

David Rousseau, électroacousticien

Comment mesurer les basses fréquences engendrées par les musiques amplifiées ?

Afin de mieux comprendre les phénomènes liés au bruit basses fréquences, je vais vous présenter l'évolution des besoins et des pratiques en termes de basses fréquences, puis j'évoquerai les problèmes liés à la mesure et enfin, je vous proposerai quelques solutions en termes de sonorisation qui peuvent réduire les nuisances pour le voisinage et améliorer concrètement l'isolement apparent en concentrant l'énergie sur le public plutôt que de l'envoyer sur les murs.

Evolution des pratiques musicales et du matériel de sonorisation de 1970 à nos jours

Artiste	Titre	Production	31 Hz	63 Hz	125 Hz
Pink Floyd	Money	1973	0 dB	0 dB	0 dB
Metallica	Enter Sadman	1991	+13 dB	+5 dB	0 dB
Compil FG 2015	Booyah	2013	+15 dB	+11 dB	+5 dB

Tabl. 1 : Évolution des styles musicaux et du mixage

Le tableau 1 illustre les mesures que j'ai effectuées avec un analyseur de spectre à partir d'un enregistrement non modifié. J'ai mesuré les niveaux sonores pour les octaves 31, 63 et 125 Hz sur Money de Pink Floyd, Enter Sadman de Metallica et Booyah de Compil FG 2015. On s'aperçoit qu'en quarante ans, le niveau à 31 Hz a augmenté de 15 dB et de 11 dB à 63 Hz ; ces mesures étant normalisées à 0 dB FS, ce qui veut dire que les valeurs de crête sont identiques. On voit donc l'évolution des styles musicaux qui vont vers plus de « basses » et cela d'autant plus qu'on sait parfaitement les générer.

	Haut-parleur de référence	Puissance	Déplacement du cône	Fréquence de coupure basse	Niveau à 50 Hz
1975	Altec 416-8A	35 W	3, 8 mm	50 Hz	100 dB
2015	BC Speaker 21 PAL	2 500 W	22 mm	25 Hz	120 dB

Tabl. 2 : Évolution des haut-parleurs émettant les basses fréquences

En 1975, le haut-parleur de référence était le Altec 416-8A qui produisait 35 watts rms ; aujourd'hui, le plus gros HP produit à lui tout seul plus de cent fois plus de puissance avec une capacité à débattre beaucoup plus importante passant de 4 à 22 mm de déplacement possible du cône. Quand vous avez des haut-parleurs qui prennent ce débattement avec un diamètre de 56 cm, on peut dire que ça commence à « faire bouger les pantalons » sachant qu'aujourd'hui c'est l'effet recherché par les sonoriseurs. En concert, si jamais vous ne produisez pas ce que le sonorisateur appelle « l'impact » ça ne lui convient pas. Il a besoin aujourd'hui d'avoir constamment ces niveaux complètement excessifs qui n'ont plus vraiment de sens. Il faut savoir qu'aujourd'hui on impose des très basses fréquences sur des musiques qui n'en ont pas besoin. Je citerai en exemple un concert à La Cigale, où la plus grosse émergence en BF que nous avons mesurée était contre toute attente sur un morceau en piano-voix. Est-ce qu'un morceau en piano-voix a besoin de générer des sons à 30 Hz ? J'en doute mais ça correspond aux pratiques. A partir de là, les électroacousticiens sont obligés de suivre cette tendance même si ils font tout pour les freiner.

Prise en compte des écarts de mesure en fonction de la position du microphone

Maintenant si on veut mieux canaliser ces BBF, il faut savoir quels sont les problèmes qu'on va rencontrer, qu'elle est la paroi la plus significative en termes de défauts et comment il faut générer cette musique. Ça veut dire qu'il faut bien mesurer et qu'il nous faut une information qui correspond un minimum à la réalité.

