

# Construction d'un absorbeur acoustique large bande

Jean Fourcade <audio@volucres.fr>

22 juin 2022

## Résumé

Cet article décrit la conception et la réalisation d'un panneau absorbant constitué d'un matériau poreux destiné à fonctionner sur un large spectre de fréquences.

La première partie de ce document traite du choix du matériau poreux employé et donne le plan de l'absorbeur. La deuxième partie décrit en détail la réalisation du panneau. La troisième et dernière partie présente des mesures in situ. La variation du temps de réverbération entre une salle vide et la même salle dotée de plusieurs panneaux permet de calculer les coefficients d'absorption Sabine en fonction de la fréquence. Plusieurs scripts Scilab [2] ont été développés spécialement pour ces calculs.

## Introduction

L'absorption des basses fréquences dans les salles de type home-studio ou home-cinéma est toujours une tâche difficile étant données les importantes longueurs d'ondes qui doivent être traitées. La technique la plus adaptée consiste à utiliser une membrane dont la fréquence de résonance est ajustée à la plage de fréquence que l'on désire absorber. Ce procédé ne permet de traiter qu'une bande étroite de fréquence et doit être complété par une face constituée d'un matériau poreux pour agir sur les fréquences élevées.

On trouve dans le commerce de nombreux panneaux absorbent de ce type comme par exemple le panneau Primacoustic FullTrap [3]. Les caractéristiques d'absorption de ce panneau montrent qu'il est efficace jusqu'à 80 Hz (coefficient d'absorption Sabine supérieur à 1). A 50 Hz, le coefficient d'absorption reste élevé et vaut encore 0.5. L'épaisseur de ce panneau est de seulement 254 mm.

On trouve également sur la toile, un grand nombre de descriptions de panneaux de ce genre à réaliser soi-même (DIY). Malheureusement on trouve rarement les caractéristiques acoustiques de ces panneaux avec la valeur des coefficients d'absorption. La mise en œuvre de la membrane résonante (fixation sur le cadre) et le choix du matériau la constituant étant délicats, le succès n'est pas garanti.

Les matériaux poreux peuvent également absorber les basses fréquences à condition que leur épaisseur

soit suffisante et la laine utilisée adaptée. L'idée de cet article est donc de concevoir un panneau absorbant constitué uniquement d'un matériau poreux et fonctionnant sur une bande étendue de fréquence. Ces panneaux pourront constituer le seul élément de traitement d'un home studio.

## 1 Conception de l'absorbeur

Pour absorber les basses fréquences avec un matériau poreux, il faut une épaisseur conséquente. Pour que l'efficacité soit maximum, la vitesse des particules d'air au point de l'onde où celle-ci est maximale doit se trouver à l'intérieur du matériau poreux. Or, dans le cas d'une onde stationnaire, cette vitesse est maximale au quart de la longueur d'onde. On en déduit que lorsque l'onde est normale au matériau, la fréquence la plus basse absorbée est celle dont la longueur d'onde vaut quatre fois l'épaisseur du matériau.

En pratique on considère que le matériau poreux reste efficace jusqu'aux fréquences dont la longueur d'onde vaut huit fois son épaisseur.

Lorsque l'onde fait une incidence  $\alpha$  avec le matériau, le trajet de l'onde dans le matériau est allongée et on en déduit que son épaisseur pour une même efficacité est réduite d'un facteur  $\sin \alpha$ .

Le tableau suivant donne les épaisseurs de matériaux poreux requis pour absorber les fréquences de 100 Hz, 50 Hz et 30 Hz, sous incidence normale et de 60 degrés.

Fréquence	Incidence normale	Incidence 60 deg
100 Hz	86 cm - 43 cm	43 cm - 22 cm
50 Hz	172 cm - 86 cm	86 cm - 43 cm
30 Hz	286 cm - 143 cm	143 cm - 72 cm

Ce simple calcul permet de s'orienter vers un panneau de 40 cm d'épaisseur. Ainsi en plaçant de tels panneaux de chaque côté de la salle, murs où les ondes sonores pénètrent le matériau poreux avec une faible incidence, l'absorption sera efficace jusqu'à 50 Hz. En plaçant deux panneaux l'un contre l'autre sur le mur qui fait face aux enceintes, l'épaisseur de 80 cm ainsi obtenue permettra d'absorber les ondes normales jusqu'à la même fréquence.

Définissons  $f_c$  la fréquence de coupure du matériau poreux qui est la fréquence la plus basse telle que le coefficient d'absorption vaille 0.9.

L'étude [4] montre que dans le cas d'un matériau poreux de 40 cm d'épaisseur, la simulation de l'absorption avec le modèle Delanay - Bazley [5] conduit à une fréquence  $f_c$  de 110 hz. Cette valeur est cohérente avec le précédent calcul. Cette fréquence est obtenue avec un matériau poreux dont le coefficient de résistivité au passage de l'air,  $\sigma_m$  vaut  $2180 Pa.s/m^2$ . La plage de choix du coefficient  $\sigma_m$  pour conserver une même valeur de  $f_c$  est réduite. Cette plage va de  $1500 Pa.s/m^2$  à  $3600 Pa.s/m^2$ .

