

**MALMANCHE Grégory
PARMENTIER Romain
RIVES Barthélemy**

TEP 2005

Encadrés par Monsieur J. LAUMONIER

L'ANTI-BRUIT ACTIF



Plan

● INTRODUCTION

● ANTI-BRUIT ACTIF

Principe

Deux approches différentes

Démonstration

● MISE EN OEUVRE DE L'ANTI-BRUIT ACTIF

Les éléments constitutifs

Le casque anti-bruit

Présentation du casque

Fonctionnement

● CONCLUSION

● BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

Contrairement à un contrôle dit passif, le contrôle actif analyse la situation à laquelle il est confronté et s'adapte pour répondre au mieux aux attentes du système.

Pour donner un exemple, les suspensions actuelles sont passives, lors d'un défaut sur la route, l'amortisseur absorbera le choc, mais les passagers le ressentiront. On dit souvent qu'un amortisseur est trop ferme ou souple. Dès 1994 sur la Xantia Activa (Citroën) installe une suspension active. Cette technologie permet alors de raffermir ou bien d'assouplir les suspensions en fonction des défauts de la route. Il en résulte une meilleure tenue de route sur sol accidenté ou en virage.



Suspension active Bose

Le contrôle actif est aussi présent dans de nombreux domaines de pointe : aviation, vibration de structures, acoustique,...

Historique :

L'idée de ce type de contrôle est apparue dans les années 30 et d'avantage de développement fut réalisé dans les années 50. Cependant le contrôle actif fut réellement réalisable qu'à partir de l'apparition d'ordinateurs performants. C'est donc dans les années 70 qu'il est devenu l'un des principaux sujets de la recherche acoustique. De nos jours, plusieurs centaines d'articles techniques paraissent chaque année et plusieurs dizaines d'entreprises se sont spécialisées dans ce domaine. De plus le sujet est largement abordé dans les universités et les laboratoires de recherches.

Dans ce compte-rendu, nous nous intéresserons plus particulièrement à l'**anti-bruit actif** dont le but est de supprimer un bruit indésirable.

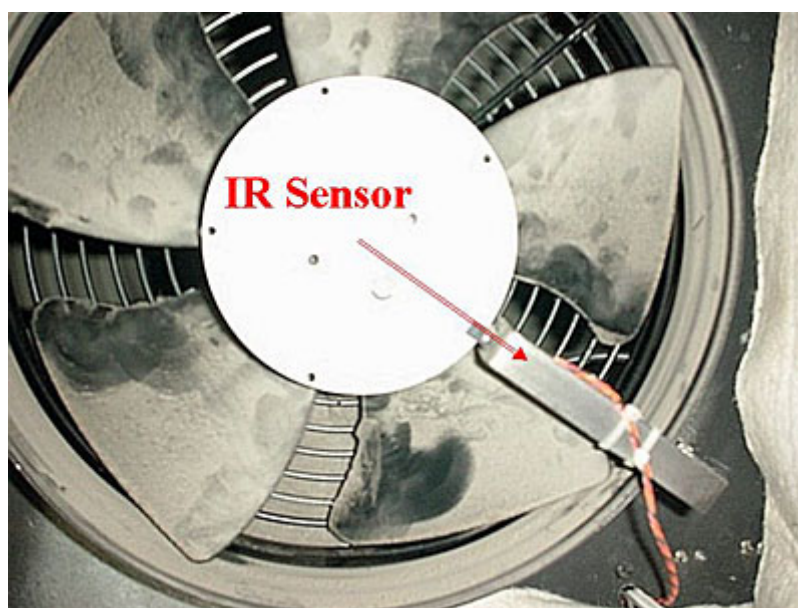
L'ANTI-BRUIT ACTIF

Principe

Le bruit, contrairement au son, est caractérisé par son caractère gênant. Il est la cause de fatigue et de stress et peut conduire à la surdité, notamment dans l'activité professionnelle. Le confort acoustique commence pour un niveau de bruit inférieur à 50dB et au-delà de 65 dB il peut devenir dangereux pour certaines fréquences.

