

Construction d'un dodécaèdre pour la mesure du temps de réverbération

Jean Fourcade <audio@volucres.fr>

2 août 2021

Résumé

Cet article décrit la conception et la réalisation d'un dodécaèdre pour la mesure du temps de réverbération. Le logiciel REW (Room EQ Wizard) [1] est utilisé pour les mesures acoustiques. Plusieurs scripts Scilab [2] permettent la moyennation des mesures. Les résultats et analyse sont présentés dans deux salles aux acoustiques différentes.

Introduction

L'analyse acoustique d'une salle d'écoute (auditorium, home-cinéma, home-studio ...) requiert de calculer le temps de réverbération.

Le temps de réverbération peut se mesurer en utilisant les enceintes de la salle et une unique mesure au point d'écoute. Le temps obtenu n'est alors pas indépendant des enceintes et dépend de la position de la mesure. Bien que cette mesure ait un intérêt, ce n'est pas à proprement parlé un temps de réverbération qui, par définition, est une caractéristique de la pièce et non des enceintes et a une valeur constante quel que soit l'emplacement.

La norme ISO 3382 décrit les méthodes de mesurage du temps de réverbération en précisant l'équipement nécessaire, le mode opératoire et le nombre de points de mesures. Cette norme impose d'utiliser une source omnidirectionnelle (généralement une enceinte dodécaèdre dotée de 12 haut-parleurs).

Ce papier décrit la réalisation d'un dodécaèdre à faible coût facilement réalisable par un amateur.

Nous décrirons dans un premier temps la conception du dodécaèdre et les choix des matériaux utilisés.

Nous détaillerons ensuite la méthode d'assemblage du dodécaèdre en exposant quelques astuces qui permettent, avec un peu de minutie, d'arriver à un résultat garanti.

Nous décrirons ensuite le mode opératoire que nous avons utilisé pour le calcul du temps de réverbération.

Les résultats seront présentés dans deux salles, une première traitée acoustiquement avec un faible taux de réverbération et une deuxième non traitée ayant un taux de réverbération plus important.

1 Conception du dodécaèdre

Un dodécaèdre est un polyèdre régulier à 12 faces pentagonales. Un dodécaèdre comporte 30 arêtes et 20 sommets.

Il faut dans un premier temps choisir le haut-parleur qui équipera le dodécaèdre. Celui-ci doit avoir une bande passante d'environ 60 Hz à 10 kHz et un prix raisonnable pour ne pas grever le coût total de la réalisation.

Nous avons choisi d'utiliser le haut-parleur Visaton FR 13 WP [4]. Son coût est de 22 €. Ce haut-parleur de 5" (13 cm) a une impédance de 4 ohm, une bande passante de 70 Hz à 16000 Hz, une sensibilité de 85dB/W/m et peut encaisser 40 W.

Le terme WP dans la référence désigne le modèle water proof. Cette caractéristique n'est bien sûr pas nécessaire pour notre application mais son avantage est de disposer d'une grille qui d'une part protège bien le haut-parleur et d'autre part diffracte dans les aigües ce qui améliore légèrement le diagramme de directivité aux hautes fréquences.

Le dodécaèdre possédant 12 faces, chaque face rayonne dans un angle solide de $4\pi/12$. L'angle solide d'un cône de révolution de demi angle au sommet α est donné par la relation $\Omega = 2\pi(1 - \cos \alpha)$. On peut alors calculer l'angle α pour que l'angle solide du cône qu'il définit soit égal à l'angle solide de rayonnement de chaque face du dodécaèdre. On trouve la valeur de 33 degrés.

Le diagramme de rayonnement du haut-parleur Visaton montre que cette valeur est tenue jusqu'à environ 8000 Hz si l'on accepte une perte de -5 dB.

On pose a la longueur des arêtes du dodécaèdre. On déduit : le rayon R du cercle circonscrit aux faces pentagonales et le volume V du dodécaèdre.

$$R = \sqrt{3} \frac{1 + \sqrt{5}}{4} a = 1.40a \quad (1)$$

$$V = \frac{15 + 7\sqrt{5}}{4} a^3 = 7.66a^3 \quad (2)$$

Le diamètre hors tout du haut-parleur Visaton étant de 150 mm, on prendra cette valeur pour les longueurs des arêtes du dodécaèdre. De $a = 150$ mm,

on déduit le rayon et le volume : $R = 127,5$ mm et $V = 25,85$ l.

Les faces pentagonales du dodécaèdre doivent être coupées en biais afin que celles-ci s'ajustent lors de l'assemblage. L'angle théorique est de 31.7 degrés.

2 Réalisation du dodécaèdre

2.1 Tracé du gabarit

Il faut dans un premier temps réaliser un gabarit qui servira de patron pour la découpe des 12 faces en bois MDF. Ce gabarit est réalisé dans un CTP de 3 mm d'épaisseur. Les traits sont tracés avec crayon à mine de 5/10 mm. On commence par tracer un cercle de 127,5 mm de rayon. Avec un rapporteur on trace alors 5 rayons espacés d'un angle de 72 degrés. Les intersections de ces rayons avec le cercle définissent les sommets du pentagone. On joint ces sommets par des droites et on vérifie que les cotes de ces droites sont toutes de 150 mm. On cherche une précision meilleure que le 1/2 mm.

L'expérience montre qu'il faut couper le gabarit à une cote légèrement inférieure car le report sur les faces du polygone conduit à une cote légèrement supérieure. Pour cela on trace des traits parallèles aux côtés du pentagone en retrait de 1 mm (vers l'intérieur donc). La découpe s'effectuera sur ces nouveaux traits. Le plus grand soin doit être apporté à ce tracé. Le succès de la réalisation en dépend.

