

## Contrôle actif du bruit acoustique

Ce sujet me permettra d'étudier le son et le traitement du signal, domaines qui me passionnent ; afin de réaliser expérimentalement un système de contrôle actif servant à atténuer un bruit dans une certaine région de l'espace, en lui superposant un bruit secondaire, calculé numériquement.

D'une part, cette étude traite de la propagation des ondes sonores, qui constitue un transport d'énergie et d'information. D'autre part, le contrôle actif est très utilisé dans les transports : par exemple afin d'atténuer le bruit d'un moteur dans l'habitacle d'un véhicule.

### Positionnement thématique (phase 2)

*SCIENCES INDUSTRIELLES (Traitement du Signal), PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), INFORMATIQUE (Informatique pratique).*

### Positionnement thématique (phase 3)

*SCIENCES INDUSTRIELLES (Traitement du Signal), INFORMATIQUE (Informatique pratique), PHYSIQUE (Physique Ondulatoire).*

### Mots-clés (phase 2)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Contrôle actif</i>	<i>Active control</i>
<i>Filtrage</i>	<i>Filtering</i>
<i>Transformation de Fourier (TFD)</i>	<i>Fourier Transform (DFT)</i>
<i>Acoustique linéaire</i>	<i>Linear acoustics</i>
<i>Interférences destructives</i>	<i>Destructive interferences</i>

### Mots-clés (phase 3)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Contrôle monovoie en boucle ouverte</i>	<i>Open-loop mono-channel control</i>
<i>Filtrage numérique</i>	<i>Digital filtering</i>
<i>Dipôle acoustique</i>	<i>Acoustic dipole</i>
<i>Mesure de fonctions de transfert</i>	<i>Transfer-function measurement</i>
<i>Transformation de Fourier discrète (TFD)</i>	<i>Discrete Fourier Transform (DFT)</i>

### Bibliographie commentée

On appelle contrôle acoustique actif (en anglais Active Noise Control) ou anti-bruit l'utilisation de sources de bruit dites secondaires pour réduire un bruit indésirable dit primaire. [1] L'idée

d'utiliser de telles sources est issue de la description de l'acoustique linéaire puisque deux ondes sonores peuvent se superposer et donner lieu à des interférences. Ces interférences sont destructives dans certaines zones (l'onde résultante de la somme des deux ondes est nulle), ce sont des zones où l'amplitude sonore est atténuée ; mais ces interférences sont constructives dans d'autres régions où l'amplitude sonore est alors amplifiée. Nous avons donc un premier problème : comment obtenir une réduction du bruit non pas localement mais dans une zone donnée ? [1,2]

De plus, le principe de Young (principe des interférences) est relativement simple à envisager lorsque le bruit à annuler est monochromatique : la source secondaire doit émettre un son monochromatique de même fréquence, mais déphasé de sorte à être en opposition de phase avec le bruit primaire dans la zone désirée. Cependant, le bruit primaire n'est généralement pas connu précisément. Il peut être complexe, non périodique, et ses caractéristiques peuvent varier au cours du temps (c'est par exemple le cas du bruit d'un moteur, qui varie selon la vitesse du véhicule). De plus, le système peut être perturbé par son environnement, par exemple à cause du vent ou encore des fluctuations de température. C'est pourquoi la commande, c'est-à-dire les signaux fournis aux sources secondaires, doit être réactualisée pour suivre ces variations. [2]

Ainsi, concevoir un système d'annulation active du bruit s'avère complexe et potentiellement coûteux. Bien que le contrôle actif soit envisagé depuis les années 1930, ce principe avait une portée pratique limitée par l'électronique de l'époque et par son coût par rapport à un contrôle passif (isolation phonique). C'est grâce à l'arrivée des processeurs de signaux numériques (DSP) et des ordinateurs, dans les années 1980, qu'un traitement numérique des signaux fut possible, redonnant alors un grand intérêt au contrôle actif. Les paramètres du système pouvaient alors être ajustés beaucoup plus facilement, d'où la naissance du contrôle actif adaptatif. [1,2,4]

## **Problématique retenue**

Etant donnée une source de bruit primaire, il s'agira de réaliser un système de sources secondaires annulant ce bruit dans une zone de l'espace ; il faudra disposer et piloter ces sources secondaires pertinemment, de façon à obtenir une réduction stable et notable du bruit dans une zone d'étendue non négligeable.