C'est pourquoi dans le milieu professionnel, mais aussi dans l'habitat, nous installons des systèmes qui nous « isolent » des bruits extérieurs ou environnants. Ces systèmes (passifs généralement) sont des parois isolantes, des baffles anti-bruit, des résonateurs. Seulement, ces dispositifs ne sélectionnent pas le bruit à atténuer. Ils atténuent non seulement le bruit mais aussi tout autre son qu'il pourrait être utile d'entendre (alarme d'incendie, parole). Ainsi la mise en place de protections individuelles telles les bouchons d'oreilles dans une industrie peut être néfaste pour la sécurité des ouvriers. Il peut-être alors nécessaire d'utiliser le contrôle actif.

Le principe de l'anti-bruit actif est basé sur la théorie des ondes destructives. En théorie, il suffit de superposer un bruit en opposition de phase avec le bruit indésirable. Ainsi les deux ondes acoustiques se superposent et s'annulent. La réalisation d'un tel système est relativement simple à concevoir pour un bruit régulier, mais devient vite très complexe pour un son aléatoire. De plus les systèmes actuels sont efficaces uniquement pour le traitement de zones localisées (conduit auditif, conduits de climatisation,...) et ne le sont moins pour traiter acoustiquement des grands volumes. Et non, les anti-bruits actifs ne permettent pas de vous isoler de vos voisins bruyants... désolés.



Exemple d'utilisation : gaines de ventilation

Deux approches différentes

Il existe deux approches principales d'anti-bruit actif :

- ASAC (*Active Structural Acoustic Control*)
- ANC (*Active Noise Cancellation*)

1) ASAC (*Active Structural Acoustic Control*)

Dans cette approche du système on utilise un actionneur mécanique (par exemple de transducteurs de type piézoélectrique ou magnétostrictifs), qui va agir directement sur le système vibrant responsable du bruit.

Il s'agit d'un contrôleur de vibration qui traite le bruit à sa source.

Il est utilisé pour réduire les vibrations de structure de machines bruyantes (industrie), dans les pots d'échappements de voiture (clapet qui régule le débit d'échappement).

2) ANC (*Active Noise Cancellation*)

L'ANC, par contre, agit sur un bruit qui est déjà formé. L'actionneur est alors un haut-parleur. Il s'agit du cas du casque anti-bruit actif, de la gaine de ventilation.

Il est à noter qu'une approche sera préférée à l'autre, à cause de la nature du bruit (peut-on traiter le bruit à la source ?) et des conditions d'utilisations (Température, encrassement, pression,...).

Dans notre étude, on s'intéresse plus particulièrement au cas du contrôle actif ANC.

Démonstration

Nous avons trouvé un logiciel (ANC_demo.exe) de démonstration sur le site <http://www.val.me.vt.edu> (Vibration and Acoustics Laboratories).

Cette simulation permet de bien visualiser le principe de l'anti-bruit actif. Elle permet d'émettre un son à la fréquence de 1000Hz et un son de même fréquence en opposition de phase (déphasage de π). On constate alors la capacité du système à détruire le bruit gênant.

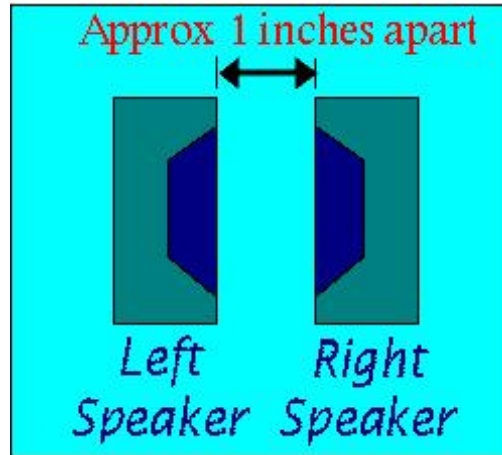
Matériel nécessaire :

- Un ordinateur muni d'une carte son **STEREO**
- Le logiciel (ANC_demo.exe)
- Deux enceintes **STEREO**