2.2 Découpe

Pour réaliser les coupes il est préférable de disposer d'une scie à ruban plus précise qu'une scie sauteuse. On scie le CTP avec la scie à ruban au plus près du trait sans le mordre. Puis à l'aide d'un lapidaire, on ponce la face jusqu'à venir en limite du trait. On dispose alors d'une découpe parfaite. La photo 1 montre le gabarit tracé avant découpe.

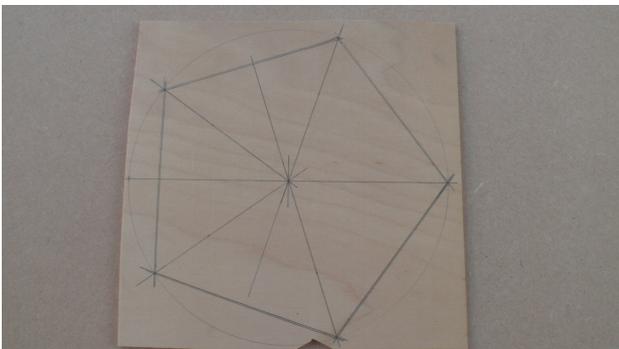


FIGURE 1 – Tracé du gabarit des faces du dodécaèdre

Les faces du dodécaèdres sont réalisées en MDF de 18 mm d'épaisseur. On découpe des bandes de 250 mm

de largeur, puis on reporte sur ces bandes le tracé du pentagone à l'aide du gabarit.

La découpe de ces faces doit se faire, comme nous l'avons vu, avec un angle théorique de 31.7 degrés.

Il est impératif que l'angle reporté soit légèrement supérieur à l'angle théorique afin que les parties jointives des pentagones soient les parties extérieures du dodécaèdre.

J'ai pris 0.8 degrés de plus soit un angle de 32.5 degrés. Cet angle est reporté sur un morceau de bois de 50 mm de large en traçant deux traits espacés de 31.8 mm (soit $50 \tan 32.5$, voir la photo 2). Ce morceau de bois est ensuite utilisé pour incliner la scie à ruban.

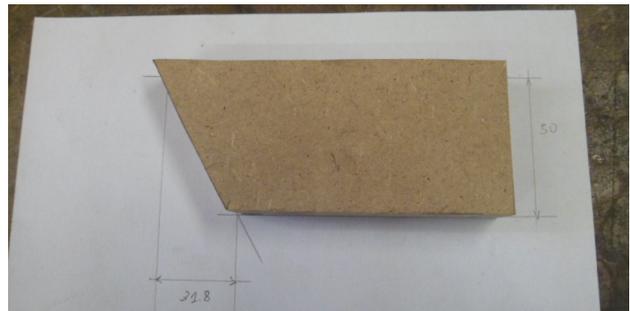


FIGURE 2 – Gabarit pour l'inclinaison de la scie

On découpe alors les 12 pentagone avec la scie à ruban (voir photo 3) au plus près des traits. On ponce légèrement chaque coté avec une cale à poncer.



FIGURE 3 – Découpe des faces

Il faut à présent percer chaque face d'un trou de 112 mm de diamètre (soit 2 mm de marge) pour loger ultérieurement chaque haut-parleur.

2.3 Assemblage

Les faces du dodécaèdre sont assemblées avec une colle epoxy. Il s'agit de la colle Araldite époxy bi-composant dont la référence de la résine est AW106 et celle du durcisseur HV953U. Les faces sont maintenues pendant le collage par du ruban adhésif renforcé.

On commence par placer le ruban adhésif sur une première face comme le montre le photo 4

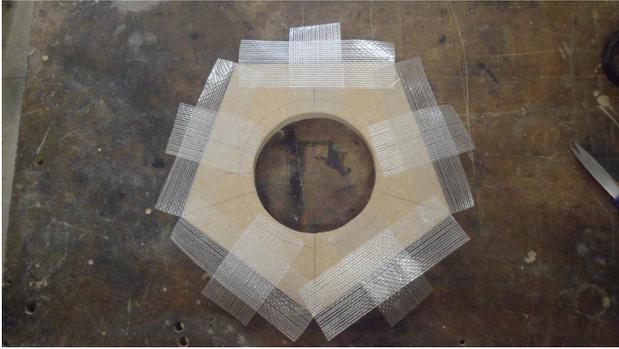


FIGURE 4 – Première face

On place alors du papier anti-adhésif, type papier cuisson, sur une table. Sur ce papier on dispose la première face, rubans adhésif coté table et les 5 autres faces jointives à cette première face (voir la photo 5). On vérifie que les faces sont bien jointives.

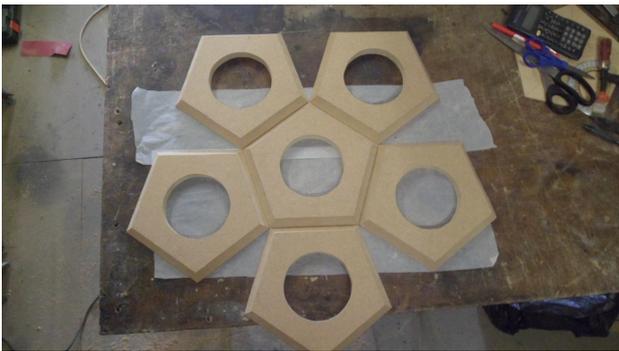


FIGURE 5 – Première base

On encolle alors les faces que l'on rabat une par une et que l'on maintient avec toujours du ruban adhésif (voir la photo 6).

