



UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE



Encoffrement acoustique

GMC 721

Emel KARAKAYA

Thomas BRONDEL

Dhia KERKENI

Sommaire

Table des matières

Sommaire	2
Introduction.....	3
Choix du concept.....	4
La conception de l'encoffrement	6
Estimation de la masse.....	6
Fabrication.....	6
Résultats théoriques.....	8
Résultats/Discussion.....	10
Principe de mesure.....	10
Moyenne du niveau sonore sur les cinq micros.....	11
Micro 1	12
Micro 2	13
Micro 3	14
Micro 5	14
Micro 4	15
Evaluation des performances.....	16
Comparaison avec les résultats théoriques	17
En termes de niveau sonore.....	17
En terme de perte par insertion.....	18
Conclusion	19

Introduction

Réduire le bruit est un problème complexe et présent dans de nombreuses applications. C'est un problème que l'on rencontre au quotidien comme dans nos bâtiments, véhicules, installations...

En effet, pour obtenir un certain confort acoustique, on veut s'isoler des bruits extérieurs (habitacle de voiture, maison...) ou isoler un bruit à l'intérieur d'une enceinte (moteur, réacteur...). Mais on doit aussi respecter d'autres paramètres de fabrications que le paramètre purement acoustique, on peut citer notamment la masse ou le coût.

Le projet d'encoffrement acoustique de ce cours va nous permettre de mettre la théorie en relation avec un cas concret, mais aussi de se confronter à ces problèmes de conception acoustique où l'on doit trouver un compromis entre de nombreux paramètres.

Ce projet aura donc pour but de construire un encoffrement acoustique autour d'un haut-parleur afin d'atteindre une perte par insertion d'au moins 15dB, pour environ 100 \$ et qui soit le plus léger possible.

Choix du concept

Etant donné que le but est d'avoir une perte par insertion d'au moins 15 dB en ayant la masse la plus faible possible nous avons pensé à construire un encoffrement à simple paroi. En effet cela divise par 2 le nombre de composants et limite l'utilisation de vis, joint...



Pour la paroi, on choisit d'utiliser du MDF, puisque c'est un matériau qui correspond à nos attentes en termes de masse volumique (environ 700 kg/m³) et qu'il présente en plus un bon coefficient d'absorption acoustique comparativement à du contreplaqué ou autre. Les épaisseurs étant standard (1/2, 5/8, 3/4 po...), on limitera nos possibilités de choix à celles-ci.

On sait qu'en basses fréquences, nos pertes par insertion seront plus faibles qu'en hautes fréquences (la transparence acoustique décroît quand la fréquence augmente). Notre but ne sera donc pas d'avoir une perte par insertion de 15 dB dès 100 Hz, mais d'atteindre ceci aux alentours des 1000 Hz pour ensuite avoir une perte plus importante de 1000 à 10000 Hz. De cette façon, sur l'ensemble de la plage de fréquence, on devrait avoir plus de 15 dB.

Pour estimer la perte par insertion, on va utiliser l'indice d'affaiblissement en champ diffus. On prend l'hypothèse du champ diffus car l'onde sonore générée par le haut-parleur sera réfléchiée sur les parois, si bien qu'après un certain temps des ondes de toutes incidences frapperont les parois.

Après quelques comparaisons, l'épaisseur de 5/8 po de MDF nous apparaît comme étant le meilleur compromis entre IL, masse et fréquence critique. On développera donc les calculs pour cette épaisseur.

On prendra les caractéristiques suivantes :

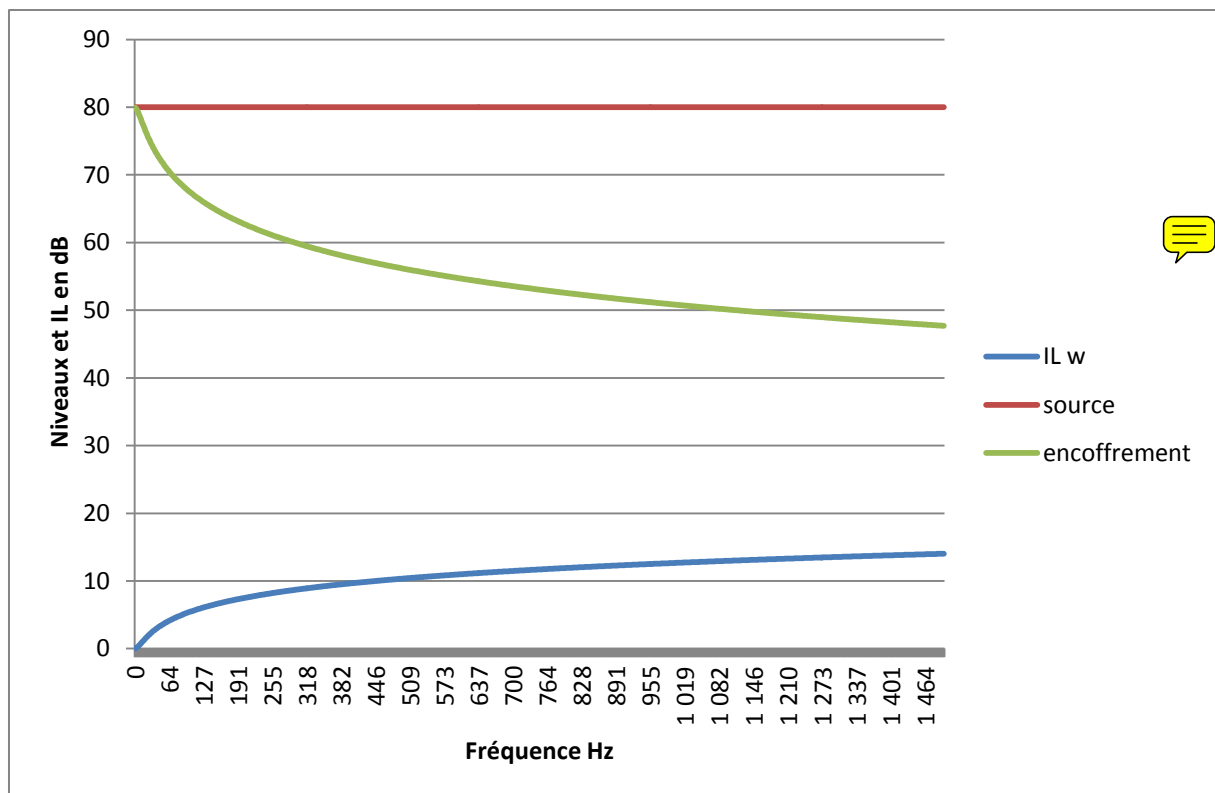
- Masse volumique MDF : $\rho_{MDF} = 700 \text{ kg/m}^3$
- Epaisseur : $h = 0,015875 \text{ m}$
- Vitesse du son : $c_0 = 340 \text{ m/s}$
- Masse volumique de l'air : $\rho_0 = 1,2 \text{ kg/m}^3$
- Module de flexion : $E = 3850 \text{ MPa}$
- Coefficient de poisson : $\nu = 0,3$

On calcule la fréquence critique de notre MDF :

$$\omega_{crit} = c_0^2 \sqrt{\frac{\mu}{D}} = 10260 \text{ rad/s}$$

$$f_{crit} = \frac{\omega_{crit}}{2\pi} = 1633 \text{ Hz}$$

On pourra donc approximer la transparence par la loi de masse jusqu'à cette fréquence. Si on considère la source comme émettant 80 dB sur toute la plage de fréquence, on peut approximer notre IL :



On voit que l'on arrive environ à un IL de 15 dB pour 1500 Hz donc cette épaisseur de matériau nous convient bien.