Principe : Ondes destructives

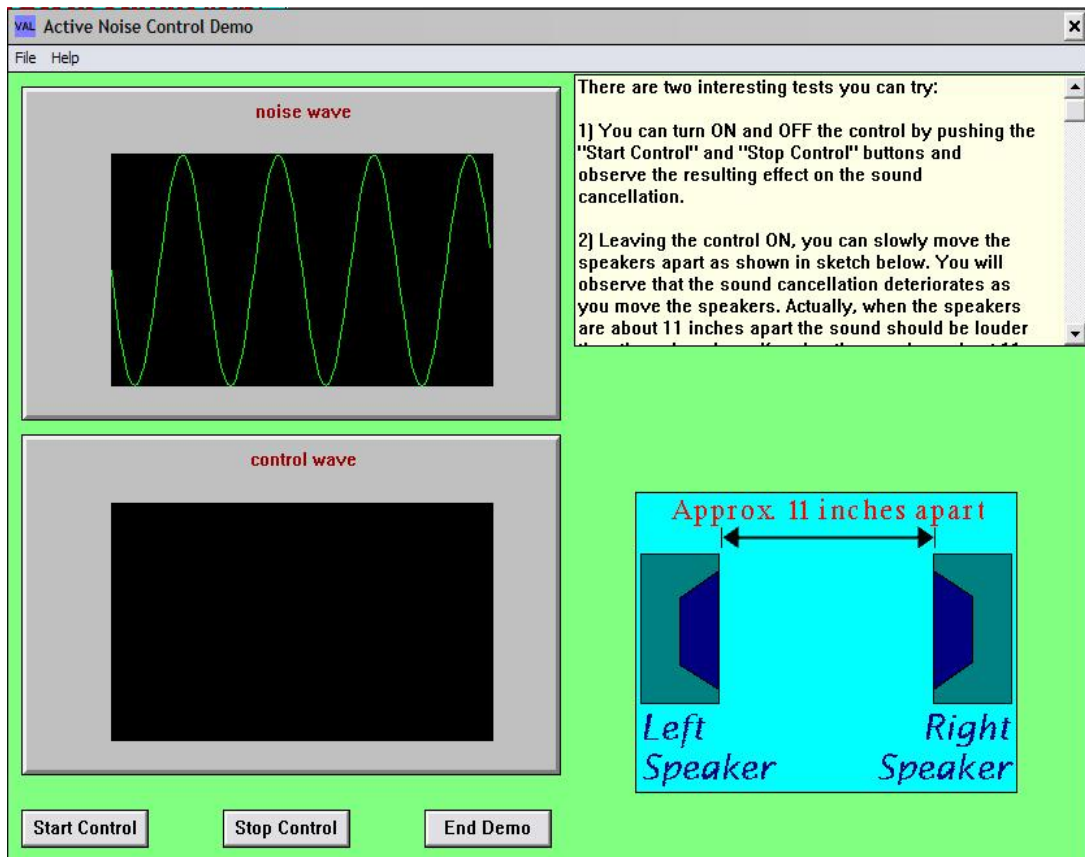
Manipulation :

- On place les deux enceintes faces à face, séparées d'une distance de moins de 5 cm.



- On lance le logiciel (ANC_demo.exe).
- On appui sur pour lancer la démo.

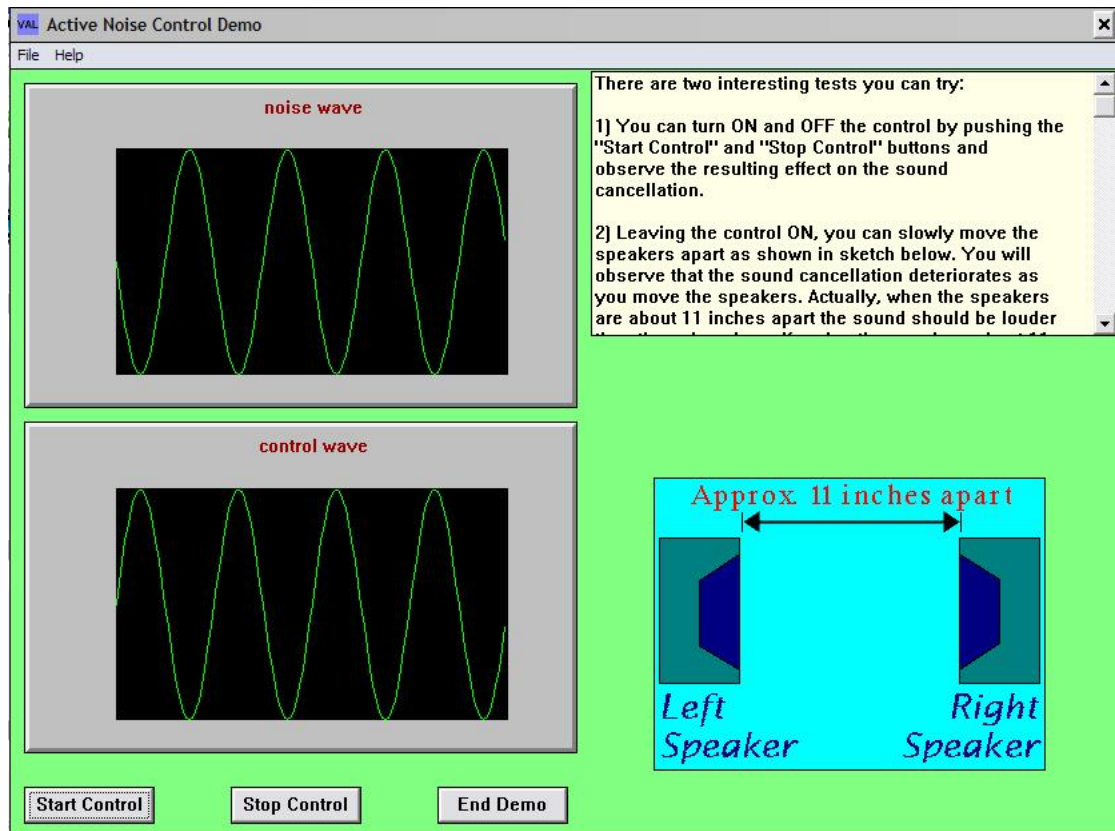
→ On émet alors, sur une des deux enceintes, un son à 1000Hz censé représenter le bruit gênant.



