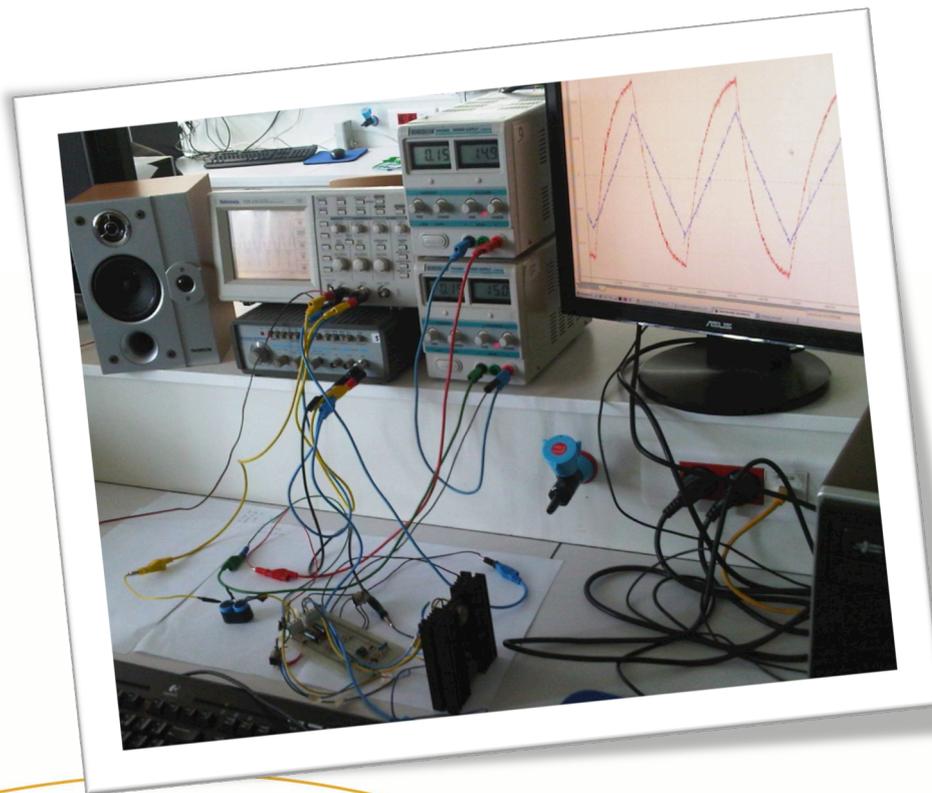


*Projet de Physique P6-3*  
*STPI/P6-3/2011 –27*

**AMPLIFICATEUR AUDIO : PUSH PULL**



**Etudiants :**

**Soukaïna ALAMI TALBI**

**Adrien ANDRE**

**Igor BABARA**

**Xia Hang DU**

**Aymeric DUJARDIN**

**Boris HAUCOURT**

**Enseignant-responsable du projet :**

**François GUILLOTIN**



Date de remise du rapport : **18/06/2011**

Référence du projet : **STPI2 /P6-3/2011 – 027**

Intitulé du projet : **Amplificateur audio: Push-Pull**

Type de projet : Modélisation, expérimental

Objectifs du projet :

Ce projet a pour but de nous faire découvrir la méthode pour la mise en place d'un amplificateur audio push-pull. Ce travail nous permettra de nous familiariser davantage avec des logiciels tels que Synchronie ou encore d'utiliser de nouveaux logiciels tels que KiCad, Enfin, nous travaillerons aussi de manière plus technique pour la conception de notre produit final.

Nous tenterons de fabriquer un amplificateur audio push pull de classe B et de le combiner à un boîtier de distorsion afin de tester l'écoute (le son) et de les comparer avec les résultats théoriques que l'on a pu recueillir de nos recherches.

Mots-clefs du projet : **Amplificateur audio**  
**Distorsion**

## TABLE DES MATIERES

1. Introduction.....	2
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	3
2.1. Répartition des tâches.....	3
2.2. Partie recherche.....	4
2.2.1. L'oreille humaine.....	4
2.2.2. L'amplificateur audio.....	6
2.2.3. La distorsion.....	10
2.3. Etude de la distorsion harmonique du signal.....	11
2.3.1. Création de la distorsion harmonique.....	11
2.3.2. Premier montage.....	11
2.3.3. Second montage.....	13
2.4. Calcul du THD.....	14
2.4.1. Démarche.....	14
2.4.2. Le programme.....	14
2.5. Conception de l'amplificateur audio.....	15
3. Travail réalisé et résultats.....	17
3.1. Courbes des tests de l'amplificateur.....	17
3.2. Interprétation des résultats.....	20
3.2.1. A propos graphiques.....	20
3.2.2. Test de l'amplificateur.....	20
4. Conclusions et perspectives.....	21
5. Bibliographie.....	22
6. Annexes.....	23
6.1. Programme en Turbo Pascal.....	23
6.2. Schémas de montages.....	25



## 1. INTRODUCTION

Dans le cadre de notre projet de P6-3, intitulé: « Amplificateur audio : push-pull », nous avons pu approcher le domaine de l'audio et de l'électronique.

Le domaine de l'audio est de plus en plus sollicité de nos jours. Nous sommes de plus en plus nombreux à écouter des pistes audio, seuls ou en groupe. Lorsqu'on possède un baladeur MP3 et que l'on souhaite écouter une piste, tout le groupe ne peut pas profiter de la musique en même temps puisque le signal émis est trop faible.

Pour résoudre ce problème, il faudrait amplifier le signal tout en préservant sa qualité c'est à dire avec le minimum de déformations possibles.

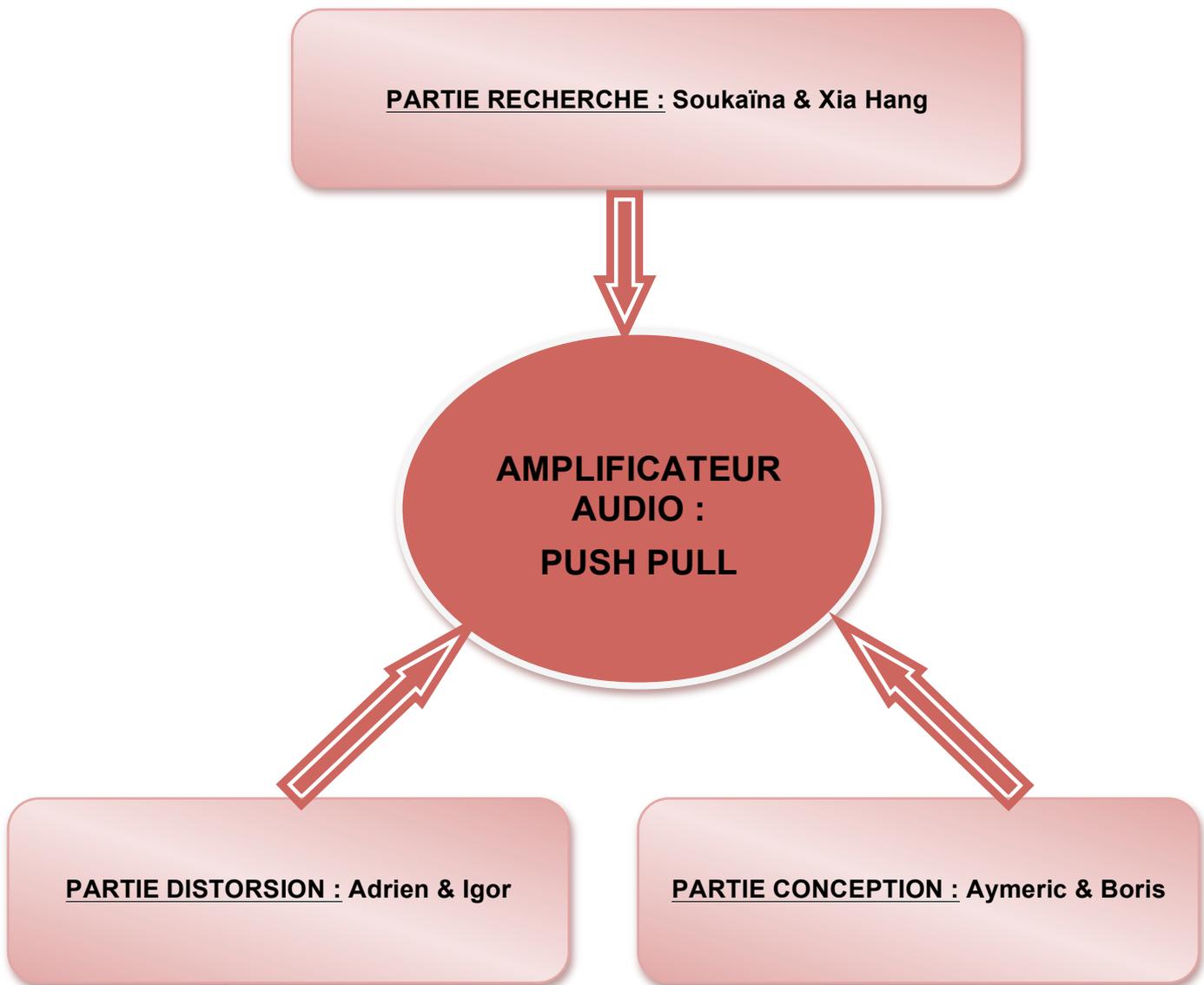
Un amplificateur audio est un amplificateur électronique conçu pour amplifier les signaux audio de faible puissance provenant d'un dispositif de capture tel qu'un instrument de musique ou encore un dispositif de stockage tel qu'un lecteur afin de pouvoir alimenter une enceinte. Il permet ainsi d'augmenter la puissance d'un signal. En ce sens, un amplificateur peut être considéré comme modulant la sortie de l'alimentation.

Pour ce projet, nous possédions à la base un boîtier pour « transformer les rotations d'un moteur en sinusoïdes », des enceintes ainsi que tous les composants nécessaires présents au sein du laboratoire tel que des résistances par exemple. Ainsi, à partir de cette base là, nous nous sommes fixés comme objectif la modélisation d'un amplificateur audio : push pull ainsi que l'étude de la distorsion du signal émis après avoir effectué des recherches à ce sujet.