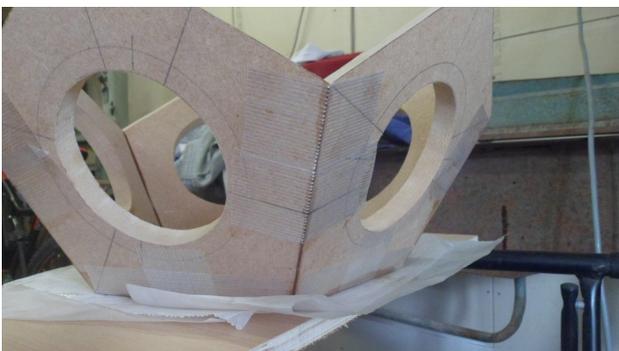


FIGURE 6 – Assemblage de la première partie

Du fait d'un angle de découpe supérieur à l'angle

théorique du dodécaèdre, les cotés intérieurs des pentagones ne sont pas jointifs. Il est donc nécessaire de remplir l'espace qui apparaît par de la colle époxy comme le montre la photo 7.

Il faut positionner la face à encoller à plat ce qui nécessite de faire plusieurs collages.



FIGURE 7 – Complément de collage

Le dodécaèdre sera maintenu sur son pied par un tube le traversant qui passe par deux sommets opposés.

J'ai pris un tube en acier de 25 mm de diamètre. Se tube sera enfoncé et collé dans le bois. On réalise pour cela un lamage sur environ 10 mm de profondeur sur une des 5 extrémités de la face centrale (voir la photo 8)



FIGURE 8 – Lamage

Pour terminer le dodécaèdre on encolle et place les derrières faces sur la base existante. On peut faire un montage à blanc pour vérifier que toutes les faces s'assemblent correctement.

Le procédé est le même que précédemment : après encollage, les faces sont maintenues par du ruban adhésif (voir la photo 9).

Il faut tendre fermement le ruban adhésif pour que les faces extérieures des pentagones soient bien jointives. On remplira ensuite les cotés intérieurs non jointifs des faces par de la colle époxy.



FIGURE 9 – Dodecaedre complet

Une fois collé, les faces du dodécaèdre sont ponçées au papier de verre pour faire disparaître les traces de colles et rendre les arrêtes bien nettes.

On perce alors le sommet opposé au lamage au diamètre 25 mm puis on enfonce et colle le tube de maintien. Ce tube doit dépasser à l'extérieur de 135 mm (voir la photo 10).



FIGURE 10 – Dodecaedre avec son tube

On peut alors peindre le dodécaèdre et placer les haut-parleurs.

L'impédance de chaque haut-parleur étant de 4 ohm on les montera dans un réseau de 3 parallèles avec 4 en séries. Cela conduit à une impédance de 6 ohms. Les hauts parleur en séries ont leur fils directement soudés. La mise en parallèle se fait à l'aide de dominos. Il faut pour terminer le câblage monter un bornier que l'on placera vers le bas sur une des faces proche de la sortie du tube.

Le dodécaèdre est placé sur un pied. J'ai pris un pied d'enceinte de référence Inox IVA S-1 [5]. Ce pied coûte moins de 20 €. Il est suffisamment robuste pour maintenir le dodécaèdre et est télescopique pour pouvoir le régler à la hauteur voulue.

Le diamètre intérieur du tube du pied est de 34 mm. A l'aide d'un tour, on réalise deux bagues en aluminium qui s'emmancheront entre les deux tubes. Ces bagues font 10 mm d'épaisseur.

Deux vis de 5 mm traversent les tubes et les bagues pour l'assemblage des deux tubes (voir la photo 11).

Ces bagues rendent solidaire le dodécaèdre du mat du pied.

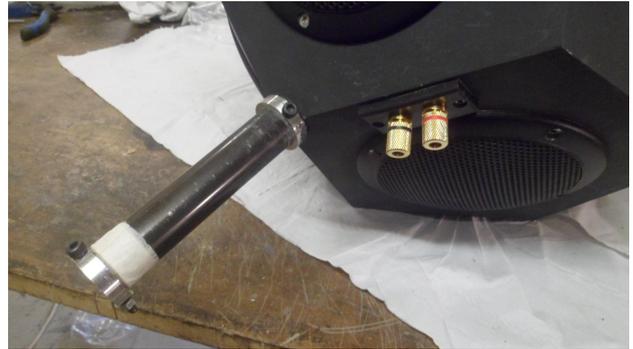


FIGURE 11 – Bagues de maintien

La photo 12 montre le dodécaèdre achevé avec son pied.



FIGURE 12 – Dodécaèdre avec son pied

3 Chaîne de mesure

Pour mesurer les temps de réverbérations nous avons emplyé une interface audio TASCAM US-144 MK II [9] qui permet de traiter 4 canaux (deux analogiques et deux numériques) et fonctionne jusqu'à une fréquence d'échantillonnage de 96 kHz et une quantification de 24 bits.

Le microphone utilisé est un Dayton EMM-6 calibré [8].

Un PC portable sur lequel est installé REW complète la chaîne de mesure.

4 Courbe de réponse du dodécaèdre

La courbe de réponse du dodécaèdre mesuré à un mètre en face d'un des haut-parleur avec un niveau d'environ 100 dB est donnée figure 13. Un fenêtrage dépendant de la fréquence calculé sur 5 cycles est utilisé pour ne pas perdre en compte les réflexions dans le haut du spectre.



FIGURE 13 – Courbe de réponse du dodécaèdre

La courbe de réponse n'est pas très linéaire ce à quoi on pouvait s'attendre vu le faible coût du haut-parleur. Il n'y a pas lieu de linéariser cette courbe de réponse puisque les mesures de temps de réverbération sont des mesures relatives. La bande utile est entre 60 hz et 10 khz.