## **Objectifs du TIPE**

1. Etudier l'acoustique linéaire, le traitement du signal et l'automatique afin de mettre en évidence la portée du contrôle actif, et déterminer comment le mettre en place.
2. Réaliser un système, constitué de plusieurs microphones et sources secondaires (des haut-parleurs) et d'un contrôleur (un ordinateur), visant à atténuer, dans une certaine zone de l'espace, un bruit périodique émis en amont : contrôle actif en boucle ouverte.
3. Prendre en compte le bruit résultant dans la zone d'atténuation, afin de mettre en place un contrôle actif adaptatif.

## **Abstract**

Given that sound is a superposition of acoustic pressures created by sources, active control consists

of emitting, through one or several secondary sources, an anti-noise that cancels out the primary noise by interference. In this work, we design a mono-channel control using an open-loop controller: we place a reference microphone next to the noise source, an error microphone in the desired cancellation zone, and a speaker ahead of it that emits the computer-filtered noise, once the adequate filter has been computed by taking the reference and error signals into account.

## Références bibliographiques (phase 2)

- [1] EMMANUEL FRIOT : Une introduction au contrôle acoustique actif. : *DEA. 2006.* <cel-00092972>
- [2] GÉRARD MANGIANTE : Contrôle actif des bruits - Bases théoriques : *Techniques de l'ingénieur. 2008.*
- [3] TAKAHASHI, M., KURIBAYASHI, T., ASAMI, K., ENOKIDA, T., HAMADA, H., & MIURA, T. : Broadband active sound control system for air-conditioning duct noise : *Journal of the Acoustical Society of Japan (E), 8(6), 263-269. 1987.*
- [4] A. MILOSEVIC & U. SCHAUFELBERGER : Active Noise Control : *University of Applied Sciences Rapperswil. 2005.*

## Références bibliographiques (phase 3)

- [1] SWEN MÜLLER, PAULO MASSARANI : Transfer-Function Measurement with Sweeps : *J.AES, 2001 JUNE, P.443-471*

## DOT

- [1] *Etude des bases de l'acoustique linéaire. Etude de l'onde générée par un dipôle acoustique, mise en évidence de zones de renforcement et d'atténuation de l'amplitude sonore. Réalisation d'un programme permettant de représenter graphiquement l'amplitude résultante de sources acoustiques disposées dans un plan en chaque point. Mise en évidence de la possibilité d'atténuer une source à l'aide d'une autre source.*
- [2] *Expérience du dipôle acoustique, confrontation des mesures avec les résultats théoriques.*
- [3] *Conception d'un système monovoie de contrôle actif : schématisation sous forme de diagramme-blocs, mise en évidence de la fonction de transfert du filtre permettant le calcul du bruit secondaire.*
- [4] *Recherches autour du filtrage numérique. Recherche de solutions logicielles. Tentative de filtrage en temps réel d'un signal capté via un microphone à l'aide de GNURadio. Recherche de modules python permettant de gérer l'audio. Prise en main du module python-sounddevice. Implémentation et essais de la méthode Overlap-Add permettant un filtrage en temps réel.*
- [5] *Recherche et implémentation de différentes méthodes de mesure de fonctions de transfert, puis essais audio. Choix de la méthode « stepped-sine » pour sa robustesse. Compréhension du calcul de corrélation servant à déterminer un déphasage. Interpolation parabolique afin d'affiner la mesure du point de corrélation maximale.*
- [6] *Tentatives expérimentales de mesure des fonctions de transfert. Tracé de leur diagramme de*

*Bode. Echec lors de l'essai du contrôle actif à cause d'un effet larsen.*

**[7]** *Multiplés tentatives de contrôle actif à la maison en ajustant les paramètres ainsi que les conditions de l'expérience. Suite à des mauvais résultats, réalisation du cas particulier d'un bruit pur, sans succès. Découverte d'une erreur dans le code au niveau de la mesure de la fonction de transfert primaire. On obtient finalement de bons résultats dans le cas d'un bruit pur, mais avec une variation importante, et qui ne sont obtenus que pour des fréquences relativement faibles.*

**[8]** *Le matériel utilisé semble être à la cause de cette variation. Réajustement des paramètres afin de maximiser la précision des mesures. Eloignement des sources afin de minimiser l'effet larsen. Restriction à une bande de fréquences où le contrôle actif est favorisé. Très bons résultats pour un bruit pur, et bons résultats pour un bruit composé (périodique).*