La figure 1 toujours tirée de l'étude [4] trace le coefficient d'absorption pour trois matériaux d'épaisseur 400 mm que l'on peut aisément trouver dans tous les magasins de bricolage qui sont : la laine de coton Métisse m+ [6], la laine de verre Isover IBR [7] et la laine de roche Rockwool Rockfaçade [8] :

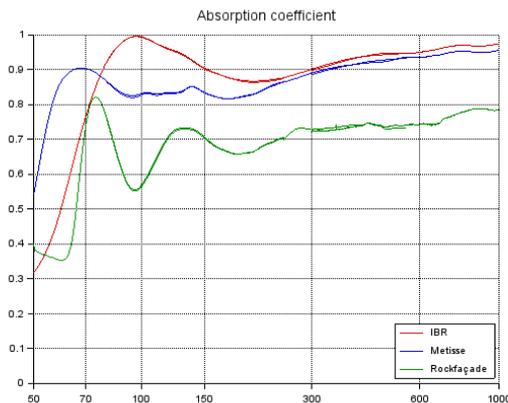


FIGURE 1 – Coefficients d'absorption de trois matériaux poreux d'épaisseur 400 mm

Cette mesure a été faite dans un tube de Kundt. On constate que la laine de coton est le matériau qui procure la fréquence de coupure la plus basse, mais avec un léger trou dans la bande 70 hz - 200 hz où le coefficient d'absorption tombe à 0.8. La fréquence de coupure de la laine de verre IBR est un peu plus élevée mais l'absorption dans la bande autour de 100 hz est plus importante. Nous choisirons d'utiliser cette laine de verre IBR, d'autant plus que son prix est nettement inférieur à celui de la laine de coton Métisse. La laine de verre IBR est classée AFR4, ce qui signifie qu'elle a un coefficient de résistivité au passage de l'air de  $4000 Pa.s/m^2$ .

Pour que l'efficacité du panneau soit maximum, le cadre qui contient le matériau poreux est ouvert au maximum, permettant une absorption par les côtés et le dessus du panneau. Celui-ci est constitué de simples lattes de bois assemblées et rigidifiées par des croisillons en métal. La finition consiste àagrafer un tissu autour du panneau.

## 2 Réalisation de l'absorbeur

### 2.1 Plan de l'absorbeur

Le plan de l'absorbeur est donné en fin du document. Le cadre est constitué de lattes en bois MDF de 60 mm de large et de 15 mm d'épaisseur. Des croisillons constitués de 3 fers plats de 16 mm de large par 3 mm d'épaisseur, placés de chaque côté, rigidifient le cadre. Deux types de vis sont utilisées : des vis de diamètre 4 mm et de longueurs 30 mm et 50 mm. Les dimensions des plaques de bois de MDF dans lesquelles sont débitées les lattes étant de 2445 mm de long, cette valeur est choisie comme hauteur du panneau. Pour compresser légèrement la laine de verre, l'épaisseur du panneau est fixée à 390 mm. Les panneaux font donc 2445 mm de haut, 120 mm de large (largeur des rouleaux de la laine de verre) et 390 mm d'épaisseur. Le poids d'un panneau est d'environ 30 kg.

Le plan en annexe fournit les différentes quantités de matériaux (bois, laine de verre, tissus, fer plat, vis) nécessaire pour constituer un panneau. : il faut  $1.15 m^2$  de bois,  $3 m^2$  de laine de verre, 9.5 ml de fer plat et 3.65 ml de tissus de 2.80 m de large.

### 2.2 Cadre en bois

Il faut dans un premier temps débiter les lattes de 60 mm de large dans les plaques de MDF. On utilise pour cela une scie circulaire en ayant auparavant construit un gabarit qui permet de couper la lame à la bonne largeur (voir la figure 2).



FIGURE 2 – Découpe des lattes de MDF

On découpe alors les lattes de bois aux bonnes longueurs. Pour un panneau, il faut les éléments suivants :

Elément	Longueur (mm)	Nombre
A	2445	4
B	1170	4
C	360	6
D	380	6
E	260	4

On perce ensuite les lattes A, B et E conformément au plan et on fraise chaque trou d'un seul côté

pour qu'il soit ajusté au diamètre de la tête de vis. Il faut ensuite découper et percer les croisillons en fer plat. Les éléments de 1770 mm de long sont coupés en biais aux extrémités pour s'ajuster au coté du cadre. Les croisillons sont percés aux extrémités au diamètre de 4 mm et chaque trou est fraisée. Attention, du fait de la coupure en biais, les éléments de 1770 mm de long sont anti-symétriques. Le fraisage doit donc être réalisé du bon coté.

Les trois barres sont également percées en leur centre au diamètre de 6 mm destiné à recevoir un boulon de maintien. On fraisera le trou central de l'élément de 1170 mm pour recevoir la tête de vis du boulon de 6 mm. Les fers plats seront peints avec une peinture anti-rouille.