Pour éviter au maximum les réflexions à l'intérieur de la boîte et donc l'augmentation du niveau sonore à l'intérieur de celle-ci, on recouvrira les parois de laine de roche (Roxul Safe'n'sound). Pour une épaisseur de 50 mm de laine de roche haute densité, on a les coefficients d'absorption suivant :

Fréq Hz	100	125	160	200	250	320	400	500	640	800
Coef	0.22	0.27	0.35	0.48	0.62	0.72	0.78	0.88	0.90	0.92
Fréq Hz	1000	1280	1600	2000	2500	3200	4000	5000		
Coef	0.93	0.88	0.85	0.81	0.78	0.77	0.76	0.75		

On voit que les coefficients d'absorptions sont très grands dans la zone de la fréquence critique du MDF, de même que pour les fréquences plus élevées. Ce qui nous convient puisque l'amortissement interviendra dans ces zones-là.

En plus d'apporter de l'amortissement cette laine va aussi apporter de la masse et donc augmenter notre IL sur toute la plage de fréquence.

L'épaisseur la plus petite disponible en magasin étant de 76 mm, on prendra celle-ci.

La conception de l'encoffrement

Après avoir décidé des matériaux que l'on allait utiliser et des épaisseurs de ceux-ci, on a pu faire des plans de notre encoffrement.

Voici une vue générale de la boîte modélisée sur Solidworks:



Estimation de la masse

On prend une masse volumique de laine de 40 kg/m³.

On calcule le volume de MDF et celui de la laine que l'on multiplie par leurs masses volumiques respectives.

On trouve :

$$m = 11,55 \text{ kg}$$

Fabrication

Pour aller acheter ces matériaux chez un fournisseur comme Rona, on a détaillé les dimensions de chaque plaque de MDF et des panneaux de laine d'acier.

On a acheté une grande plaque de MDF dans laquelle nous avons fait découper nos plaques ainsi qu'un rouleau de laine d'acier.

Pour construire l'encoffrement, nous avons d'abord vissé des équerres en acier sur les plaques qui forment les côtés puis nous avons réuni ces différentes plaques avec celle du dessous. De la colle à bois est appliquée sur les bords des plaques, à la fois pour maintenir/positionner pendant que l'on visse mais aussi et surtout pour boucher les interstices qui apparaissent lorsque l'on réunit deux plaques entre elles.

Une fois les quatre côtés montés sur la plaque de dessous, on utilise un gel (type silicone) pour boucher les jonctions entre chaque plaque.

On coupe ensuite la laine dans nos rouleaux pour en faire des panneaux aux bonnes dimensions que l'on glisse dans la boîte. On ajoute éventuellement des bouts de laine là où il semble en manquer.

Ensuite on colle le dernier panneau de laine sur la plaque du dessus. Cette plaque sera amovible pour pouvoir installer le haut-parleur à l'intérieur de l'encoffrement.

On utilise le gel pour faire une sorte de joint sur le dessus des plaques de côtés (là où la plaque du dessus viendra s'appuyer).

Enfin on installe les systèmes de fixations (4) qui serviront à maintenir la plaque du dessus sur la boîte et on lime un petit trou en haut d'une des plaques de côté pour laisser passer les câbles du haut-parleur.

Finalement voici à quoi ressemble la boîte une fois construite :



Résultats théoriques

On s'attendait à avoir très peu d'absorption du son en basses fréquences (100-500 Hz) car cela correspond à de très grandes longueurs d'onde qui sont difficiles à absorber. Puis, une absorption augmentant avec la fréquence. On s'attendait aussi à avoir un ou plusieurs modes de vibration de la boîte qui se traduirait par une absorption moins bonne (creux dans la courbe) à certaines fréquences.

Pour les calculs théoriques, on cherchera à déterminer la pression que l'on devrait obtenir avec l'enclassement ainsi que l'indice $IL(w)$. Pour cela, on utilisera la pression acoustique générée par la source réelle, dont les niveaux sont différents en fonction de la fréquence.

On garde la même hypothèse que pour les calculs de pré-dimensionnement (on considère un champ diffus à l'intérieur de la boîte) et on considère seulement la paroi de MDF dans les calculs, la laine n'intervenant que dans l'amortissement.

Pour calculer la transparence, on utilise la loi de masse en champ diffus :

$$\tau = \frac{1}{\omega^2 \left(\frac{\mu}{2\rho_0 c_0} \right)^2} \log \left(1 + \omega^2 \left(\frac{\mu}{2\rho_0 c_0} \right)^2 \right)$$

Avec : μ la masse surfacique ; ρ_0 la masse volumique de l'air et c_0 la célérité du son dans l'air.

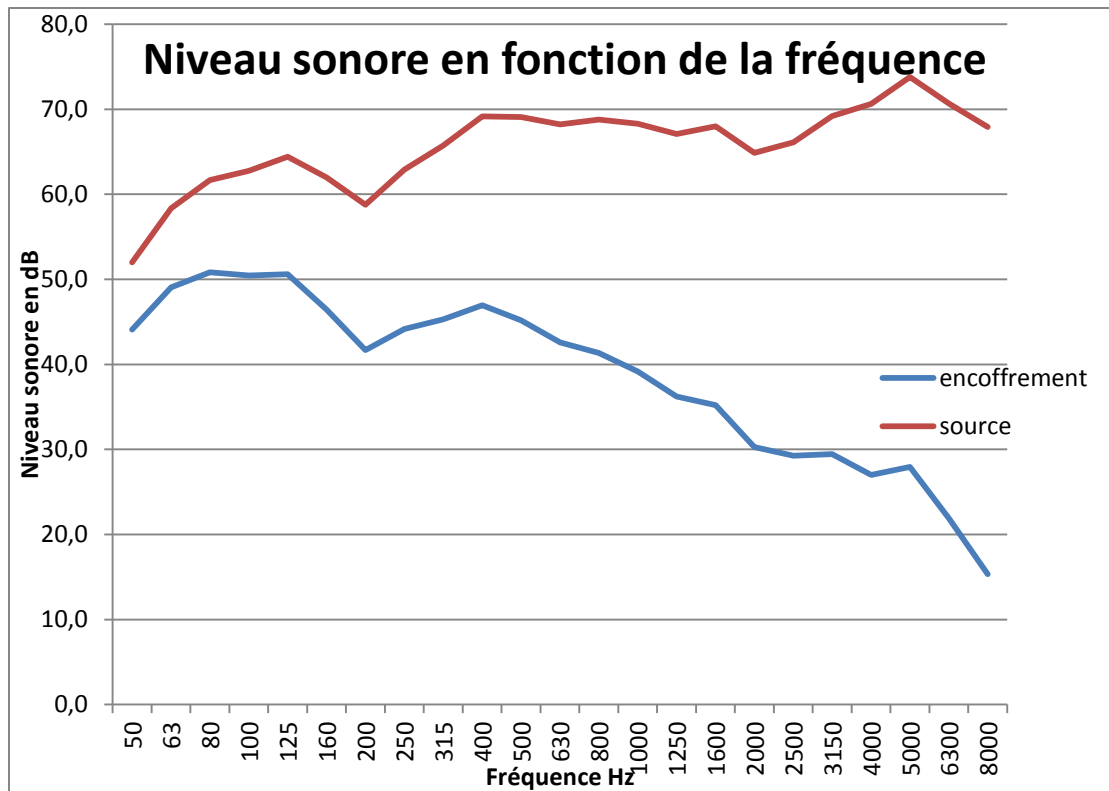
A partir de là, on calcule l'indice d'affaiblissement :