## 2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

### 2.1. Répartition des taches



Lors du travail, nous ne nous sommes pas contentés de travailler sur nos parties. Nous nous sommes aidés mutuellement et complétés tout au long de notre projet.



## 2.2. Partie recherche

### 2.2.1. L'oreille humaine

Le son est une perception auditive, il ne prend naissance que dans notre cerveau. C'est une forme d'énergie créée par une source qui se propage selon une onde sonore. Cette onde est captée par nos oreilles puis analysée et interprétée par notre cerveau. Cependant si le son est trop fort [le bruit], il peut endommager l'oreille, entraînant ainsi des lésions. Celles-ci, d'intensités différentes, sont irréversibles.

L'oreille est composée de trois parties distinctes : l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne.

#### L'oreille externe:

Elle comporte le pavillon de l'oreille (appelé communément l'oreille) et le conduit auditif externe, qui est un canal reliant le pavillon au tympan qui le ferme. Les pavillons se trouvent de part et d'autres de la tête, leur forme en coquille, leur permet de recueillir et conduire les ondes sonores vers le conduit auditif.

#### L'oreille moyenne:

L'oreille moyenne est une petite cavité, remplie d'air et recouverte de peau.

L'oreille moyenne contient les trois plus petits os du corps humain. Le rôle de ces trois osselets est d'amplifier et de focaliser les vibrations du tympan puis de les transmettre à l'oreille interne. Cette amplification est d'environ 20 à 30 décibels.

#### L'oreille interne:

L'oreille interne est une des parties de l'oreille, qui contient non seulement l'organe de l'ouïe, la cochlée ou limaçon, mais aussi le Système vestibulaire, organe de l'équilibre, responsable de la perception de la position angulaire de la tête et de son accélération. Les mouvements de l'étrier sont transmis à la cochlée via la fenêtre ovale et le vestibule.

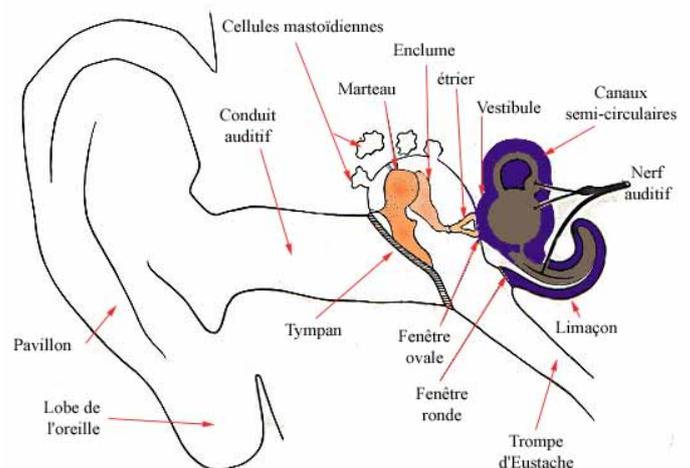


Figure 1

#### Comment l'Homme perçoit le son ?

L'oreille recouvre le rôle de transducteur dans la transformation de l'énergie acoustique, d'abord en énergie mécanique, puis en énergie électrique. Une fois l'énergie convertie par l'oreille depuis sa forme mécanique à celle électrique, les impulsions électriques arrivent au cerveau à travers les *terminaisons nerveuses*. C'est là qu'elles sont élaborées, permettant ainsi la perception du son et donc l'écoute de la musique.

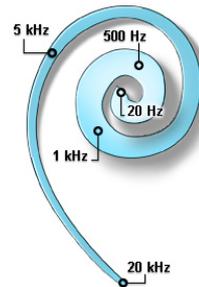
L'oreille est capable d'entendre le spectre d'un mélange de plusieurs fréquences sonores allant en théorie de 20 à 20 000 Hz. Nous sommes ainsi capables de distinguer un son "pur" (composé d'une seule fréquence) d'un son composé de nombreuses fréquences. C'est grâce à cela que nous reconnaissons des instruments différents jouant la même note à leur timbre (qui correspond à la richesse spectrale du son émis par l'instrument) ou que nous savons distinguer un accord d'une note isolée.



**Réglementation/ Santé :**

Pour commencer, voici quelques exemples d'intensité sonore de la vie quotidienne afin de mieux voir la limitation du baladeur

- un avion au décollage : 130 dB
- une discothèque : 100 dB
- la circulation routière : 80 dB
- un bureau calme : 50 dB
- le désert : 20 dB



Il faut savoir qu'à partir de 85dB il y a un risque pour l'appareil auditif et que le seuil de la douleur se situe vers 120dB. Le temps d'exposition tolérable à 105dB est de 45min par semaine, mais toute écoute prolongée à haute intensité est déconseillée. 45min par semaine à 105dB, même si les baladeurs sont limités à 100dB, l'écoute moyenne par semaine dépasse largement 45min chez la plupart des utilisateurs. Donc une utilisation quotidienne de plus de 15min d'un baladeur à fond est fortement déconseillée.

**Différents traumatismes auditifs :**

Les acouphènes : se sont des bourdonnements ou sifflements perçus dans l'oreille. Ils sont dus à une exposition de longue durée à une intensité sonore élevée. La plupart des acouphènes disparaissent après 10h de repos, mais s'ils sont discontinus et qu'ils se répètent de plus en plus souvent cela peut devenir grave et permanent. L'acouphène est considéré comme une alarme déclenchée par l'organisme pour prévenir que l'appareil auditif a « reçu trop de son ».

L'hyperacousie : c'est une perception trop grande du son, une hypersensibilité auditive. Elle est due à la destruction de certaines cellules de l'appareil auditif. Cela peut être provoqué par des agressions répétitives et fortes de l'appareil auditif ou bien par la vieillesse

Fatigue auditive et surdité : La fatigue auditive est due à des « surdoses » de son provoquées par des agressions de forte intensité occasionnelles comme les concerts. La perception des sons est moins claire mais très nette. On récupère une audition quasi normale après un repos mais il faut savoir qu'on ne récupère jamais l'audition d'avant l'agression donc si on répète trop souvent ces agressions les pertes auditives vont s'accumuler et entraîner un dommage grave et permanent de l'appareil auditif qui mène à la surdité. La surdité peut être aussi provoquée par l'exposition fréquente à des bruits violents comme un coup de feu ou des pétards, qui détruisent des cellules auditives de façon permanente.



## 2.2.2. L'amplificateur audio

### 2.2.2.1. Historique

L'énergie des signaux captés par une antenne était faible auparavant. Celle-ci ne suffisait pas pour faire fonctionner des haut-parleurs. En effet, ils requièrent beaucoup plus d'énergie. C'est ainsi qu'est venue la première idée d'amplifier les signaux. Le premier amplificateur électronique a été inventé par un Américain Lee De Forest en 1906 qui donnera naissance à la triode. Cette invention a été rapidement perfectionnée par l'ajout de deux grilles. C'est ce tube qui sera adopté pour la plupart des amplificateurs à tube.

Les amplificateurs à tube sont aussi appelés amplificateur à lampes et ceci en raison de la forme des tubes et de la lumière qu'ils émettent lors de leur fonctionnement.

En 1960, l'apparition de transistor de puissance sûr et peu coûteux a fait que la plupart des amplificateurs se sont mis à fonctionner avec des transistors. Généralement, on préfère les amplificateurs à transistor aux amplificateurs à tubes, car ils sont plus robustes, fonctionnent avec de basses tensions et sont opérationnels immédiatement après leur mise sous tension contrairement aux tubes qui mettent un peu de temps pour chauffer et qu'il faut laisser refroidir avant de pouvoir transporter par exemple.

Les tubes sont encore utilisées dans les amplificateurs audio surtout ceux destinées aux guitares électriques puisque certaines personnes préfèrent ce son qui est estimé être plus « humain » c'est-à-dire chaud et sensuel. Ces amplificateurs sont aussi utilisés pour les applications à très forte tension ou haute fréquence pour les fours à micro-ondes ou les amplificateur de puissance pour les émetteurs de radio et de télévision.

A partir de 1970, une nouvelle technologie dite M.O.S (Metal Oxide Semi-conductor) fit son apparition et permis la fabrication de transistors à effet de champ qui sont plus petits et plus rapides.

Aujourd'hui et dans le domaine des télécommunications spatiales on utilise aussi ce qu'on appelle des amplificateurs à Klystron et des tubes à ondes progressives (ATOP).

### 2.2.2.2. Composition d'un amplificateur audio

#### Les transistors

Le transistor est le composant électronique actif fondamental en électronique utilisé principalement comme interrupteur commandé et pour l'amplification, mais aussi pour stabiliser une tension, moduler un signal ainsi que de nombreuses autres utilisations.

#### La Jonction P-N

En physique des semi-conducteurs, une jonction p-n désigne une zone du cristal où le dopage varie brusquement, passant d'un dopage p à un dopage n. Lorsque la région dopée p est mise en contact avec la région n, les électrons et les trous diffusent spontanément de part et d'autre de la jonction, créant ainsi une zone de déplétion où la concentration en porteurs libres est quasiment nulle. Alors qu'un semi-conducteur dopé est un bon conducteur, la jonction ne laisse quasiment pas passer le courant. La longueur de la zone de déplétion varie avec la tension appliquée de part et d'autre de la jonction. Plus cette zone est courte, plus la résistance de la jonction est faible. La caractéristique I(V) de la jonction est donc fortement non linéaire : c'est celle d'une diode.



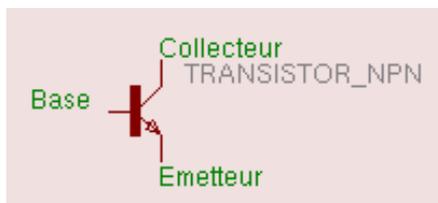


Jonction p-n dans du silicium. Sur ce schéma, les régions p et n sont reliées à des contacts métalliques, ce qui suffit à transformer la jonction en diode.