On remarque que le niveau maximum de 110 dB obtenu vers 200 hz chute à 85 db vers 100 hz. Avec 35 db de marge pour la mesure du T30 il faut que le bruit de fond de la salle ne soit pas supérieur à 40 dB à cette fréquence.

On affiche pour information la distorsion en pourcentage mesurée avec le fondamental normalisé pour le niveau sonore de la figure 13 :

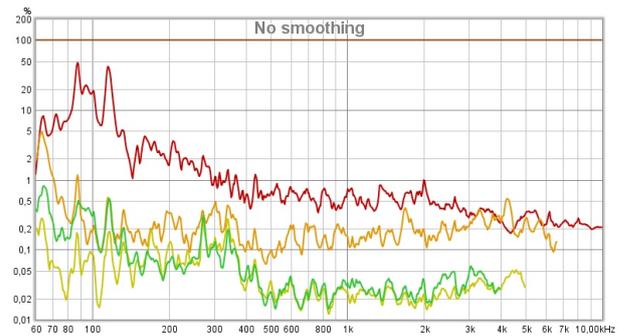


FIGURE 14 – Courbe de distorsion

Comme on pouvait également s'y attendre la distorsion dans les basses fréquences est importante. Ça n'a en théorie pas d'incidence sur la mesure.

Afin de vérifier le caractère omnidirectionnel de la source, deux mesures hors-axe ont été réalisées.

Elles correspondent à viser l'arrête de la face situé dans l'axe de la première mesure et la face adjacente à cette première face. Les angles sont donc de 36 et 72 degrés.

La courbe 15 montre les trois mesures (dans l'axe et hors axe).

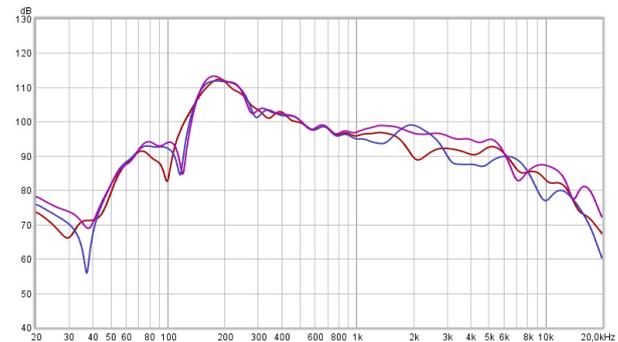


FIGURE 15 – Courbe de réponse hors axe

Il n'y a pas de variation significative du niveau.

5 La mesure du temps de réverbération

Le temps de réverbération noté T60 est le temps que met le signal pour décroître de 60 dB. La mesure du T60 nécessite que le niveau de la source sonore soit 75 dB au dessus du bruit ambiant.

C'est rarement possible en pratique. C'est la raison pour laquelle on utilise plutôt deux autres indicateurs qui sont le T20 et le T30. Le T20 est mesuré entre -5db et -25db alors que le T30 est mesuré entre -5dB et -35 dB. Pour comparer ces temps on les ramène à une décroissance de 60 dB en multipliant le T20 par 3 et le T30 par 2.

Le logiciel REW utilise un troisième indicateur qu'il nomme Topt. C'est toujours la mesure du temps de décroissance ramené sur un intervalle de 60 dB mais dont les points de départ et de fin sont optimisés pour obtenir la meilleure régression linéaire possible. Voir la référence [7]

Les descripteurs T20 et T30 sont appelés "temps de réverbération tardif". Un quatrième indicateur l'EDT (Early Decay Time) mesure le "temps de réverbération précoce". Il se calcule entre 0db et -10 dB et est multiplié par 6, toujours pour être ramené à une décroissance de 60 dB.

Lorsque la courbe de décroissance du niveau acoustique exprimée en dB est linéaire les valeurs des T20, T30, Topt et EDT sont tous identiques.

6 Méthode de mesurage

Comme nous l'avons déjà évoqué, les valeurs du temps de réverbérations sont obtenues en moyennant plusieurs mesures.

Le schéma de positionnement de la source et des microphones est donné figure 16

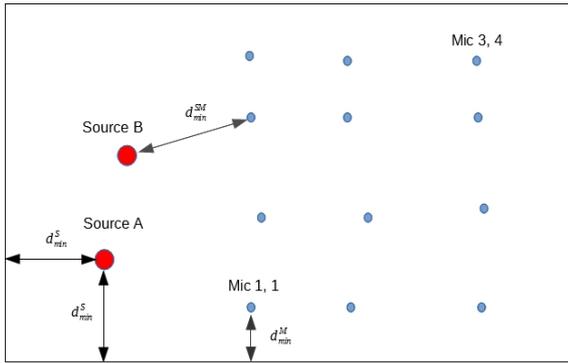


FIGURE 16 – Position des sources et microphones

On placera la sources à deux points différents notés A et B. Les microphones seront placés en douze positions repérées par une grille avec le numéro de ligne (de 1 à 3) et de colonne (de 1 à 4).

On choisira deux hauteurs pour chaque position de microphone : une hauteur d'environ 0,8 cm dite hauteur basse (B) et une hauteur d'environ 1,7 m dite hauteur haute (H). On réalise donc au total 48 mesures.

Les noms des fichiers de mesures sont normalisés pour être traités par les scripts Scilab. Ceux-ci sont de la forme :

$$TR[A, B][n_{row}^0 n_{col}^0][B, H] \quad (3)$$

avec n_{row}^0 le numéro de ligne et n_{col}^0 le numéro de colonne qui repère la position du microphone.

Ainsi le fichier *TRA23H* correspond à une mesure avec la source en position A le microphone à la ligne 2

et colonne 3, en position haute. L'extension du fichier est .mdat pour les mesures réalisées par REW et .txt pour les temps de réverbérations exportés au format texte.