$$R = 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \right)$$

Puisque ces calculs ne sont valables que jusqu'à la fréquence critique (qui correspond au pic avant le début du creux dû à la fréquence de coïncidence), on estime pour les plus hautes fréquences l'indice d'affaiblissement en considérant une pente de 9 dB/octave.

On a ainsi les valeurs de R pour toute la plage de fréquence. On en déduit le niveau de pression acoustique théorique que l'on devrait obtenir en soustrayant R à la source. On obtient :

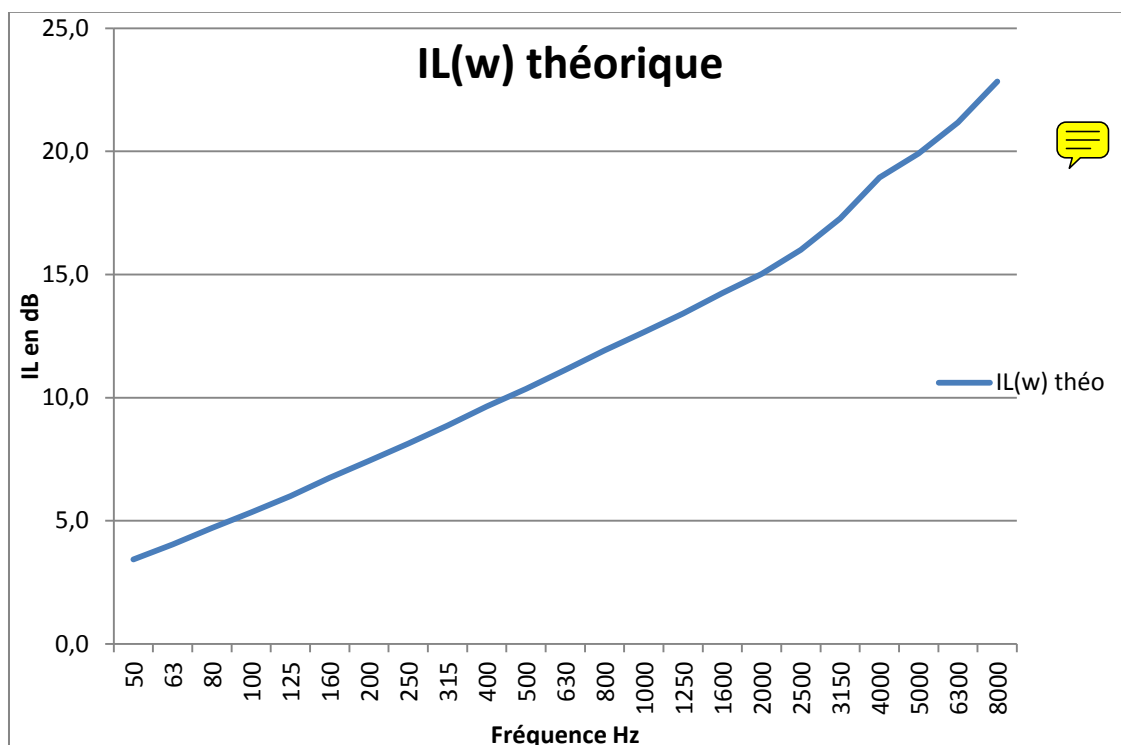




On peut ensuite déterminer $IL(\omega)$ en ramenant les niveaux sonores en pression acoustique en Pascal et en utilisant la formule :

$$IL(\omega) = 10 \log_{10} \frac{p_{sans}^2}{p_{avec}^2}$$

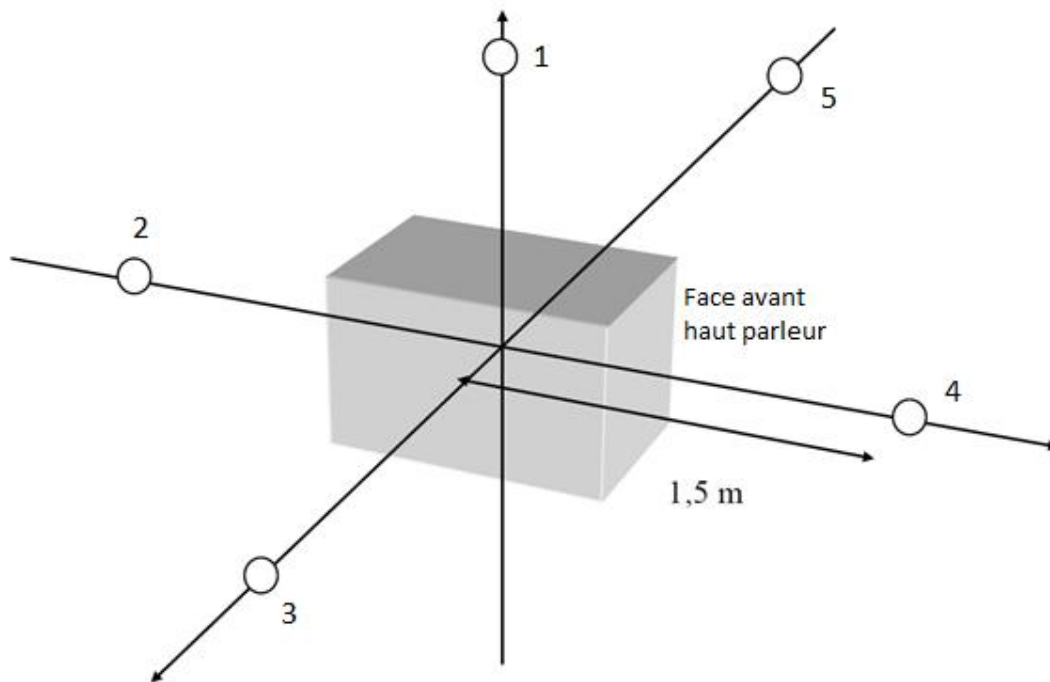
On obtient :