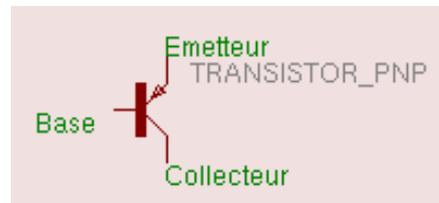
### Le Transistor bipolaire

Un transistor bipolaire est un dispositif électronique à base de semi-conducteur de la famille des transistors. Son principe de fonctionnement est basé sur deux jonctions PN, l'une en direct et l'autre en inverse. La polarisation de la jonction PN inverse par un faible courant électrique (parfois appelé effet transistor) va permettre de « commander » un courant beaucoup plus important. C'est le principe de l'amplification de courant.

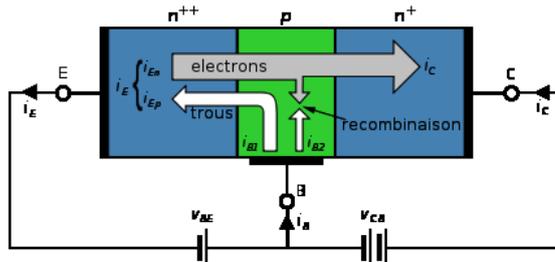
Le transistor bipolaire se constitue de 3 parties : L'émetteur, la base et le collecteur



Du collecteur à l'émetteur



De l'émetteur au collecteur

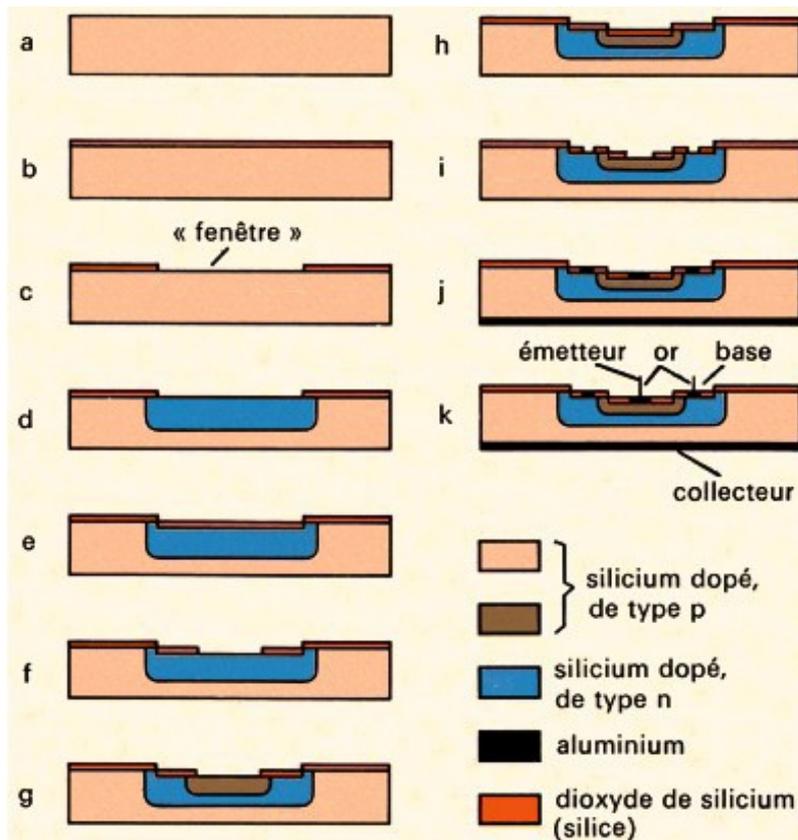


Nous prendrons le cas d'un type NPN pour lequel les tensions  $V_{be}$  et  $V_{ce}$  et le courant entrant à la base sont positifs.

Dans ce type de transistor, l'émetteur, relié à la première zone N, se trouve polarisé à une tension inférieure à celle de la base, reliée à la zone P. La diode émetteur/base se trouve donc polarisée en direct, et du courant (injection d'électrons) circule de l'émetteur vers la base.



## Composition



*Matériau: Silicium ; fiable et résistant, très courant et bon marché*

## Le Préamplificateur

### Les égaliseurs

Un égaliseur ou correcteur de timbre est un appareil ou logiciel de traitement du son. Il permet d'atténuer ou d'accentuer une ou plusieurs bandes de fréquences composant un signal audio. Ce type de traitement peut être exploité lors de la prise de son et l'enregistrement - notamment lors de concerts ou spectacles hors studios d'enregistrement - ainsi que pour le mixage et la sonorisation. L'égaliseur peut être analogique ou numérique, sous forme d'équipement ou de logiciel.

Une source sonore est composée d'une multitude d'ondes sonores réparties sur un large spectre de fréquences audio. L'être humain adulte perçoit ainsi, de 20 HZ à 20 kHz. Il est possible de distinguer et isoler certaines bandes de fréquences afin de leur appliquer un traitement spécifique. En agissant sur une plus ou moins large gamme de fréquences : son graves, médium, aigus, la correction permet d'atténuer ou au contraire de renforcer le timbre du son. À la différence des correcteurs les plus souvent rencontrés sur les amplificateurs Hifi, autoradios, etc..., les égaliseurs interviennent sur des bandes précises et sont généralement plus performants, en particulier pour renforcer certaines fréquences sans trop générer de nuisances (souffle, bruit de fond, distorsion...). Les égaliseurs professionnels les plus perfectionnés peuvent isoler et traiter des bandes de fréquences très étroites, ce qui permet par exemple, d'atténuer ou au contraire de renforcer la "présence" d'un instrument de musique, d'une voix, de bruits, de souffle, de vibrations, etc...



### Le correcteur Baxandall

Un correcteur Baxandall se compose le plus souvent de 2 potentiomètres parfois 3. Il permet de corriger le son, soit en amplifiant, soit en diminuant les graves et les aigus. Les puristes trouvent ce correcteur complètement inutile, étant donné cela dénature le son. Il existe d'ailleurs des chaînes HIFI sans aucun réglage sauf celui du son.

Techniquement, un correcteur Baxandall peut être considéré comme un intégrateur ou un différenciateur selon les curseurs des potentiomètres.

En pratique, le fonctionnement du montage Baxandall est simple :

- Si les deux curseurs sont à mi-courses, l'amplification est unitaire sur toute la bande audio.
- Augmenter/diminuer la résistance du potentiomètre grave (aigu) aura pour effet d'amplifier/niveler les sons situés dans les fréquences basses (hautes).

### L'amplification de puissance

L'amplificateur en puissance est le dernier étage d'une chaîne amplificatrice. Il permet de fournir une puissance beaucoup plus grande que celle fournie par le signal de commande, tout en gardant la même forme du signal. Un ADI ne peut fournir qu'un courant de 20mA, sous une tension de 15V, ce qui fait une puissance de quelques milliwatts, est qui est insuffisant. Dans la majorité des cas, l'amplification en puissance est une amplification en courant. On va donc utiliser des transistors bipolaires, ou des transistors MOS de puissance.

### Classes d'amplificateur

Les amplificateurs sont constitués de circuits amplificateurs, souvent nommés "étage d'amplification". Ces circuits amplificateurs sont classés dans les catégories A, B, AB et C pour les amplis analogiques, et D ou E pour les amplificateurs à découpage.

- **Classe A:** il utilise 1 seul transistor (polarisé) ou tube pour amplifier le signal ; il est très fidèle mais utilisé surtout dans le cas d'amplifications de faibles puissances, nécessitant de la précision et peu de bruit (préamplis, lecteurs CD, etc.). On utilise rarement un étage classe A pour générer de la puissance, car il a tendance à chauffer et consomme même lorsque son signal d'entrée est nul.
- **Classe B:** il utilise 2 transistors en « push-pull » : l'un pour traiter l'alternance positive, l'autre l'alternance négative du signal. Il a l'avantage de beaucoup moins chauffer. Ces amplis ont l'avantage de très peu consommer lorsque le signal d'entrée est nul et l'inconvénient de distordre le signal à faible intensité.
- **Classe AB:** il fonctionne comme un Classe A à faible puissance (augmentation du temps de conduction des transistors) et bascule sur le fonctionnement de Classe B à des puissances plus élevées.
- **Classe C:** il possède un « temps de conduction » inférieur à la demi-période du signal d'entrée. Le signal de sortie contient alors de nombreux harmoniques qui sont généralement filtrés par un circuit de charge très sélectif accordé à la fréquence centrale du signal à amplifier. Ce type d'amplificateur n'est jamais utilisé en audio.
- **Classe D:** utilisé surtout lorsque les éléments actifs de puissance fonctionnent en régime bloqué ou saturé, son principe de fonctionnement est différent : les composants actifs de puissance génèrent un signal rectangulaire de fréquence



élevée par rapport au signal d'entrée et dont le rapport cyclique est proportionnel au signal à amplifier. Un filtre passe-bas placé en sortie ou la simple inertie de la charge permet de ne conserver que les composantes spectrales correspondant aux basses fréquences du signal. En fait, l'ampli classe D fonctionne un peu comme un hacheur en tout ou rien. La valeur de sortie possède donc soit la valeur maximum, soit 0V. La puissance moyenne représente le signal audio. Il suffit de mettre un filtre passif passe-bas pour enlever les hautes fréquences.

- **Classe G**: c'est une variante de l'ampli de classe A: il a 2 alimentations, une avec une faible tension et un autre avec une plus forte tension. Lorsque les signaux sont de faibles amplitudes, l'ampli (de classe A) est connecté à la petite alimentation et lorsque le signal est fort, l'ampli est connecté à la grosse alimentation.
- **Classe H**: cette classe décrit l'alimentation de l'ampli qui est à découpage et est donc associée à une autre classe (souvent A ou AB).
- **Classe T**: appellation commerciale d'une variante de la classe D standard fonctionnant à une fréquence de 650kHz, avec un système de modulation propriétaire.