On veut maintenant annuler ce son gênant.

- On émet alors le même son (1000Hz) mais en opposition de phase sur la deuxième enceinte en appuyant sur « START CONTROL ».

→ La deuxième onde va donc détruire la première et on n'entend plus le son gênant.



Cette démonstration nous montre bien le principe de l'anti-bruit actif, mais elle nous en montre aussi les **limites** car **si l'on éloigne trop les deux enceintes** le contrôle fonctionne de moins en moins bien. De plus, celle-ci se limite au cas d'un « bruit » sinusoïdal ce qui est un cas relativement rare dans la réalité. C'est pourquoi les systèmes actuels d'anti-bruit actif sont beaucoup plus complexes.

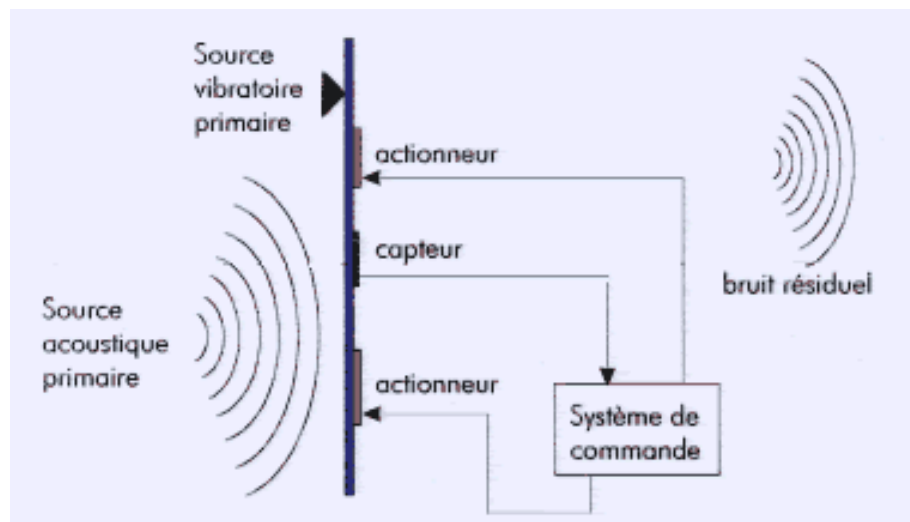
On peut aussi imaginer les applications d'un tel système. En effet on peut émettre de la musique ou de la parole sans la déformer et en supprimant uniquement les fréquences gênantes (Utilisé pour les casques anti-bruits actifs communicants). On peut essayer en lançant conjointement à la démo un fichier audio. Lorsque le contrôle n'est pas activé, on ressent une forte gêne due au son de 1000Hz. Lorsque on lance le contrôle on entend notre fichier audio sans aucune gêne.

