière identique tous les caissons verticalement :

Si tous les caissons émetteurs (groupe avant) sont déplacés verticalement :

- $\pm 5\%$ si tous les caissons de grave sont simultanément déplacés vers le haut ou vers le bas (Figure 7)
- $\pm 15\%$ s'ils forment un triangle (Figure 8)
- $\pm 20\%$ s'ils forment une diagonale (Figure 9)

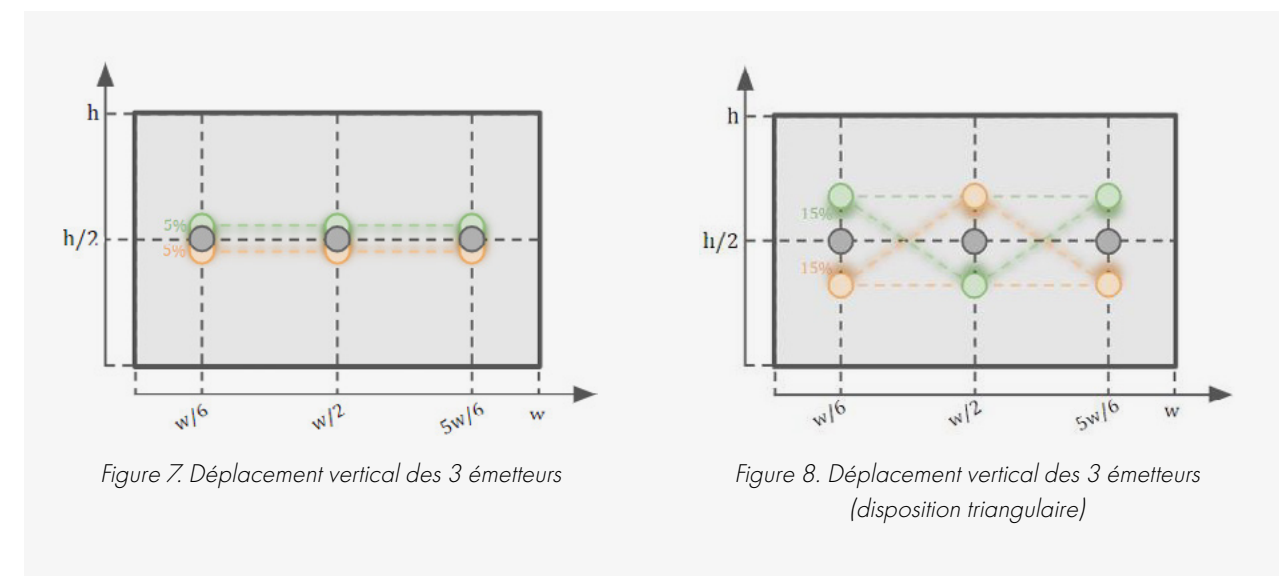


Figure 7. Déplacement vertical des 3 émetteurs

Figure 8. Déplacement vertical des 3 émetteurs (disposition triangulaire)

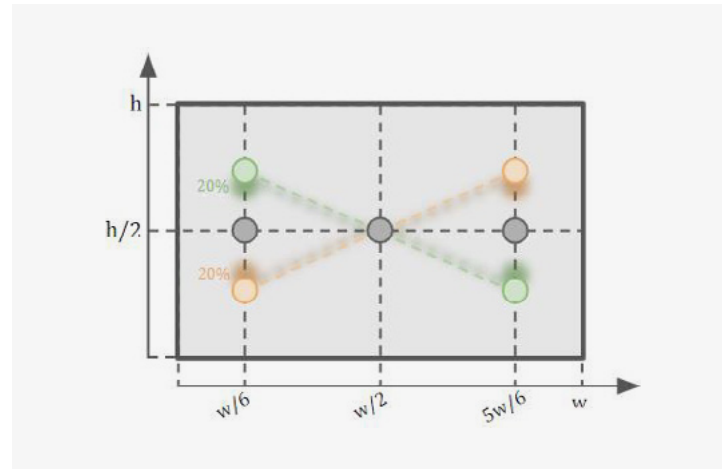


Figure 9. Déplacement vertical des émetteurs latéraux (disposition en diagonale)