### 2.2.3. *La distorsion*

Lorsqu'on utilise un amplificateur audio push pull, on produit plus ou moins de distorsions. C'est à dire que le signal sonore amplifié est reproduit de façon déformée. C'est pourquoi nous avons voulu étudier le phénomène de distorsion.

#### Les différents types de distorsions

- **la distorsion harmonique** : Apparition de fréquences multiples paires et impaires (les harmoniques) par rapport au signal original (la fondamentale) à cause de l'écrêtage du signal sinusoïdal. On définit l'importance du contenu harmonique d'un signal alternatif grâce au taux de distorsion harmonique (THD). Pour un amplificateur de 10 W, l'ordre de grandeur du THD est de 0,01%, tandis que pour un amplificateur de 200 W il est de 0.1%. En augmentant la puissance du signal à manipuler, la précision du composant électronique diminue.
- **La distorsion d'amplitude** : Variation du gain en fonction de la fréquence du signal. Si l'amplificateur ne transmet pas l'ensemble du spectre du signal d'entrée, la forme du signal en sortie sera différente de celle du signal d'entrée.
- **La distorsion de croisement** : Les amplificateurs push pull de classe B ont un défaut fondamental car en pratique l'onde devrait commuter régulièrement d'une moitié d'onde (positive) à une autre (négative), mais ce n'est pas le cas. En effet, lorsque le courant des deux transistors s'additionne en sortie, une déformation peut être vue dans les amplificateurs de classe B (et parfois dans les amplificateurs de classe AB)
- **la distorsion d'intermodulation transitoire** : son parasite qui apparaît lors d'une variation brutale du signal d'entrée (particulièrement sur les amplificateurs de classe D).
- **La distorsion de commutation** : son parasite dû à la commutation permanente des transistors de l'amplificateur (particulièrement les amplificateurs de classe B).



## 2.3. Etude de la distorsion harmonique du signal

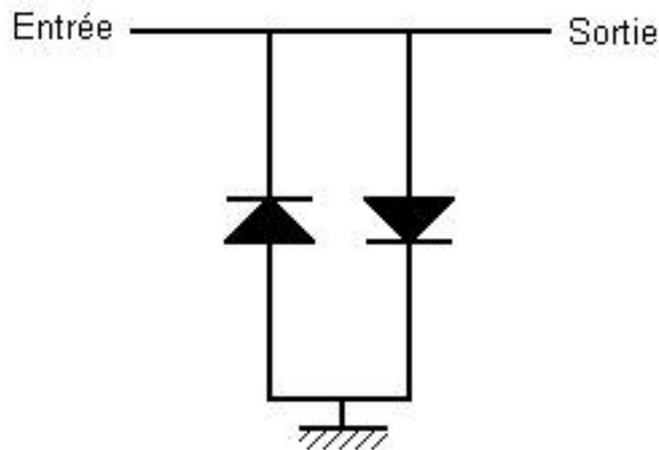
Nous avons voulu réaliser un « boîtier de distorsion » dans l'optique de le combiner avec l'amplificateur audio push pull afin de tester à partir de quel THD (taux de distorsion harmonique) l'oreille humaine est capable d'entendre la différence avec un son pur.

### 2.3.1. Création de la distorsion harmonique

Après quelques recherches, nous avons appris que la distorsion harmonique est due à un écrêtage du signal sinusoïdal. Pour provoquer cet écrêtage, nous nous sommes tout d'abord penchés sur un premier montage avec deux diodes placées tête-bêche entre le signal et la masse, puis nous avons finalement choisi d'utiliser un second montage plus efficace comprenant un amplificateur opérationnel monté en boucle fermée ( réaction négative).

### 2.3.2. Premier montage

Lors du deuxième TP, nous avons bricolé notre propre dipôle « couple de diodes montées tête-bêche » en soudant deux diodes comme indiqué sur le schéma ci dessous.



#### Principe :

La tension maximale aux bornes de la diode dans le sens bloquant est fonction du courant qui la traverse et est une caractéristique de la diode. Si on appelle  $V_{max}$  la valeur moyenne de cette tension et si les deux diodes sont identiques, alors tout signal compris entre  $-V_{max}$  et  $+V_{max}$  passe sans être altéré. Cependant, tout signal dépassant  $V_{max}$  sera écrêté (c'est à dire coupé) à cette valeur  $V_{max}$ .

Remplacer ces diodes peut modifier les caractéristiques de la distorsion de manière radicale. En effet, plus  $V_{max}$  est petit, plus l'écrêtage (et par conséquent la distorsion) sera violent. On peut aussi envisager de faire un montage non symétrique. Il y a alors plusieurs possibilités:

- utiliser des diodes différentes (avec des  $V_{max}$  différents)



- utiliser une seule diode qui n'écrêtera le signal que dans un sens
- utiliser une diode dans un sens et plusieurs dans l'autre

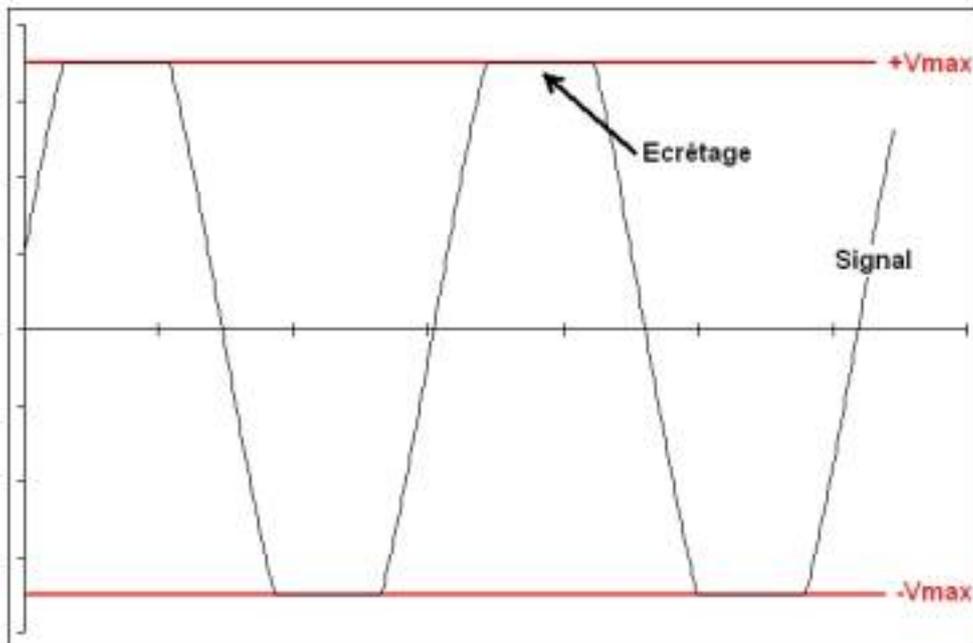
Selon le montage d'écrêtage choisi, le signal sonore altéré sera perçu différemment par l'oreille.

En général, un montage de distorsion non symétrique donnera un son plus « chaud » et un montage symétrique donnera un son plus « métallique ».

Une deuxième caractéristique importante des diodes est le temps de commutation. Ce paramètre caractérise le temps d'établissement de la tension d'écrêtage, et influe directement sur le ressenti auditif de la distorsion. Un temps de commutation rapide donne un écrêtage plus "franc" et une distorsion plus métallique, alors qu'une commutation plus longue adoucit la distorsion.

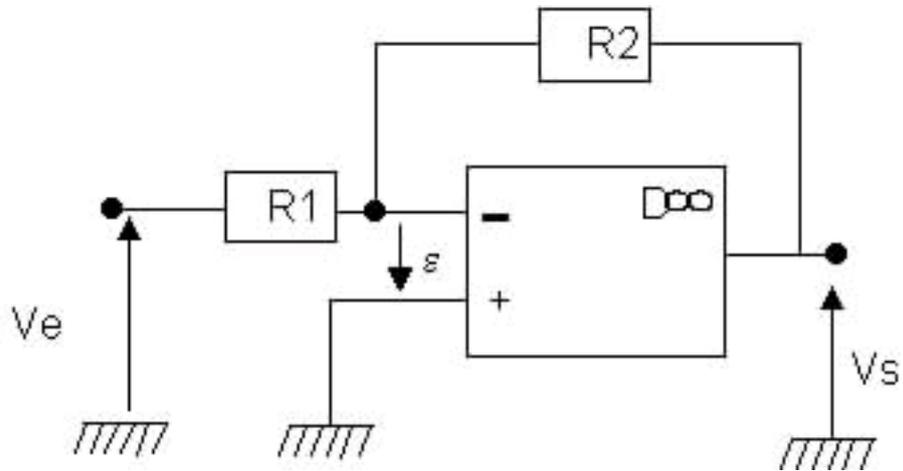
Avec le choix des diodes, la deuxième façon d'obtenir une distorsion plus violente est d'augmenter le gain en amont du montage de distorsion afin d'augmenter le niveau du signal à écrêter, ce qui rendra l'écrêtage encore plus violent. Cette méthode peut être combinée avec un choix de diodes dont les  $V_{max}$  sont plus faibles, mais augmenter le gain reste une façon beaucoup plus efficace d'obtenir un signal très distordu.

Pendant, nous ne nous sommes pas attardés sur ce montage et nous avons choisi d'utiliser simplement un montage symétrique et sans amplification du gain. Nous avons donc obtenu un écrêtage du signal de cette forme.



### 2.3.3. Second montage

Nous avons ensuite réalisé un montage comprenant un amplificateur opérationnel monté en boucle fermée car ce montage permet une distorsion harmonique plus radicale.