La figure 3 montre tous les éléments préparés constituant un cadre.



FIGURE 3 – Elements constituant un panneau

On commence par assembler les cotés du cadre. Ceux-ci sont constitués des éléments A, C et D. L'assemblage se fait au sol et on ne visse dans un premier temps qu'une vis par coté des éléments C et D. Les vis de diamètre 4 mm et de 30 mm de long sont vissées sans faire d'avant trou. On redresse alors le coté assemblé que l'on plaque contre un mur. Après avoir vérifié au niveau que chaque coté est bien vertical on fini de visser les éléments D et C.

On assemble ensuite les cotés en les reliant par les éléments B. Cet élément est placé de telle manière que

le fraisage de la tête de vis soit du bon coté (face extérieure du panneau). On utilise pour cela les vis de 50 mm de long que l'on visse après avoir au préalable réalisé un avant trou avec une mèche de 2 mm. On commence par visser un élément B sur un coté (voir photo 4). Puis on visse le deuxième coté du cadre sur ce même élément B. On visse alors un deuxième élément B sur la même face du panneau.



FIGURE 4 – Assemblage des cotés entre eux

Il faut à présent retourner le panneau pour placer les deux éléments B sur la face opposée.

Cette opération est délicate car un petit effort de flexion sur les éléments B suffisent à casser le MDF au niveau des vis de liaison. Une fois les 4 éléments B en place, on termine avec les éléments C et E. La photo suivante montre la pose de l'élément E.



FIGURE 5 – Element E

Il faut ensuite placer les croisillons. Ceux-ci sont fixés avec les vis de 30 mm de long et on réalise un avant trou avant le vissage de la vis. L'élément en fer plat qui relie les centres des cotés est placé le panneau

posé à plat sur le sol. Les deux fers plats de 1770 mm de long sont assemblés le panneau vertical. Pour visser ces éléments on place deux règles de maçons de chaque coté du cadre en bois que l'on maintien avec des presses.

Les fers plats sont alors visés en s'assurant, avec un niveau, que les règles de maçons sont bien verticales.

Les trois barres des croisillons sont assemblées avec une vis de 6mm et un écrou frein au point où elles se croisent (voir photo 6).



FIGURE 6 – Assemblage croisillons

On procède ensuite au placement de la laine de verre. Le panneaux faisant 2445 mm de long, il faut plus d'un rouleau de laine par panneau. La laine de verre est coupée avec un cutter. Pour compresser légèrement cette dernière, le dernier élément sera coupé à la cote plus 3 cm.

Une fois la laine de verre posée on place le deuxième croisillons suivant la même méthode que le premier.

### 2.3 Pose du tissu

Le tissu utilisé est du Burlington de grande longueur disponible en plusieurs couleurs [9]. Sa largeur de 280 cm permet de ne pas avoir à réaliser de coutures.

La périphérie du panneaux fait 318 cm (deux fois 120 plus deux fois 39). On coupera donc un lé de tissus à 323 cm prenant ainsi une marge de 5 cm.

Avant la pose, on repasse au fer chaud le tissu pour supprimer tous les plis. J'ai utilisé comme température du fer celle permettant le jet de vapeur. Le repassage est bien plus rapide et efficace.

On commence par agraffer le tissu sur un des coté du cadre sur toute sa longueur en ayant préalablement placé celui-ci sur la tranche (voir photo 7). Le tissu est placé du coté opposé à la face contenant le pare vapeur de la laine minérale.

On utilise une agrafeuse manuelle avec des agrafes de 6 à 8 mm. Les agrafes sont placées tous les 2 à 3 cm.

Une fois le premier coté agrafé, on tend le tissu et on place une agrafe au milieu du coté opposé (repère 1 sur la photo 8). Puis on place une agrafe aux chaque extrémités (repère 2 sur la photo 8). Pour placer cette agrafe on tend le tissu en tirant en biais suivant un angle de 45 degrés. On fini de placer deux agrafes au quart (repère 3 sur la photo 8). Ces agrafes ne servent qu'à tendre le tissu et seront retirées à la fin. Il ne faut donc pas s'inquiéter qu'une plissure apparaisse en leur emplacement pendant la pose du tissu.



FIGURE 7 – Pose du tissu

On agrafe ensuite le tissu sur le petit coté du cadre de part et d'autre. Une bonne technique consiste à placer une seule agrafe d'un coté en tendant modérément le tissu. Puis on agrafe complètement le tissu du coté opposé en tendant celui-ci plus fermement. On finit ensuite l'agrafage du premier coté.

On procède ainsi face par face jusqu'à avoir agraffer le tissu sur tout le pourtour du cadre. Il ne reste plus qu'à couper au ciseau le tissu qui dépasse et supprimer les agrafes qui ont servies à tendre le tissu. Placer verticalement, il n'y a plus d'agrafe visible, sauf sur une seule ligne du coté situé derrière le panneau.



