



INRIA Rhône-Alpes
655 Avenue de l'Europe
38330 Montbonnot



Rapport de stage de Master 1ère année EEATS

Mariam SALL

Localisation d'une source sonore dans un environnement 2D

Date de stage : Du 11/04/2005 au 11/08/2005

Responsables de stage :

M. Roger PISSARD-GIBOLLET et M. Jean-François CUNIBERTO (INRIA)

M. Gilles CAUFFET (UJF)

Remerciements

Je ne peux commencer ces remerciements, sans avoir une pensée et de la gratitude pour Pascal Di Giacomo, qui est à l'origine de ce projet.

Je tiens également à remercier Roger Pissard-Gibolet et J.F Cuniberto, qui ont suivi et encadrés ce travail. Je suis reconnaissante du temps qu'ils m'ont consacré. Leur conseil et surtout de leur patience m'ont été d'une aide précieuse.

Je remercie aussi Dominique Vaufreydaz qui a m'a conforté dans mon choix de la méthode de localisation. Ainsi que toute l'équipe SED G. Baille, N.Turro et S.Arias pour leur accueil, leur disponibilité et leur gentillesse.

Enfin, je n'oublie pas mes camarades de stage Charles, Albino, et les participants du club robotiques de l'INRIA Rhône Alpes avec qui j'ai passé de bons moments.

Sommaire :

I Introduction.....	1
I.1 Présentation du stage.....	1
I.2 Présentation du plan.....	1
I.3 Organisation du travail.....	2
I.4 Présentation de l'environnement de travail.....	3
I.4.1 de l'INRIA.....	3
I.4.2 Quelques chiffres.....	4
I.4.3 L'INRIA Rhone Alpes.....	4
I.5 Le Service Support Expérimental et Développement.....	5
II Etudes préliminaires.....	7
II.1 A la recherche du son.....	7
II.2 Définitions générales.....	7
II.3 Etat de l'art des microphones.....	8
II.3.1 les microphones dynamique.....	8
II.3.2 les microphones électrostatique.....	9
II.3.3 les microphones à électret.....	10
II.4 Directivité des microphones.....	10
II.5 choix du capteur.....	12
II.6 Principe du traitement des signaux sonores.....	13
II.6.1 Illustration : Acquisition d'un signal sonore via la carte son du PC...13	
III Méthodes de Localisation d'une source sonore.....	14
III.1 Méthode 1 : ILD.....	14
III.2 Méthode 2: TDOA.....	15
III.3 Choix de la méthode de localisation.....	15
III.4 Illustration pour 2 microphones.....	15
III.5 Illustration pour 3 microphones.....	19
IV Description de la chaîne d'acquisition.....	22
IV.1 Circuit analogique.....	22
IV.1.1 Etage d'entrée.....	22
IV.1.2 Pré-Amplification.....	23
IV.1.3 filtrage.....	23
IV.2 carte d'acquisition / PC.....	24
IV.2.1 Numérisation.....	24
IV.2.2 La carte d'acquisition PCI 6035 E.....	25

V Expérimentations	26
V.1 Dispositif expérimental.....	27
V.2 Implémentation de l'algorithme TDOA Sous Scilab.....	28
V.2 Estimation de l'azimut.....	28
VI Conclusions & Perspectives	30
Annexes	31
Annexe A.....	31
Annexe B	32
Annexe C.....	35
Annexe D.....	36
Annexe E.....	40
Annexe F.....	42
Annexe G.....	43
Bibliographie	47

I Introduction

I.1 Présentation du stage :

Le stage est un moment important en vue de la validation du Master EEATS (Electronique, Electrotechnique, Automatique et Traitement du signal). En effet, un des avantages de cette formation est de proposer un enseignement théorique tout en donnant la possibilité de mettre en pratique ces acquis. Cette mise en pratique est réalisée par le biais d'un stage.

Ce stage se déroule au sein du service Support Expérimentation et Développement logiciel (SED) de l'INRIA Rhône-Alpes, qui est chargé de la mise en oeuvre des outils matériels et logiciels pour les expérimentations robotiques des projets de recherche du site. Dans ce cadre, il est amené à adapter ou développer des capteurs en vue de l'exploitation de données sensorielles dans les systèmes robotiques.

Le but de ce stage est de réaliser les blocs de base servant à la localisation sonore. Ces blocs de base consistent en la conception de la chaîne d'acquisition (choix des microphones, carte analogique, acquisition numérique, et algorithmes de localisation). Cette chaîne d'acquisition est destinée aux futures applications nécessitant la localisation sonore, tels que :

- Le contrôle de la direction d'une caméra monté sur une tourelle
- Le contrôle de la direction d'un robot mobile: Un son pourrait l'attirer ou le repousser.

Mais, la réalisation d'un tel capteur soulève plusieurs problématiques :

Quelles doivent être les technologies utilisées pour mettre en oeuvre ce dispositif?

Combien de capteurs faut il utiliser ?

Quelles méthodes de localisation appliquer au capteur?

Comment traiter les signaux acquis ?

C'est pourquoi, dans ce rapport, je vous décrit le système de perception développé pendant mon stage suivant le plan ci dessous.

I.2 Présentation du plan

Le choix de microphones adaptés à la mesure d'un son est primordial (et pour cause, c'est le premier maillon de la chaîne !). Dans un premier temps, l'état de l'art des différents microphones, me permettra de faire mon choix sur la technologie à utiliser. Ensuite, mon attention se portera sur l'acquisition du signal sonore à proprement dit afin d'en exploiter l'information contenue. Une fois le signal sonore numérisé, je pourrai implémenter l'algorithme de calcul qui permettra la localisation. Cependant, il va de soi qu'une étude des différentes méthodes de localisation a préalablement été réalisée. Une

fois les outils et les méthodes choisis, je m'intéresserai aux résultats expérimentaux découlant de la chaîne de mesure et de son algorithme de traitement.

I.3 Organisation du travail

La figure suivante illustre comment s'est organisé mon travail. Un tel travail a demandé un investissement important dans les phases de recherche bibliographique, c'est pourquoi, il est découpé en plusieurs parties. A noter que ces phases d'études ont été déterminantes pour la réalisation de cette chaîne de mesures.

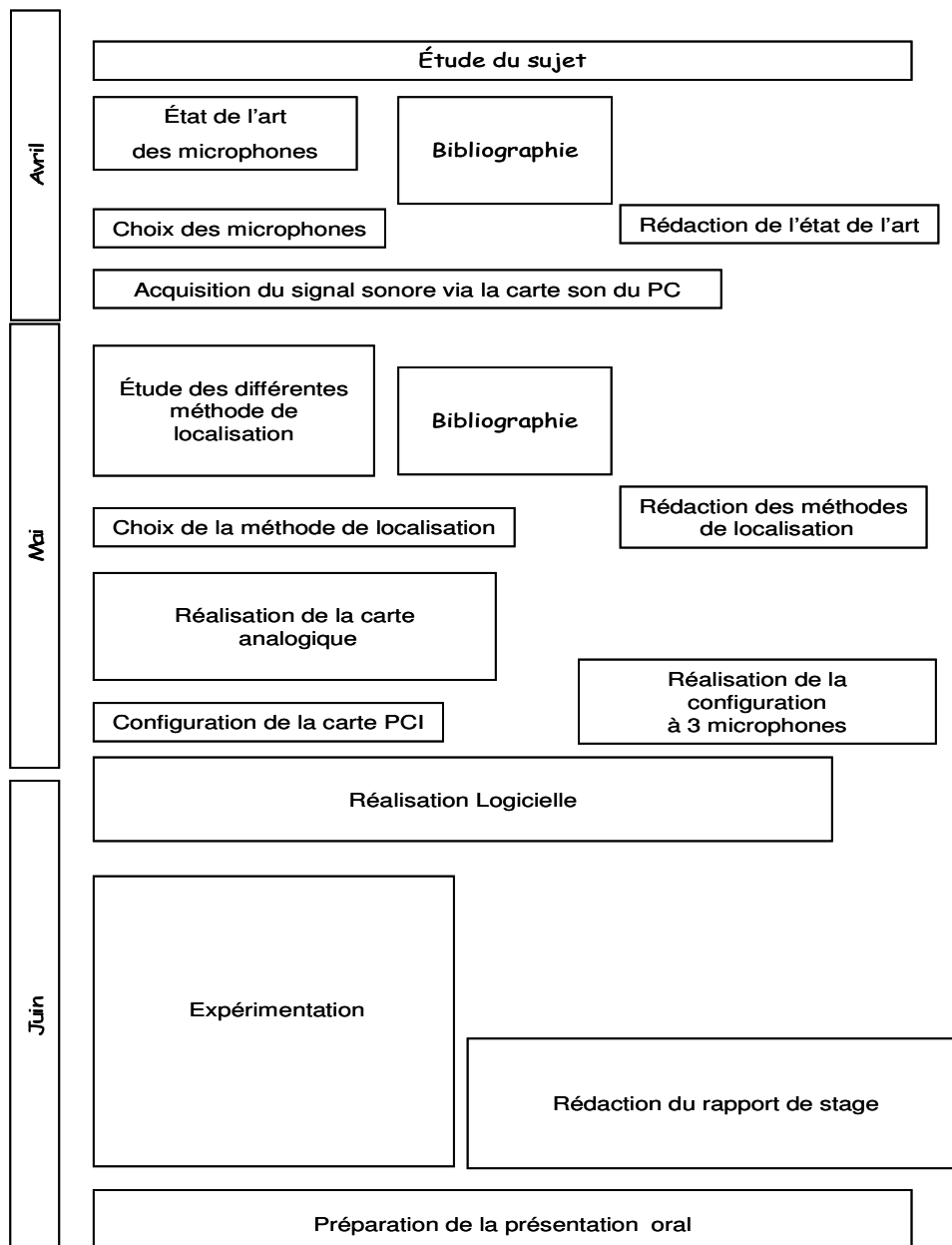


Figure - Organisation du travail

I.4 Présentation de l'environnement de travail:

I.4.1 INRIA

L'INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique) [1] a été créée en 1967 à Rocquencourt, près de Versailles, dans le contexte du « Plan Calcul » lancé pour renforcer la recherche et l'industrie française en informatique. C'est un établissement public à caractère scientifique et technologique placé sous la double tutelle du ministère de la recherche et du ministère de l'économie, des finances et de l'industrie.

Les principaux objectifs de l'INRIA pour les prochaines années sont :

- Continuer à développer un modèle d'établissement très ouvert.
- Réaliser des percées scientifiques et technologiques au meilleur niveau mondial
- Renforcer le partenariat avec les universités et les écoles.
- Développer ses nouvelles implantations INRIA Futurs à Bordeaux, Lille et Saclay.
- Accroître son attractivité dans la compétition internationale, amplifier son engagement dans l'espace européen de la recherche et développer ses collaborations avec l'Asie.
- Amplifier ses efforts en matière de diffusion de l'information scientifique.
- Poursuivre le développement de sa politique de ressources humaines.

L'INRIA est maintenant implanté sur le territoire national:



I.4.2 Quelques chiffres :

Ressources budgétaires

- budget total: 135 M Euros HT (janvier 2005)
- ressources propres : 1/5

Ressources humaines

- 3 500 personnes, dont 1 800 rémunérées par l'INRIA
- 2 700 scientifiques, dont 950 doctorants et 500 contractuels (post doctorants et ingénieurs)
- 1 031 emplois budgétaires dont 468 chercheurs et 560 ingénieurs, techniciens et administratifs
- 300 stagiaires.

Activités scientifiques (janvier 2005)

- 124 projets de recherche et 1 projet de développement
- 2 600 publications scientifiques
- 25 conférences internationales organisées ou co-organisées par l'INRIA ayant mobilisé 4 360 participants dont 3 200 étrangers
- 11 500 heures d'enseignement

Relations industrielles (janvier 2005)

- 750 contrats de recherche actifs
- 175 brevets actifs
- 120 logiciels distribués en accès libre (disponibles en accès gratuit sur le site de l'INRIA [1] ou à travers la diffusion d'un cédérom) ou commercialisés
- 80 sociétés de technologie issues de l'INRIA, depuis Ilog, aujourd'hui cotée au Nasdaq, jusqu'aux toutes dernières, 12 en 2000, 4 en 2001, 3 en 2002, 7 en 2003 et 7 créées en 2004

I.4.3 L'INRIA Rhône Alpes :

Créée en 1992, l'unité de recherche INRIA Rhône Alpes [2], implique plus de 450 personnes. L'INRIA Rhône-Alpes poursuit des recherches avancées dans les sciences et technologies de l'information, avec entre autre de nombreux partenariats et échanges, dont le CNRS, les universités Joseph Fourier (UJF) et Pierre Mendès-France (UPMF).l'institut Informatique et Mathématiques Appliquées de Grenoble (IMAG) et les établissements régionaux d'enseignement supérieur : Ecole Normale Supérieure de Lyon (ENSL), Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG). Elles permettent la mise en place de plates formes expérimentales à la pointe de la technologie. Ces activités sont organisées autour de cinq pôles de recherche divisés en plusieurs équipes autonomes :

1. Systèmes communicants : Ou comment garantir une transmission fiable et sécurisée de l'information entre des systèmes hétérogènes, complexes, mobiles et embarqués, et comment augmenter leurs performances et leur autonomie tout en assurant leur miniaturisation. Equipes : ARES, COMPSYS, OBJECTWEB, PLANETE, POP ART, SARDES, TRIO, VASY.

2. Systèmes cognitifs : Ou comment reconnaître les objets ou mouvements captés dans un environnement réel et comment les reproduire dans un environnement virtuel. Equipes: ARTIS, EVASION, I3D, LEAR, MISTIS, MOVI, PRIMA.

3. Systèmes symboliques: Ou comment optimiser les procédés de calcul informatique, par exemple pour améliorer la gestion des données texte, image et son dans le multimédia et sur le Web. Equipes: ARENAIRE, EXMO, WAM.

4. Systèmes numériques: Ou comment analyser, modéliser et simuler de grands systèmes complexes manipulant de grandes masses de données et leur donner la capacité de réagir par eux-mêmes face à un évènement imprévu. Equipes: BIPOP, e-MOTION, MESCAL, MOAIS, GRAAL, IDOPT, OPALE, RESO.

5. Systèmes biologiques : Ou comment modéliser le vivant pour accompagner la recherche biologique et médicale avec des outils informatiques adaptés à partir des données génomiques et post-génomiques. Equipe : HELIX.