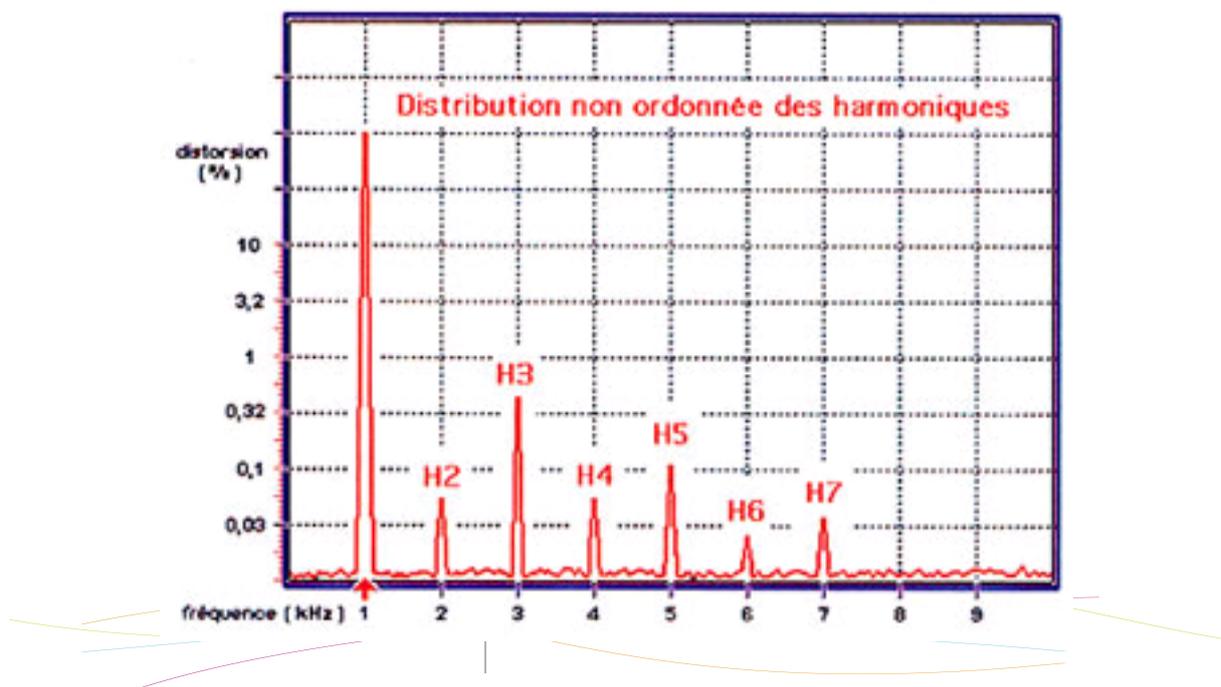


#### Principe :

Le signal d'entrée est sinusoïdal, mais le signal de sortie ne l'est plus. Cette sinusoïde déformée peut être considérée comme la somme d'une sinusoïde pure (fondamentale) et de sinusoïdes de fréquences multiples de cette fondamentale (harmoniques). Le THD sera fonction du rapport entre ces harmoniques et la fondamentale.

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left(\frac{Q_h}{Q_1}\right)^2} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} Q_h^2}}{Q_1} = \frac{Q_{HM}}{Q_1}$$

Nous avons traité le signal obtenu sous Synchronie avec l'outil « analyse de Fourier » et nous avons obtenu un graphe représentant les valeurs de la fondamentale et de ses harmoniques. On remarque que seules les harmoniques H3 et H5 ont une valeur non négligeable devant la valeur de la fondamentale.



## 2.4. Calcul du THD

La deuxième partie de notre travail sur la distorsion consistait à calculer le THD.

### 2.4.1. Démarche

Nous avons tout d'abord voulu écrire un programme en Delphi que l'on aurait pu directement implémenter au logiciel Synchronie afin d'utiliser ce programme comme outil de traitement du signal. Ce travail a été long et finalement nous avons rencontré des problèmes de compatibilité entre synchronie et notre programme. Nous avons donc abandonné cet idée pour une autre plus simple.

Nous avons donc simplement enregistré au format .txt les données renvoyées par l'analyse de Fourier et nous les avons traitées avec notre programme.

### 2.4.2. Le programme

Le programme qu'on a réalisé est sous Turbo Pascal 7.0. Il est composé de 2 sous-programmes. D'abord on a créé une procédure qui lit sous forme de tableau les données enregistrées en format .txt et les convertit dans un tableau de réels. Ensuite le programme calcule tous les maximums (celui qui correspond à la valeur de la fondamentale et ceux des harmoniques du signal) de chaque sous-séquence de nombres à l'aide d'une fonction. Enfin, une fois qu'on a récupéré les harmoniques, on calcule le taux de distorsion à l'aide de l'instruction respective. (Voir programme en annexe).



## 2.5. Conception de l'amplificateur audio

Avant de commencer la partie pratique nous avons recherché des informations sur les composants (à l'aide de datasheets), les schémas de montage possibles, et tout ce qui était nécessaire pour concevoir cet amplificateur.

L'amplificateur a été récupéré à partir d'un boîtier réalisé en 1997. La première étape a été d'extraire la partie amplificateur du boîtier. Ensuite il a fallu ressouder et/ou remplacer les composants défectueux pour pouvoir tester le montage et le rendre fonctionnel.

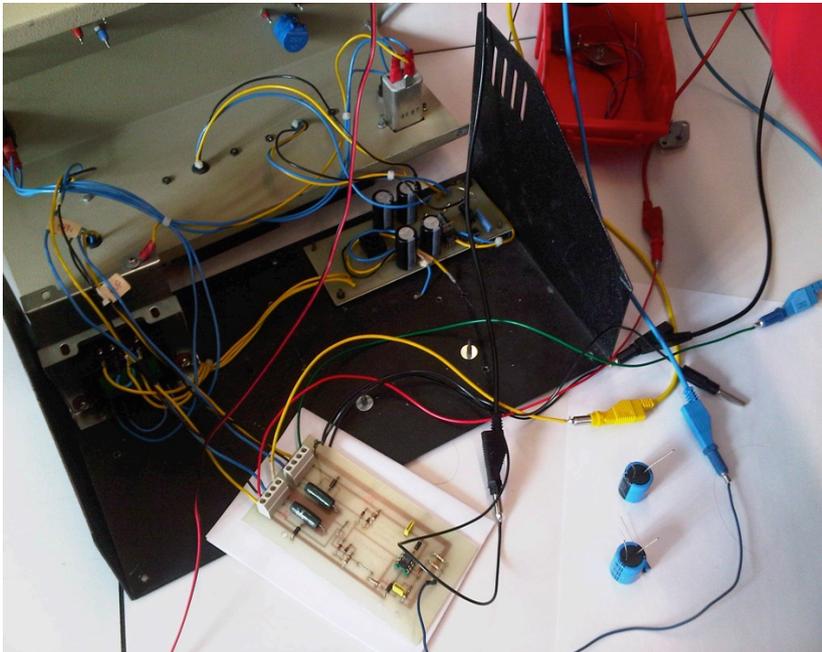


Figure 1 : Photographie du Boîtier

L'alimentation +15V -15V est assurée par des alimentations externes.

Les mesures sont réalisées grâce à un oscilloscope branché à l'ordinateur. Elles sont enregistrées sur synchronie via Synchroscope.

Dans un premier temps nous avons testé l'amplificateur en prenant comme source du signal un générateur basse fréquence. Le montage a également été relié à un haut-parleur. Dans un deuxième temps, nous avons soudé un câble jack sur l'entrée afin de tester le système avec de la musique provenant du PC.

Par la suite, et afin d'améliorer le montage, quelques modifications ont été effectuées. Tout d'abord un filtre en entrée a été ajouté. De plus quelques composants ont été enlevés. Notamment des condensateurs et résistances qui servaient de sécurité à l'ancien amplificateur opérationnel. Le nouvel amplificateur est plus stable et plus robuste.

Ensuite nous avons procédé à plusieurs tests. Pour cela nous avons installé des interrupteurs pour shunter les diodes qui corrigent la distorsion de croisement, ainsi que les résistances en sortie.

Il s'est avéré que le son était particulièrement bon lorsque l'on a fait des tests avec de la musique. En shuntant les diodes, le changement était à peine perceptible, de même pour les résistances.

Nous avons ensuite réalisé les mêmes tests avec un générateur basse fréquence en entrée. Nous avons essayé avec une amplitude élevée puis faible et également en variant les fréquences. (Voir courbe dans la section 3. TRAVAIL REALISE ET RESULTAT).

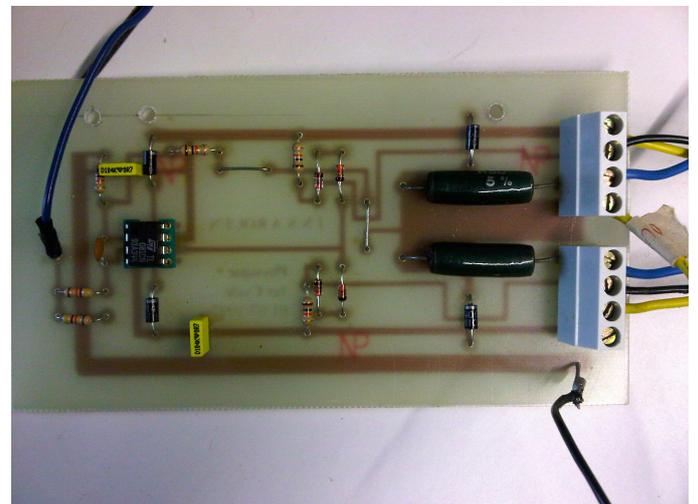


Figure 2 : Photographie du circuit (avant les modifications)