Les distance minimales de la sources par rapport aux murs (d_{min}^S) doit être de 2 m. Le point A est placé au tiers de la largeur de la pièce et le point B au milieu de la largeur légèrement décalé selon la longueur si possible. On éloignera au maximum la source des murs si la contrainte des 2 m ne peut être respectée.

La distance minimale des microphone par rapport à tout obstacle du type mur, mobilier (d_{min}^M) est de 0,5 m. On ne cherchera pas des emplacements réguliers pour les placement des microphones sur la grille proposée. Ainsi les positions entre séries de mesures pourrons varier ce qui contribuera à une meilleure moyenne.

La distance minimale entre source et microphone est donnée par (voir [10]) :

$$d_{min} = 2\sqrt{\frac{V}{cT}} \quad (4)$$

avec V le volume de la pièce, c la vitesse du son et T le temps moyen de réverbération. Pour une pièce de $100 m^3$ et un temps de réverbération de 0,3 s, cela conduit à une distance de 2 m.

Le niveau sonore de la source doit être élevé (voir la courbe de réponse figure 13). Il est impératif d'utiliser un casque anti bruit lors des mesures.

Une fois la mesure réalisée avec REW, on affiche les temps de réverbération au 1/3 d'octave. Ces valeurs sont exportés au format texte avec la fonction appropriée de REW.

7 Logiciels de calcul

Le logiciel utilisé pour effectuer la moyennation des mesures est Scilab [2]. Scilab est un logiciel libre de calcul numérique multi-plateforme. Il est disponible pour Windows, Mac OS X, GNU/Linux et BSD.

La liste des scripts de ce projet est la suivante :

- `<TRAll.sce>` : Trace les mesures du T20, T30, Topt et EDT en superposant les 48 mesures réalisées.
- `<TRAveragingAll.sce>` : Calcule le T20, T30, Topt et EDT en moyennant les 48 mesures.
- `<TRAveragingSource.sce>` : Calcule le T20, T30, Topt et EDT en moyennant une première série de 24 mesures correspondant à la position A de la source et une deuxième série de 24 mesures correspondant à la position B de la source.
- `<TRAveragingHeight.sce>` : Calcule le T20, T30, Topt et EDT en moyennant quatre séries de mesures : celles avec la source en position A et le microphone en position B, celles avec la source en position A et le microphone en position H, celles avec la source en position B et le

microphone en position B, celles avec la source en position B et le microphone en position H. Chaque série comporte 12 mesures.

Les scripts de ce projet sont distribués sous licence CeCill [3] et peuvent être téléchargés à partir du lien [6].

8 Première salle

La première salle est un auditorium dédié dont on peut voir la photo figure 17. Le système de reproduction est constitué intégralement de pavillon y compris dans le grave. Les profils des pavillons sont ceux définis par Jean-Michel Le Cléac'h.



FIGURE 17 – Première salle

Les dimensions de la salle sont : hauteur 2,85 m ; largeur 4,25 m et longueur 8,50 m. Son volume est donc de 103 m³.

La salle est dotée d'un traitement acoustique élaboré. On y trouve de la laine de bois sur tous les murs, de la mousse au plafond et des bibliothèques faisant effet de diffuseur. Le fond de la pièce est doté d'un résonateur de Helmholtz accordé sur quelques résonances fondamentales de la pièce.

8.1 Mesure du temps de réverbération

La figure 18 trace les 48 mesures superposées de l'EDT, du T20, T30 et du T_{opt}. Comme on pouvait s'y attendre, la dispersion diminue en haute fréquence et c'est l'EDT qui est le plus bruité. Bien que l'EDT en dessous de la fréquence de Schroeder n'est pas vraiment de sens, les tracés montrent que la dispersion dans cette zone n'est pas plus importante que dans le haut du spectre.

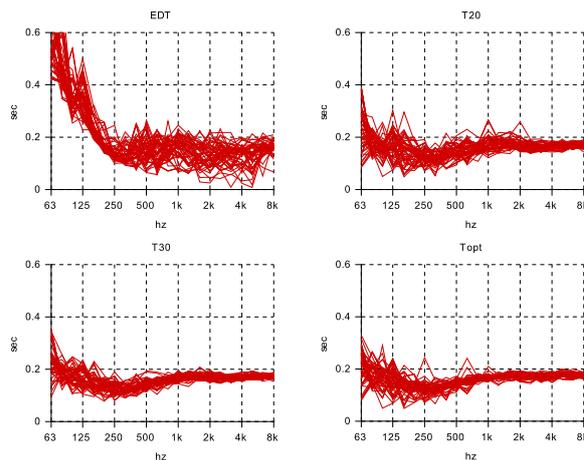


FIGURE 18 – Toutes les mesures

La figure 19 trace les moyennes obtenues en prenant en compte les 48 mesures.

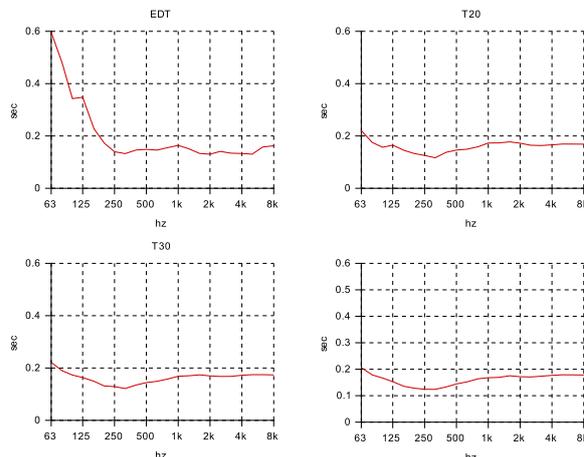


FIGURE 19 – Moyennes

Afin de vérifier la pertinence de cette moyenne, nous avons procédé à la moyennation de plusieurs sous échantillons des 48 mesures.