I.5 Le service Support Expérimentation et Développement

Le service Expérimentation et Développement (SED) [3] est un service de l'INRIA Rhône-Alpes, dont le rôle est la mise en oeuvre et la maintenance de plates-formes pour réaliser les expérimentations des projets. Les missions qui lui sont attribuées sont de trois types :

- 1 Activité de service : maintenance des systèmes robotiques installation et maintenance de logiciels spécialisés interface entre les utilisateurs et le service informatique assistance aux utilisateurs
- 2 Activité de développement : mise en place d'expérimentations développement de logiciels dédiés à la robotique
- 3 Activité de recherche : conception de systèmes, confrontation théorie et expérimentations.

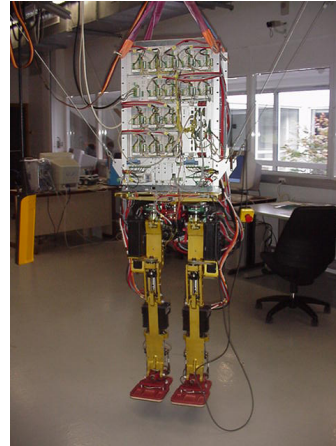
En outre, le but du SED est de fédérer l'effort expérimental en favorisant les expérimentations inter projets, la mise en commun des moyens expérimentaux et les outils réutilisables. Le SED travaille en collaboration avec les différents projets

touchant à la robotique, la vision et la réalité virtuelle (SHARP, MOVI, BIPOP, iMAGIS, PRIMA).

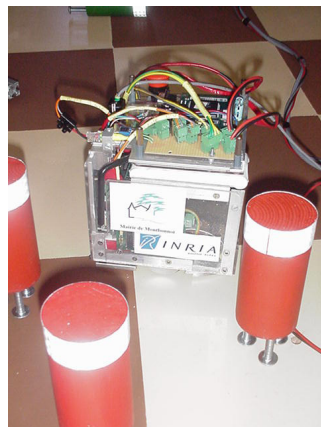
Le service SED a entre autre a sa disposition une halle robotique, afin d'y effectuer les divers expérimentations. D'ailleurs vous pourrez observer quelques un des projets en cours sur la figure ci dessous



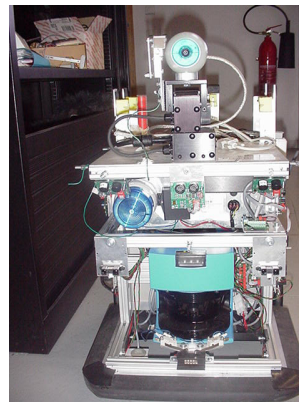
Cycab



Robot anthropomorphe BIP



Robot de la coupe E=M6



Biba

Figure - les différents projets en cours dans la halle robotique

II Etudes préliminaires

II.1 A la recherche du Son

Un des principaux défis en robotique est de développer à l'instar de l'homme des « capteurs » qui recevraient sans discrimination les informations en provenance de son environnement. En effet, on considère souvent la perception comme un phénomène purement passif. Dans le monde de la robotique nous serions des robots mobiles munis de microphones (les oreilles), de caméras (les yeux), de nombreux capteurs de pression et de température (la peau), de capteurs chimiques (le goût et l'odorat) et de capteurs cinétiques (les labyrinthes ou vestibules : organes de l'oreille renseignant l'individu sur sa position dans l'espace et les mouvements qu'il y effectue). Dans notre cas, nous désirons développer la perception auditive. Donc, avant de commencer l'étude du capteur pour la localisation 2D, il m'a paru important de rappeler quelques définitions générales.

II.2 -Définitions générales

La perception naturelle de l'espace sonore passe par la localisation des sources qui nous entourent. Localiser une source, c'est déterminer son azimuth (sa direction), sa profondeur (sa distance) et son élévation (sa hauteur).

Un signal est un phénomène physique transportant une information. Nous nous intéressons ici aux signaux sonores qui peuvent être, par exemple, un 'clap', un sifflement, ou tout simplement un bruit. On sait qu'un signal sonore est une vibration de l'air se transmettant par des variations de pressions plus ou moins rapides et plus ou moins importantes, la rapidité étant caractérisée par la fréquence tandis que l'importance est caractérisée par l'amplitude de la vibration, la puissance du signal est proportionnelle au carré de son amplitude.

Les sons peuvent se propager dans tous les milieux matériels, mais, pour des raisons techniques, on ne peut les modifier qu'avec des appareils électroniques de sorte que, pour un son déterminé, il faut le transformer en signal électromagnétique pour lui faire subir le traitement que l'on désire.

Tout comme la lumière, le son est constitué par un spectre. L'oreille est équipée pour l'analyse de ce spectre: elle est constituée de milliers de cellules spécialisées dans une gamme très sélective de fréquences. La perception est un procédé d'analyse du spectre sonore par décomposition en sons élémentaires. Notre oreille est sensible aux fréquences entre 30 Hz et 16 kHz, avec un maximum de sensibilité aux alentours de 3 kHz. C'est aux alentours de cette fréquence que sont situés les sons produits par la voix.

La fréquence d'un signal sonore caractérise la perception de hauteur de ce son: plus la fréquence est grande, plus le son perçu est aigu et inversement, plus la fréquence est basse, plus le son perçu est grave.

L'amplitude sonore correspond à l'intensité, elle est mesurée en décibels acoustiques (dBa). 0 db correspond à notre seuil d'audition. Le carré de l'amplitude du signal est proportionnel à la sensation d'intensité sonore.

Quelques valeurs typiques d'intensité sonore:

	Décibels
Bruissement de feuille	15
Tic tac de montre	35
Sonnerie de téléphone	60
Imprimante	70
Seuil de risque	90
Baladeur à fort volume	95
Local de répétition	100
Concert amplifié/discothèque	105
Seuil de douleur	120
Fusée Ariane	180

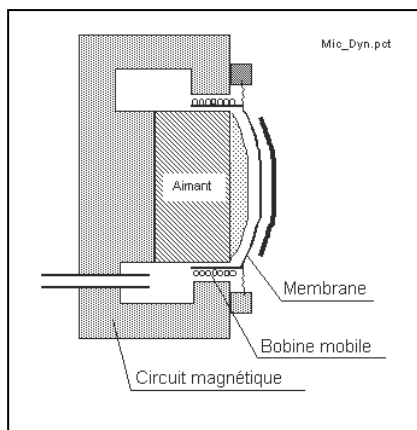
Figure - valeur typique d'intensité sonore

II.3 Etat de l'art des microphones

Il m'a paru évident qu'un premier axe de recherche consistait à étudier les différentes technologies pour la mesure d'un son. Il existe trois technologies majeures [4]:

II.3.1. Micro Dynamique

Principe



Une bobine mobile est solidaire de la membrane. Cette dernière, sous l'effet des variations de pression acoustique fait osciller la bobine dans un champ magnétique annulaire produit par un aimant permanent. La bobine coupe les lignes de force du champ magnétique. En raison de ces oscillations périodiques de la membrane, et donc de la bobine dans le champ, il y a induction d'un courant électrique dans la bobine mobile - courant qui peut être rendu utilisable par une amplification appropriée.

Ne nécessite pas de source d'alimentation (bobine mobile).

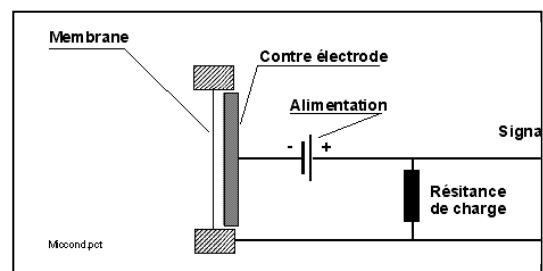
- Très robuste en général.
- Pratiquement insaturable quel que soit le niveau du son à enregistrer.
- Ne craint pas l'humidité.
- D'un prix abordable dans les entrées de gamme.
- Présence de qualités et de défauts selon la directivité du capteur.
- Sensibilité généralement faible (1 à 4 mV/Pa).
- Peu ou pas de choix en microphones canon.
- Particulièrement adaptés aux prises de son de batterie
- Sa faible sensibilité le condamne à une utilisation de proximité ou aux niveaux élevés

Dans tout autre cas, elle le condamne à l'utilisation d'un préamplificateur spécialisé et à faible bruit sans quoi apparaissent très rapidement des problèmes de souffle inhérents aux préamplificateurs de microphones intégrés aux matériels d'enregistrement, souvent peu performant à ce niveau.

II.3.2. Micro électrostatique

Principe

C'est en fait un condensateur dont une des armatures fait office de membrane. Une tension de polarisation élevée est appliquée aux deux armatures. Toute différence ou variation de pression sur la membrane fait osciller celle-ci et fait donc varier la distance séparant la membrane de l'armature, et fait donc varier la capacité du condensateur. On obtient ainsi des variations de charge, donc production d'un courant alternatif permettant de recueillir une différence de potentiel variable aux bornes d'une résistance.

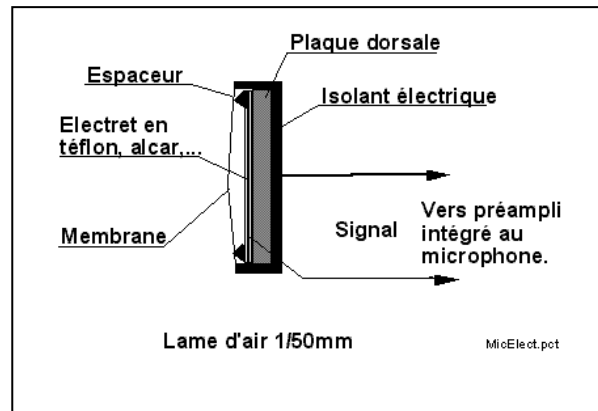


- Grande fidélité de reproduction.
- Sensibilité souvent importante permettant l'enregistrement de sons ténus
- Dynamique importante.
- Courbe de réponse généralement étendue.
- Très bon rapport Signal/Bruit.
- Relativement peu sensible aux bruits de contacts.
- Réservé bien souvent (à cause de son prix) à un usage professionnel.
- Craint l'humidité.
- Exige une source d'alimentation extérieure (12 à 48 V en général).
- Très utilisé en studio de prise de son ou les exigences acoustiques sont maximales.
- Disponible dans toutes les marques, dans toutes les directivités.

II.3.3 Micro à Électret

Principe

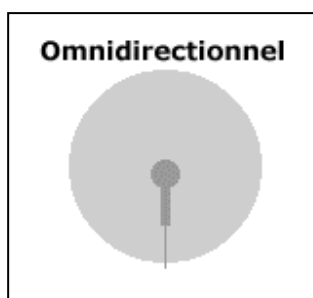
Même principe que pour le microphone électrostatique, mais au lieu d'une tension de polarisation extérieure, cette polarisation est permanente. De même que l'on peut stocker du magnétisme dans certains corps magnétiques, on peut stocker une tension électrique dans certains corps électriques par un procédé spécial de polarisation. Ainsi, la pile présente dans ces microphones ne sert pas à la polarisation de la membrane, mais à l'alimentation d'un amplificateur/adaptateur d'impédance intégré au corps du micro [5].



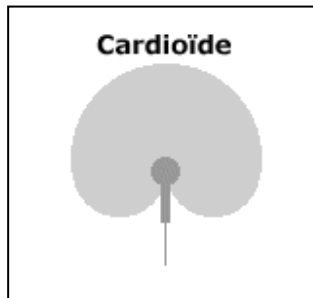
- Souvent abordable quant au prix, surtout en entrée de gamme.
- Miniaturisation poussée (micros cravate de la taille d'une allumette).
- Peu sensible aux bruits de contact.
- Disponible dans toutes les directivités.
- Nécessite une source d'alimentation interne ou externe, entre 1,5 et 9V.
- Bruit de fond souvent important dans les entrées de gamme.
- Craint l'humidité et la chaleur en général.
- Sensibilité honorable (5 à 50 mV/Pa en moyenne).

II.4 Directivité des microphones

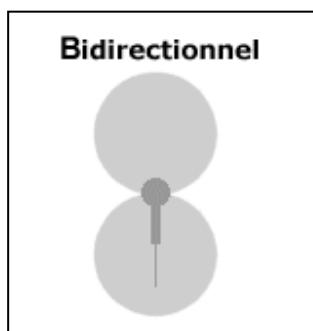
La directivité d'un microphone définit sa sensibilité en fonction de la provenance d'un son. On présente ici les différentes directivités quelque soit le type de microphones :



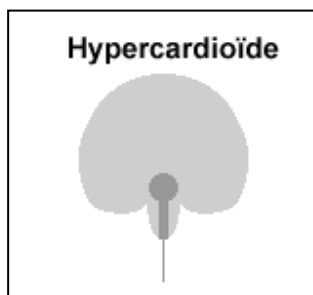
Le microphone *omnidirectionnel* ne privilégie aucune provenance. Il est donc particulièrement adapté pour enregistrer des sons d'ambiance.



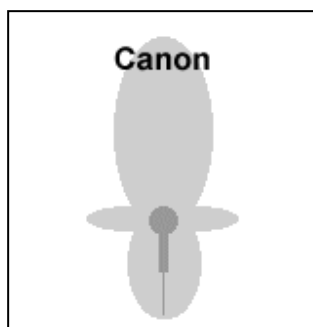
Le micro *cardioïde* est défini par sa directivité vers l'avant, mais surtout par le fait qu'il capte peu les sons provenant de l'arrière. C'est pourquoi il est le microphone privilégié des chanteurs sur scène, car le risque de feedback avec un retour de scène est limité.



Le micro *bidirectionnel* est sensible aux sons provenant de l'avant et de l'arrière. Il est donc indiqué pour les duos, ou pour être placé entre deux éléments



Le micro *hypercardioïde* ressemble à un microphone cardioïde mais dont les angles morts diffèrent. De ce fait, il est adapté aux chanteurs utilisant deux retours de scène.



Le microphone canon possède une forte directivité vers l'avant. Il est donc indiqué pour capter les sons d'une source éloignée en limitant les bruits parasites. Idéal pour capter une source éloignée (documentaires animaliers...)