Local	Émission	Émission	Réception	Réception
Type statistique	Écart type	Écart maximum	Écart type	Écart maximum
Octave 63 Hz	3,9 dB	12,5 dB	3,5 dB	12,7 dB
Octave 125 Hz	1,8 Hz	6,5 Hz	2,6 Hz	9,5 Hz

Tabl. 3 : Exemple pour les Etudes d'impact. Il est important de remarquer que ces erreurs peuvent se cumuler quand on mesure l'isolement.

A titre d'exemple, quand on fait une mesure en très basses fréquences, on mesure à différents endroits dans une même pièce afin d'estimer les erreurs de mesure en fonction de la position physique du micro et de la position des enceintes. Ces mesures à l'émission sont faites avec deux caissons positionnés à un endroit qui permet d'annuler les modes au 1/4 de la longueur. On a fait trois mesures identiques pour quatre types de musique différents afin de vérifier que la mesure était bien reproductible puis on a déplacé le microphone. Malgré tous ces efforts, on a quand même mesuré un écart-type de 3,9 dB à 63 Hz et surtout un écart maximum de 12 dB dans un même local. Ce qui veut dire que quand on mesure 12 dB d'erreur à l'émission et 12 dB d'erreur à la réception et qu'on peut avoir un effet cumulatif, une mesure en un seul point ne peut absolument pas rendre compte du niveau. Pour moi, les seules solutions sont de faire soit une mesure dans les coins pour annuler les effets de mode soit de multiplier les nombres de points. On arriverait alors à faire quelque chose de significatif statistiquement parlant.

La figure 1 présente une cartographie que nous avons réalisée afin de mettre en évidence ces phénomènes. Grâce à une antenne de microphones, on a cartographié en temps réel l'énergie produite dans la pièce. On voit qu'en fonction de la fréquence, les nœuds et les ventres ne se génèrent pas au même endroit. Ce qui veut dire qu'on ne peut pas définir un endroit unique où se positionner pour effectuer la mesure car la mesure est très variable en fonction de la fréquence sachant que la gamme entre le rouge foncé et le bleu clair est de l'ordre de 25 dB ; ce qui est significatif.

Afin de limiter ces inconvénients lorsqu'on donne une consigne à un sonorisateur et plutôt que de lui dire de ne pas dépasser un certain niveau sonore, on va maîtriser la sonorisation à la source. Ce que je préconise pour tout ce qui est basses fréquences, c'est de les mesurer par une fonction de transfert. Quand on mesure directement ce qui sort de la table de mixage, on évite l'erreur qui est commise par la mesure à l'émission. Et si on mesure en « électrique » au lieu de mesurer en « acoustique », on évite les erreurs sur la fonction de transfert de la pièce (Fig.2). L'idéal pour une installation fixe serait de mesurer les très basses fréquences par une fonction de transfert électrique en sortie de sono et de continuer à mesurer le dB(A) et le dB(C) pour être sûr qu'il ne faut pas ajouter trop d'ampli ou d'autres choses dans les salles de spectacles.

Richard Denayrou, Altia : Tu as parlé tout à l'heure de caractériser le niveau à partir du signal électrique directement à partir du système de diffusion avec un rendement un peu différent d'un système à l'autre. Quand est-il exactement ?

Cette caractérisation ne peut marcher qu'avec un système fixe qu'on connaît parfaitement mais l'avantage par rapport à la caractérisation acoustique mesurée en interne de la salle est qu'on évite tous les phénomènes de modes internes et du coup on élimine un des deux facteurs d'erreurs car au lieu de cumuler les incertitudes de mesure à l'émission et à la réception on n'a plus que les incertitudes à la réception.

