

J3eA, Journal sur l'enseignement des sciences et technologies de l'information et des systèmes,  
Volume 4, Hors-Série 2, 27 (2005)  
DOI : <http://dx.doi.org/10.1051/bib-j3ea:2005727>  
© EDP Sciences, 2005

**Travaux pratiques : une approche système appliquée aux techniques audio fréquence**

P. Dondon

ENSEIRB  
rue A. Schweitzer  
F-33400 Talence, France

# TRAVAUX PRATIQUES :

## UNE APPROCHE SYSTEME APPLIQUEE AUX TECHNIQUES AUDIO FREQUENCE

Ph. Dondon\*, ENSEIRB, rue A.schweitzer 33400 TALENCE

Philippe Dondon@enseirb.fr

### Résumé :

De la prise de son jusqu'à sa restitution, cette manipulation mise en place en 2001 dans le cadre des travaux pratiques de la filière électronique de l'ENSEIRB, donne un panorama complet des techniques audio. Elle permet d'illustrer, de façon intégrée et en une seule fois, les fonctions de base comme le microphone, la conversion analogique numérique, les effets sonores classiques (réverbération, écho, etc), l'égalisation et le mixage, l'amplification de puissance classe D et le haut parleur, mais aussi leur interconnexion avec les problèmes d'adaptation que cela engendre.

Le principal avantage de cette approche système, ludique et pédagogique à la fois, est l'assurance d'une motivation forte des élèves d'une part et la mise en œuvre de montages analogiques, numériques, filtres, circuits de commutation de puissance dans le cadre d'un système complet d'autre part.

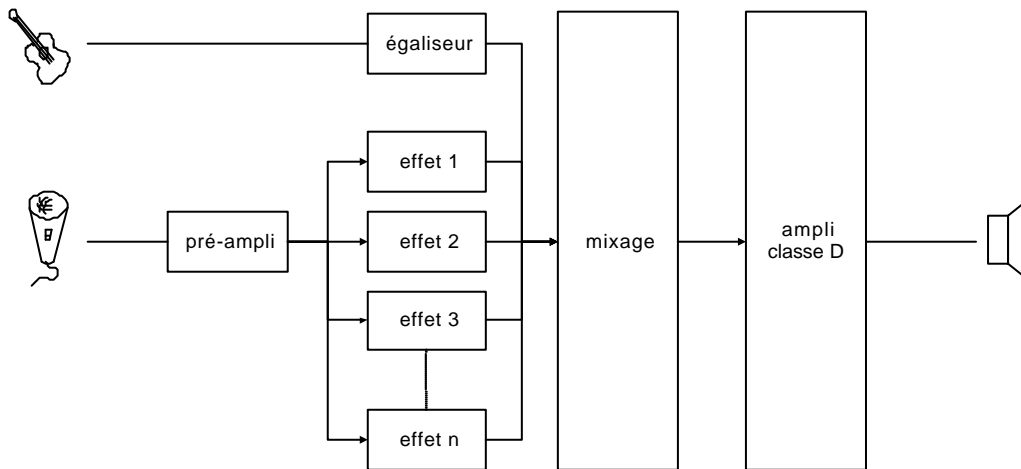


Figure 1: synoptique TP techniques audio fréquences

## 1. INTRODUCTION

L'idée de cette manipulation est née de la suggestion d'élèves deux ans auparavant en s'inscrivant dans une perspective "d'apprendre en s'amusant". Cependant au lieu d'acheter une manipulation clé en main, nous avons préféré la créer de toute pièce pour maîtriser totalement les paramètres à calculer et à mesurer.

Le schéma de principe de la manipulation est donné en figure 1.

## 2. DESCRIPTION DE LA MANIPULATION

### 2.1 L'amplificateur de puissance classe D

#### 2.1.1 Schéma

Le schéma de principe de l'amplificateur est donné en figure 2. Le signal audio est comparé à un signal

triangulaire de haute fréquence (Figure 3).