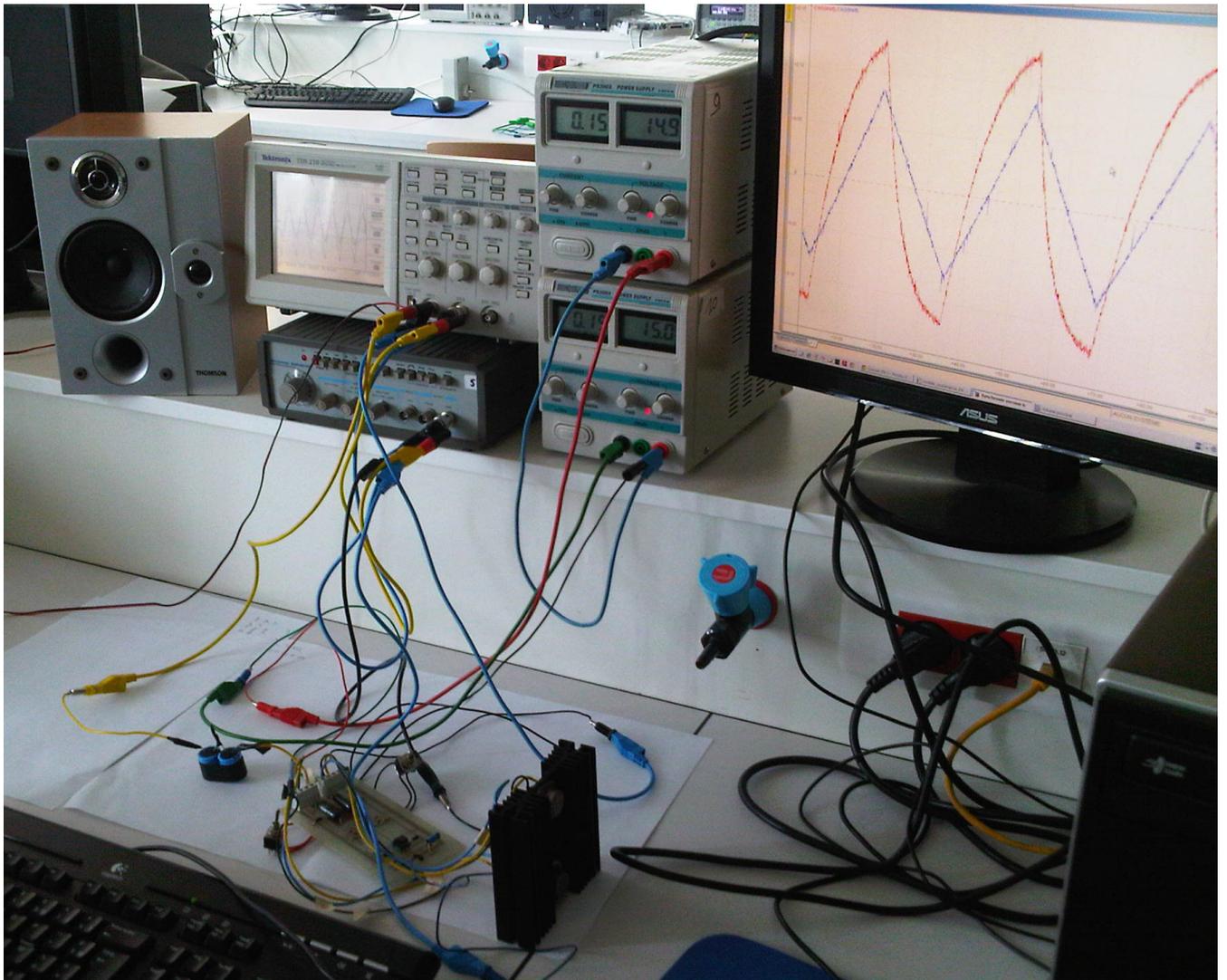


Figure 3 : Photographie du montage complet

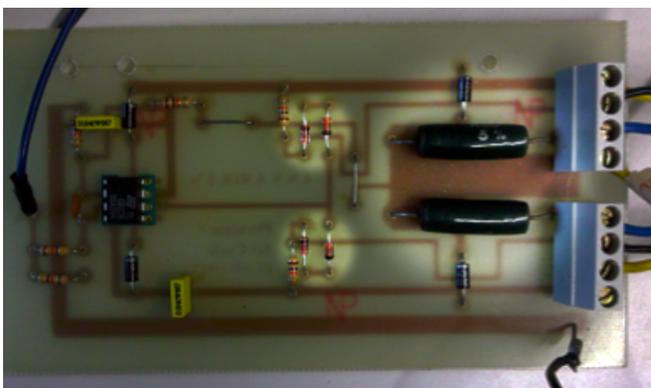
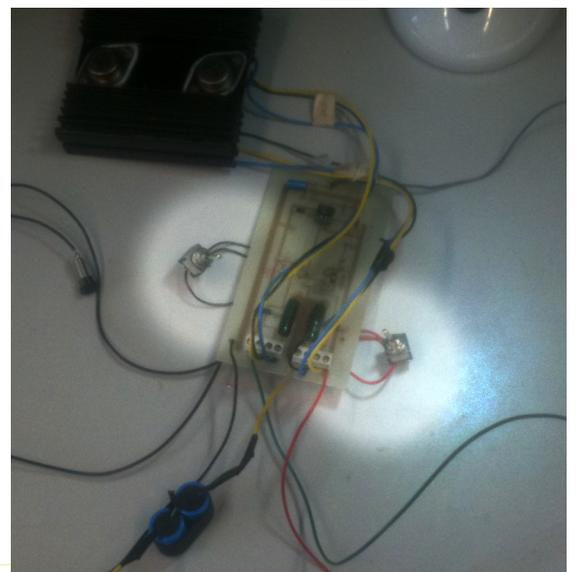
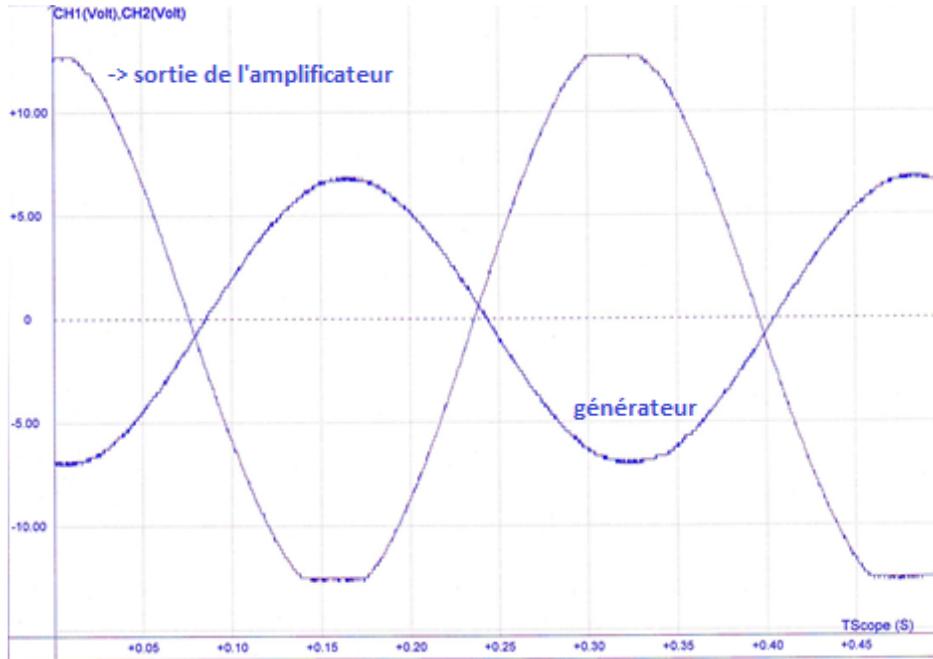


Figure 4-5 : Photographies mettant en évidence les interrupteurs qui permettent de chuinté les diodes et résistances