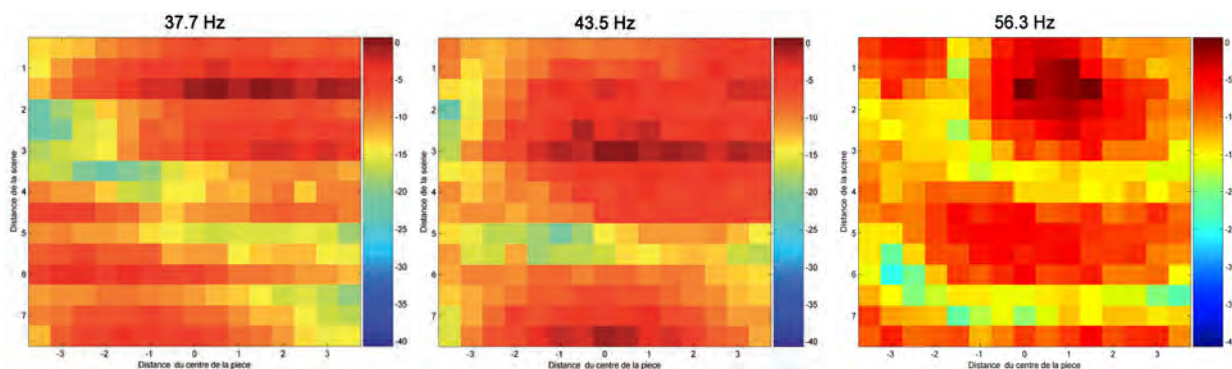


Fig. 1 : Cartographie mettant en évidence la présence de modes de résonance

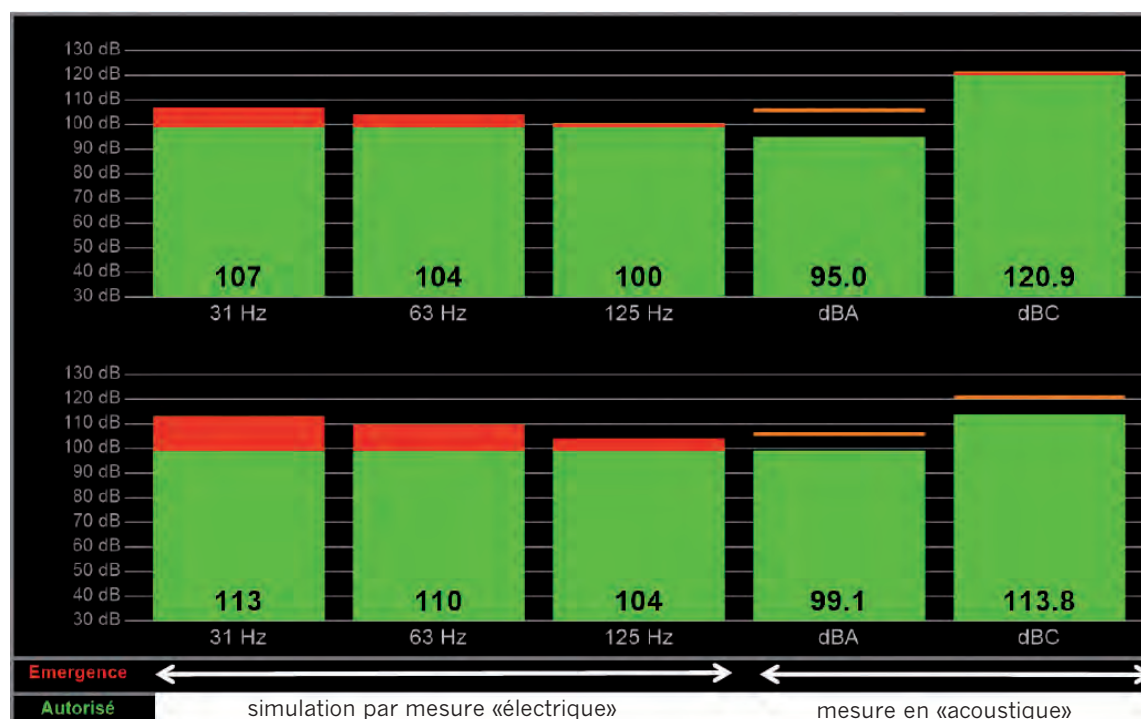


Fig. 2 : Exemple d'afficheurs de niveaux permettant d'éliminer les incertitudes de mesure acoustique à l'émission, pour les sonorisations fixes