MISE EN ŒUVRE DE L'ANTI-BRUIT ACTIF

Les éléments constitutifs

Un système d'anti-bruit actif est constitué de quatre parties principales :

- le **système à traiter** (bruit de moteur, conduit de climatisation et toutes autres sources dont on veut diminuer le niveau de pression acoustique)
- les **capteurs** constitués généralement d'un ou plusieurs microphones ou de capteurs infrarouges. Ils captent le signal à traiter et le transforme en un même signal électrique.
- le **processeur** (calculateur analogique ou numérique) qui reçoit les signaux du capteur et les traite.
- l'**actionneur** (haut-parleurs, générateurs de vibration,...) qui transforme le signal en une onde de pression opposée qu'il superpose à l'onde de pression à atténuer.



Le casque Anti-Bruit

Les casques anti-bruit classiques protègent mal leur porteur à basse fréquence lorsque l'épaisseur des coquilles devient trop petite devant la longueur d'onde. Inversement, à basse fréquence, réaliser un point sourd dans la coquille du casque suffit à réduire le bruit jusque dans le conduit auditif. Un contrôle actif efficace est envisageable dans la bande de fréquence 30-500Hz, y compris avec un haut-parleur de petite surface.

Pour ce qui est du filtre de contrôle, il est peu envisageable de disposer un ensemble de capteurs de référence autour du porteur du casque pour détecter à l'avance les bruits incidents sauf par exemple dans le cas de bruits produits par des machines de proximité (cas d'un moteur d'hélicoptère). On doit plutôt résoudre le problème de contrôle par feedback que par feedforward. Il s'agit pour le casque de deux problèmes monovoie, le bruit produit dans une coquille ne parvient pas jusqu'à l'autre.

Alain ROURE et Christian CARME au cours de sa thèse ont mis au point et breveté dans les années 80 un casque anti-bruit actif permettant une atténuation active du bruit dépassant les 20dB dans la bande 100-400Hz. Ce casque et ses variantes ultérieures (permettant par exemple une communication radio) sont commercialisés par Technofirst (société créée par C. CARME). Il permet d'améliorer significativement la protection des personnes exposées à des bruits intenses avec des composantes basse fréquence comme par l'exemple dans les aéroports.

Des grands groupes, comme Sony, ont également mis sur le marché des anti-bruits actifs.

Présentation du casque

Il faut, à l'entrée du conduit auditif, que le signal traité soit superposé au signal primaire de façon à l'annuler.

Casque Technofirst

Il est composé du casque (processeur, micro et haut-parleur intégrés dans les oreillettes) et d'une batterie (accumulateur), qui se recharge sur le secteur.

Le casque anti-bruit de Technofirst permet d'atténuer de 40dB en moyenne le bruit environnant.

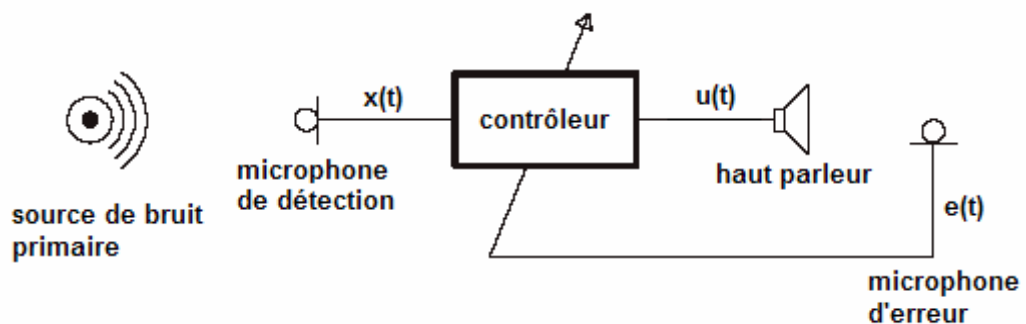


Le casque Technofirst étudié présente une bonne protection acoustique pour les fréquences graves. Ce système permet d'éviter la sensation d'isolement par rapport au milieu ambiant et il permet une bonne intelligibilité (version communicante).