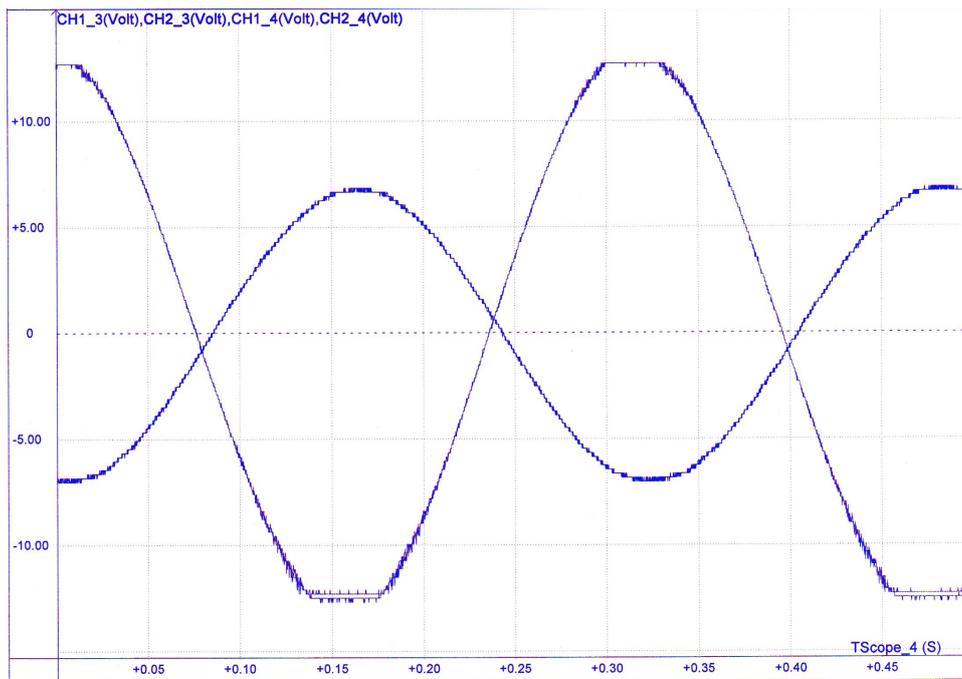


### 3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

#### 3.1. Courbes des tests de l'amplificateur

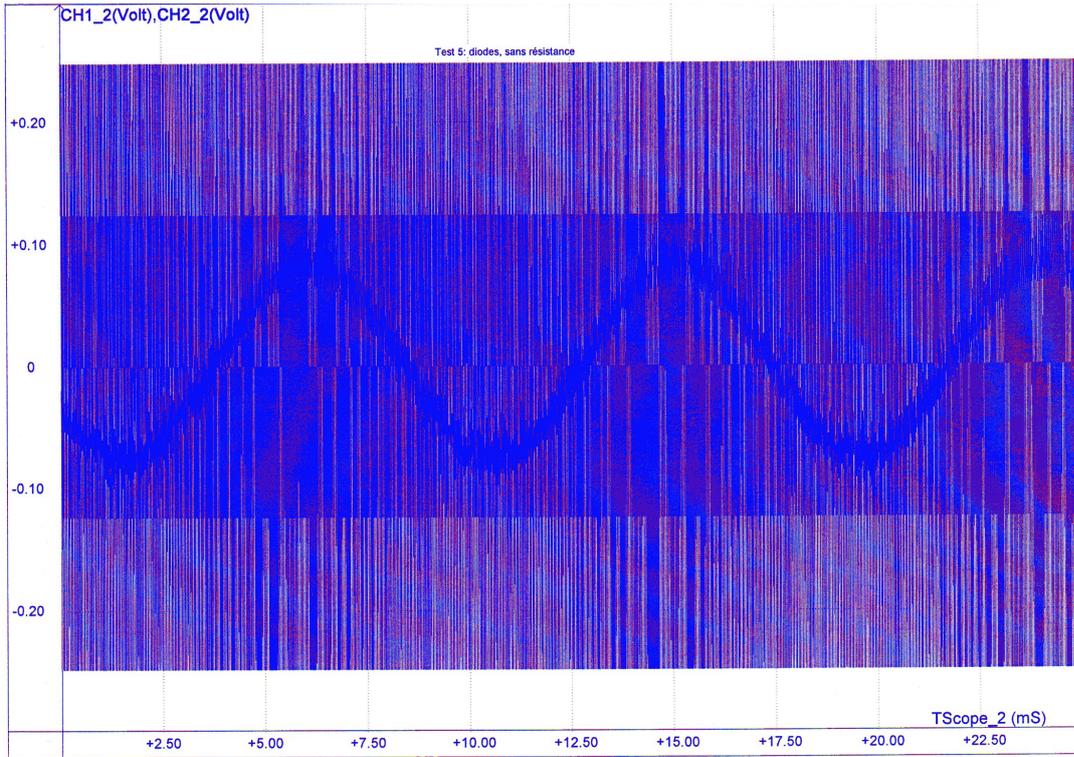


Graphique 1 Amplitude très élevé avec les diodes et résistances

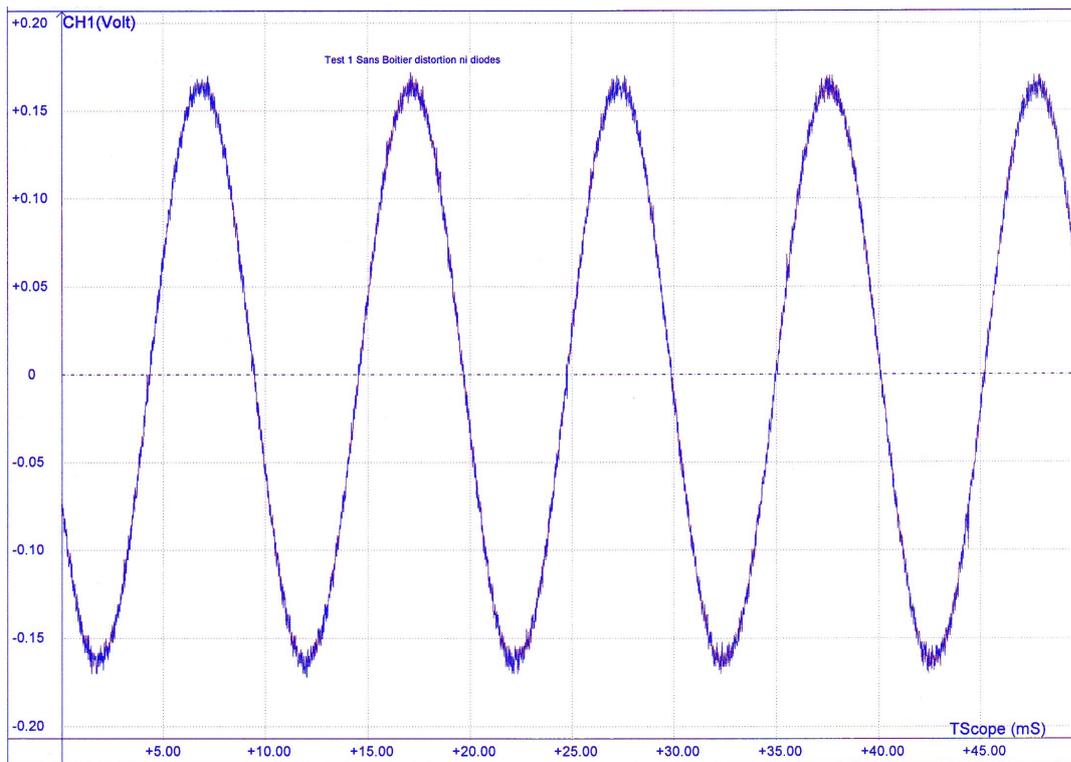


Graphique 2 Amplitude très élevé sans les diodes



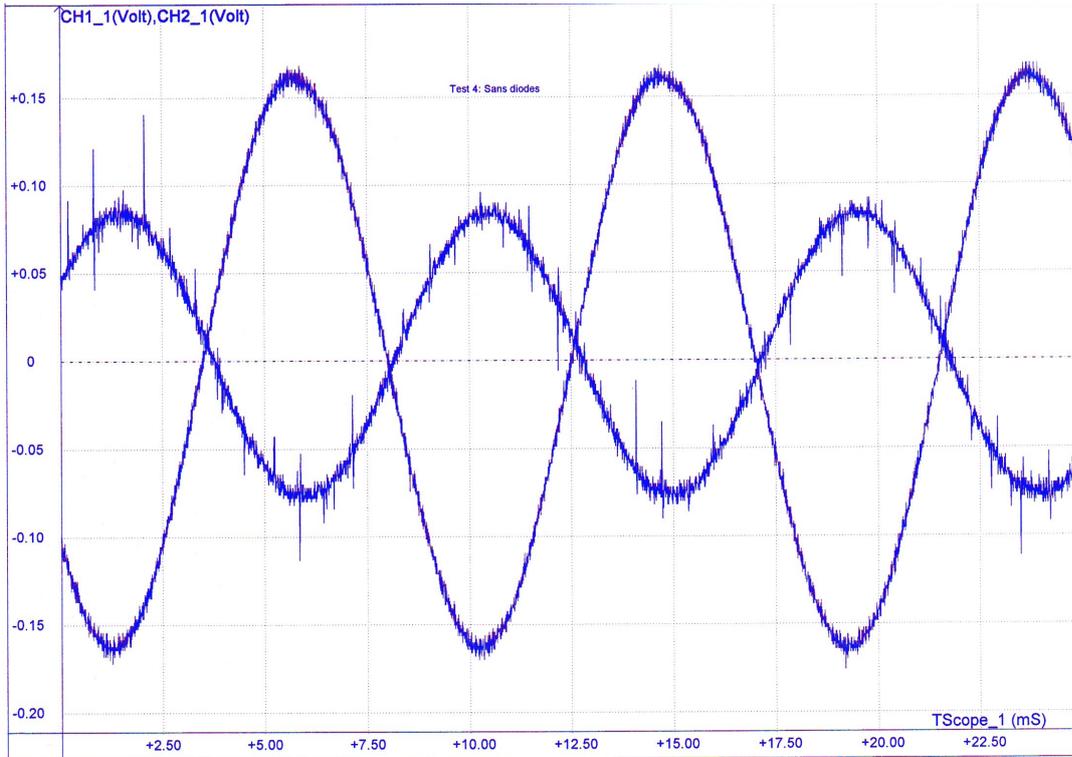


*Graphique 3 Avec les diodes, sans les résistances*

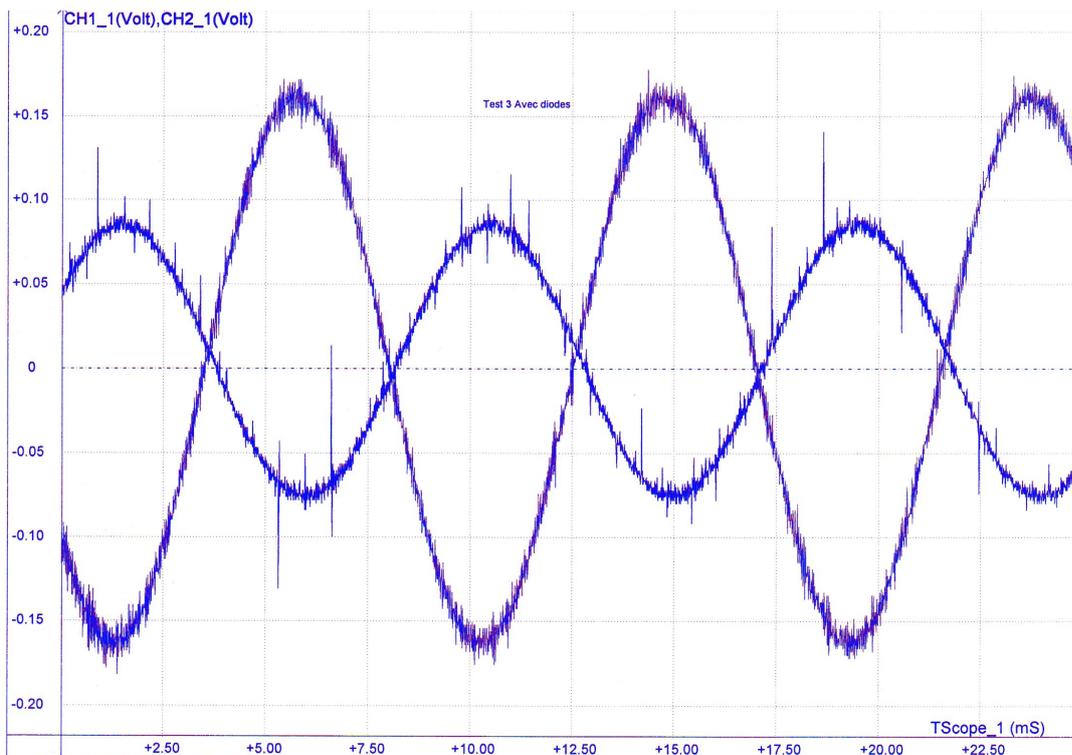


*Graphique 4 Sans boitier de distortion ni les diodes*



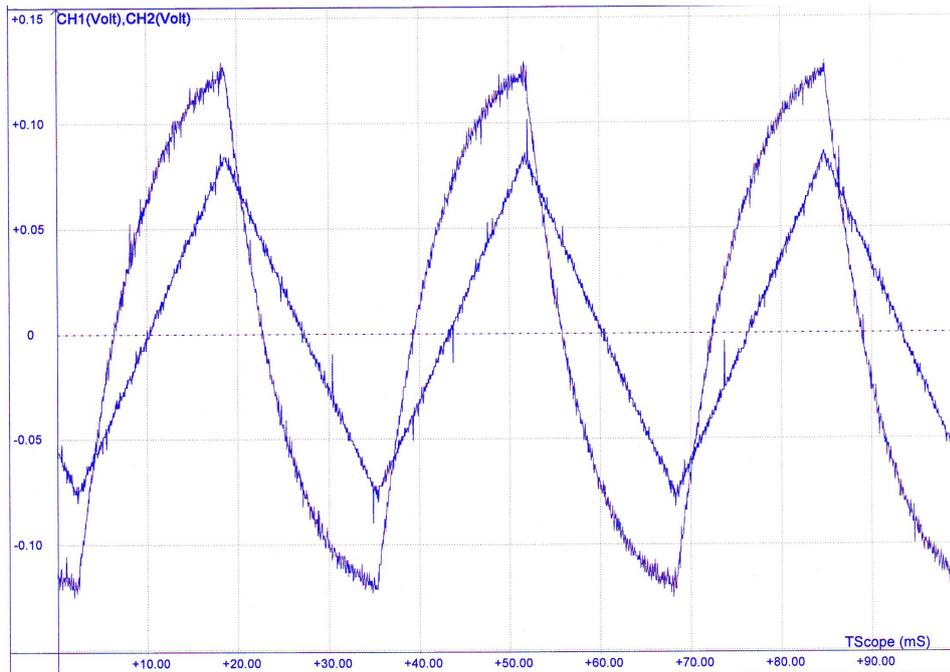


*Graphique 5 Avec le boîtier de distorsion sans les diodes*



*Graphique 6 Avec le boîtier de distorsion avec les diodes*





Graphique 7 Avec un signal triangulaire, amplitude élevé, sans les diodes

## 3.2. Interprétation des résultats

### 3.2.1. A propos graphiques

Les tests font apparaître plusieurs choses. Tout d'abord les résistances en sortie s'avèrent indispensables pour avoir un son correct. De plus lorsqu'elles étaient chuintées, les alimentations se mettaient en cours circuit et la consommation en courant de l'amplificateur s'emballait. A propos des diodes, les tests n'ont pas mis en évidence leurs utilités. En effet lorsqu'elles étaient chuintées, le circuit consommait bien moins de courant (environ 0,01A contre 0,2A) et le changement n'était pas perceptible, ni à l'oreille, ni à l'oscilloscope.

Sur les 2 premiers graphiques, les sinusoïdes sont coupées à cause d'une trop forte amplitude du signal, l'amplificateur saturait.

### 3.2.2. Test de l'amplificateur

Nous avons mesuré un écrêtage d'environ 12V. Ce qui indique que notre amplificateur possède une puissance d'environ 9 W efficaces.

Nous l'avons donc testé sur une enceinte de 40W - 8Ω avec de la musique. Il restituait un son de bonne qualité. Le son n'était pas excessivement fort mais aucune distorsion n'était audible. De plus le circuit consommait très peu de courant en fonctionnement type « diodes chuintées » (environ 0,02A).

Lors du test avec le boîtier de distorsion, nous n'avons perçu aucun changement. Après quelques interrogations, nous nous sommes rendu compte que le boîtier avait été conçu pour une tension d'entrée voisine de 5V pour qu'il puisse opérer en distorsion, tension qu'une prise casque ordinateur est extrêmement loin de fournir.



#### 4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Pour conclure, ce projet nous a permis de nous rapprocher davantage du domaine de l'audio. Domaine dans lequel nous n'étions pas tous très à l'aise. Cependant, au final nous avons énormément appris de cette expérience et amélioré nos connaissances.

De plus, notre groupe est composé d'étudiants qui ne se connaissaient pas au départ. Cela ne nous a pas empêché de travailler tous ensemble, de nous compléter les uns les autres. Les connaissances préliminaires de chacun nous ont permis de répartir les tâches dès le départ et nous fixer des objectifs par binôme.

Globalement, nous avons atteints tous les principaux objectifs : réaliser et tester un circuit d'amplification, étudié la distorsion après avoir effectué toutes les recherches nécessaires à ce sujet.

Mais par manque de temps, nous certains objectifs n'ont pas été atteint. Nous n'avons pas réussi à mesurer la distorsion du boîtier mis en place, nous obtenions une distorsion nulle. Ceci est du au fait que le boîtier était finalement inadapté au programme mis en place.

Ce projet pourrait donc être approfondi en mettant en place un programme plus adapté au boîtier, et en traitant le signal plus profondément comme le font les amplificateurs audio actuels, en ajoutant par exemple des filtres au sein de ce circuit.