Optimisation du rapport Signal/Bruit

Bien choisir son signal de test

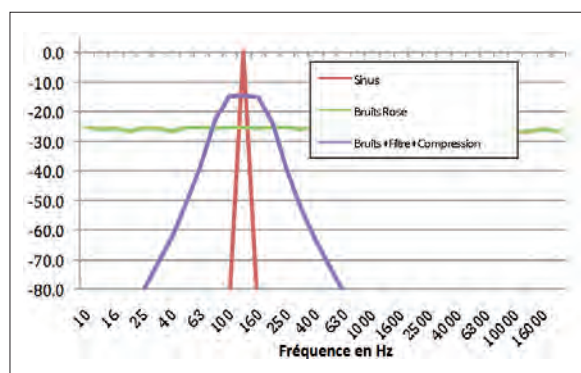


Fig. 3 : Analyse en 1/3 d'octave pour différents signaux

Le bruit de fond est également une source d'erreurs. En effet, les mesures sont généralement effectuées en journée ce qui entraîne un bruit de fond beaucoup plus élevé que dans la nuit. C'est pourquoi, il n'est pas forcément facile d'avoir un rapport signal/bruit qui permette d'avoir une émergence significative.

Ce qu'on peut faire dans ce cas, c'est appliquer un traitement du signal c'est-à-dire qu'on va choisir de mesurer un bruit rose qui va être filtré et compressé par octave, ce qui permet de gagner 10 dB. Si ça ne suffit pas, on peut également utiliser des sinus glissants parce qu'ils maximisent l'énergie et que sur un sinus on a quand même 26 dB de plus qu'avec un bruit rose.

Utiliser une source adaptée

On peut aussi générer des niveaux importants avec une sphère omnidirectionnelle qui permet de mesurer des isollements dans des salles de spectacles sans passer par le traitement du signal. L'avantage est qu'on peut émettre un bruit rose complet et utiliser les techniques standards sans être obligé d'aller faire du swift, de la déconvolution ou tout ce qui permet de récupérer une mesure par le traitement du signal.



Fig. 4 : Gamme de différentes sources omnidirectionnelles

Nous avons développé avec Laurent Burrus de l'entreprise Artisanat Meline, toute une gamme de sources afin de permettre de nous adapter à toutes les situations. On couple le traitement du signal avec des antennes de microphones et des sources de forte capacité afin d'être sûrs d'arriver à toujours mesurer quelque chose.