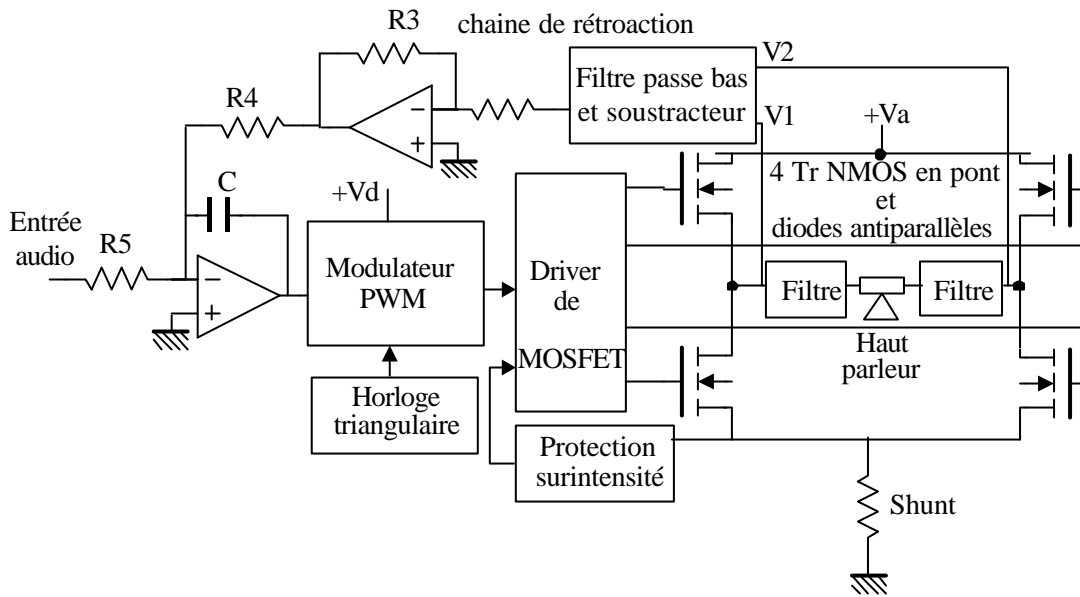


Figure 2 : synoptique amplificateur classe D

On obtient ainsi un signal intermédiaire, rectangulaire, modulé en largeur d'impulsion (PWM), au rythme du signal audio.

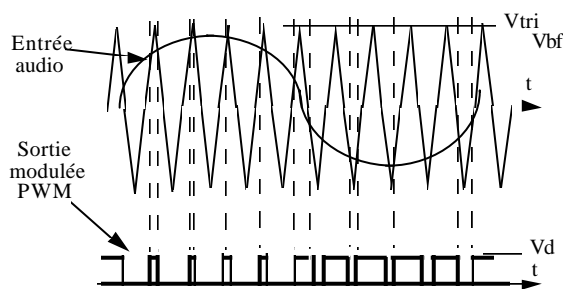


Figure 3: modulation PWM

Ce train attaque, au travers de drivers, des transistors MOS de puissance (pont en H complet) alimentés par une tension d'alimentation élevée (> à 30V) Cela permet d'obtenir un gain en courant important. Un filtre de sortie, placé entre l'étage MOS et la charge (Haut parleur), permet de restituer la composante BF (audio). Le réseau de contre réaction fixe le gain en tension et la bande passante du montage.

## 2.2 Le microphone

Le microphone «cravate» omnidirectionnel inclus un préamplificateur, alimenté sous 1,5V et délivrant un niveau de sortie de +/-40mV. Le signal est amplifié

par un SSM2017 dont les entrées sont munies de diodes zener, montées tête-bêche, qui évitent les surtensions lorsqu'on débranche le microphone.

## 2.3 Les effets sonores de base

### 2.3.1 Carte écho et réverbération

L'effet écho est obtenu simplement en mixant le signal d'entrée avec ce même signal d'entrée retardé de quelques dixièmes de secondes. La durée entre le signal d'entrée et le signal retardé s'appelle le délai. En faisant varier ce délai, on obtiendra un effet différent. Lors du mixage des deux signaux, on peut ou non atténuer le signal retardé. La relation mathématique exprimant cette opération est :

$$s(t) = \frac{1}{\lambda} e(t - \tau) + e(t)$$

où  $1/\lambda$  est l'atténuation du signal retardé.