II.5 Choix du capteur:

Pour le capteur, mon choix s'est porté sur une cellule microphonique, à électret, de directivité omnidirectionnelle. En effet, ce type de microphone capture un son proche de l'écoute humaine, sur 360°, ce qui correspond bien au cahier des charges fixé par la robotique mobile.

Le microphone EM100T (*voir Annexe A les spécifications techniques*) destinée à la réception de voix pour des applications en téléphonie, sonorisation, possède toute les caractéristiquement énoncées précédemment, c'est pour cela que nous l'intégrerons dans la chaîne de mesures. De plus, ce capteur présent souvent des caractéristiques très intéressantes, vu leur "**relative**" simplicité de conception et ce pour un prix abordable

Maintenant, que le choix de la technologie est fixée, intéressons nous au traitement des signaux sonores découlant de cette étude.

II.6 Principe du Traitement des signaux sonores

Sans rentrer dans les détails d'un cours de traitement des signaux, ces quelques rappels sont incontournables pour comprendre les techniques de traitement et de transmission d'un signal sonore.

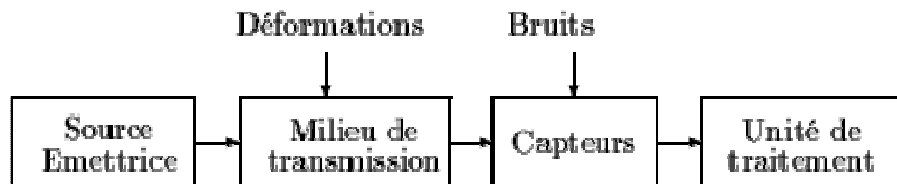


Figure - Schéma d'un système de génération et de traitement du signal

Traiter un signal, c'est extraire de l'information de mesures effectuées par des capteurs en vue d'atteindre un but donné. Dès qu'on utilise un capteur pour mesurer une quantité, on est amené à effectuer un traitement. Le phénomène physique qui a fait réagir le capteur, en général, a été émis par une ou plusieurs sources et présente des variations temporelles (comme un signal sonore). Ces sources émettent ou réémettent des signaux qui sont transmis par un milieu par exemple sous la forme d'ondes électromagnétiques, de sons, etc. Ces ondes qui portent l'information sur les sources peuvent être déformées : étalées dans le temps, atténuées ou retardées en fonction de la fréquence, réfléchies par des obstacles, etc.

Le signal mesuré par les capteurs est, la plupart du temps, entaché d'un bruit de mesure. Il présente des fluctuations qui ne sont pas uniquement déterminées par le phénomène étudié et qui peuvent en compliquer considérablement l'analyse. La présence de ces perturbations et les tentatives pour en atténuer les effets sont à la base du développement de la théorie du signal. Par exemple, il y a tellement de variations entre les formes possibles d'un son élémentaire du langage parlé (un phonème), qu'on ne sait

toujours pas concevoir une machine capable de reconnaître une phrase dite par quelqu'un dont elle n'a pas appris les caractéristiques vocales.

De manière générale, on peut dire que le signal mesuré par un capteur n'est pas parfaitement prévisible (il n'y aurait alors aucune raison de l'étudier). Cependant, il n'est pas complètement imprévisible, car dans ce cas il ne serait pas possible d'en effectuer un traitement pour en extraire de l'information. La recherche de cette connaissance sur les signaux et la manière dont ils ont été émis ou perturbés est probablement la partie fondamentale de l'étude et de la mise au point d'un système de traitement de signaux. C'est aussi la source d'une grande diversité dans les techniques de traitement. Cette diversité des techniques en fonction des applications permet difficilement de considérer le traitement du signal comme l'application d'une théorie; c'est parfois un regroupement de « recettes » variées très spécifiques des applications visées. Elles sont regroupées parce qu'elles relèvent des caractéristiques mentionnées ci-dessus : on traite des données mesurées par un capteur et ces données présentent des fluctuations qui ne sont pas parfaitement prévisibles. [6][7]

II.6.1 Illustration : Acquisition d'un signal sonore via la carte son

Dans une certaine mesure, la forme d'onde est caractéristique du timbre du son perçu. Dans le cas d'un son pur (son fondamental) cette onde a la forme d'une sinusoïde. Tout son est en réalité composé d'un son fondamental et d'une série d'harmoniques. Bien que nous ne percevions qu'un ensemble, chaque son possède une série d'harmoniques propres qui permettent de le distinguer d'un autre. Ces harmoniques sont propres à chaque instrument de musique: ainsi un LA (440 Hz) présente une forme d'onde caractéristique pour chaque instrument. C'est sur cet exemple que nous travaillerons dans la suite de cette section.

Afin de mettre en pratique le principe du traitement du signal, j'ai connecté un microphone à la carte son du PC et traité le signal acquis. Les signaux acquis sont traités grâce au logiciel SCILAB (Logiciel développé par l'INRIA) [8].

Les étapes de traitement du signal ont été les suivantes :

- Echantillonnage des signaux via la carte son du PC
- Stockage dans un fichier 'wave'
- Acquisition matricielle du fichier sous Scilab
- Interprétation du signal échantillonné dans le domaine fréquentiel
- Transformée de Fourier
- Filtrage des signaux échantillonnés par RIF ou RII
- Calcul de la densité spectrale de puissance...

Schéma de principe :

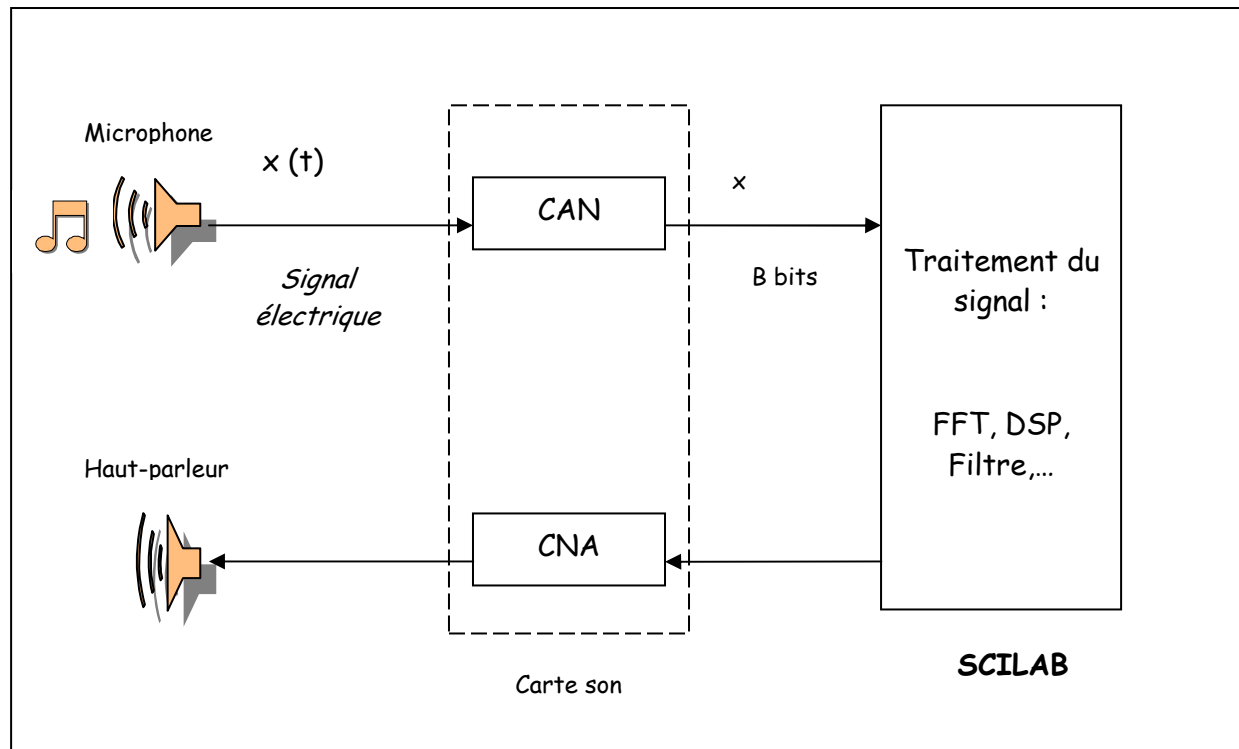


Figure - Schéma de principe de l'acquisition sonore via la carte son du PC

Les résultats de cette expérimentation sont illustrés en Annexe B

Remarque : Nous avons observés que le signal acquis n'était pas bruité. Ceci vient du fait que la carte son, filtre les signaux. Malheureusement je n'ai pu avoir plus d'information sur celle-ci (carte son intégré de série).

Cette manipulation m'a permis de prendre en main le logiciel Scilab et de faire le traitement du signal sonore. Maintenant entrons dans le vif du sujet, et intéressons nous aux différentes méthodes de localisation d'une source sonore. Afin de pouvoir déterminer l'algorithmes de calcul à implémenter à notre chaîne de mesures.

III Méthode de Localisation d'une source sonore

De nombreuses équipes de recherches dans le monde entier se sont penchées sur cette idée de pouvoir, comme pour l'être humain, localiser la source lorsque qu'un son est produit. Il existe plusieurs méthodes pour la localisation d'une source sonore dans un environnement 2D. Mais seulement 2 d'entre elles ont retenu toute mon attention.

III.1 Méthode 1 : ILD

Cette méthode est principalement basée sur la mesure de l'ILD (Interaural Level Differences) [9] qui caractérisent la différence "d'intensité sonore" entre deux récepteurs. Nous savons que l'intensité sonore varie inversement proportionnel au carré de la distance. Donc connaître l'intensité de chaque microphone permet d'en calculer la différence et donc de déterminer la direction du son. L'avantage de cette méthode est qu'elle est simple et que la différence permet immédiatement, si elle est positive ou négative, de se rendre compte si l'interlocuteur se trouve à gauche ou à droite.

Corollaire

La méthode assez simple, proche de l'ILD et basée sur la puissance du signal [10]. Seule l'indication sommaire d'une direction est prise en compte. Pour la déterminer, l'idée est partie de pouvoir évaluer la "puissance" contenue dans un son. Pour un signal quelconque, la mesure de puissance (P) peut être assimilée à sa valeur efficace, soit pour un signal périodique $S(t)$ de période T :

$$P = S_{eff} = \frac{1}{T} \int_0^T s^2(t) dt$$

Pour un signal quelconque $S(t)$:

$$P = K \int_0^{t_1} s^2(t) dt$$

avec K = constante et t_1 = temps d'intégration

En mesurant la puissance des sons reçus par différents microphones et en comparant leur valeur les unes aux autres, il semble possible de pouvoir localiser la direction de la source sonore. En effet, plus un micro est près d'une source sonore, plus la "puissance" qu'il reçoit est importante; il suffit de prendre l'exemple de micros utilisés par des chanteurs pour voir que l'amplitude du signal en sortie diminue lorsque la distance entre le micro et le chanteur augmente.

Cependant ces méthodes restent limitées car elles ne permettent qu'une localisation approximative. En effet, dans le cas où l'on utilise deux micros, la localisation se fait à 180° près et ne donne donc qu'une précision relative du type gauche ou droite. Pour quatre micros, la localisation donne une précision à 90° près, etc....

III.2 Méthode 2 : TDOA

La seconde méthode est l'**Interaural Time Difference (ITD)** également appelée **Time Difference of Arrival (TDOA)**. Si l'on considère le fait que la distance de chacun des microphones à la source sonore est différente, le son émis par la source arrivera aux points d'observations en des temps légèrement différents. C'est en fonction de ce décalage dans le temps et de la vitesse du son dans l'air que l'on peut en déduire la direction de la source sonore [11-16]. Une explication détaillée est présentée plus bas dans cette même section.

III.3 Choix de la méthode de localisation

La méthode **TDOA** est beaucoup plus précise et robuste aux perturbations que la première. En revanche, elle est beaucoup plus difficile à mettre en œuvre étant donné que les traitements et calculs sont lourds. En effet, il est nécessaire d'effectuer une corrélation entre les deux signaux enregistrés afin de déterminer le décalage.

Malgré tout nous avons besoin d'une méthode robuste pour la mesure de l'azimut. En effet, la mesure approximative de l'ILD ne correspond pas aux objectifs fixés, c'est pourquoi, la méthode TDOA a été retenue.

Remarque :

Pour localiser une source sonore dans un environnement 3D, il faut au moins 4 microphones. Dans notre cas, en 2D, 2 microphones suffisent mais on constate qu'il y a des singularités (voir ci-dessous). Afin de palier à ce problème, nous utiliserons donc 3 microphones

III.4 Illustration pour une localisation sonore utilisant 2 microphones

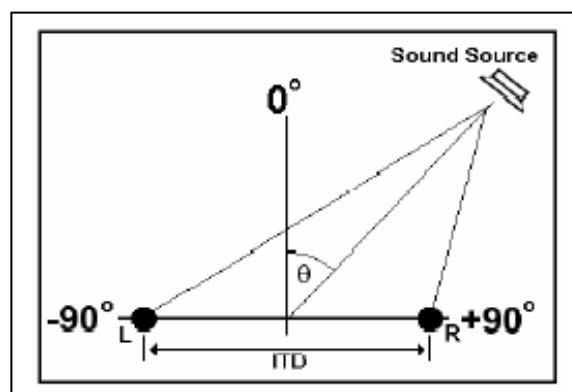
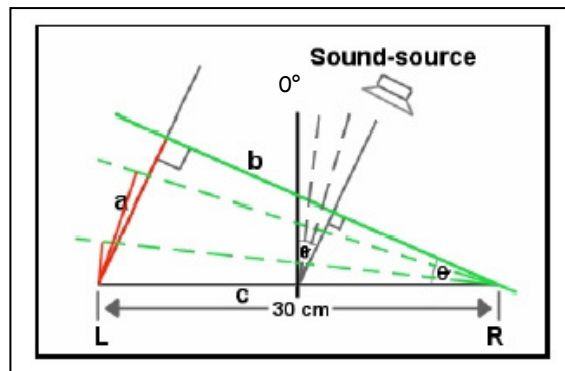


Figure - Configuration utilisant 2 microphones

Méthode pour la détermination de l'azimut dans une configuration à 2 microphones



Ici on veut avoir une ITD de 88 ms, c'est pourquoi la distance entre les microphones est fixée à 30 cm.

