

# Etude acoustique, coefficients de Sabine et harmonisation sonore

Etant personnellement intéressé par la musique, étudier ici (indirectement) l'optimisation de son écoute me semblait particulièrement instructif.

Le sujet aborde l'harmonisation du son, et est donc en lien avec l'homogénéité d'un milieu, et il aborde également les interactions du son avec les obstacles environnants (murs, parois...) au détour des coefficients de Sabine.

**Professeur encadrant du candidat :**

**Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.**

**Liste des membres du groupe :**

## Positionnement thématique (phase 2)

*PHYSIQUE (Physique Théorique), PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), INFORMATIQUE (Informatique pratique).*

## Mots-clés (phase 2)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Champ Diffus</i>	<i>Scattered field</i>
<i>Coefficients de Sabine</i>	<i>Sabine's Coefficients</i>
<i>Temps de Réverbération</i>	<i>Reverberation Time</i>
<i>Absorption</i>	<i>Absorption</i>
<i>Homogénéisation</i>	<i>Homogenization</i>

## Bibliographie commentée

Le domaine de l'architecture nécessite une certaine anticipation des phénomènes sonores afin de pouvoir concevoir des lieux destinés à rendre l'écoute optimale. C'est pourquoi l'étude des phénomènes d'absorption, de réflexion et de transmission des ondes sonores est au cœur de la conception de bâtiments et en particulier des salles de spectacle [3]. Nous avons réduit l'étude aux salles de type opéra/théâtre dans lesquelles la source sonore est quasi-ponctuelle et pour lesquelles la qualité du son en tout point de la pièce dépend exclusivement des caractéristiques des matériaux utilisés pour les parois. Le son perçu par l'auditeur est la somme du champ direct (onde provenant directement de la source sonore) et du champ diffus (issu des réverbérations sur les parois de la pièce) [3]. Notre étude est donc restreinte à l'homogénéisation de ce champ diffus dans la pièce.

Le premier aspect de l'étude est la recherche d'optimisation du temps de réverbération (TR), qui est défini comme la persistance du son après arrêt de la source sonore [4]. On étudie plus précisément le temps de réverbération qui est égal au temps au bout duquel l'intensité du son dans la pièce est devenu un million de fois plus faible (autrement dit une décroissance du son de 60dB, ce qui correspond à une impression de disparition du son)[2]. Ce TR est donné par la formule de Sabine, du nom de son concepteur Wallace Clément Sabine, provenant d'une équation différentielle du premier ordre dont la solution est l'énergie réverbérée provenant du champ sonore considéré comme parfaitement diffus [1]. Il est inversement proportionnel à l'aire équivalente d'absorption qui dépend non seulement des matériaux composant les parois d'une pièce mais également de la fréquence du champ direct[6]. Il nous a donc semblé dans un premier temps intéressant d'étudier l'aire équivalente d'absorption, et de tenter de l'optimiser dans le but de réduire au maximum le TR. Dans le cadre du modèle de l'opéra, les fréquences utilisées ont donc été choisies pour être atteignables par des voix humaines, notamment dans le cas de chanteurs[7].

Nous avons ensuite porté l'étude sur l'élaboration de la meilleure géométrie spatiale en vue d'harmoniser les réflexions du son[3]. Les géométries cubiques sont défavorables à l'harmonisation du son, en particulier dans l'hypothèse d'une source sonore quasi-ponctuelle, car elle favorise la réflexion directe des ondes sonores en incidence normale sur une paroi, et donc la création d'ondes stationnaire sonores dans la pièce induisant des maxima et des minima de volumes sonores très localisés dans la pièce. Les opéras sont ainsi taillés en hémicycles pour favoriser l'isotropie des réflexions : celles-ci devenant quasi-aléatoires, la probabilité de retrouver ces maxima d'intensités est réduite. Une ultime manière de minimiser l'incidence du champ diffus sur la qualité de l'écoute est de piéger les ondes sonores réfléchies en optimisant la géométrie des parois, à la manière de celles installées dans les chambres anéchoïques[5]. Ces parois sont un assemblage de dièdres pyramidaux agencés de telle sorte que l'onde réfléchi est à la fois amortie par l'absorbance du matériau mais surtout piégée dans la géométrie du mur. Nous avons donc envisagé de combiner dans un même modèle ses différentes géométries (de la pièce et des parois) afin d'atténuer l'altération de l'homogénéité par le champ diffus.