Résultats/Discussion

Principe de mesure

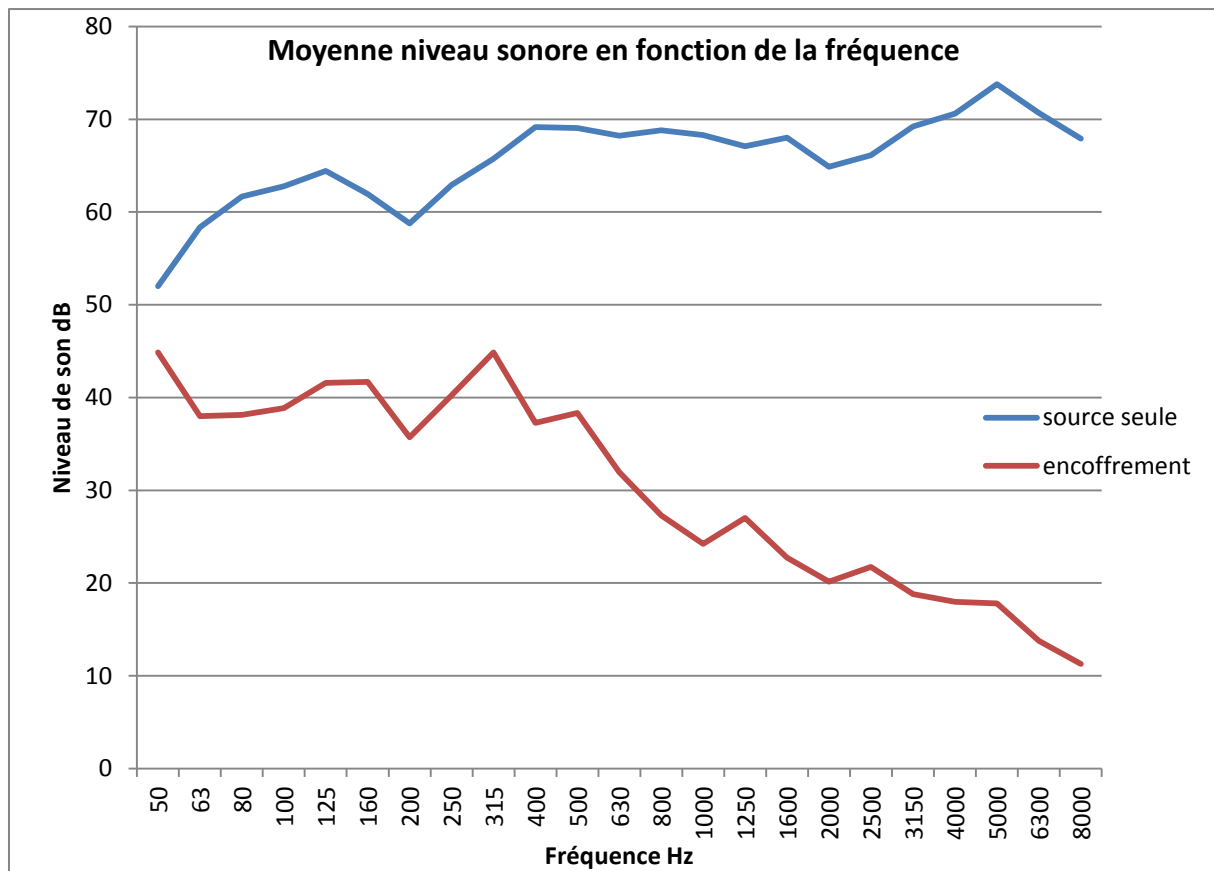
Les encoffrements acoustiques sont testés dans la chambre anéchoïque. On utilise 5 micros répartis autour d'un support selon le schéma suivant :



On analyse d'abord le bruit rayonné par la source seule générant un bruit blanc.

On place ensuite la source dans l'encoffrement et on réitère la mesure, on obtient les résultats suivants (fichier Excel en annexe) :

Moyenne du niveau sonore sur les cinq micros



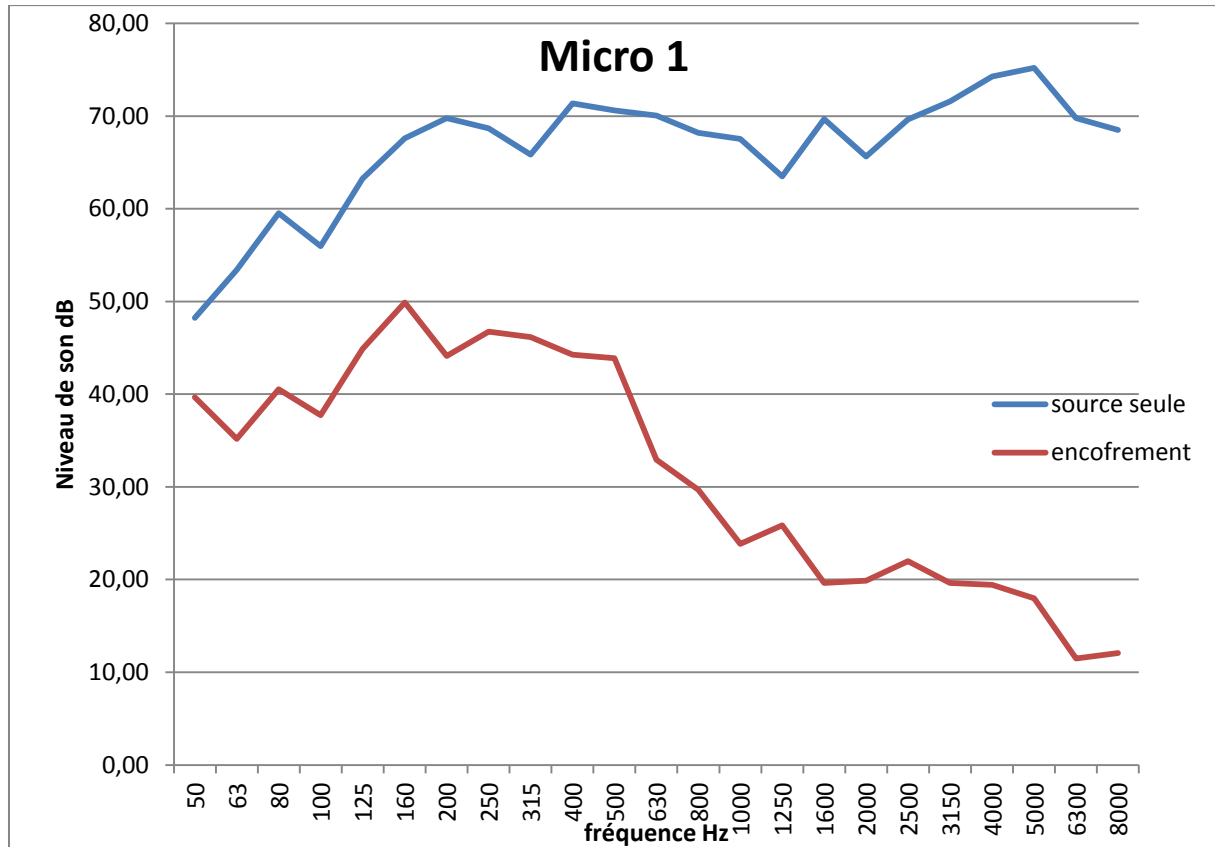
On voit que la réduction du bruit en basse fréquence est assez importante (environ 23 dB pour 125 Hz) contrairement à ce à quoi l'on s'attendait. Ceci peut s'expliquer par le fait que l'on ait utilisé de la laine de roche assez lourde et avec un bon coefficient d'absorption en basses fréquences (0,27 à 125 Hz).