La figure 20 est le résultat de deux moyennes : la première obtenue avec la source en position A et la deuxième avec la source en position B.

La figure 21 est le résultat de quatre moyennes : la première avec la source en position A et les microphones en positions basses, la deuxième avec la source en position A et les microphones en positions hautes, la troisième avec la source en position B et les microphones en positions basses, enfin la quatrième et dernière, la source en position B et les microphones en positions hautes.

On remarque le peu de variations des moyennes sur tout l'étendu du spectre. Afin de quantifier ces écarts, nous avons calculé le maximum des différences entre les deux courbes de la figure 20 ramené en pourcentage de

la valeur du temps de réverbération et ce, pour les fréquences supérieures à 250 hz. Cette méthode n'est pas rigoureuse mais permet de donner un ordre de grandeur de la précision de la mesure du temps de réverbération à laquelle on peut s'attendre.

On obtient :

EDT	T20	T30	Topt
16%	6%	6%	7%

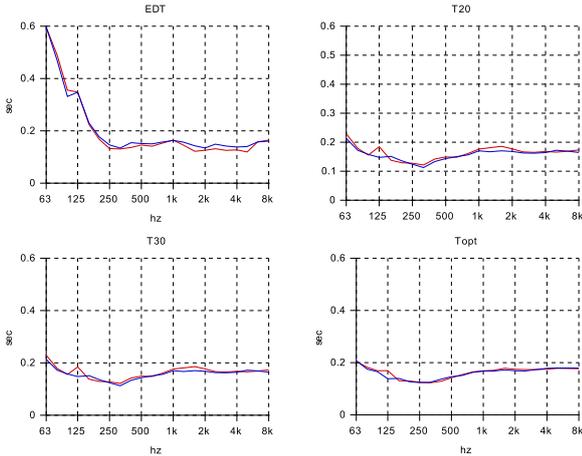


FIGURE 20 – Moyennes par sources

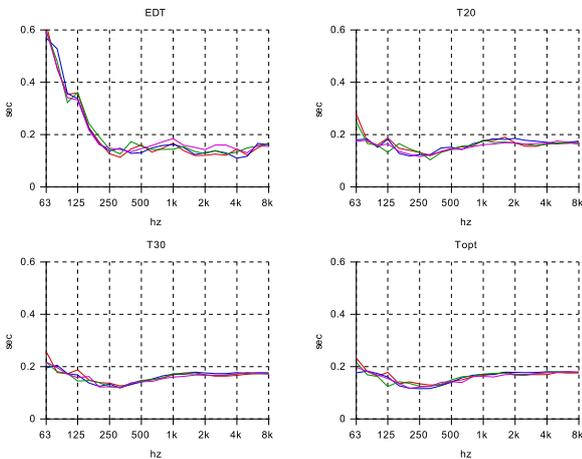


FIGURE 21 – Moyennes par sources et hauteurs

La figure 22 trace les quatre valeurs EDT, T20, T30 et Topt sur le même graphe. On remarque les valeurs très proches des T20, T30 et Topt (et même l'EDT dans une moindre mesure au dessus de 250 hz) qui montrent que la décroissance est bien linéaire (l'EDT en dessous de la fréquence de Schroeder n'a pas vraiment de sens).

D'autre part le temps de réverbération est pratiquement constant sur tout le spectre avec une faible

valeur ce qui montre un traitement acoustique bien réalisé ne présentant pas de déséquilibres en fréquence.

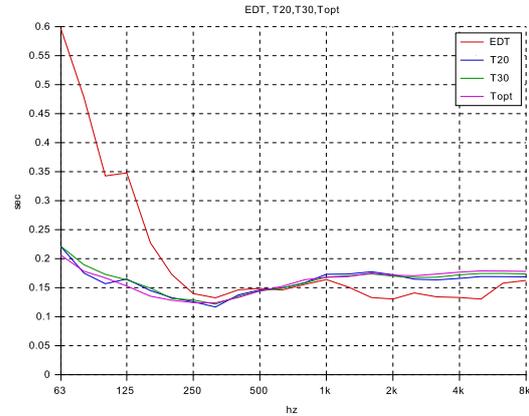


FIGURE 22 – Valeurs des temps de réverbération

8.2 Étude de l'ETC

A partir de la valeur du temps de réverbération (autour de 0.18 s) et du volume (103 m^3) on peut calculer la fréquence de Schroeder qui définit la fréquence de transition entre le régime modal et le régime diffus. La formule de calcul est :

$$f_S = 2000 \sqrt{\frac{T_R}{V}} \quad (5)$$

On obtient $f_S=83$ hz. Généralement cette formule n'est pas adaptée aux petites salles le champ diffus n'étant jamais vraiment diffus. On peut toutefois essayer de déterminer une fréquence de transition en étudiant les courbes d'ETC (Energy Time Curve). L'ETC fournit l'évolution temporelle de l'énergie qui se diffuse dans la pièce.

On cherche alors la fréquence à partir de laquelle l'évolution temporelle de l'énergie est linéaire et ne présente plus de fluctuations importantes.

Les courbes de l'ETC dans les basses fréquences dépendent du point de mesure. L'examen de l'ETC filtrée des 48 points de mesures montrent effectivement des courbes plus ou moins linéaires en fonction de la mesure et ce jusqu'à environ 250 hz.

C'est la raison pour laquelle la fréquence de transition entre le régime modal et le régime "diffus" est plutôt évalué à cette valeur.