Fonctionnement

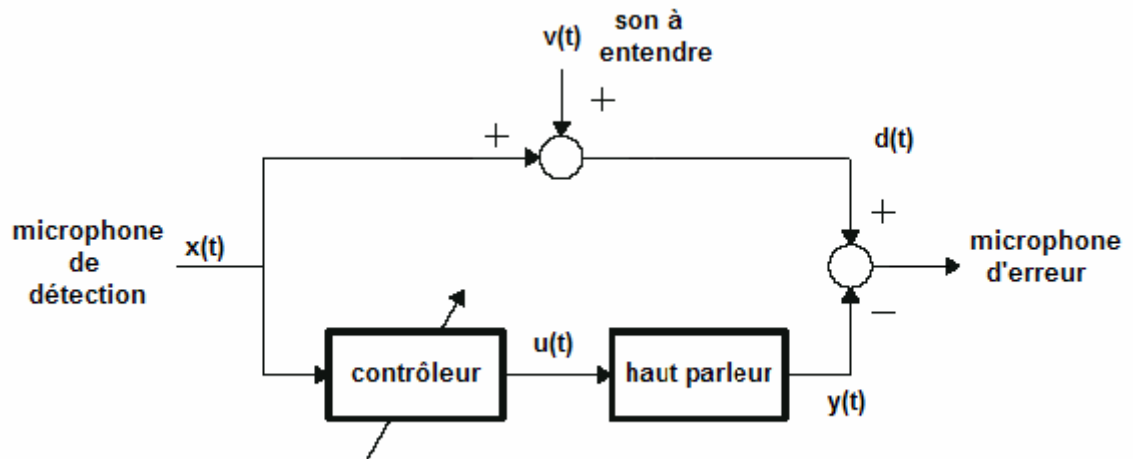
Avant de comprendre comment fonctionne le casque **Technofirst**, intéressons nous au cas du casque anti-bruit pour hélicoptère. Ce casque a la particularité d'avoir un microphone qui capte directement le bruit à annuler, le plus souvent proche des hélices et du moteur.

Le schéma de ce casque est le suivant :



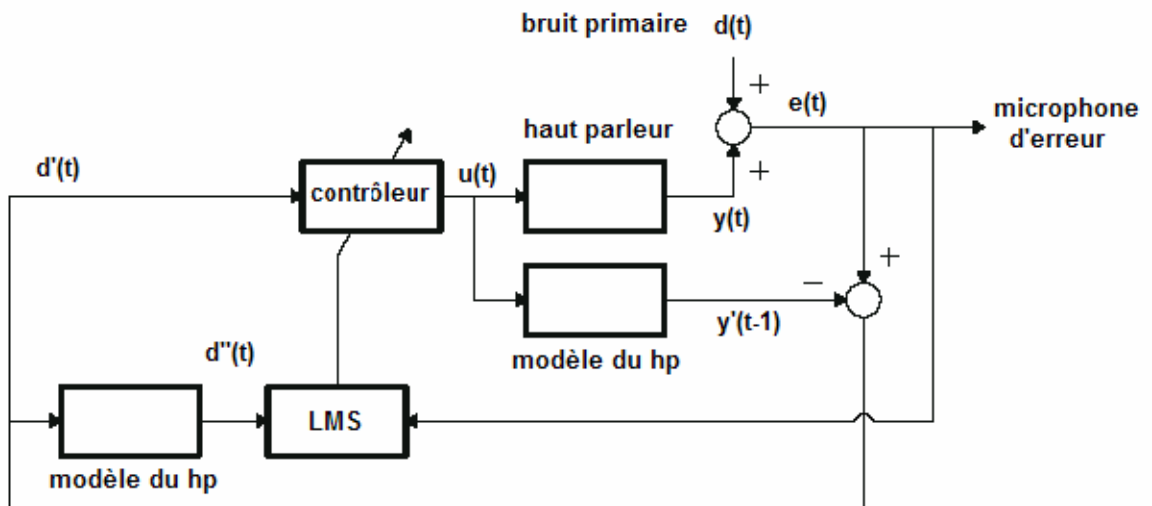
Le micro de détection capte le bruit indésirable. Il en résulte un signal $x(t)$ qui passe dans le filtre. $u(t)$ est alors un « anti-bruit » qui vient s'ajouter au bruit indésirable. Le bruit qui n'est pas annulé est alors capté par le microphone d'erreur dont le signal $e(t)$ retourne dans le filtre et sera alors annulé par ce dernier. La précision de la fonction de transfert du filtre influe beaucoup sur l'efficacité du contrôle actif, en effet, une erreur de 1% sur ce filtre entraîne une limitation de l'atténuation du casque à 40 dB.