On remarque aussi que, selon la forme de la courbe, le régime « en masse » s'étend jusqu'à environ 600 Hz (pente assez faible) et qu'on entre ensuite dans le régime « en raideur » (pente plus importante). L'amortissement est efficace car il n'y a pas vraiment de chute d'absorption.

Notre courbe d'encoffrement présente plusieurs pics, notamment un assez important à 315 Hz. Ce pic doit correspondre selon nous au premier mode de vibration de la boîte.

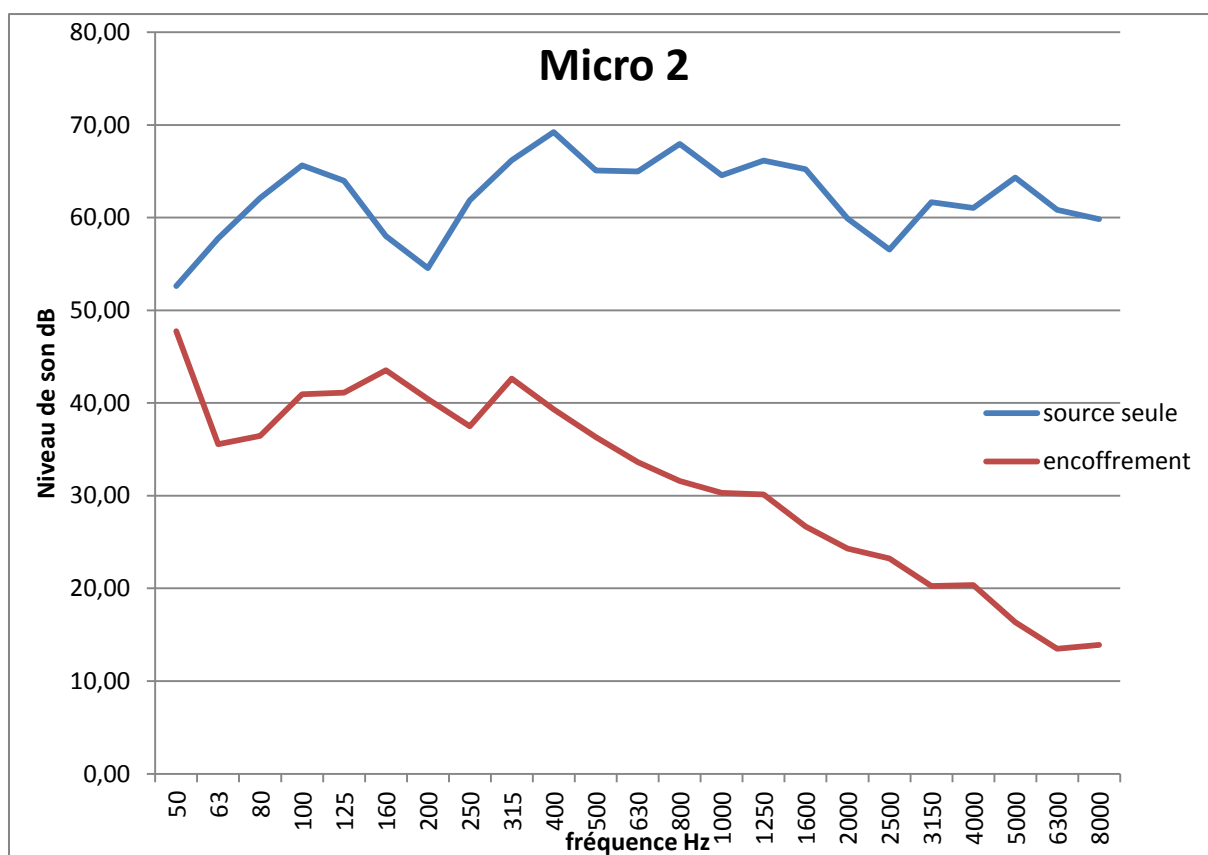
On peut aussi tracer les résultats pour chaque micro afin de voir si le comportement de la boîte est homogène sur tous les bords :

Micro 1



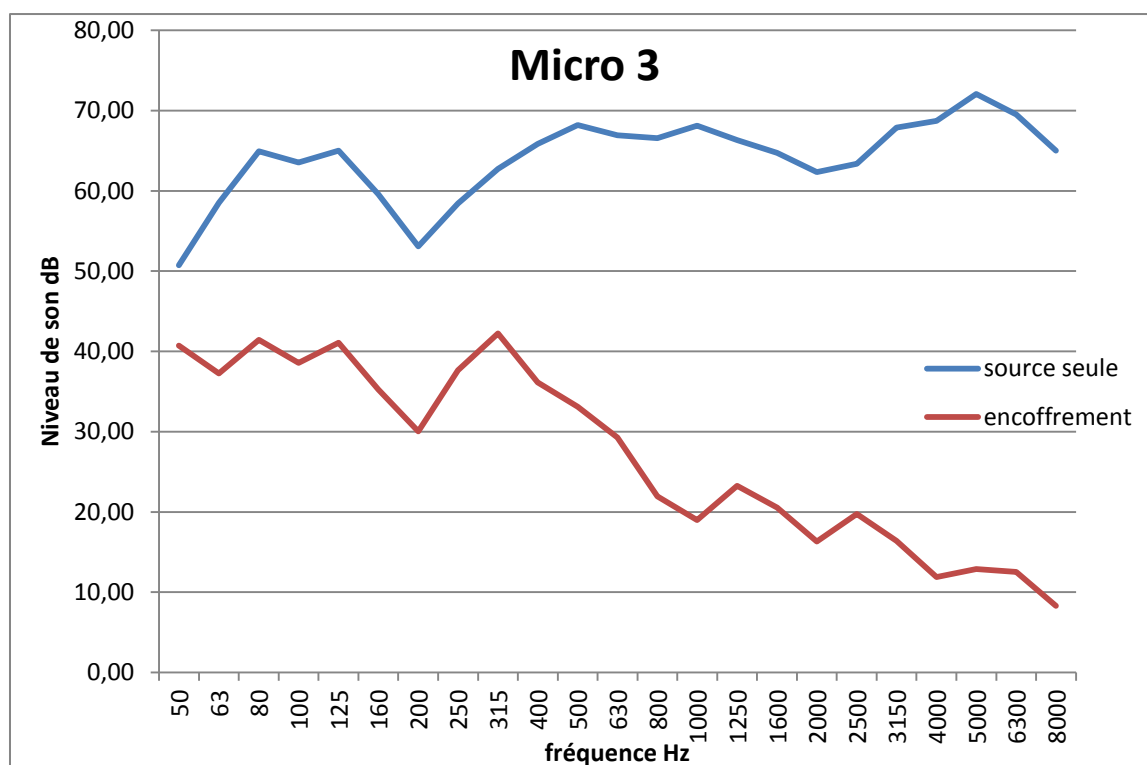
Le micro 1 est le micro situé au-dessus de la boîte. On voit que la réduction est plus faible en basses fréquences que pour les autres micros. Cela est sûrement dû à des fuites, en effet, la plaque du dessus est la plaque amovible il y a donc de possible fuite entre la laine et les parois, mais aussi à la jonction plaque du dessus/boîte.