1. Détermination de la période d'échantillonnage T_e : $T_e = \frac{1}{F_e}$

2. Calcul du TDOA $\Delta t_{ij} = NT_e$ (grâce à l'intercorrélation)

La fonction d'intercorrélation est utilisée pour estimer le retard entre deux signaux. La fonction d'intercorrélation de deux signaux $x(t)$ et $y(t)$ est définie par :

$$C_{xy}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot y(t - \tau) \cdot d\tau$$

Où x et y seraient dans notre cas, les signaux réels acquis par les microphones.

La différence de temps est donnée par le maximum de la fonction d'intercorrélation

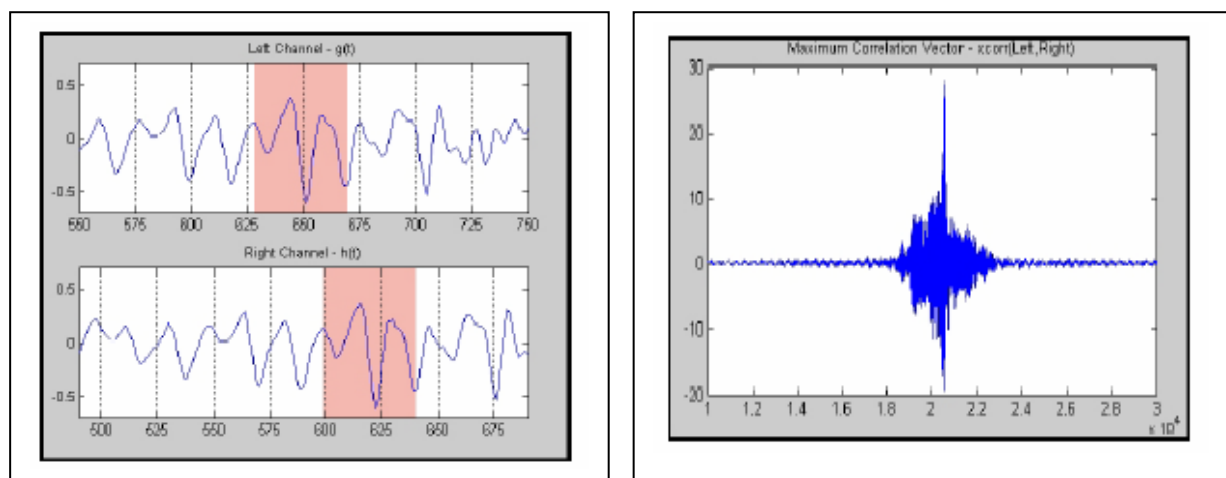


Figure - illustration de l'intercorrélation pour un son donnée

3. Détermination de a : $a = \Delta t_{ij} * C_s$

Vitesse de propagation du son:

La vitesse de propagation du son dans l'air se détermine grâce à l'expression suivante :

$$C_s = (331 + 0.6T) m.s^{-1} \quad \text{Où } T \text{ représente la température en degrés Celsius.}$$

Donc pour une température ambiante de $25^\circ C$, $C_s = 346 m.s^{-1}$

4. Avec a et D connus on détermine θ

$$\sin \theta = \frac{a}{c} = \frac{\Delta t_{ij} * C_s}{c} = \frac{N T e C_s}{c}$$

$$\Rightarrow \theta = \sin^{-1} \left(\frac{n T e C_s}{c} \right)$$

Remarque sur la singularité:

Utilisé seulement 2 microphones, ne permet de localiser le son dans toutes les configurations possibles. En effet, la différence de temps d'arrivée pour la paire de microphones seraient identiques, comme l'illustre la figure suivante :

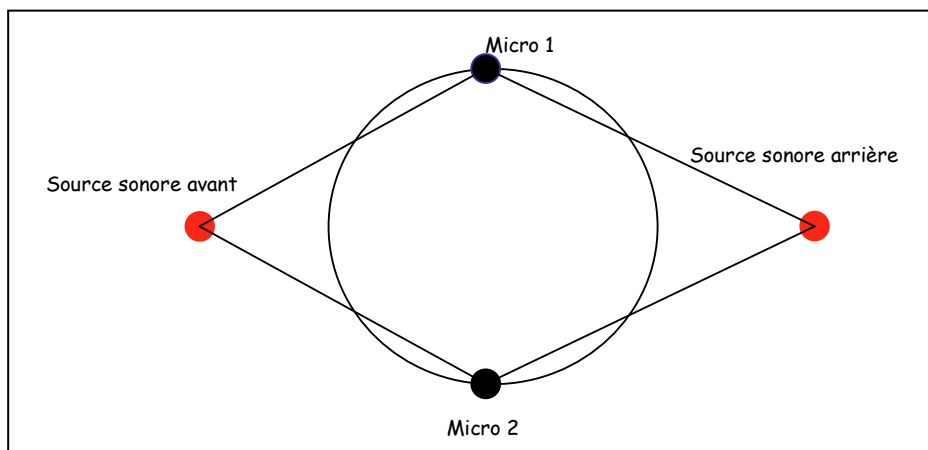


Figure - Singularité pour la configuration à 2 microphones

Pour palier à ce problème, j'ai fait le choix de réaliser un dispositif avec 3 microphones.

III.5 Illustration pour une localisation sonore utilisant 3 microphones

Ce dispositif utilise 3 microphones placés dans un même plan.

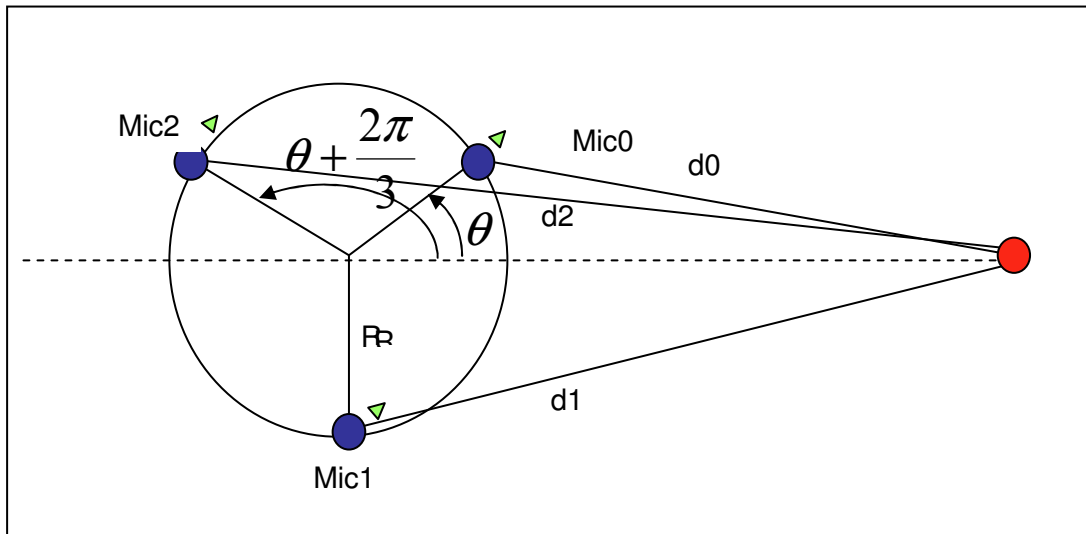


Figure - configuration à 3 microphones

Voici le dispositif expérimental lié au schéma ci-dessus.

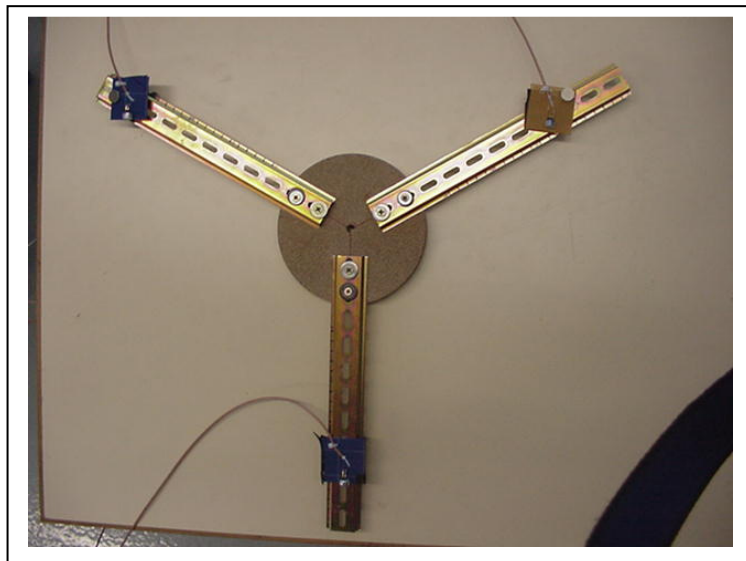


Photo - configuration réalisée à 3 microphones

Calcul de l'azimut (direction) :

L'azimut correspond à l'angle θ , qui détermine la direction de la source par rapport au capteur. Celle-ci est calculée à partir de la fonction d'intercorrélation. En effet la détermination du TDOA se fait comme dans l'exemple précédent. Le temps de différence ne se détermine que pour une paire de microphone et est noté :

$$\Delta t_{ij} = \frac{d_j - d_i}{C_s}$$

Quand la distance source microphone est très grande devant la distance R la différence de temps d'arrivée peut être approximée par :

$$\Delta t_{ij} = \frac{R}{C_s} [\cos(\theta + \theta_{ij}) - \cos(\theta)]$$

Où i et j représente les différents microphones.

Démonstration : calcul de Δt_{01}

$$\Delta t_{01} = \frac{R}{C_s} [\cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) - \cos(\theta)]$$

$$\text{or } \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) = -\frac{1}{2} \cos \theta - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \theta$$

$$\Rightarrow \Delta t_{01} = \frac{R}{C_s} \left[-\frac{1}{2} \cos \theta - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \theta - \cos \theta \right]$$

$$\Delta t_{01} = \frac{R}{C_s} \left[-\frac{3}{2} \cos \theta - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \theta \right]$$

$$\Delta t_{01} = \frac{\sqrt{3}R}{C_s} \left[-\frac{\sqrt{3}}{2} \cos \theta - \frac{1}{2} \sin \theta \right]$$

$$\text{or } \begin{cases} \sin(\frac{-2\pi}{3}) = -\frac{\sqrt{3}}{2} = \sin \frac{4\pi}{3} \\ \cos(\frac{-2\pi}{3}) = -\frac{1}{2} = \cos \frac{4\pi}{3} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \Delta t_{01} = \frac{\sqrt{3}R}{C_s} \left[\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) \right]$$

$$\text{Donc } \theta = \frac{2\pi}{3} \pm \arcsin\left(\frac{\Delta t_{01}}{\sqrt{3}R/C_s}\right) \quad \text{ou } \theta = -\frac{\pi}{6} \pm \arccos\left(\frac{\Delta t_{01}}{\sqrt{3}R/C_s}\right)$$

$$\text{On pose } \Delta T = \frac{\sqrt{3}R}{C_s}$$

Pour les calculs de Δt_{02} et Δt_{12} voir Annexe C

De manière générale :

$$\theta = \theta_{ij} \pm \arccos\left(\frac{\Delta t_{ij}}{\Delta}\right)$$

$$\text{Avec } \theta_{ij} = \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3}(i+j)\right)\pi$$

$$(i, j) = (0,1), (1,2), (2,0)$$

IV Description de la chaîne d'acquisition

Nous avons vu précédemment lors de l'état de l'art, que les microphones avaient besoin d'être alimentés et qu'un prétraitement du signal était nécessaire. Ce traitement du son s'appuie sur une chaîne de mesure analogique où le son est converti en une tension électrique [17]. Ensuite cette tension est numérisée au travers d'une carte d'acquisition analogique numérique. Voici la chaîne que j'ai réalisé.

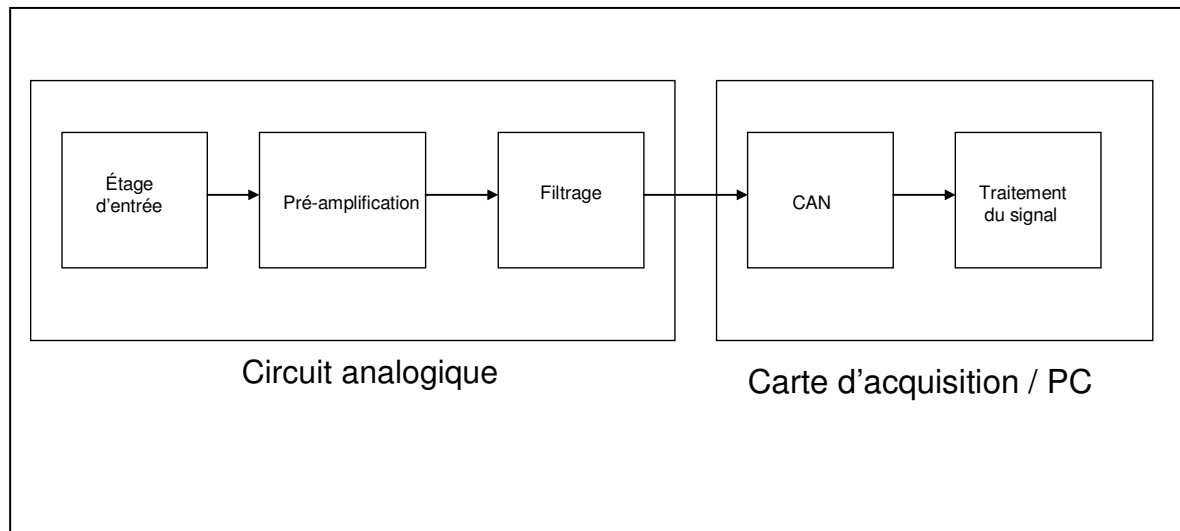


Figure - Chaîne d'acquisition de la mesure d'un son

IV.1 Circuit analogique

IV.1.1 L'étage d'entrée

Celui-ci est composé d'une résistance de polarisation qui permet de protéger en courant le microphone, d'un condensateur de liaison qui permet de transmettre les variations de tension d'un point à un autre (sans que ces points n'est de tension moyenne commune), en bref son but est de séparer les tension continue et alternative et du microphone.