FIGURE 8 – Assemblage tissus

On terminera par les petits cotés du cadre (constituant le dessus et le dessous, le panneau posé verticalement). Pour cela on découpera une largeur de tissus de 43 cm (5 cm de plus que l'épaisseur du cadre) que l'on fixera avec des agrafes. Ces deux cotés font apparaître des agrafes qui ne sont pas visibles le panneau posé verticalement.

## 2.4 Modèle plafond

Le modèle placé au plafond est un peu différent (voir photo 9).



FIGURE 9 – Modèle du plafond

Il faut en effet que la laine de verre reste en place, le panneau étant placé horizontalement. Pour cela le croisillon faisant face à la laine de verre a été supprimé et remplacé par des lattes de bois. Afin que ces lattes ne se déforment pas sous le poids de la laine de verre, un fer plat de 16 mm est placé sur un côté (vissé et collé) de chaque lattes de 117 cm (3 lattes du milieu).

On peut apercevoir ce fer plat noir sur la latte du fond de la photo 9.

On fixera le panneau au plafond avec des équerres métalliques. On utilisera au minimum 4 équerres voir plus pour garantir la solidité de la fixation.

## 3 Calcul des coefficients d'absorption

### 3.1 Méthode

Nous utiliserons la méthode de la chambre réverbérante pour calculer les coefficients d'absorption des panneaux. Cette méthode consiste à mesurer en champs diffus le temps de réverbération d'une salle, sans et avec le matériau. On déduit alors à partir des temps de réverbération et la formule de Sabine, le coefficient d'absorption du matériaux entreposé dans la salle. C'est la norme NF EN ISO 354 qui définit les conditions de calcul de cette méthode. On trouvera dans [10] une description de cette norme.

Cette méthode n'est valable qu'en chambre réverbérante parce que le champ sonore réverbéré doit être parfaitement diffus. Il y a des conditions strictes sur la taille de la salle, la surface de l'échantillon à mesurer et son emplacement dans la salle.

Nous utiliserons cette méthode bien que nous ne répondons pas aux conditions de la norme. Le temps de réverbération, matériaux en place, étant très faible, nous utiliserons le formalisme de Eyring plutôt que celui de Sabine.

Ce temps de réverbération dans une salle est donné par l'équation :

$$T_r = \frac{55.3V}{C(-S \ln(1 - \alpha) + 4m_a V)} \quad (1)$$

avec  $C$  la vitesse du son,  $V$  le volume de la salle,  $S$  la somme des surfaces des murs de la salle,  $\alpha$  le coefficient d'absorption moyen et  $m_a$  le coefficient d'absorption en puissance dû à l'air.  $m_a$  est exprimé en  $m^{-1}$  et dépend de la température et de l'hygrométrie. Celui-ci est lié au coefficient d'atténuation en  $dB/m$  par la relation :

$$m = \frac{m_a}{10 \log e} = \frac{m_a}{4.34} \quad (2)$$

La prise en compte de ce coefficient permet de faire des mesures avant et après dans des conditions différentes de température et d'hygrométrie. On déduit de la formule d'Eyring les mesures du coefficient d'absorption  $\alpha_1$  en l'absence de panneaux et  $\alpha_2$  en présence de panneaux par les deux relations :

$$\alpha_1 = 1 - \exp\left(-\frac{55.3V}{C_1 S T_{r1}} + \frac{4m_1 V}{S}\right) \quad (3)$$

$$\alpha_2 = 1 - \exp\left(-\frac{55.3V}{C_2 S T_{r2}} + \frac{4m_2 V}{S}\right) \quad (4)$$

$C_1, m_1$  sont les valeurs correspondant aux conditions d'hygrométrie et de température lors de la mesure sans panneau et  $C_2, m_2$  avec les panneaux.

Notons  $S_0$  la surface totale des panneaux et  $\alpha_p$  leur coefficient d'absorption. Nous pouvons écrire :

$$\alpha_2 S = \alpha_1 (S - S_0) + \alpha_p S_0 \quad (5)$$

En notant :

$$A_1 = \alpha_1 S \quad (6)$$

$$A_2 = \alpha_2 S \quad (7)$$

On déduit le coefficient d'absorption du panneau :

$$\alpha_p = \frac{(A_2 - A_1)}{S_0} + \alpha_1 \quad (8)$$

La mesure du temps de réverbération a été réalisée à l'aide d'un dodécaèdre. La méthode est exposée dans [11]. Les 48 mesures sont réalisées suivant une matrice de 3 lignes de 4 points à deux hauteurs différentes soit un total de 24 mesures. Deux jeux de ces mesures avec deux emplacements de la source portent bien le nombre à 48. Les lignes sont parallèles à la largeur de la pièce. Nous allons voir que cela à son importance.

La salle utilisée pour cette expérience fait 8.85 m de long, 4.82 m de large et 2.80 m de haut. Son volume est donc de  $120 \text{ m}^3$ .