Micro 2

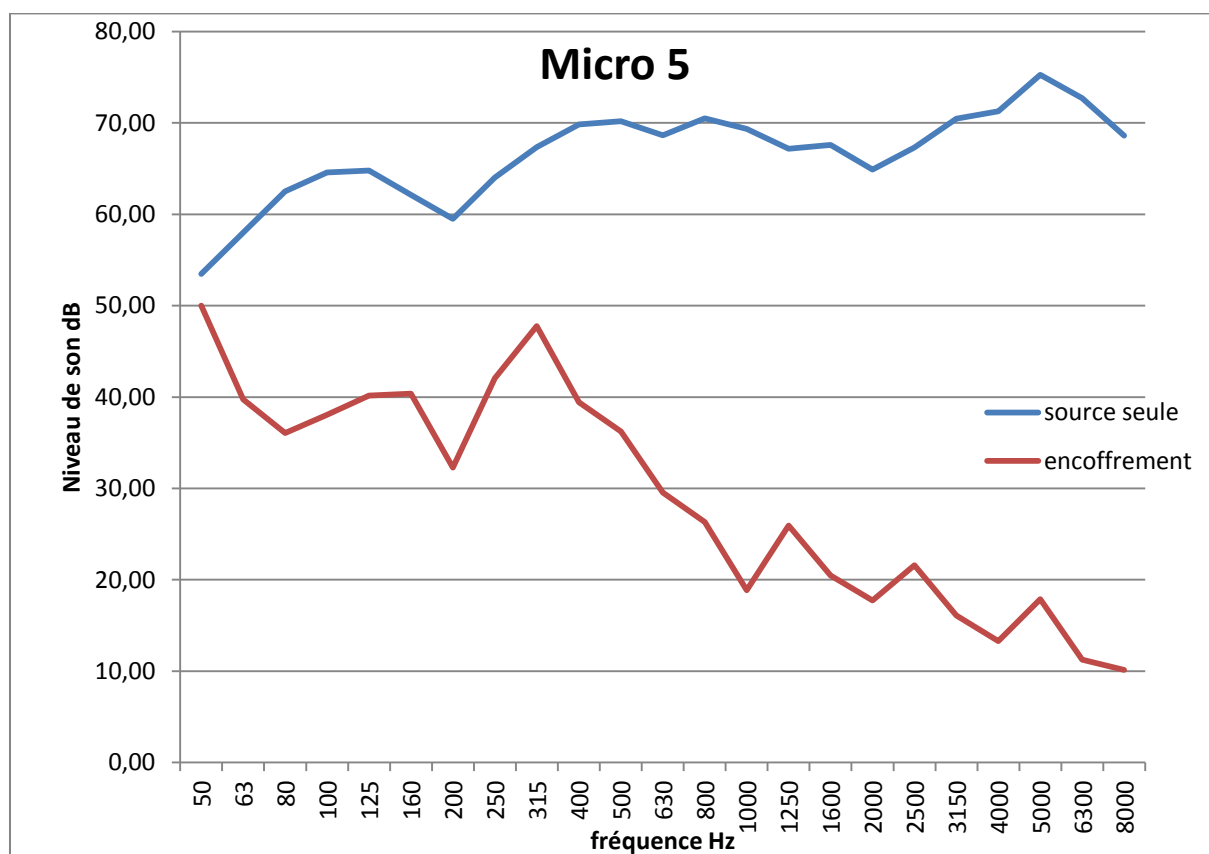


Le micro 2 est le micro à l'arrière du haut-parleur. On voit que la courbe est la plus lisse de toute, ce qui est normal car la plaque arrière est celle qui reçoit le moins d'excitation acoustique, les différents pics sont donc moins marqués.

Micro 3

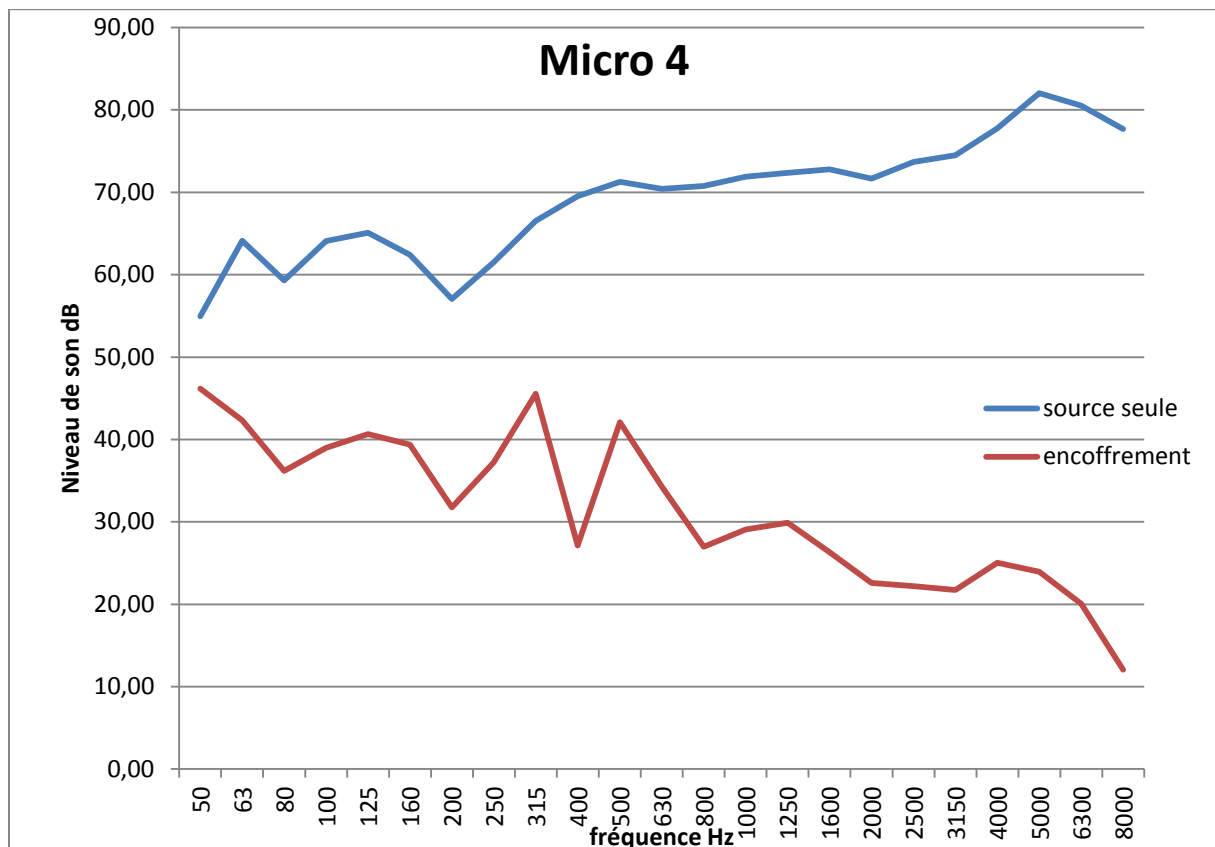


Micro 5



Les micros 3 et 5 sont les deux micros de côtés. On observe sur les deux un comportement très similaire. On a des pics très marqués (315, 1250, 2500 Hz) qui doivent correspondre aux trois premiers modes de vibrations de la boîte.