Si on vient y ajouter un bruit ambiant, le schéma devient le suivant :



$x(t)$ (signal du bruit indésirable) passe dans le contrôleur (on a $u(t)$) puis dans le haut-parleur ($y(t)$). $y(t)$ est alors soustrait à la somme du bruit et du bruit ambiant ($v(t)$). On obtient alors $e(t)$ qui en théorie serait égal à $v(t)$, mais ce n'est pas le cas, d'où la nécessité d'une correction. Il devient alors possible d'entendre une alarme ou une personne parler même si l'on est dans une ambiance très bruitée.

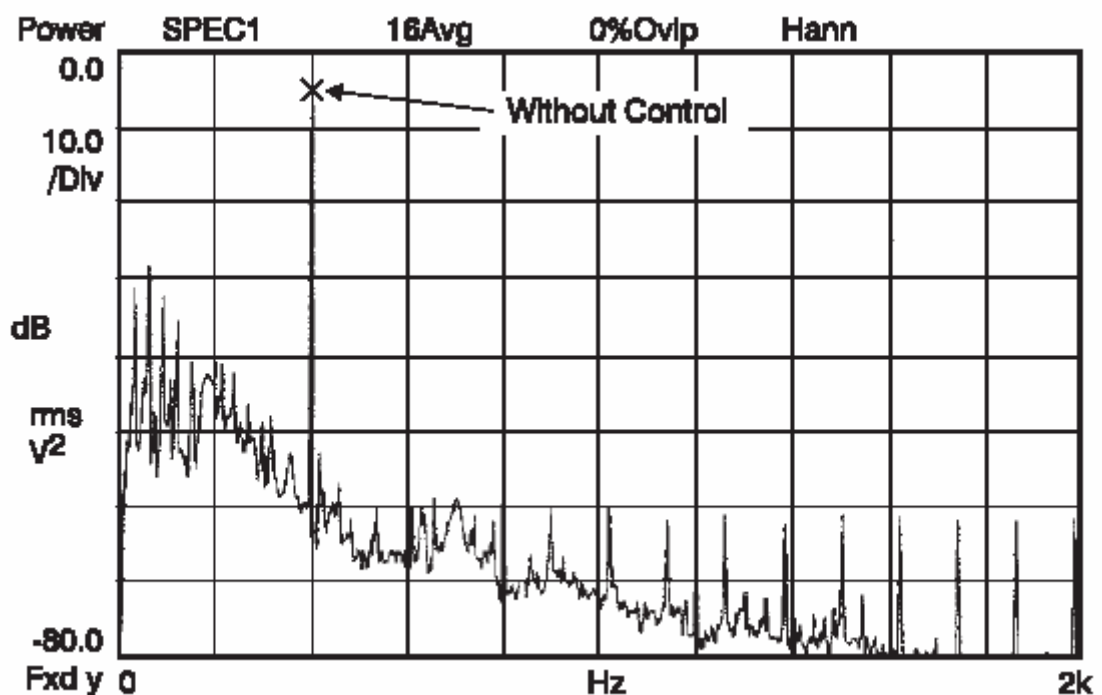
Quand le microphone de détection n'est pas disponible, comme dans le cas du casque anti-bruit **Technofirst**, la structure « feedback » développé par Morari peut-être utilisée. Une estimation du bruit primaire est obtenu en introduisant un modèle mathématique dans le filtre du casque. On peut noter que si l'algorithme prédit parfaitement, le bruit primaire, le contrôle actif sera parfait. Cet algorithme est programmé dans un microprocesseur intégré au casque, son schéma bloc est le suivant :