Le graphique suivant représente les mesures du temps de réverbération, la salle vide, avec une moyenne réalisée ligne par ligne ce qui conduit donc à 3 courbes pour chaque temps de réverbération.

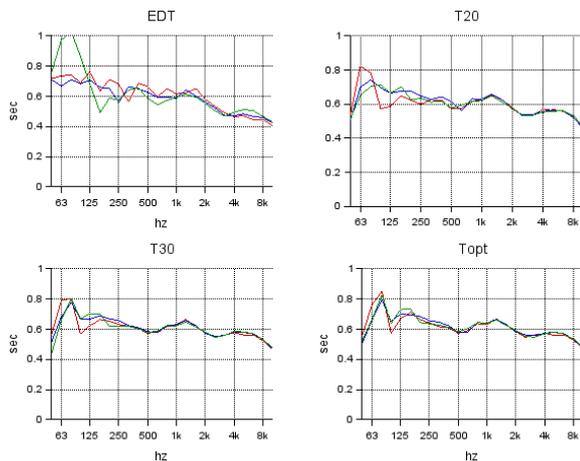


FIGURE 10 – Réverbération salle vide, moyenne par ligne

On constate que les valeurs du T20, T30 et Topt calculés par REW [1] sont peu dispersées à partir de 500 hz et n'affichent pas de valeurs différentes en fonction de la ligne.

Le champs réverbéré est donc assez homogène ce qui permet de calculer un temps de réverbération

unique représenté dans le graphique suivant et qui consiste à moyenner toutes les mesures.

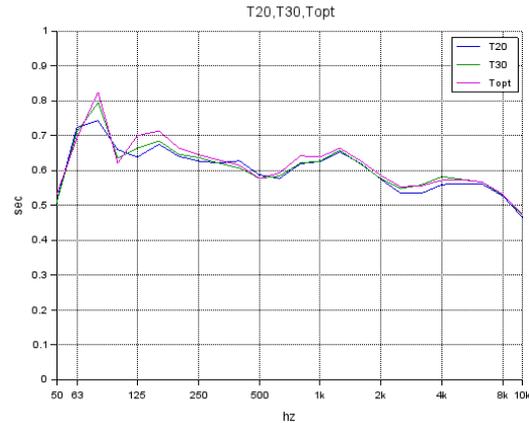


FIGURE 11 – Réverbération salle vide

### 3.2 Mesure avec 8 panneaux

On répète l'opération en plaçant maintenant 8 panneaux dans la salle. La disposition est la suivante :

- 3 panneaux sont posés de chaque coté suivant la longueur de la salle, collés les uns contre les autres en avant des enceintes,
- 2 panneaux au fond de la salle equi-répartis sur la largeur.

La moyenne du temps de réverbération par ligne est donnée par la figure ci-dessus :

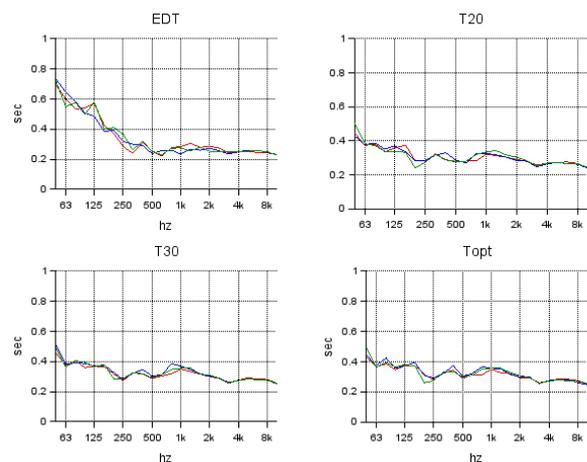


FIGURE 12 – Réverbération salle avec 8 panneaux, moyenne par ligne

Le temps de réverbération est évidemment plus faible et les moyennes par lignes donnent le même résultat. On remarque que le champs diffus est plus homogène en basse fréquence. On en déduit le temps de réverbération en moyennant toutes les mesures :

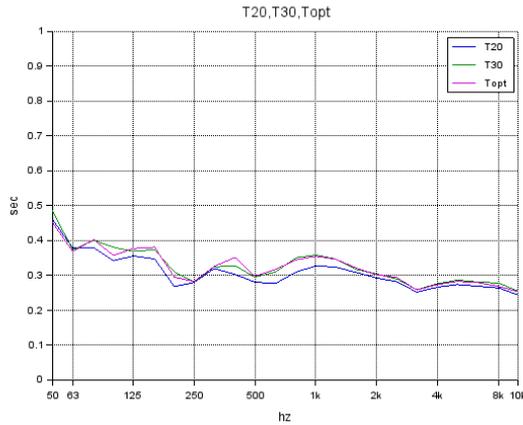


FIGURE 13 – Réverbération salle avec 8 panneaux

On remarque que le temps de réverbération passe d'environ 0.6 s à 50 hz salle vide, à 0.45 s avec 8 panneaux. Ces panneaux agissent bien en basse fréquence. A partir de ces temps de réverbération, on peut calculer le coefficient d'absorption d'un panneau à partir des équations données dans le chapitre 3.1. On obtient les valeurs suivantes :