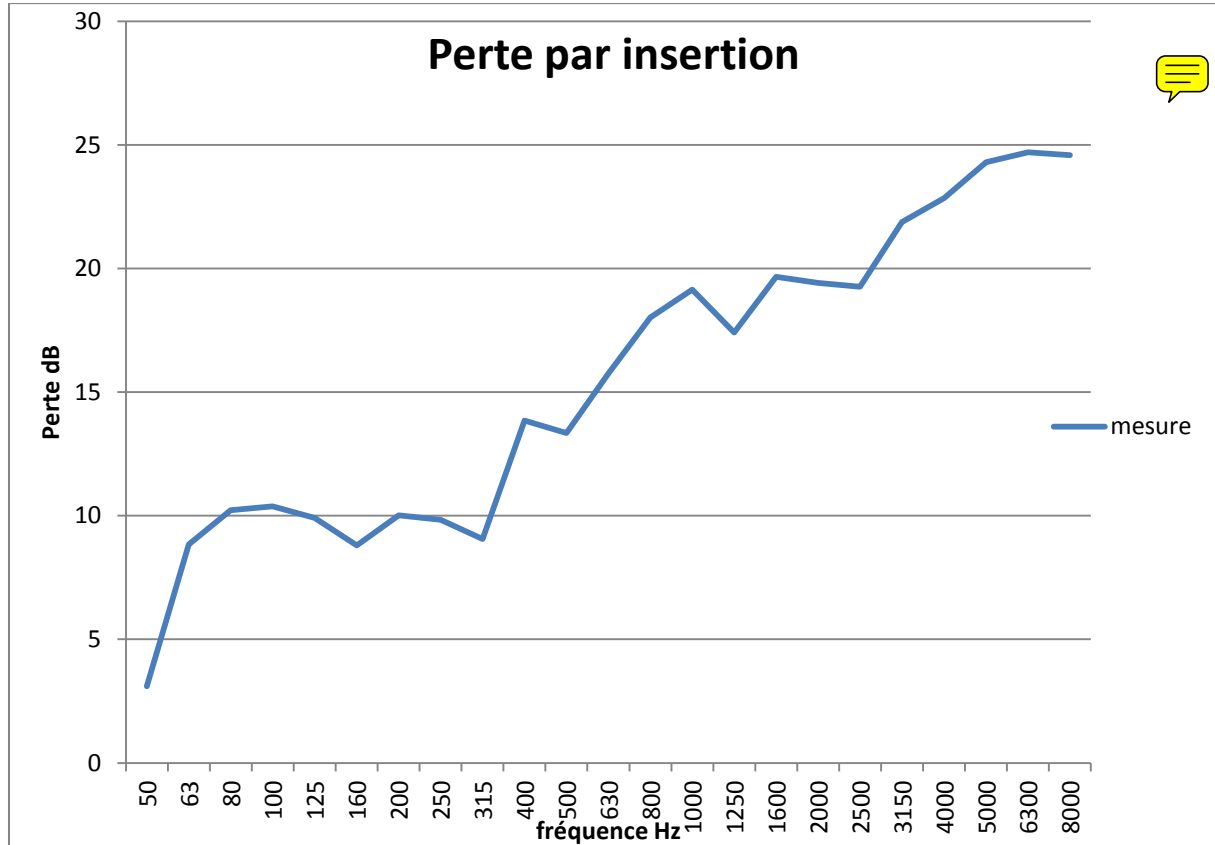
Micro 4



Le micro 4 est le micro situé en face du haut-parleur. Logiquement c'est celui qui mesure les niveaux de pression les plus importants (plus de 80 dB pour la source à 5000 Hz). On voit que l'absorption en hautes fréquences est un peu plus faible que pour les autres (pente moins importante). On observe toujours le pic à 315 Hz mais on a aussi un pic aux alentours des 600 Hz qui doit correspondre au passage masse-raideur. On observe ce pic seulement sur ce micro ce qui est peut-être dû à une non homogénéité de l'amortissement pour cette face.

Evaluation des performances

Enfin, on calcule les résultats qui nous importe pour juger de la performance de la boîte : $IL(\omega)$, IL et IL_M . Les calculs sont faits sur le fichier Excel, on obtient :



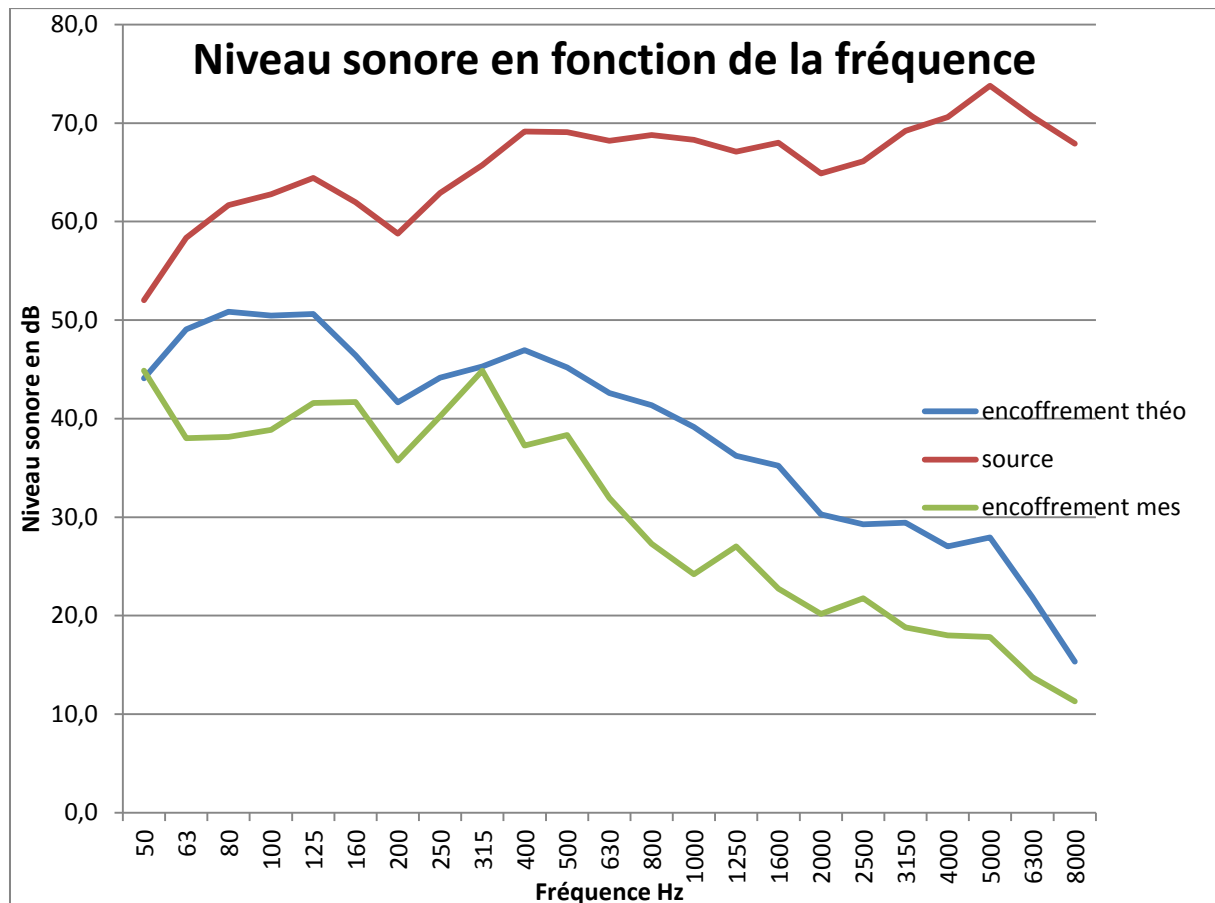
La courbe de perte par insertion augmente progressivement avec la fréquence, même si l'on remarque que les valeurs sont déjà proches de 10 dB pour 80Hz et n'augmentent presque pas jusqu'à 315 Hz.