Les spécifications techniques du microphone à électret EM110T pour la réalisation de cet étage d'entrée sont :

- Tension d'alimentation : 6V maximum crête à crête.
- Intensité consommée : 650 μ A maximum
- Impédance 1k Ω \pm 30%

Schéma de principe de l'étage d'entrée:

Choix de R : résistance de polarisation :
 $V_{cc} = 6V$ c.c

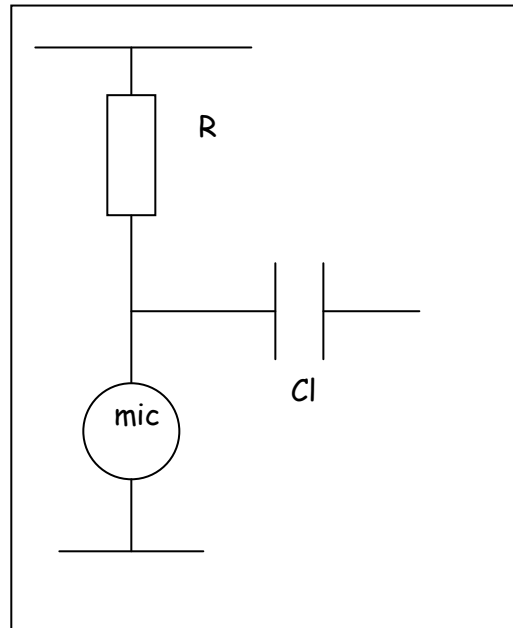
$$V_{cc} = (R + R_{mic}) \cdot I_{mic}$$

$$R = \frac{V_{cc}}{I_{mic}} - R_{mic}$$

$$R \approx 10K\Omega$$

Choix du condensateur de liaison: La valeur du condensateur est choisie de manière que son impédance, infini au courant, soit négligeable aux fréquences délivrées par le générateur

$$C_l = 1nF$$



Cependant, le signal électrique produit par un microphone est trop faible pour produire directement un son de manière significative. Il faut donc l'amplifier.

IV.1.2 Pré-Amplification

Le signal sortant du microphone a une amplitude de l'ordre du mV et comme il était dans notre objectif de faire du traitement du signal numérique par la suite nous connecterons ce signal, après un filtrage anti-repliement, à une carte d'acquisition de National Instrument (détaillée dans la suite). Il est donc nécessaire de l'amplifier suffisamment pour que l'amplitude de ce signal soit connectable.

J'ai utilisée le LM387 Low Noise Dual Pré amplifier qui était recommandé sur de nombreux sites d'électronique pour la pré-amplification de faibles signaux audio. Son choix a été motivé par le fait qu'il contient deux pré-amplificateurs sur le même chip et que son alimentation est « single supply », c'est à dire que contrairement à un 741 auquel il faut brancher $\pm V_{CC}$, le LM387 peut être alimenté par V_+ et la masse. Le schéma que nous avons utilisé est une application typique décrite dans le datasheet du LM387.

Voir annexe D

IV.1.3 Filtrage

La reconstruction d'un signal caractérisé par des échantillons n'est possible que si la période d'échantillonnage est assez fine. En théorie on évite que les échantillons se superposent (anti-Aliasing). Il suffit, pour un signal à bande limitée, et c'est en général le cas d'un signal capté par un microphone, que la fréquence d'échantillonnage soit supérieure à deux fois la bande utile du signal. Donc, afin de ne pas avoir de problème avec le repliement spectral, j'ai fait le choix de munir mon circuit analogique d'un filtre

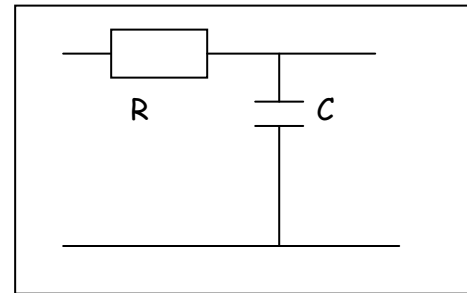
passer bas qui a pour fréquence de coupure la fréquence d'échantillonnage divisée par deux.

$$f_e = 44100\text{Hz} \Rightarrow f_c = \frac{f_e}{2}$$

$$\text{Soit } f_c = \frac{1}{2\pi RC} = 22050\text{Hz}$$

$$C = 1\text{nF}$$

$$R \approx 7,5\text{K}\Omega$$



Voici la carte que j'ai réalisé :

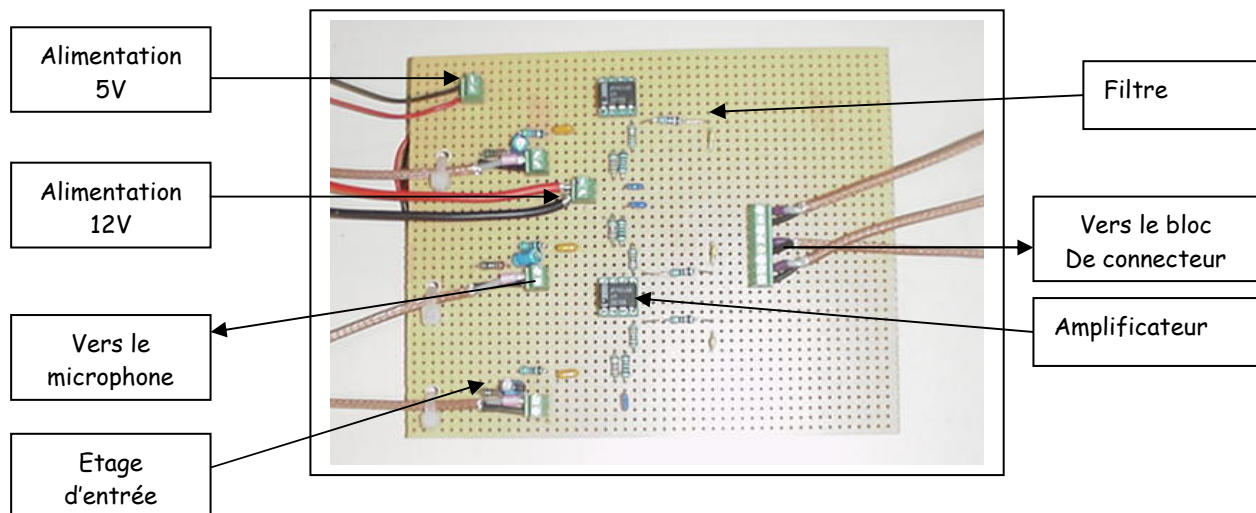


Photo - Carte analogique

IV.2 Carte d'acquisition :

Par opposition à analogique, on parle de traitement numérique du son, lorsque les traitements sont accomplis sur le résultat de la numérisation du signal d'entrée.

IV.2.1 Numérisation

Pour rendre un son éditable sur un système informatique, mais aussi pour le stocker et le transmettre, il faut opérer une conversion du signal analogique fourni par le microphone en un signal numérique. La numérisation offre de nombreux intérêts: copies sans pertes, traitement plus facile qu'en analogique et quelques inconvénients liés au volume considérable des données et à la compatibilité des formats.

La numérisation est réalisée en deux étapes: l'échantillonnage et la quantification.

Échantillonnage

Cette étape permet de passer d'un signal continu en une suite de valeurs mesurées à intervalles réguliers. Cette mesure d'un signal se nomme échantillon. La période d'échantillonnage (en secondes) est l'intervalle de temps qui sépare deux mesures. La fréquence (en Hz) est l'inverse de la période d'échantillonnage.

En pratique, le signal audio est limité par notre perception à 16kHz, en conséquence la fréquence d'échantillonnage doit être supérieure à 32kHz. Pour que le signal audio se conforme à ce théorème, il faut le filtrer pour éliminer ses composantes haute fréquence. La mise en œuvre de filtres analogiques est relativement complexe et onéreuse. C'est pour cela qu'on déplace dans la pratique ce problème vers le numérique, où il est plus facile à régler, en sur-échantillonnant le signal (par ex. les 44.1kHz du CD audio).

La qualité de l'échantillonnage sonore dépend essentiellement de la qualité des filtres mis en œuvre, lors de la restitution (qui est une conversion numérique analogique) un filtrage est également nécessaire pour éliminer les composantes nuisibles induites par le convertisseur.

Quantification

Cette étape de la numérisation consiste à remplacer un nombre réel par l'entier le plus proche (arrondi). La quantification la plus couramment utilisée en audio grand public est type linéaire, son pas est en rapport avec le nombre de bits alloués à l'opération ($q=2^N$, N=nombre de bits). La transmission de la parole en téléphonie numérique utilise une quantification de type vectoriel.

La quantification à l'inconvénient d'ajouter du bruit dans le signal. Celui-ci est en théorie uniformément réparti sur toutes les fréquences (bruit blanc). La puissance du bruit généré par la quantification est proportionnelle au carré du pas de quantification.

IV.2.2 La carte d'acquisition PCI 6035 E

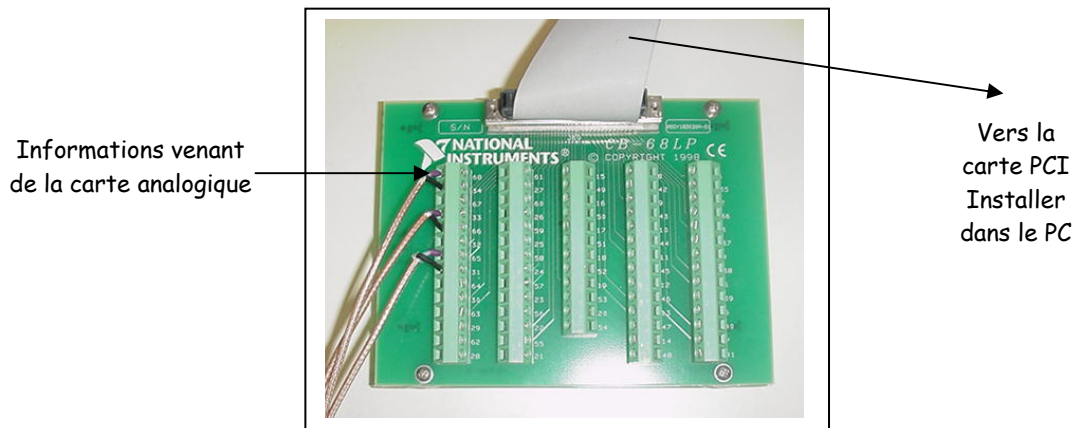
La conversion analogique numérique se fait pas le biais d'une carte d'acquisition PCI 6035 E et son bloc de connecteur CB-68LP de National instrument [18] et [19] (*voir annexe E*). La configuration de la carte se fait grâce au système d'exploitation Unix, au travers de l'outil logiciel *comedi_config* [20]. L'acquisition des signaux sonore se fait via le logiciel d'interface *ktimetrace* [21]. Par cette procédure les signaux sont échantillonnés.

On mesure à intervalle de temps régulier l'amplitude du signal analogique : c'est un échantillon. Chaque seconde du signal analogique est ainsi divisée en échantillons. La précision de la digitalisation dépend du nombre d'échantillons par seconde, mais aussi du nombre de valeurs pouvant être prises par chaque échantillon.

Le théorème d'échantillonnage de Nyquist-Shannon impose d'échantillonner au minimum au double de la fréquence maximum contenue dans le signal d'entrée. La valeur de l'échantillon est codée sur plusieurs bits, par exemple, un codage sur 16 bits permet d'avoir 65 536 valeurs possibles. C'est le codage utilisé pour les CD Audio. Le taux d'échantillonnage est de 44,1 KHz, c'est-à-dire que le son est mesuré 44 100 fois par seconde.



Carte PCI 6035 E



Bloc de connecteur CB - 68 LP

Maintenant que les signaux sont numérisés passons à la partie expérimentation.

V Expérimentations

V.1 Dispositif expérimental

Voici le schéma bloc du dispositif expérimental :

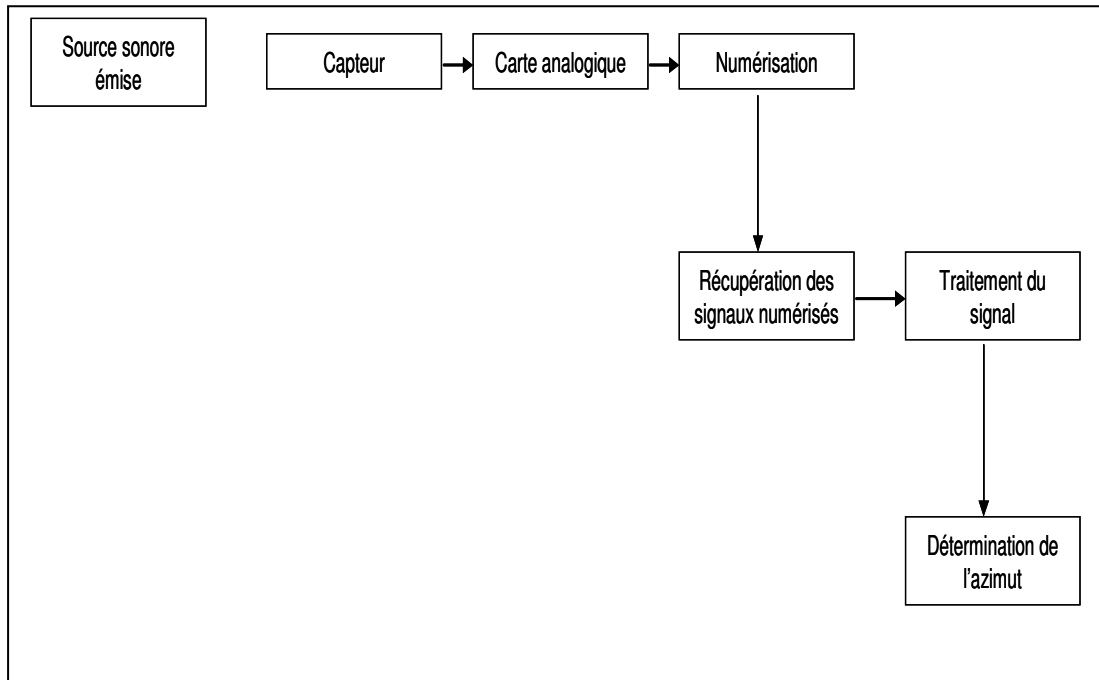


Figure - Schéma bloc du dispositif expérimental

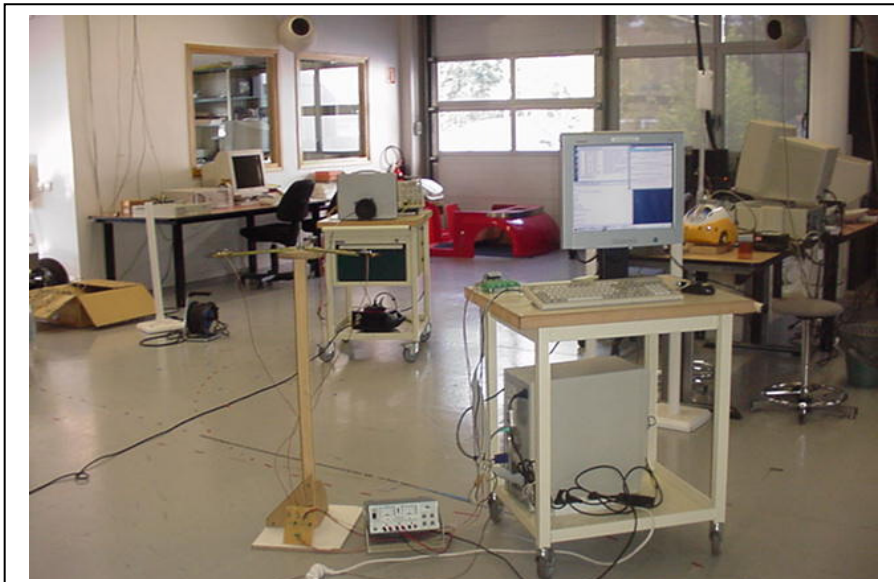


Photo - Dispositif expérimental dans son intégralité

V.2 Implémentation de l'algorithme TDOA

Le calcul de l'azimut consiste à calculer, par paire de microphone associée, la fonction d'intercorrélation. Ensuite on relève le maximum de cette fonction pour en calculer la différence de temps d'arrivée. Enfin, à l'aide des relations citées dans la méthode TDOA on détermine la direction.