Pour donner un aperçu de la courbe d'ETC nous avons fait la moyenne sur les 24 mesures du point B en prenant en compte l'amplitude et la phase (fonction "vector average" de REW). L'ETC est alors tracé par bande d'octave lissé sur un horizon d'une milliseconde.

Cette courbe moyenne est représentative des courbes ETC des points ne se situant pas en des extremum de la réponse en basse fréquence.

La figure 23 montre les courbes d'ETC en basse fréquence (inférieur à 500 hz).

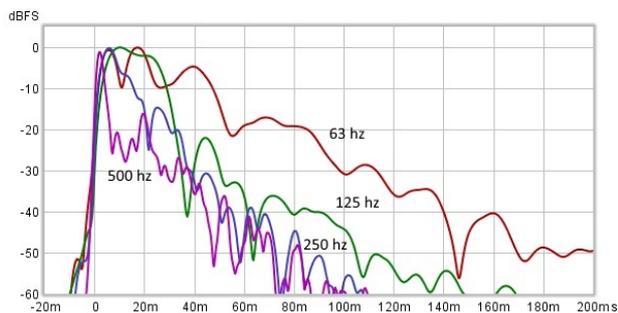


FIGURE 23 – ETC 63-125-250-500 hz

La figure 24 montre les courbes d'ETC en haute fréquence (supérieur à 1 khz).

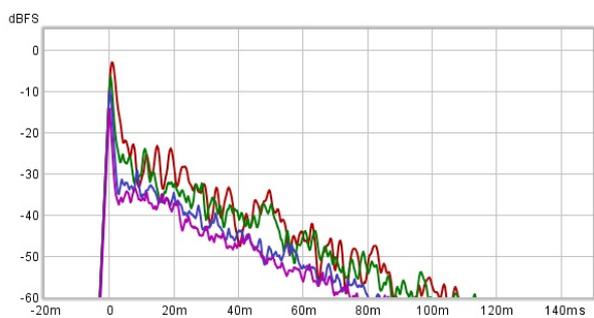


FIGURE 24 – ETC 1-2-4-8 khz

A partir de 250 hz, les courbes sont quasi linéaires signe que les modes s'atténuent.

9 Deuxième salle

La deuxième salle est également un auditorium dédié dont on peut voir la photo figure 25. Les dimensions de cette salle sont semblables à la précédente mais les mesures ont été effectuées avant la pose du traitement acoustique.

Les mesures du temps de réverbération avant et après la pose du traitement acoustique permettront d'évaluer le coefficient moyen d'absorption de ce traitement.

Le système de reproduction est un classique système ONKEN trois voies, constitué d'une enceinte 360 l ONKEN avec un haut-parleur altec 416-8A, une chambre de compression ONKEN OS-500MT associé à son pavillon en bois sablé SC-500 Wood et le tweeter ONKEN 5000T.

Les dimensions de la salle sont : hauteur 2,8 m ; largeur 4,8 m et longueur 8,8 m. Son volume est donc de 118 m³.



FIGURE 25 – Deuxième salle

9.1 Mesure du temps de réverbération

On procède comme dans le cas de la précédente salle. La figure 26 trace les 48 mesures superposées.

Les valeurs du temps de réverbérations sont plus élevés que dans le cas de la précédente salle dû à l'absence de traitement acoustique.

La figure 27 trace les 2 moyennes sur les deux positions A et B de la source.

La figure 28 trace les 4 moyennes sur les deux positions A et B de la source et hauteurs des microphones.

A partir des écarts des moyennes des courbes obtenues avec la source en position A et B on calcule les pourcentages d'erreurs. On obtient :

EDT	T20	T30	Topt
15%	9%	9%	5%

Ces valeurs sont proches de celles obtenues lors de l'étude de la précédente salle.