Le coefficient IL total étant de 17,41 dB en prenant en compte la plage de fréquence 100-3150 Hz. On est donc au-dessus des 15 dB voulus. La masse mesurée étant de 11,5 kg, l'indice IL_M vaut -3,8.

Comparaison avec les résultats théoriques

En termes de niveau sonore

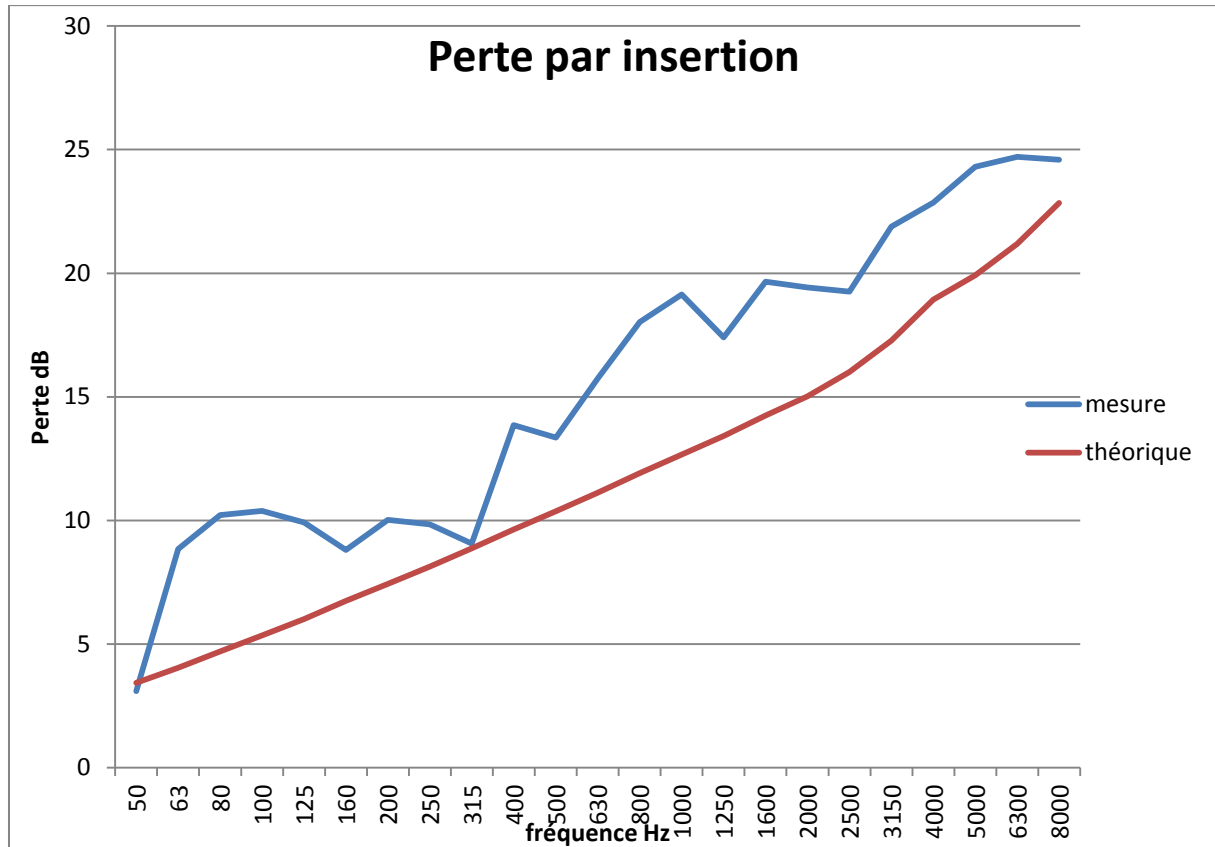
On compare les niveaux sonores :



On voit que les deux courbes sont assez similaires, cependant, en basses fréquences (100 Hz) le niveau obtenu est inférieur de 10 dB au niveau théorique ce qui est sûrement dû à l'apport de la laine en masse et en absorption dans ce domaine. En hautes fréquences, on a aussi sous-estimé l'absorption par le calcul. Cela est sûrement dû à l'amortissement de la laine qui intervient sur cette plage de fréquence et que l'on a pas pris en compte dans les calculs théoriques.

En terme de perte par insertion

Concernant la perte par insertion en fonction de la fréquence, la comparaison donne les résultats suivants :



On voit que l'on a toujours cette différence à 100 Hz puis ensuite la même sous-estimation dont a parlé précédemment en hautes fréquences. La courbe réelle est beaucoup moins linéaire, cela peut être dû au modes de vibration de la boîte qui provoquent des creux à certaines fréquences.

Conclusion

Ce projet nous a permis d'appliquer les notions vues en cours de rayonnement acoustique à un problème concret. On a vu qu'il était assez difficile de faire des calculs théoriques justes car on utilise souvent des modèles parfaits (plaques infinies, pas de fuites...) alors que cela ne représente pas exactement la réalité.

On a vu aussi qu'il était possible d'arriver à des résultats similaires, en termes d'IL, avec des design complètement différents. En effet certains groupes ont choisi de réaliser des encoffrement à simple paroi, d'autres ont utilisé des doubles parois ; plusieurs types de matériaux acoustique ont été utilisé.

On voit donc qu'il existe quand même un nombre de solution important pour s'isoler du son, le choix va dépendre des résultats que l'on attend et des contraintes imposées (masse, coût, encombrement...).