## **Problématique retenue**

Dans quelle mesure la maîtrise des champs diffus permet-elle d'optimiser l'homogénéité sonore à l'intérieur d'une salle de spectacle?

## **Objectifs du TIPE du candidat**

Dans le but de mieux comprendre les actions du champ diffus, mon binôme et moi nous restreignons à un cadre plutôt "simpliste", afin de percevoir les conséquences de différents paramètres sur les réflexions sonores, en étudiant ainsi la propagation du son à l'intérieur d'une boîte, que j'ai conçue. Afin de mieux "visualiser" le comportement du champ en question, j'ai l'intention d'écrire quelques programmes informatiques, relativement basiques, pour illustrer certains aspects du phénomène que nous étudions.

## **Objectifs du TIPE du second membre du groupe**

Afin d'observer l'incidence du champ diffus sur la perception du son, mon partenaire et moi même nous proposons de créer nous même notre dispositif d'émission-réverbération-réception des ondes sonores. Pour ma part, je m'intéresserai plus spécifiquement aux influences que les matériaux et la fréquence du son utilisés peuvent avoir sur la qualité de l'écoute. Mettre en évidence le temps de réverbération et tenter de le diminuer vont donc être mes objectifs principaux. Je compte confronter les résultats expérimentaux obtenus à une approche théorique des phénomènes.

## Abstract

My partner and I have been working on Sabine's Alpha coefficients through the reverberation time. Our experiments were carried out in a small wooden box to get a simpler model of study. By chance, we discovered throughout our work that standing waves could appear in our box. We thus decided to study the phenomenon in order to find an accurate way in preventing or limiting its effects. Therefore, we've led both studies in parallel to answer precisely to our first goal and also take the unexpected observations in account.

## Références bibliographiques (phase 2)

- [1] FRÉDÉRIC POIRRIER : La Formule de Sabine : <http://conseils-acoustique.com/images/articles/Sabine.pdf>
- [2] FRÉDÉRIC POIRRIER : Temps de Réverbération : <http://conseils-acoustique.com/images/articles/Sabine.pdf>
- [3] RICARDO ATIENZA : Acoustique des salles : <http://www.grenoble.archi.fr/cours-en-ligne/atenzia/RA05-Correction-acoustique.pdf>
- [4] ELIE LÉVY : Dictionnaire de Physique
- [5] Chambre Sourde et Contrôle Actif du Bruit : [http://tatullisab.free.fr/laboratoire/7\\_Terminale%20S/2\\_Specialite/2-sons/chambre%20sourde.pdf](http://tatullisab.free.fr/laboratoire/7_Terminale%20S/2_Specialite/2-sons/chambre%20sourde.pdf)
- [6] FRÉDÉRIC POIRRIER : Alpha Sabine : <http://conseils-acoustique.com/images/articles/alpha-sabine.pdf>
- [7] Comment Caractériser la Voix Humaine? : <http://www.cite-sciences.fr/fr/ressources/bibliotheque-en-ligne/dossiers-documentaires/les-mysteres-de-la-voix/questions-reponses/>

## DOT

- [1] *Septembre-Octobre: Elaboration et mise en pratique d'un protocole de détermination du temps de réverbération dans une boîte cubique en bois. Etude des effets concernant la géométrie de la boîte sur le temps de réverbération. Comparaison des résultats expérimentaux avec ceux prévus par la formule empirique de Sabine.*
- [2] *Novembre-Décembre: Détermination expérimentale du coefficient alpha sabine de la cellulose moulée. Une première expérience infructueuse amène à un deuxième protocole, donnant cette fois-ci des résultats satisfaisants.*
- [3] *Janvier: Découverte de modes propres dans la boîte lors d'une mise en oeuvre expérimentale qui entraîne une réorientation du sujet du TIPE prenant en compte le phénomène.*

- [4] *Février-Mars: Validation du phénomène stationnaire par détermination expérimentale de la longueur d'onde de la figure obtenue dans l'enceinte, qui s'avère en accord avec celle du son utilisé.*
- [5] *Avril-Mai: Modélisation Python permettant de comprendre la nécessité d'avoir un maximum d'ondes de déphasages variables pour ainsi limiter le phénomène stationnaire. Modification géométrique interne de la boîte afin de répondre à cette condition, en brisant les symétries du cube.*