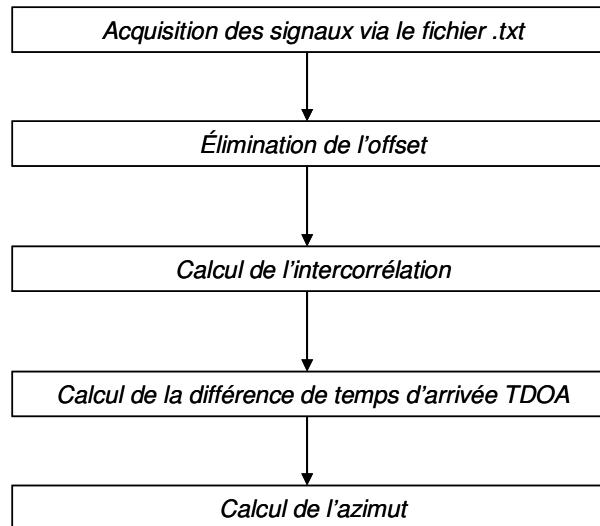


Figure - Algorithme de calcul

Voir en Annexe F : Code source Scilab et graphiques correspondants.

V.3 Estimation de l'azimut

Les principales sources de son qui ont été testé dans ces expérimentations sont un signal sonore sinusoïdal fourni par un haut parleur via un générateur de fréquence et un sifflement. Voir Annexe F

Voici les résultats obtenus :

θ réel (degrés)	Estimation de θ (degrés)	Erreur maximum (degrés)
-180	-174,28	5,72
-120	-118,85	1,15
-60	-55,43	4,57
0	1,14	1,14
30	36,52	6,52
60	58,85	1,15

Tableau - Azimut estimer pour un signal sonore sinusoïdal à 1KHz

θ réel	Estimation de θ pour une élévation de 0°	Erreur maximum (degré)
-120	-120	0
-90	aberration	*
-60	-54.28	5.72
0	1.14	1.14
60	60	0

Tableau - Azimut estimer pour un sifflement

Les résultats obtenus sont conformes à ce que nous espérions. Mais contre toute attente nous avons pu observer que le signal sonore émis par le haut parleur était de qualité inférieure face au sifflement. Ceci est certainement dû aux distorsions occasionnées lors de la numérisation et de la fréquence du signal sonore choisie. Néanmoins, une recherche approfondie semble indispensable afin d'expliquer ce phénomène.

VI Conclusions & Perspectives

Ce stage avait pour but la localisation d'une source sonore. Dans un premier temps nous nous sommes intéressés à la direction. Les résultats expérimentaux semblent satisfaire aux exigences du cahier des charges. En effet, l'azimut estimé est proche de l'azimut réel à quelques degrés près. Ce qui prouve que cette méthode de calcul est robuste en comparaison de la méthode ILD. Aux vues des résultats, on peut donc valider cette méthode et s'appuyer dessus en vue de futur développement robotique.

Cependant, la distance est une mesure moins importante pour le type d'applications visées, mais il sera possible de l'estimer en faisant une hypothèse sur la nature du son capté. Il reste cependant des problèmes ouverts. Le système auditif de l'être humain n'est pas capable d'estimer la distance d'une source sonore avec précision.

Alors comment adapter cette perception à notre dispositif ?

Est-ce que cette estimation est applicable à toutes les sources sonores ?

On dispose maintenant d'une méthode de localisation robuste. L'étape suivante consiste à intégrer cette chaîne de mesure et son algorithme en temps réel qui permettra une localisation en ligne de l'azimut. Pour finir un objectif possible serait de créer une interface graphique conviviale pour illustrer la localisation.

Sur un plan plus personnel, ce stage d'une durée de trois mois, au sein du service Support Expérimentation et Développement (SED), m'a permis de prendre part activement au développement d'applications robotiques pour la recherche. Un tel projet exige la connaissance de domaines divers et variés tels que l'électronique, l'acoustique, le traitement du signal et l'informatique (temps réels ou non). L'interaction de ces différentes disciplines constitue une expérience enrichissante, à la fois, sur un plan humain et scientifique. En outre, j'ai grandement apprécié la liberté de choix et d'action que m'a été accordé par l'ensemble des protagonistes du service SED.

Annexe A - LE EM 100T



U.D.V. = 1

réf. LEM Industries	code commande	prix de l'U.D.V.		
		1+	25+	100+
EM100T	<u>219-6793</u>	2,56 €	2,38 €	2,28 €

LEM Industries

- Cette cellule microphonique, à électret, omnidirectionnelle, est destinée à la réception de voix pour les applications en téléphonie, en interphonie, en sonorisation, etc.
- Faible encombrement.
- Connexion par 2 pattes à souder sur circuit imprimé.

Spécifications techniques

Matériau boîtier: aluminium

Tension d'alimentation: 6 V c.c.

Intensité consommée: 650 μ A max.

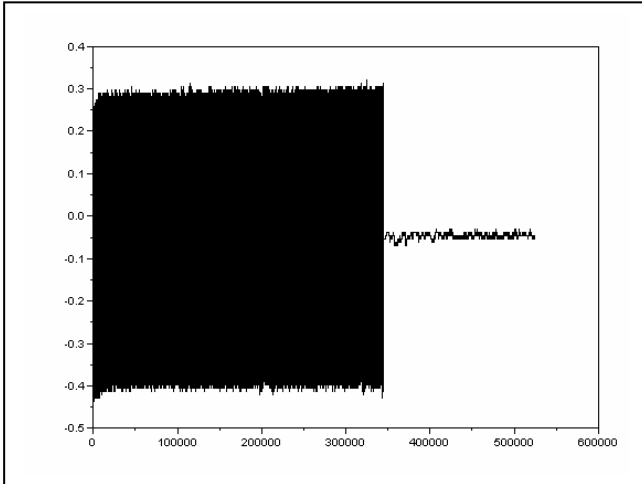
Impédance: 1 k Ω \pm 30%

Longueur des pattes à souder: 5 mm

Dimensions (mm): \varnothing 10 x h 5

Température d'utilisation: -10°C à +60°C

Annexe B - TRAITEMENT DU SIGNAL SOUS SCILAB VIA LA CARTE SON

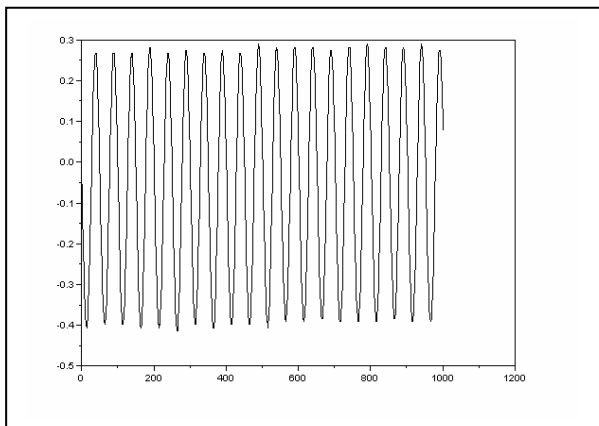


Le signal est échantillonné par la carte son à une fréquence d'échantillonnage $F_e = 22.05\text{Khz}$.

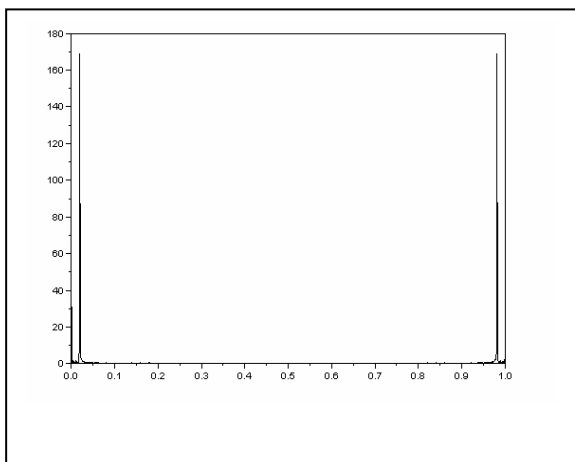
⇒ $T_e = 1/F_e = 45\mu\text{s}$.

$t = n.T_e$ ⇒ $n = t/T_e = F_e.t$

Le signal observer est une superposition de plusieurs sinusoïdales.



On récupère 1000 échantillons du signal.



Tracé de la transformée de Fourier du signal $x(nT_e)$ « normalisé »

Espace des fréquence normalisé : $[0,1]$

$f_n = f / F_e$

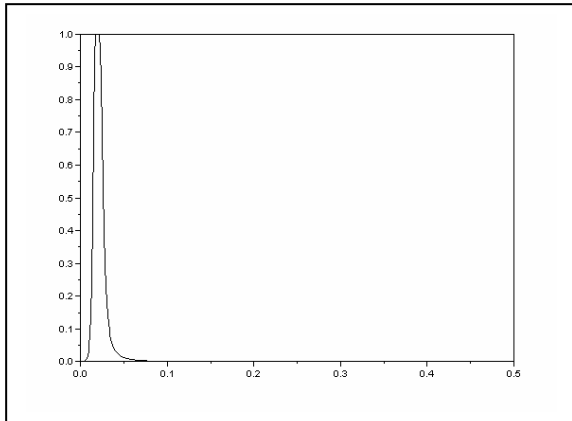
f_n : fréquence normalisé.

On remarque que notre Dirac est bien à la position attendue

Exemple :

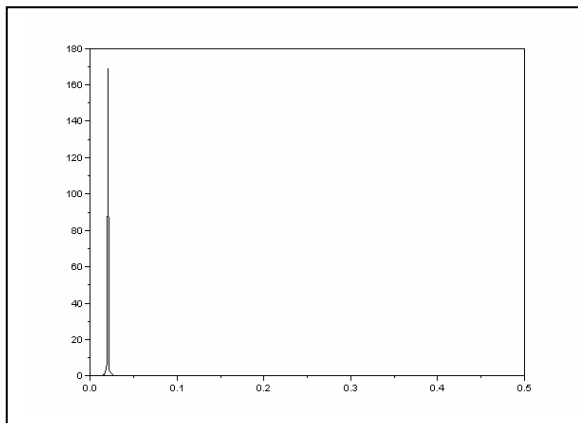
$f_n = f / F_e$ ⇒ $f = f_n * F_e$

Position du Dirac: $0.02 * 22050 = 441\text{Hz}$



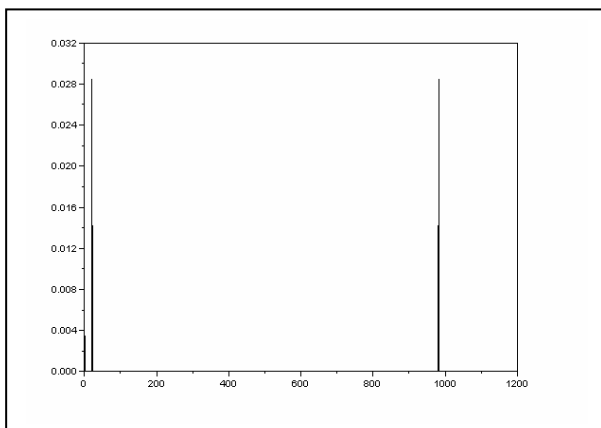
Tracé de la transformée de Fourier du filtre RII passe bande dans l'espace normalisé réduit [0 ; 0.5].

Dans lequel, on applique une fenêtre de Butterworth de degré 3, qui a pour caractéristique une réponse plate dans la bande passante.



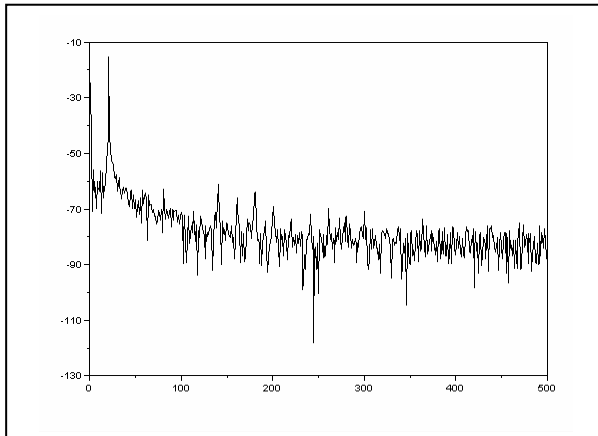
Application du filtre sur X (par produit de convolution).

Ce qui revient à multiplier la transformée de Fourier de x(t) par la transformée de Fourier du filtre



Calcul de la densité spectral de puissance. Et vérification du théorème de Parseval.

$$\begin{aligned}
 DSP(k) &= \frac{1}{N} \left\| \sum_0^{N-1} x(nTe) \cdot e^{(-2jn\frac{k}{N})} \right\|^2 \\
 &= \frac{1}{N} \sum_0^{N-1} \|X(k)\|^2
 \end{aligned}$$



Tracé de la densité spectrale de puissance.