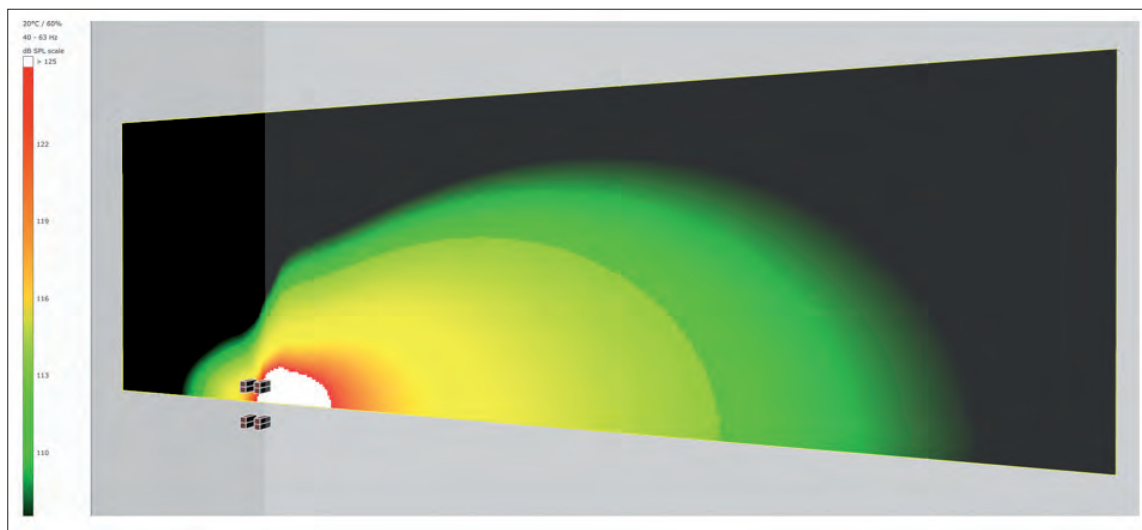


Fig. 5 : Exemple d'une implantation cardioïde à la Grande Halle de la Villette à Paris, où la hauteur des subwoofers a été choisie pour que la source image générée par sol annule l'énergie émise en direction de la toiture

Optimiser les systèmes de diffusion pour concentrer l'énergie sur le public

Maintenant, qu'on sait mesurer et qu'on a réussi à qualifier notre salle, il va falloir diffuser le son de façon adéquate et efficace.

La figure 5 présente une simulation qui met en évidence un effet cardioïde dans la sonorisation. Dans cet exemple, on a utilisé deux caissons de basses décalés dans le temps. Le premier est retardé par rapport au second afin qu'en façade on puisse sommer à 6 dB et que derrière les caissons, l'émission soit annulée. Pour cela, ils sont installés à une demi longueur d'ondes d'écart. Cette installation a été faite pour 50 Hz, là où ça « cogne » le plus.

F. Fohr, CTTM : Vous dites que vous faites ce contrôle de directivité en retardant une source par rapport à une autre à 50 Hz mais que ce passe-t'il à 60 Hz ?

À 60 Hz, ça continue à être efficace. Le diagramme représente la bande d'octave 50 c'est-à-dire le 40, le 50 et le 63 Hz. Globalement, on est capable de maîtriser un 1/3 d'octave au dessous et un 1/3 d'octave au dessus de la fréquence à laquelle on accorde le cardio. Après, si on doit gérer cette directivité sur une plage plus large, il faut mettre plus de caissons et du coup répartir une zone de couverture beaucoup plus large. On empile les caissons, les premiers émettant 63 Hz, les deuxièmes 50 Hz, les troisièmes 40 Hz. Aujourd'hui on arrive à maîtriser une directivité dans toute la gamme de subwoofers.

De plus, parce qu'à la Grande Halle de la Vilette, le plafond est un des éléments très sensibles, on a mis un haut-parleur en hauteur afin que la source image qui est produite par le sol annule l'énergie qui est émise par le plafond. L'avantage est que ça a permis de canaliser « l'impact » à 50 Hz car c'est systématiquement ce qui ressort chez les voisins.

M. Seigneuret, AAbV : Vous parlez de murs, de plafonds, de planchers mais qu'en est-il des grosses manifestations qui se font en extérieur et pour lesquelles on se trouve vite démunis lorsqu'il s'agit de protéger les riverains ?

En extérieur, c'est plus problématique. Mais il faut savoir que les techniques qui nous permettent de calculer la directivité marchent d'autant mieux qu'il n'y a pas de réflexion donc à l'extérieur. Je reprends l'exemple de la Grande Halle de La Villette, on a commencé à sonoriser avec un système omni classique qui a instantanément provoqué des plaintes dans le voisinage, on a donc installé un système cardio un petit peu plus élaboré qu'un système standard ce qui nous a permis de gagner 15 dB.

Quand on fait une cartographie qui met en évidence la différence entre un sub omni et un sub cardioïde central comme à La Cigale (figure 6), on voit que la différence entre le mur et le milieu de la salle entre deux configurations est d'à peu près 40 dB entre un système cardio et un système sur le mur.

Conclusion

Ce qu'il faut c'est faire du multipoint et ne pas se contenter d'une seule mesure car sinon on fait des erreurs monumentales. Soit on mesure sur plusieurs points ce qui prend du temps, soit on fait du multi-micros. Et quand on a besoin de caractériser, on a des sources de forte puissance qui nous permette d'aller maîtriser la directivité, ce qui est essentiel quand on fait de la sonorisation parce que pour vous donner un ordre de grandeur, il nous faut 124 dB à 50 Hz pour être heureux. Un système de sono qui correspond aux exigences d'un sonorisateur c'est 120/124 dB à la console.