L'effet de réverbération est, quand à lui, obtenu en mixant non plus le signal d'entrée retardé, mais en additionnant le signal de sortie retardé.

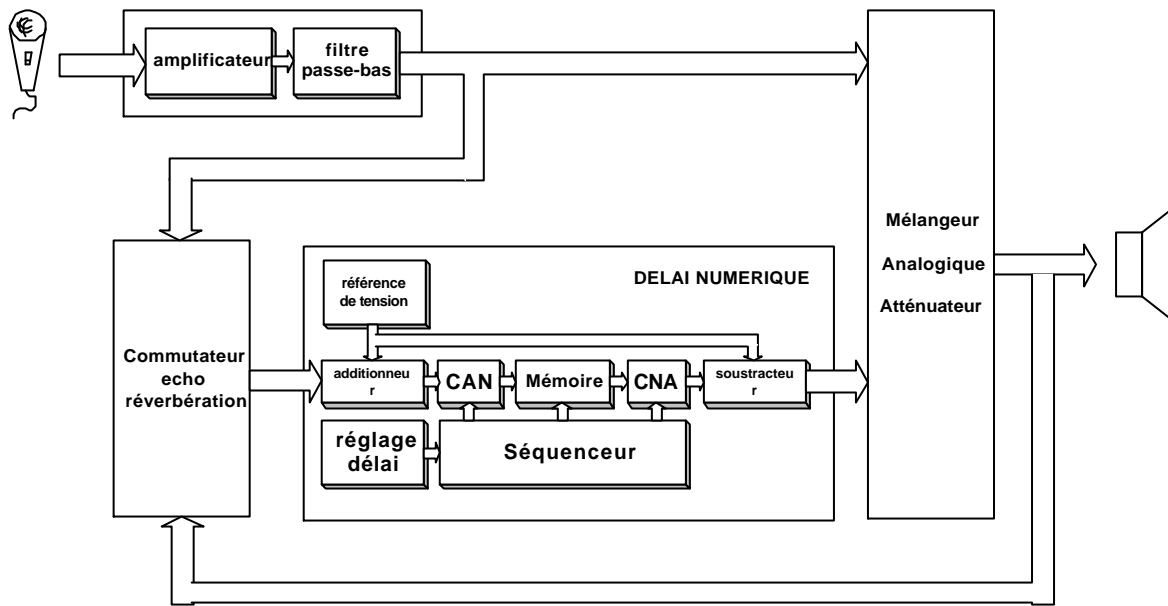


Figure 4 : effet écho et réverbération numérique

Cette fois, il est indispensable d'atténuer le signal retardé. En effet, le système étant bouclé, le signal de retour doit être atténué afin de garantir la stabilité de notre système (risque d'effet Larsen). L'expression traduisant cette opération est :

$$s(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{\lambda^n} e(t - n \cdot \tau) + e(t)$$

Ces deux effets se traduisent par le schéma donné en figure 4. Le signal issu du microphone est pré amplifié puis filtré. Puis il est aiguillé d'une part, directement vers le mélangeur de sortie et d'autre part, vers le bloc réalisant le retard. Afin que celui-ci soit significatif (de 1 à 3s), seul un traitement numérique est possible.

## 2.4 La carte égalisation/mixage deux voies

### 2.4.1 Principe de l'égalisation

La bande audio est « découpée » en 5 sous bandes F1 à F5 (ou plus si nécessaire). Le circuit d'égalisation comporte un circuit sélectif à gain réglable pour chacune des sous bandes. On peut ainsi régler le dosage de chaque gamme de fréquence.

La cellule élémentaire se compose donc d'un filtre de type R, L, C associé à un étage à gain ajustable, l'inductance étant synthétisée par un circuit INIC.

### 2.4.2 Principe du mixage

Le mixage consiste simplement à additionner 2 ou plusieurs signaux avec un simple montage sommateur à AOP muni d'un gain réglable pour chaque voie.

## 2.5 L'effet Wah Wah

### 2.5.1 Principe

L'effet Wah wah est obtenu par le déplacement de la fréquence centrale d'un filtre passe bande dans la bande audio. La commande (ici manuelle mais normalement au pied) est réalisée par un potentiomètre.