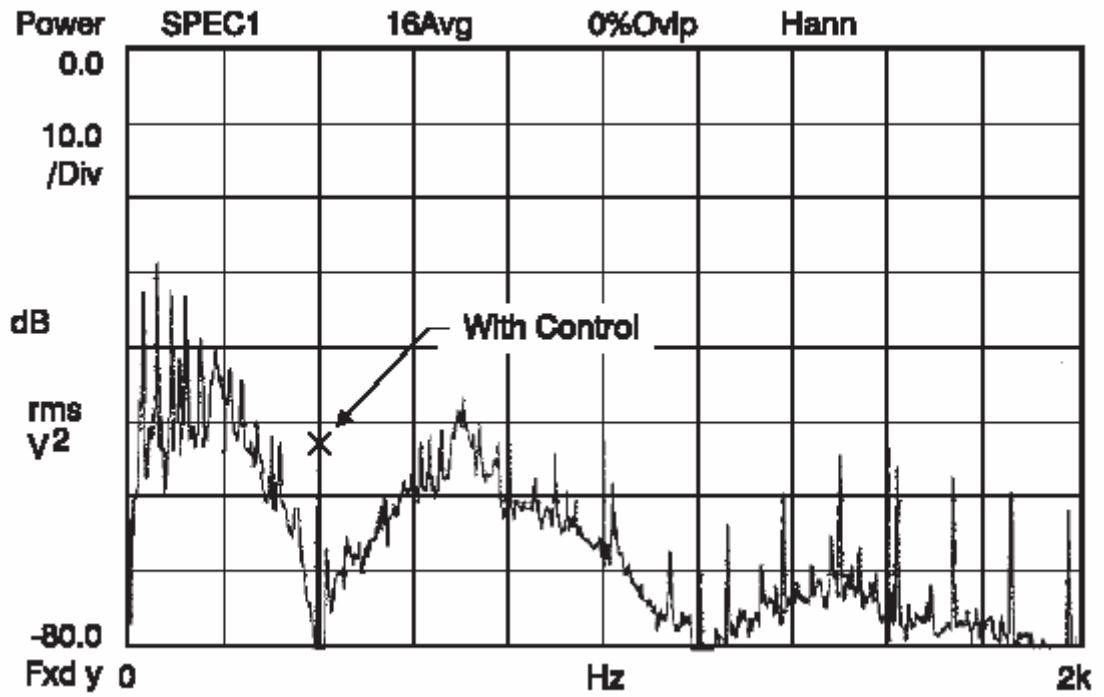
Le fonctionnement est relativement complexe. Nous allons donc tenter ici une explication très simplifiée de l'algorithme.

Après initialisation, le programme tourne en boucle en attendant un signal $d(t)$. Lorsque la première impulsion de $d(t)$ arrive, $e(t)$ est lue. Grâce à cela l'estimation du bruit $d'(t)=e(t)-y'(t-1)$ et la sortie du contrôleur $u(t)$ sont calculés. Ce signal est ensuite émis grâce aux haut-parleur et va servir à donner le $y'(t-1)$ de l'impulsion suivante avec l'aide du modèle du haut-parleur. A tout moment, l'erreur $e(t)$ est minimisée à l'aide du filtre LMS qui utilise la méthode des moindres carrés.

Le résultat de l'atténuation du casque est le suivant (situation avant et après contrôle actif) :



Sans le contrôle



Avec le contrôle

Dans le cas ci-dessus, on à une atténuation maximale pour une plage de fréquence étroite autour de 400 Hz.

CONCLUSION

Le contrôle actif doit être efficace pour être légitime devant le contrôle passif. En effet, à efficacité équivalente, on préférera toujours le contrôle passif plus économique et plus facile à mettre en œuvre. Si la théorie du contrôle actif semble facile à comprendre ; il suffit de superposer un son opposé au bruit indésirable, il est beaucoup plus complexe de le réaliser efficacement.

Si ce procédé semble avoir de larges applications, il en est tout autre, en effet, son utilisation se cantonne aux espaces réduits tels les conduits ou l'intérieur d'un casque. Si l'on veut appliquer ce procédé à des espaces plus large (habitacle de voiture ou d'avion), il faut mettre en place un grand nombre de hauts parleurs pour avoir une bonne efficacité d'où des problèmes de coût. Cela explique pourquoi le contrôle actif laisse encore sceptique dans le domaine de l'acoustique.

L'anti-bruit actif reste donc très complexe à mettre en œuvre et il est très difficile de comprendre son fonctionnement, comme nous l'avons appris en travaillant sur ce sujet d'étude. Pour bien appréhender ces systèmes, il faut maîtriser à la fois l'acoustique, l'électronique, l'automatique ou bien encore le traitement du signal qui est omniprésent dans tous les anti-bruits actifs.

Si le contrôle actif ne convainc pas tout le monde, son avenir semble néanmoins assuré au vue du nombre d'études et de recherches actuelles sur le sujet.

BIBLIOGRAPHIE

Une introduction au contrôle actif du bruit, *Emmanuel Friot*, CNRS Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique

Vibration and Acoustics Laboratories, <http://www.val.me.vt.edu>

Adaptative active noise control for headphones using the TMS320C30 DSP, *application report, Texas Instrument.*

Site du fabricant du casque, www.technofirst.com

Active noise control, <http://users.erols.com/ruckman/Introduction.htm>

<http://home.mit.bme.hu/~sujbert/active.html>