Si tous les caissons absorbeurs (groupe arrière) sont déplacés verticalement, les limites sont plus souples :

- $\pm 10\%$ si tous les caissons de grave sont simultanément déplacés vers le haut ou vers le bas
- $\pm 30\%$ s'ils forment un triangle
- $\pm 30\%$ s'ils forment une diagonale

CAS PARTICULIERS POUR UN ARRANGEMENT 3-2 :

Si seul le caisson émetteur central est déplacé :

- horizontalement : $\pm 15\%$
- verticalement : $\pm 30\%$

Si tous les caissons émetteurs sont déplacés verticalement :

- $\pm 15\%$ si tous les caissons de basse montaient ou descendaient
- $\pm 20\%$ s'ils forment un triangle
- $\pm 20\%$ s'ils forment une diagonale

If the two absorbers are moved vertically:

- $\pm 10\%$ si tous les caissons de basse montaient ou descendaient
- $\pm 20\%$ s'ils forment une diagonale

CAS PARTICULIERS POUR UN ARRANGEMENT 4-4 :

- si les caissons émetteurs sont déplacés (horizontalement ou verticalement) : $\pm 10\%$ (Figures 10 et 11)
- si les caissons absorbeurs sont déplacés (horizontalement ou verticalement) : $\pm 15\%$
- Il est préférable d'éloigner les caissons de basse les uns des autres plutôt que de les rapprocher les uns des autres, ou de les déplacer tous dans une même direction.
- Si la zone d'écoute est suffisamment éloignée du plafond (c'est-à-dire si la zone de mesure et d'échantillonnage est plus proche du sol que du plafond), il est préférable de déplacer les caissons de basse dans une disposition trapézoïdale¹. (Figure 12)