Le montage fait appel à une contre réaction sur un amplificateur à 2 transistors, à l'aide d'un filtre RLC passe haut. Le circuit étant difficile à calculer, on peut, en première approximation, expliquer son fonctionnement par le schéma Figure 5a.

Avec  $0 < \alpha < 1$  : atténuation du potentiomètre et

$$T(p) = \frac{bp^2}{1 + ap + bp^2} \text{ fonction de transfert du filtre}$$

passé haut.

Dans ce cas, la fonction de transfert en boucle

$$\text{fermée s'exprime par } \frac{V_s}{V_e} = \frac{A}{1 + A\alpha T(p)}$$

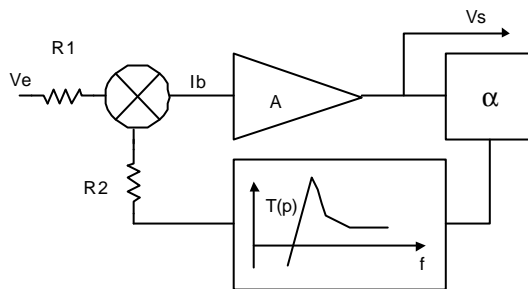


Figure 5a : effet wah wah

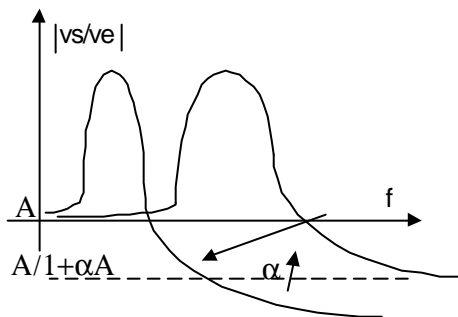


Figure 5b : réponse en fréquence

$$\text{Soit : } T_{bf}(p) = \frac{V_s}{V_e} = A \frac{1 + ap + bp^2}{1 + ap + (1 + \alpha A)bp^2}$$

L'allure de  $|T_{bf}(p)|$  est donnée en figure 5b. La fréquence de résonance est donc modifiable par le potentiomètre et l'effet est obtenu lorsque qu'on déplace cette fréquence pendant le déroulement d'un morceau musical.

### 3.UTILISATION DE LA MAQUETTE

Les élèves caractérisent d'abord chaque bloc séparément : ils identifient les fonctions de transfert boucle ouverte, boucle fermée, gain, rendement chronogramme de commutation des MOS de puissance du classe D etc). Ces caractérisations mettent en œuvre des techniques de mesures particulières, notamment l'utilisation des

oscilloscopes dans des modes de fonctionnements tels que moyennage, monocoup, FFT, déclenchements spéciaux etc ainsi que celle de générateurs de signaux en mode SWEEP). Puis les élèves associent les différents pour obtenir un système audio complet. L'assemblage des fonctions permet de mettre en évidence les problèmes de niveaux normalisés, d'adaptation d'impédance et d'interconnexions. Enfin, le TP se termine de façon ludique en plaçant une source audio (lecteur de CD) et écoutant l'impact des effets sonores, de la saturation de l'ampli classe D, et des autres paramètres sur la restitution du son sur un haut parleur.

### 4.CONCLUSION

Cette manipulation, en exploitation depuis deux ans, rencontre un succès constant auprès des étudiants ENSEIRB. Son utilisation a donc été généralisée et étendue aux enseignements CNAM. Même si les concepts abordés sont complexes, ils sont globalement bien perçus par les élèves grâce à l'aspect ludique du T.P. De plus, de part la diversité des techniques mise en œuvre, (analogique, numérique, conversion A/N, FPGA, commutation de puissance, filtrage, contre réaction etc.), celui-ci constitue une manipulation de "synthèse" qui met en application une grande partie des concepts développés lors des enseignements théoriques de l'Ecole.

### Bibliographie

1. ICECS'99 septembre 1999 Chypre : "An original approach for the design of a class D power switching amplifier - An audio application-" Ph. Dondon- J.M Micouleau
2. Audio and HIFI Handbook, second edition ed. Ian Sinclair Butterworth-Heinemann 1993