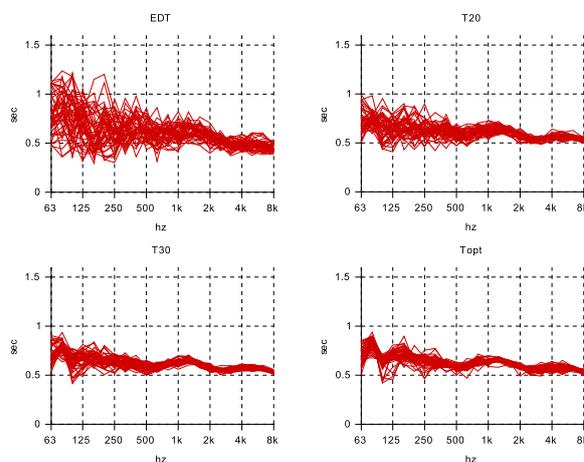


FIGURE 26 – Toutes les mesures

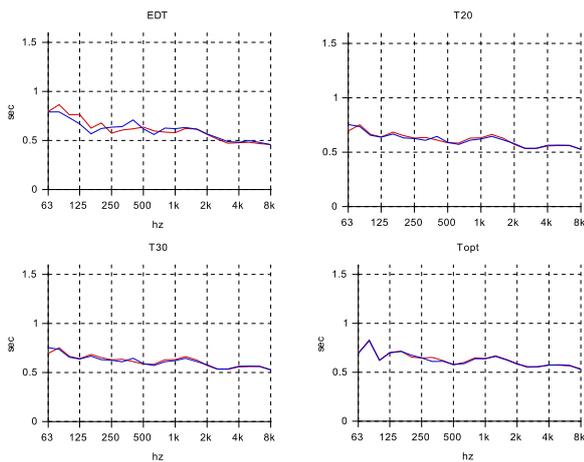


FIGURE 27 – Moyennes par sources

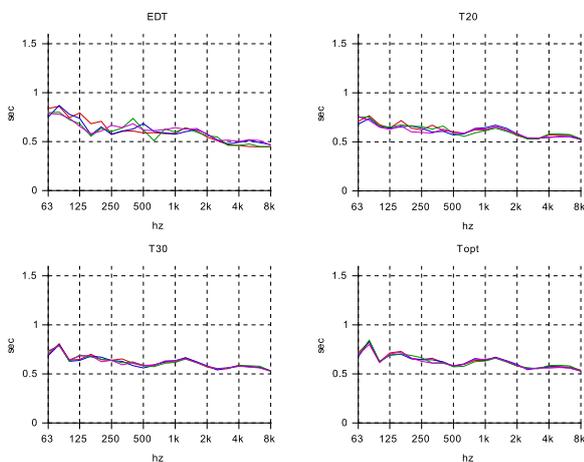


FIGURE 28 – Moyennes par sources et hauteurs

La figure 29 trace les 4 temps de réverbérations superposés sur un même graphe.

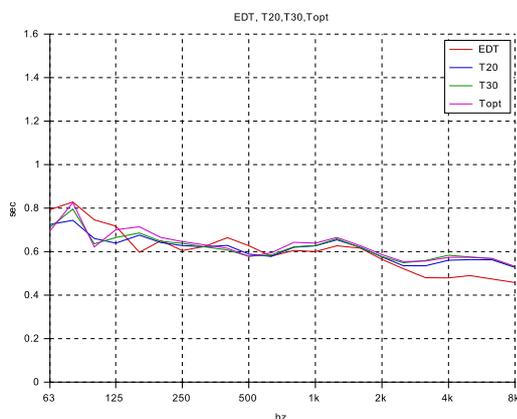


FIGURE 29 – Valeurs des temps de réverbération

On constate une bonne cohérence entre les temps T20, T30 et Topt. L'EDT est très légèrement supérieur en basse fréquence et inférieur en haute fréquence. La réverbération se situe autour de 0.6 secondes.

9.2 Étude de l'ETC

Les courbes de l'ETC sont également tracé par octave en moyennant la réponse des mesures dans lesquelles la source se situe au point B. On obtient dans les basses fréquences (inférieur à 500 hz, voir la figure 30) :

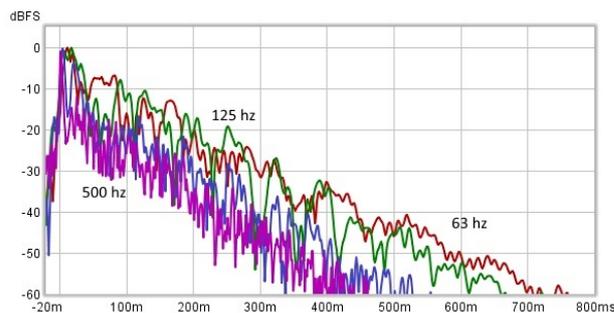


FIGURE 30 – ETC 63-125-250-500 hz

La figure 31 montre les courbes d'ETC en haute fréquence (supérieur à 1 khz).

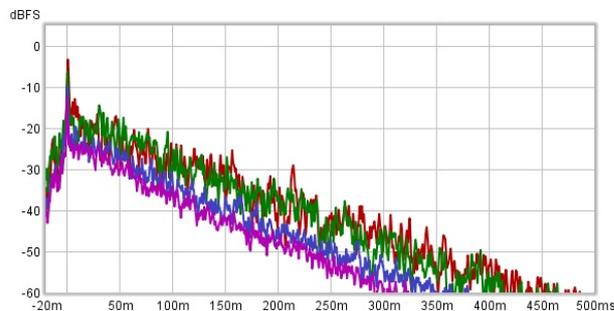


FIGURE 31 – ETC 1-2-4-8 khz

Les courbes de décroissance de l'énergie affiche une belle linéarité y compris en basse fréquence.

Conclusions

Ce papier décrit la conception et la réalisation d'un dodécaèdre utilisé pour la mesure des temps de réverbérations.

Une méthode de mesurage consistant à moyennner les temps de réverbération brut calculés par le logiciel REW est proposée. Il faut environ une heure pour réaliser les 48 mesures décrites dans la méthode.

Cette méthode permet d'estimer les temps de réverbérations avec une précision qui se situe approximativement entre 5% et 10 %.

Références

- [1] Room Acoustics Software REW, <http://www.roomeqwizard.com/>
- [2] Scilab : open source software for numerical computation, <https://www.scilab.org/>
- [3] Licence Française de logiciel libre : <http://www.cecill.info>
- [4] Paramètres TS du haut-parleur Visaton FR 13 WP <https://www.visaton.de/en/products/drivers/fullrange-systems/fr-13-wp-4-ohm-black>
- [5] Pied d'enceinte Innox IVA S-1 <https://www.bax-shop.fr/pied-enceinte/innox-iva-s-1-pied-d-enceinte-1-80m>
- [6] Téléchargement des scripts Scilab de ce projet : http://www.volucres.fr/AudioHighEnd/resources/TR/Code_Scilab.rar
- [7] Temps optimal de réverbération Topt de REW : https://www.roomeqwizard.com/help/help_en-GB/html/graph_rt60.html
- [8] Microphone Dayton EMM-6 : <https://www.daytonaudio.com/product/911/emm-6-electret-measurement-microphone>
- [9] Interface audio TASCAM US-144 : <https://www.tascam.eu/fr/downloads/archive/US-144MKII>
- [10] Acoustics in room, Fesi document A5 : https://www.arauacustica.com/files/publicaciones_relacionados/pdf_esp_350.pdf