Calcul de la puissance moyenne :

Le Théorème de Parseval a pour expression : $\sum_0^{N-1} \|x(n)\|^2 = \frac{1}{N} \sum_0^{N-1} \|X(k)\|^2$

PMOY_T = 0.0606351 correspond au calcul de : $\frac{1}{N} \sum_0^{N-1} \|X(k)\|^2$

PMOY_F = 0.0606958 correspond au calcul de : $\sum_0^{N-1} \|x(n)\|^2$

Annexe C- CALCUL DE Δt_{20} et Δt_{12}

Calcul de Δt_{20} :

$$\begin{aligned} \Delta t_{02} &= \frac{R}{C_s} [\cos(\theta) - \cos(\theta + \frac{4\pi}{3})] \\ \Rightarrow \Delta t_{02} &= \frac{R}{C_s} \left[\cos \theta - \left(\frac{1}{2}\right) \cos \theta - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \theta - \right] \\ &= \Delta T \left[\frac{\sqrt{3}}{2} \cos \theta - \frac{1}{2} \sin \theta \right] = \Delta T \left[\sin \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right] \\ \Rightarrow & \boxed{\theta = \frac{2\pi}{3} \pm \arcsin \left(\frac{\Delta t_{02}}{\Delta T} \right)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ou } \Delta t_{02} &= \Delta T \left[\cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} - \frac{\pi}{2} \right) \right] \\ \Rightarrow \Delta t_{02} &= \Delta T \left[\cos \left(\theta + \frac{\pi}{6} \right) \right] \end{aligned}$$

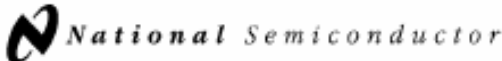
$$\text{ou } \theta = -\frac{\pi}{6} \pm \arccos \left(\frac{\Delta t_{02}}{\Delta T} \right)$$

Calcul de Δt_{12} :

$$\begin{aligned} \Delta t_{12} &= \frac{R}{C_s} \left[\cos \left(\theta + \frac{4\pi}{3} \right) - \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right] \\ \Rightarrow \Delta t_{12} &= \frac{R}{C_s} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} \sin \theta \right] = \Delta T [\sin \theta] = \Delta T \cos \left(\theta - \frac{\pi}{2} \right) \end{aligned}$$

$$\text{Donc } \boxed{\theta = \pm \arcsin \left(\frac{\Delta t_{12}}{\Delta T} \right) \quad \text{ou } \theta = \frac{\pi}{2} \pm \arccos \left(\frac{\Delta t_{12}}{\Delta T} \right)}$$

Annexe D - Le pré-Amplificateur LM387


March 1987

LM387/LM387A Low Noise Dual Preamplifier

General Description

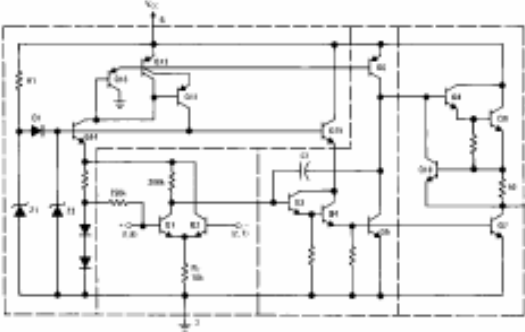
The LM387 is a dual preamplifier for the amplification of low level signals in applications requiring optimum noise performance. Each of the two amplifiers is completely independent, with an internal power supply decoupler-regulator, providing 110 dB supply rejection and 60 dB channel separation. Other outstanding features include high gain (104 dB), large output voltage swing ($V_{CC} - 2V$ p-p), and wide power bandwidth (75 kHz, 20 Vp-p). The LM387A is a selected version of the LM387 that has lower noise in a NAB tape circuit, and can operate on a larger supply voltage. The LM387 operates from a single supply across the wide range of 9V to 30V, the LM387A operates on a supply of 9V to 40V.

The amplifiers are internally compensated for gains greater than 10. The LM387, LM387A is available in an 8-lead dual-in-line package. The LM387, LM387A is biased like the LM381. See AN-64 and AN-104.

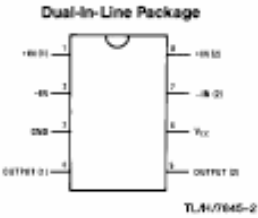
Features

- Low noise 1.0 μ V total input noise
- High gain 104 dB open loop
- Single supply operation
- Wide supply range LM387 9 to 30V
- LM387A 9 to 40V
- Power supply rejection 110 dB
- Large output voltage swing ($V_{CC} - 2V$) p-p
- Wide bandwidth 15 MHz unity gain
- Power bandwidth 75 kHz, 20 Vp-p
- Internally compensated
- Short circuit protected
- Performance similar to LM381

Schematic and Connection Diagrams



TU/197965-1



Order Number LM387N or LM387AN
See NS Package Number N08E

Typical Applications

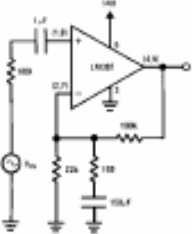


FIGURE 1. Flat Gain Circuit ($A_v = 1000$)

TU/197965-3

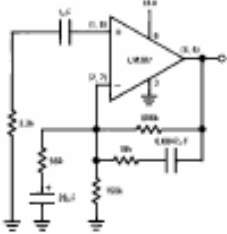


FIGURE 2. NAB Tape Circuit

TU/197965-4

LM387/LM387A Low Noise Dual Preamplifier

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage
 LM387 +30V
 LM387A +40V

Power Dissipation (Note 1) 1.5W
 Operating Temperature Range 0°C to +70°C
 Storage Temperature Range -65°C to +150°C
 Lead Temperature (Soldering, 10 sec.) 260°C

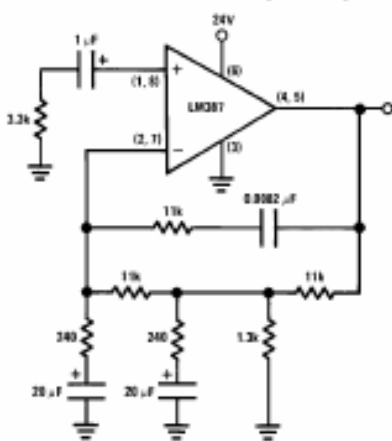
Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 14\text{V}$, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Voltage Gain	Open Loop, $f = 100\text{ Hz}$		160,000		V/V
Supply Current	LM387, $V_{CC} 9\text{V}-30\text{V}$, $R_L = \infty$ LM387A, $V_{CC} 9\text{V}-40\text{V}$, $R_L = \infty$		10		mA
Input Resistance Positive Input Negative Input		50	100 200		k Ω
Input Current Negative Input			0.5	3.1	μA
Output Resistance	Open Loop		150		Ω
Output Current	Source Sink		8 2		mA
Output Voltage Swing	Peak-to-Peak		$V_{CC} - 2$		V
Unity Gain Bandwidth			15		MHz
Large Signal Frequency Response	20 Vp-p ($V_{CC} > 24\text{V}$), THD $\leq 1\%$		75		kHz
Maximum Input Voltage	Linear Operation			300	mVrms
Supply Rejection Ratio Input Referred	$f = 1\text{ kHz}$		110		dB
Channel Separation	$f = 1\text{ kHz}$	40	60		dB
Total Harmonic Distortion	60 dB Gain, $f = 1\text{ kHz}$		0.1	0.5	%
Total Equivalent Input Noise (Flat Gain Circuit)	10 Hz - 10,000 Hz LM387 Figure 1		1.0	1.2	μVrms
Output Noise NAB Tape Playback Circuit Gain of 37 dB	Unweighted LM387A Figure 2		400	700	μVrms

Note 1: For operation in ambient temperature above 25°C, the device must be derated based on a 150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 0.0°C/W (junction to ambient).

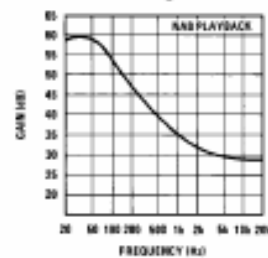
Typical Applications (Continued)

Two-Pole Fast Turn-ON NAB Tape Preamp

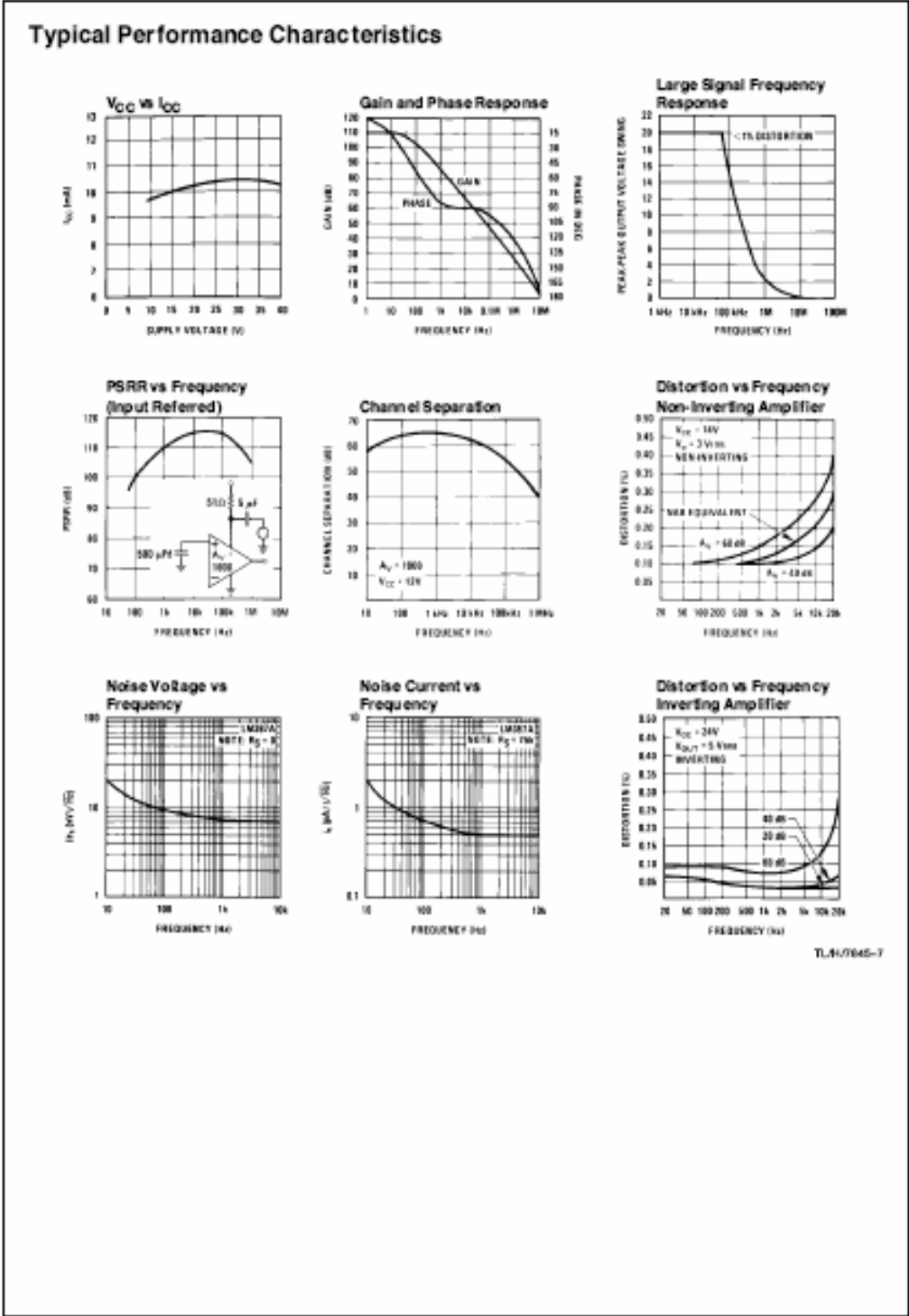


TL47645-5

Frequency Response of NAB Playback Circuit of Figure 2



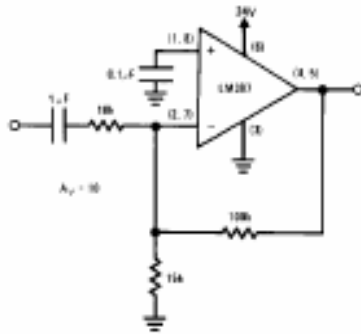
TL47645-6



LM387/LM387A Low Noise Dual Preamplifier

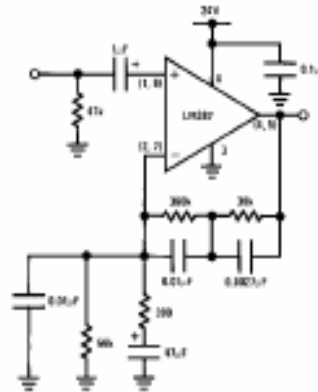
Typical Applications (Continued)

Inverting Amplifier Ultra-Low Distortion



TLN/7645-6

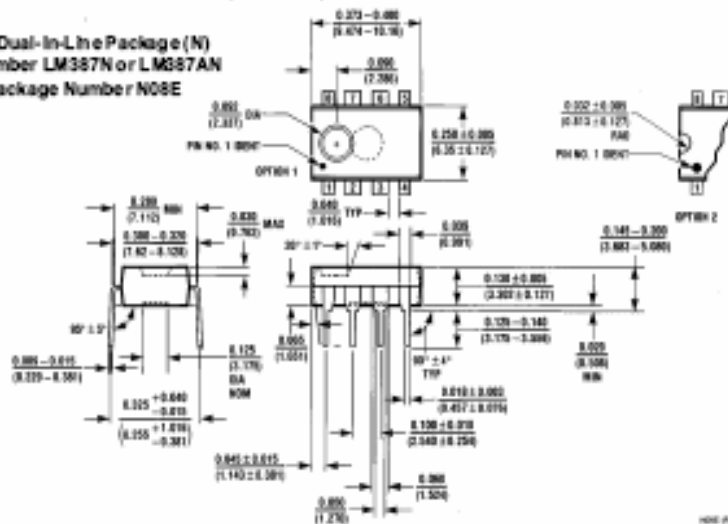
Typical Magnetic Phono Preamplifier



TLN/7645-9

Physical Dimensions inches (millimeters)

Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM387N or LM387AN
NS Package Number N08E



LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

<p>National Semiconductor Corporation 1111 West Bend Road Arlington, TX 76017 Tel: (800) 272-6959 Fax: (800) 257-3018</p>	<p>National Semiconductor Europe Fax: (+45) 0-80-050 65 66 E-mail: orjw@nsc.nat.se Deutsch Tel: (+45) 0-80-050 65 65 English Tel: (+45) 0-80-050 76 32 Français Tel: (+45) 0-80-050 65 58 Italiano Tel: (+45) 0-80-054 16 60</p>	<p>National Semiconductor Hong Kong Ltd. 12th Floor, Straits Block, Ocean Centre 5 Canton Rd. Tsimshatsui, Kowloon Hong Kong Tel: (852) 2733-1600 Fax: (852) 2736-6960</p>	<p>National Semiconductor Japan Ltd. Tel: 61-043-299-2306 Fax: 61-043-299-2400</p>
--	---	---	---

National does not assume any responsibility for use of any circuit described in this data sheet except as published in National data sheets. The right to change without notice is reserved.