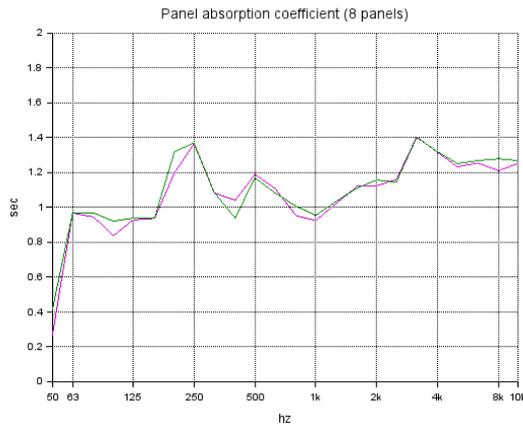


FIGURE 14 – Coefficients d'absorption avec 8 panneaux

Les deux courbes correspondent au calcul effectués avec le T30 et le Topt. On constate que le coefficient d'absorption à 50 hz vaut autour de 0.4 et que dès 63 hz le coefficient d'absorption est supérieur à 1.

### 3.3 Mesure avec 16 panneaux

On peut répéter l'opération en plaçant maintenant 16 panneaux dans la salle et appliquer la même méthode.

Ceux-ci sont placés de la manière suivante :

- 2 panneaux contre le mur situé derrière les enceintes et collées contre les murs latéraux,
- 3 panneaux sur chaque murs latéraux dans la partie avant de la salle (comme dans le cas précédent),
- 2 panneaux suspendu au plafond dans la partie avant de la salle,
- 1/2 panneau placé sur le sol devant chaque enceinte,
- 3 panneaux sur le mur du fond faisant face aux enceintes, equi-répartis sur le mur.

Cette configuration conduit vu la longueur de la salle à une zone située dans la partie arrière de l'auditeur où sur environ 2.5 m les murs latéraux sont nus et donc sans absorbeur.

La figure suivante montre le temps de réverbération moyenné par ligne. La courbe rouge est la ligne 1, la bleu la 2 et la verte la 3.

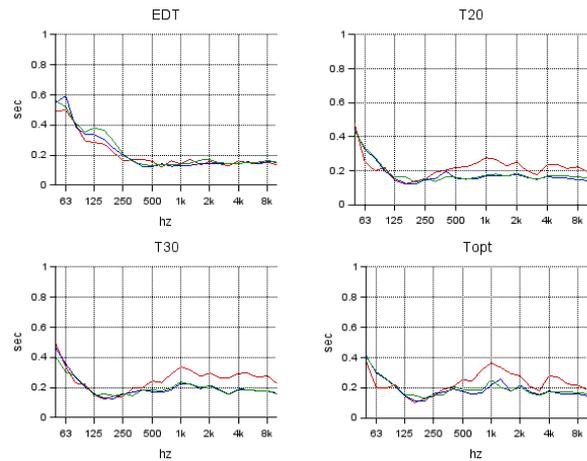


FIGURE 15 – Réverbération salle avec 16 panneaux, moyenne par ligne

On constate cette fois que le temps de réverbération n'est plus identique en fonction des lignes de mesures. La courbe rouge correspond à la ligne placée au niveau des murs nus. Les deux autres courbes sont placées dans la zone fortement absorbée à la fois par les murs, le plafond et le sol.

On pouvait s'attendre à ce résultat que l'on constate en tapant dans les mains au niveau des deux zones. On ressent une réverbération plus importante dans la zone où les murs n'ont pas d'absorbeur.

La figure suivante trace le temps de réverbération T30 et Topt calculés uniquement en moyennant les lignes 2 et 3. C'est avec ces valeurs que sont calculés les coefficients d'absorption des panneaux.

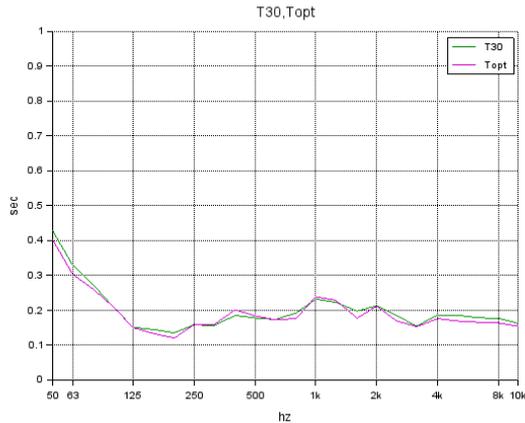


FIGURE 16 – Réverbération salle avec 16 panneaux

Les coefficients d'absorption qui en résultent sont représentés sur le graphique ci-dessous. On remarque un coefficient plus important dans la zone 125 hz - 500 hz que ce que donne le calcul avec 8 panneaux.