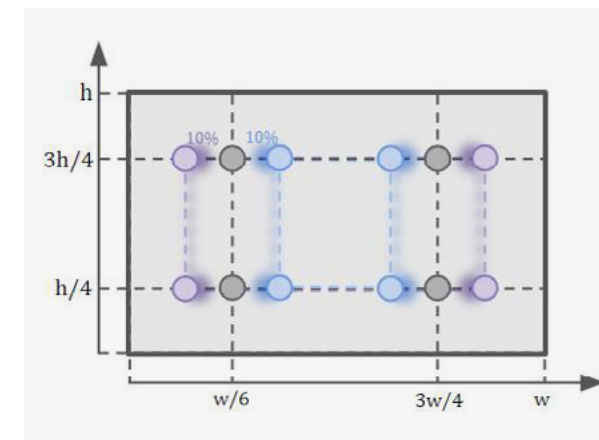


Figure 10. Déplacement horizontal des 4 émetteurs

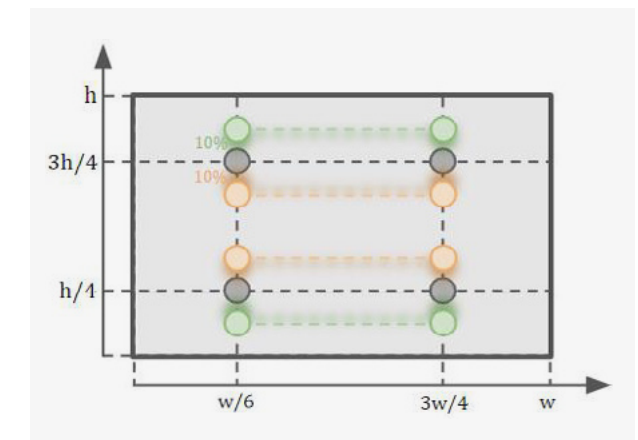


Figure 11. Déplacement vertical des 4 émetteurs

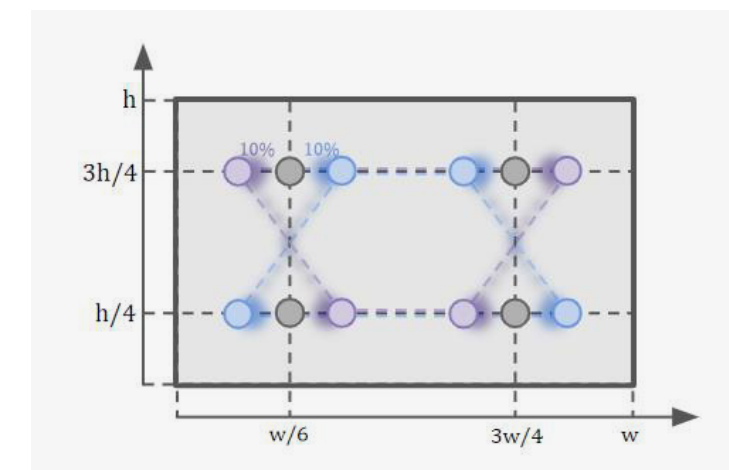


Figure 12. Déplacement horizontal des 4 émetteurs (disposition trapézoïdale)

¹ Autrement dit, éloigner les caissons de basse du haut les uns des autres et rapprocher les caissons de basse du bas les uns des autres ou vice versa.

VI. Conclusions

Trinnov a été créée il y a vingt ans pour mener des recherches fondamentales sur la façon dont nous, humains, percevons les champs sonores complexes et tridimensionnels. Une grande partie des premières recherches étaient centrées sur la possibilité de capturer un tel champ sonore. Cela peut être fait dans une salle de concert pour ensuite reproduire ce même champ sonore dans une pièce beaucoup plus petite (comme votre maison). Notre technologie Optimizer a été développée comme résultat direct de ces premières recherches.

Cependant, beaucoup restait à apprendre concernant les basses fréquences et leurs interactions avec ces mêmes petites pièces (c'est-à-dire des pièces de taille résidentielle plutôt que des salles de concert ou des stades sportifs). Bien que de nombreux scientifiques et ingénieurs aient travaillé sur le problème, les résultats de la plupart de ces travaux ont abouti à des moyens permettant au mieux d'atténuer les problèmes rencontrés à ces fréquences.

Nous avons cherché à savoir s'il existait un moyen d'éliminer ces mêmes problèmes.

Au cours de nos recherches, nous avons beaucoup appris sur le fonctionnement complexe des basses fréquences dans les petites pièces. Nous estimons qu'il faudra cinq à dix ans pour mettre en œuvre les technologies issues de ces recherches. En sommes, il y a encore beaucoup à attendre de Waveforming.

Cependant, de ce que nous avons appris, nous estimons que les meilleures implémentations auront toujours une certaine ressemblance avec le Double Bass Array (DBA) traditionnel. WaveForming rend ces dispositions beaucoup plus flexibles et efficaces en introduisant une grande intelligence intégrée dans ses algorithmes sophistiqués. D'où notre décision d'introduire d'abord la meilleure implémentation de WaveForming : nous souhaitons démontrer ce qu'il est désormais possible de faire grâce à ce projet issu de recherches sur plusieurs années.

La technologie Waveforming n'en n'est qu'à ses débuts. Nous prévoyons d'étendre la portée de ses possibilités de part les connaissances accumulées, via de nouvelles fonctionnalités qui s'appliqueront à la fois à ces groupes de caissons avant et arrière mais aussi à d'autres dispositions moins exigeantes. Les capacités de traitement du signal rendues possibles par notre plateforme matérielle unique sur base PC nous permettent de développer et de fournir ces nouveaux algorithmes révolutionnaires à nos clients. Ceci passe par de simples mises à jour logicielles, validant notre décision prise il y a des années de s'orienter vers une solution peu usitée.

Nous espérons que vous avez trouvé ce court livre blanc intéressant et instructif. Nous sommes impatients d'aider chacun à découvrir le monde des basses fréquences, de leur dynamique et de leurs détails. Leur véritable potentiel se révèle après élimination de la "cacophonie" créée par les réflexions des basses fréquences et les modes propres qui en résultent, ce qui est l'alpha et l'oméga de la reproduction des basses fréquences dans un contexte résidentiel.



www.trinnov.com

Trinnov SA, 5 Rue Edmond Michelet, 93360, Neuilly-Plaisance, France
Email: highend@trinnov.com - www.trinnov.com

TRINNOV



HIGH•END