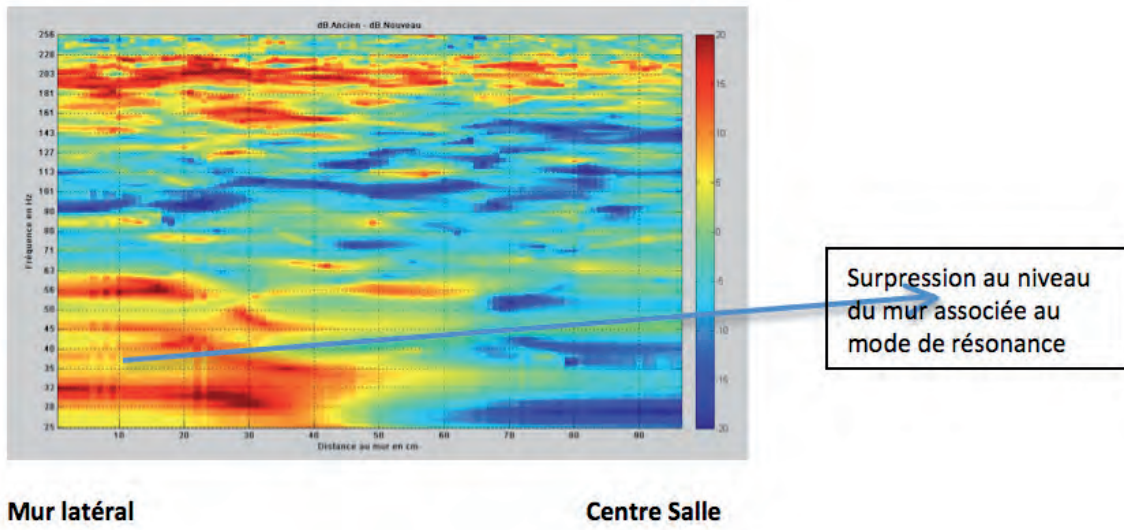


Fig. 6 : Comparaison entre deux subwoofers au sol et un sub central cardioïde à la « Cigale »

Yves Chapat, expert : Que pensez vous de la réglementation actuelle, des fameux 3 dB entre 125 et 4 000 Hz ? Comment fait-on pour régler ce problème ?

La réglementation ne prend pas en compte les fréquences au dessous de 100 Hz et pourtant c'est bien dans ces fréquences qu'on émet 90% de l'énergie. Tant qu'on ne tiendra pas compte du 63 Hz voire même du 31 Hz là où se trouvent nos maximum énergétiques en termes de sonorisation, on aura des problèmes. Il faut savoir qu'entre 1998 et aujourd'hui on a gagné 20 dB sur les systèmes à 40 Hz soit 100 fois plus de problème.

M. Seigneuret, AabV : Si je comprends bien, aujourd'hui on est incapable de supprimer un bruit de voisinage dans un appartement quand une discothèque est en dessous ?

Soyons clair quand la discothèque émet du 30 Hz, il n'y a pas grand chose susceptible de l'arrêter. Il y a vraiment que la boîte dans la boîte qui soit vraiment capable de gérer ça. Cela dit, ce sont des fréquences qu'on arrive à maîtriser d'autant mieux que la discothèque est grande. Il faut savoir qu'aujourd'hui un cardio à 50 Hz nécessite 1,72 m entre les haut-parleurs ce qui veut dire que le local doit avoir une certaine dimension pour que ça puisse fonctionner. Donc si c'est un petit espace avec des modes dans tous les sens et qu'on n'a pas la place pour implanter le matériel nécessaire ne serait-ce qu'à cause des sources image qui vont perturber l'effet cardioïde, on peut dire que oui, une discothèque qui va générer du 30 Hz et qui n'est pas une boîte dans la boîte va devenir un vrai problème pour les voisins du dessus...