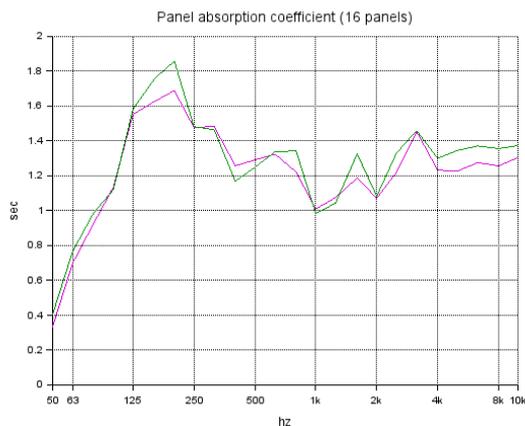


FIGURE 17 – Coefficients d'absorption avec 16 panneaux

On peut alors moyenner les deux courbes obtenues et lisser la moyenne pour obtenir une courbe plus régulière. Ce résultat est présenté sur la figure 18.

Comme indiqué, il ne s'agit là qu'une tendance, car les conditions d'un champ diffus homogène de la salle vide ne sont pas remplies.

On constate que ces panneaux sont efficace dès 63 hz où l'absorption est de 0.8. Cette valeur est suffisante pour absorber un mode de la salle.

On constate sur la figure 16 l'important effet sur le temps de réverbération avec 16 panneaux en comparant ces valeurs à ceux de la salle vide figure 11.

Le temps de réverbération est quasi constant de 125 hz à 10 khz avec une valeur autour de 0.18 s.

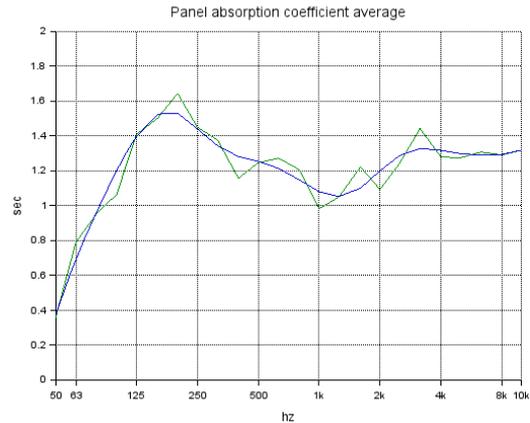


FIGURE 18 – Coefficients d'absorption moyenné

Les valeurs des coefficients d'absorption sont résumés dans le tableau suivant :

50	63	80	100	125	160
0.4	0.7	1	1.2	1.4	1.5
200	250	315	400	500	630
1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2
800	1000	1250	1600	2000	2500
1.1	1.1	1.0	1.1	1.2	1.3
3150	4000	5000	6300	8000	10000
1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3

## Conclusions

Cet article décrit la réalisation d'un absorbeur poreux large bande. Les résultats des mesures des coefficients d'absorption montrent que sa plage de fonctionnement va de 60 hz à 10 khz. Il reste suffisamment efficace dans la bande 50 hz - 60 hz pour amortir de manière significative les modes d'une pièce et baisser le temps de réverbération.

Le coût de fabrication d'un panneau est autour de 100 €. Deux panneaux peuvent être réalisés en un week-end.

On remarquera enfin que ces panneaux pouvant aisément se déplacer dans la salle, il permettront de tester différentes acoustiques comme des cabines de type LEDE [12] ou fortement amorties tendant vers des cabines NE-ROOM [13].