Bloc de connecteur CB 68 LP

Voici la désignation des différents borniers

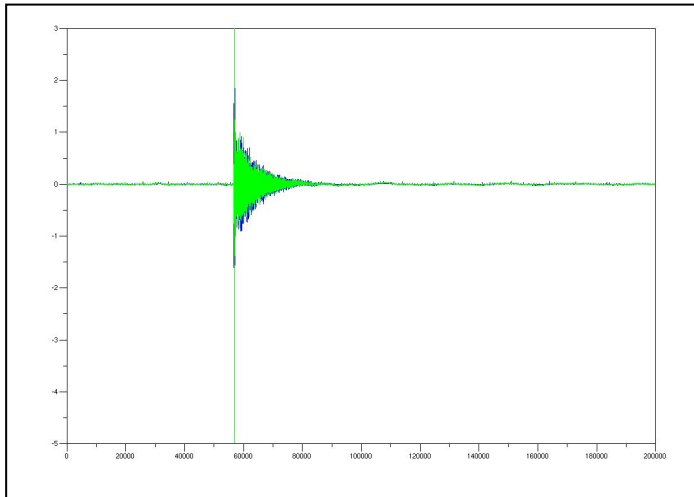
ACH8	34	68	ACH0
ACH1	33	67	AIGND
AIGND	32	66	ACH9
ACH10	31	65	ACH2
ACH3	30	64	AIGND
AIGND	29	63	ACH11
ACH4	28	62	AISENSE
AIGND	27	61	ACH12
ACH13	26	60	ACH5
ACH6	25	59	AIGND
AIGND	24	58	ACH14
ACH15	23	57	ACH7
DAC0OUT ¹	22	56	AIGND
DAC1OUT ¹	21	55	AOGND
RESERVED	20	54	AOGND
DIO4	19	53	DGND
DGND	18	52	DIO0
DIO1	17	51	DIO5
DIO6	16	50	DGND
DGND	15	49	DIO2
+5 V	14	48	DIO7
DGND	13	47	DIO3
DGND	12	46	SCANCLK
PF10/TRIG1	11	45	EXTSTROBE*
PF11/TRIG2	10	44	DGND
DGND	9	43	PF12/CONVERT*
+5 V	8	42	PF13/GPCTR1_SOURCE
DGND	7	41	PF14/GPCTR1_GATE
PF15/UPDATE*	6	40	GPCTR1_OUT
PF16/WFTRIG	5	39	DGND
DGND	4	38	PF17/STARTSCAN
PF19/GPCTR0_GATE	3	37	PF18/GPCTR0_SOURCE
GPCTR0_OUT	2	36	DGND
FREQ_OUT	1	35	DGND

¹ Not available on the 6034E

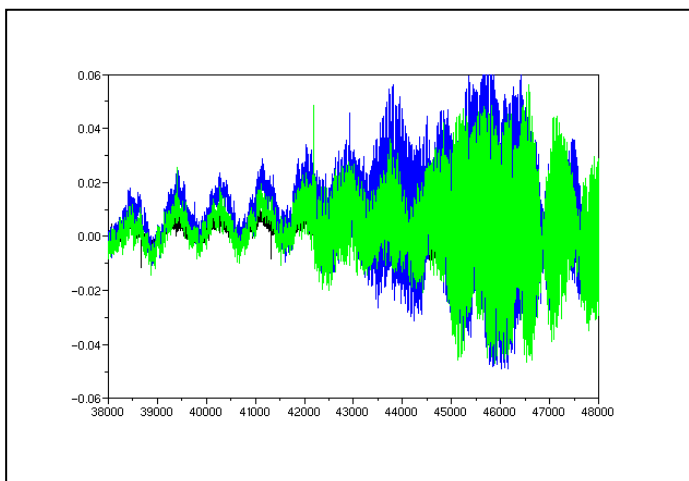
Figure - assignation des entrées sorties sur le bloc de connecteur CB-68 LP

Nous avons utiliser sur ce bloc les entrée ACH numéroté [68 - 34],[33 - 66] et[65 - 31]

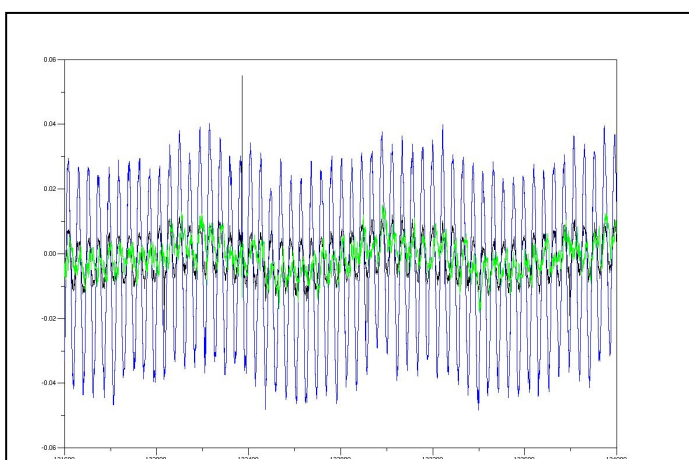
Annexe F - Allure des différents signaux



Un 'clap'



Un sifflement



Une onde sonore sinusoïdale

Annexe G - Exemple d'acquisition

Pour un sifflement voici le code source Scilab

```
//sifflement situer à 2 mètres, face microphone 0 ; donc à la position 0°

clear;

// augmentation de la pile
stacksize(1e8);

// Acquisition des signaux via le fichier .txt
a=fscanfMat('sifflement001.txt');

//création des fenêtres graphiques
xbasc([0])
xbasc([1])

//taille du fichier d'acquisition
size(a);

//constantes
// vitesse du son
Cs=380;
// fréquence d'échantillonnage
Fe=44052.9;
// Période d'échantillonnage
Te=1/Fe;
//Rayon du dispositif
R=0.25;

//Création de l'axe des temps (en seconde)
debut = 0001;
fin = 200000;
A=a(debut:fin,:);
N = fin - debut + 1;
Tinitial = 0;
Tfinal = Te*size(A,'r');
T=linspace(Tinitial,Tfinal,N);
```

```
//Elimination de l'offset
d1=mean(A(100:200,1));
D1=(ones(N,1))*d1;
mic0=A(:,1)-D1;

d2=mean(A(100:200,2));
D2=(ones(N,1))*d2;
mic1=A(:,2)-D2;

d3=mean(A(100:200,3));
D3=(ones(N,1))*d3;
mic2=A(:,3)-D3;

//normalisation des signaux
[o1,no1]=max(A(100:200,1));
[o2,no2]=max(A(100:200,2));
[o3,no3]=max(A(100:200,3));

//O1=(ones(N,1))*(o1/o1); // pas utile car signal de référence
O2=(ones(N,1))*(o1/o2);
O3=(ones(N,1))*((o1)/o3);

mic0app=mic0.*1;
mic1app=mic1.*O2;
mic2app=mic2.*O3;

//Tracer des 3 signaux dans la fenêtre 0
si=[mic0app mic1app mic2app];

xset("window",0);
plot2d(T,[si])

// signaux sous formes de vecteurs
mic0app=mic0app';
mic1app=mic1app';
mic2app=mic2app';

//calcul et trace de l'intercorrélation

mic0app=mic0app(47000:47100);
mic1app=mic1app(47000:47100);
mic2app=mic2app(47000:47100);
```



```
xcorr1=convol(mic0app,mic1app);
xcorr2=convol(mic1app,mic2app);
xcorr3=convol(mic2app,mic0app);

xcorr1=xcorr1';
xcorr2=xcorr2';
xcorr3=xcorr3';

//trace de l'intercorrelation dans la fenetre 1
xset("window",1);
plot2d([xcorr1,xcorr2,xcorr3])

//position maximal de corrélation
[maxi1,delay0]=max((xcorr1));
[maxi2,delay1]=max((xcorr3));
[maxi3,delay2]=max((xcorr2));

///détermination des TDOA
delta_t01=delay0*Te
delta_t12=delay1*Te
delta_t02=delay2*Te

//récupération de la valeur minimal de la TDOA
e=[delta_t01 delta_t12 delta_t02];
[minimum_value,index_minimum_value]=min(e);

//Calcul de l'azimut
if index_minimum_value==1;
teta1=((%pi/6)-acos(delta_t01/(sqrtm(3)*(R/Cs))))*(180/%pi)
end;

if index_minimum_value==2;
teta2=((%pi/2)-acos(delta_t12/(sqrtm(3)*(R/Cs))))*(180/%pi)
end;

if index_minimum_value==3;
teta3=(-%pi/6)+acos(delta_t02/(sqrtm(3)*(R/Cs))))*(180/%pi)
end;
```

Exemple de tracer de la fonction d'intercorrélation

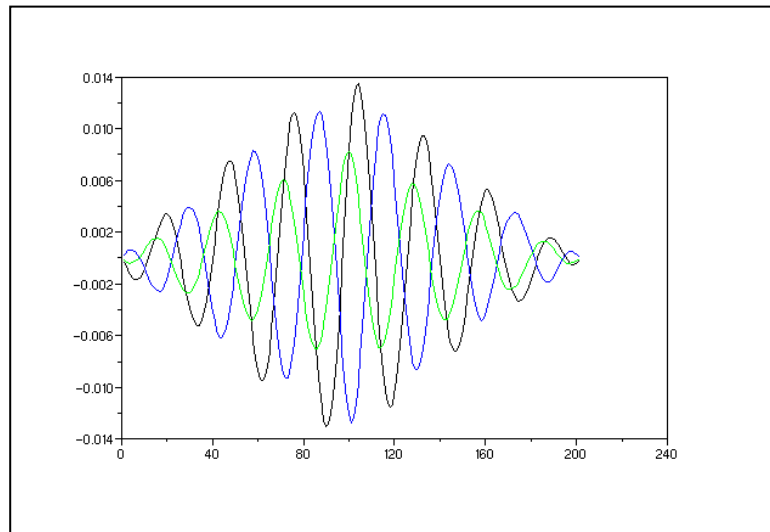


Figure - Intercorrélation

Les résultats sont présentés sous la forme suivante :

```
delta_t01 =  
0.0010896  
  
delta_t12 =  
0.0000454  
  
delta_t02 =  
0.0011123  
  
teta2 =  
1.1433687
```

Ici Teta est donnée en degrés.

Bibliographie :

- [1] <http://www.inria.fr>
- [2] <http://www.inrialpes.fr>
- [3] <http://www.inrialpes.fr/sed/>
- [4] Georges Asch et collaborateur.
Capteur en instrumentation industriel. Edition Dunod p 659-693
- [5] http://voyard.free.fr/textes_audio/le_microphone.htm#electret
- [6] Francis Cottet
Traitement du signal 'Aide-mémoire' Edition Dunod
- [7] A.W.M Van Den Enden, N.A.M VerhoeckX
Traitement numérique du signal ' Une introduction ' Edition Masson p189-263
- [8] <http://scilabsoft.inria.fr/>
- [9] <http://www.isvr.soton.ac.uk/FDAG/VAP/html/localisation.html>
- [10] Margueron Xavier
Rapport de stage, Capteur pour la localisation d'une source sonore
<http://www.inrialpes.fr/sed/stages/stages2000/rapportMargueron.pdf>
- [11] Jean-Marc Valian, et al. Robust Sound Source Localization Using a Microphone Array on a Mobile Robot. In Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and Systems, pages 1228 - 1233.
- [12] Qing Hua Wang, Teodor Ivanov and Parham Aarabi. Acoustic robot navigation using distributed microphone arrays. Information Fusion, In Press, Corrected Proof.
- [13] Jie Huang, Tadawute Supaongprapa, Ikutaka Terakura, Fuming Wang, Noboru Ohnishi, Noboru Sugie. A model-based sound localization system and its application to robot navigation. Robotics and Autonomous System, Vol. 27(4) 1999, pages 199-209.
- [14] John C. Murray, Harry Erwin and Stefan Wermtner
Robotic Sound-Source Localization and Tracking Using Interaural Time Difference and Cross-Correlation
http://www.his.sunderland.ac.uk/ps/murray_ulm04.pdf.

- [15] Vikas C.Raykar, Igor Kozintsev, Rainer Lienhart
Self localization of acoustic sensors and actuators on distributed platforms
Intel labs, Intel Corporation, Santa Clara, CA, USA

http://lear.inrialpes.fr/people/triggs/events/iccv03/cdrom/womtec03/WOMTEC_126.pdf
- [16] Keith Dana Martin, Massachusetts Institute of technology, A Computational Model of Spacial Hearing
Master of Science in Electrical Engineering June 1995
- [17] C.Cimeli et R.Bourgeron
Guide du technicien en électronique 'Pour maitriser l'analyse et la conception'
edition Hachette.
- [18] http://www.ni.com/pdf/products/us/4daqsc202-204_ETC_212-213.pdf
- [19] http://weak0.physics.berkeley.edu/weakint/research/muons/slowcontrol/6034E_Manual.pdf
- [20] http://he3.dartmouth.edu/pci-ioc/LinuxIOC_2.html
- [21] <http://ktimetrace.sourceforge.net/>