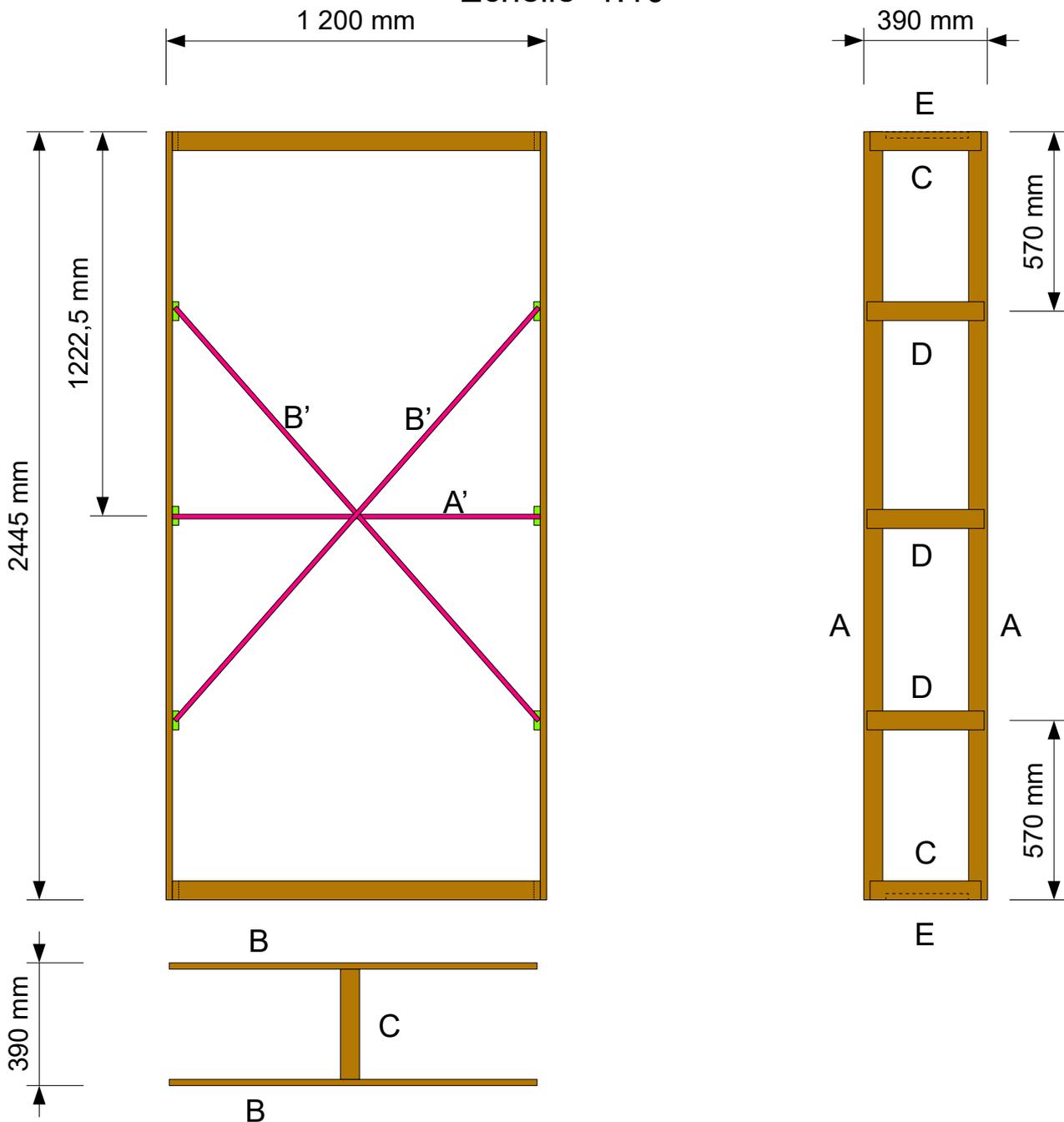
## Références

- [1] Room Acoustics Software REW, <http://www.roomeqwizard.com/>
- [2] Scilab : open source software for numerical computation, <https://www.scilab.org/>
- [3] Primacoustic FullTrap : <https://www.primacoustic.com/fulltrap/>

- [4] Construction d'un tube de Kundt pour la mesure basse fréquence des coefficients d'absorption. J. Fourcade <http://www.volucres.fr/AudioHighEnd/Publications/files/Impedance-tube.pdf>
- [5] M.E. Delanay et N. Bazley : Acoustical properties of fibrous absorbant materials, Applied acoustic April 1970
- [6] Laine de coton Metisse m+ : <http://www.isolantmetisse.com/>
- [7] Laine de verre Isover IBR en 400mm : <https://www.isover.fr/products-star/pour-les-combles-perdus-en-maison-neuve-ibr>
- [8] Laine de roche Rockwool Rockfaçade : [https://cdn01.rockwool.fr/siteassets/rw-f/telechargements/fiches-produit/rockwool\\_fp\\_rockfacade\\_201902.pdf?f=20190228113133](https://cdn01.rockwool.fr/siteassets/rw-f/telechargements/fiches-produit/rockwool_fp_rockfacade_201902.pdf?f=20190228113133)
- [9] Tissus Burlington grande largeur : <https://www.tissus-price.com/tissus-ameublement-en-ligne/55064-burlington-infofroissable-grande-largeur-280cm-n.html>
- [10] Alpha Sabine Frédéric Poirier (Octobre 2014) : <https://>
- [11] Construction d'un dodécaèdre pour la mesure du temps de réverbération : Jean Fourcade : <http://www.volucres.fr/AudioHighEnd/Publications/files/Temps-de-reverberation.pdf>
- [12] The LEDE- Concept for the Control of Acoustic and Psychoacoustic Parameters in Recording Control Rooms : Davis, Don; Davis, Chips <https://secure.aes.org/forum/pubs/journal/?elib=3965>
- [13] Non Environment Room : Recording Studio Design, Philip Newell.

# Absorbeur

Échelle 1:10



## MDF 15 mm

A :	2445mmx60mm	4 fois
B :	1170mmx60mm	4 fois
C :	360mmx60mm	6 fois
D :	380mmx60mm	6 fois
E :	260mmx15mm	4 fois

Total surface MDF : 1,15 m<sup>2</sup>

## Fer plat 16mmx3mm

A' :	1170mm	2 fois
B' :	1770mm	4 fois

Total linéaire : 9,5 m

## Laine Isover IBR 120cmx244,5cmx40cm

Surface 2,934 m<sup>2</sup>  
Volume 1,17 m<sup>3</sup>

## Tissus Burlington grande largeur 280 cm

Longueur 3,65 ml.