En définitive, ce projet a été très enrichissant pour nous tous dans tous les domaines.



## 5. BIBLIOGRAPHIE

[3] lien internet :

[http://www.lyc-briand-gap.ac-aix-marseille.fr/tpe\\_2003\\_2004/les\\_sons/l'oreille.htm](http://www.lyc-briand-gap.ac-aix-marseille.fr/tpe_2003_2004/les_sons/l'oreille.htm)  
(valide à la date du 23/05/2011)

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Oreille\\_interne](http://fr.wikipedia.org/wiki/Oreille_interne) (valide à la date du 23/05/2011)

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Amplificateur\\_audio](http://fr.wikipedia.org/wiki/Amplificateur_audio) (valide à la date du 31/05/2011)

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Classes\\_de\\_fonctionnement\\_d'un\\_amplificateur\\_%C3%A9lectronique#cite\\_note-Supelec-1](http://fr.wikipedia.org/wiki/Classes_de_fonctionnement_d'un_amplificateur_%C3%A9lectronique#cite_note-Supelec-1) (valide à la date du 23/05/2011)

[http://avrj.cours.pagesperso-orange.fr/Fonctions\\_electroniques.htm](http://avrj.cours.pagesperso-orange.fr/Fonctions_electroniques.htm) (valide à la date du 23/05/2011)

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Amplificateur\\_%C3%A9lectronique#Le\\_bruit\\_grenaille](http://fr.wikipedia.org/wiki/Amplificateur_%C3%A9lectronique#Le_bruit_grenaille)  
(valide à la date du 23/05/2011)

[http://www.google.fr/search?q=darlington+2n3055&hl=fr&prmd=ivnsfd&ei=kAdVTYK\\_Nom7hAfGspD7DA&start=10&sa=N](http://www.google.fr/search?q=darlington+2n3055&hl=fr&prmd=ivnsfd&ei=kAdVTYK_Nom7hAfGspD7DA&start=10&sa=N) (valide à la date du 18/02/2011)

[http://www.datasheetarchive.com/2N3055%20TO220\\*-datasheet.html](http://www.datasheetarchive.com/2N3055%20TO220*-datasheet.html) (valide à la date du 18/02/2011)

<http://radiospares-fr.rs-online.com/web/search/searchBrowseAction.html?method=getProduct&R=4191194>  
(valide à la date du 23/05/2011)

<http://www.datasheetarchive.com/MJE3055-datasheet.html> (valide à la date du 23/05/2011)

[http://avrj.cours.pagesperso-orange.fr/Comp\\_et\\_Syst.htm](http://avrj.cours.pagesperso-orange.fr/Comp_et_Syst.htm) (valide à la date du 23/05/2011)



## 6. ANNEXES

### 6.1. Programme en Turbo Pascal

Program Solution01 ;

type vector=array [1..200] of real;

function maxim(t:vector; debut:integer;fin:integer):real;

var i:integer;

max:real;

begin

max:=t[debut];

for i:=debut to fin do begin

if (t[i] > max) then begin

max:=t[i];

end

end;

maxim:=max;

end; {la fonction maxim qui calcule l'element maximal d'une sous sequence}

Var i:byte;

code,index,indexFin :integer;

data:array[1..200]of string ;{le tableau des string}

sum:vector;

maximum:array[1..200]of real; {le tableau des reels}

F:Text;{la variable du fichier}

FileName:String;

Lines:string;

Counter,max,debut,fin,z:Integer

sumtab,thd,taux:real;

Procedure FileReadInToArray

Begin

FileName:='C:\lesdates.txt';

Assign(F,FileName);

{\$I-}

Reset(F); {ouv}

```

{$I+}
If (IoResult = 0) Then Begin
  Counter:=1;
  While Not(EoF(F)) Do Begin
    ReadLn(F,Lines);
    Data[Counter]:=Lines;
    If (EoF(F)) Then Break;
    Inc(Counter);
  End; {of while}
End
Else WriteLn('Error when reading the file');
Close(F);
End;{La procedure qui lit le fichier texte les dates.txt }
Begin {main}
  FileReadInToArray; {l'appel de la procedure }
  For i:=1 To 200 Do  begin
    val(Data[i],sum[i],code);
    { WriteLn(i,'. element of integer: ',(sum[i])); }
    end; {l'instruction qui transforme le tableau
    de chaines de caracteres dans un tableau de reels}
z:=1;
  for i:=2 to 198 do begin

        if (sum[i]<>0) and (sum[i-1]=0)then debut:=i;
        if (sum[i]<>0)and(sum[i+1]=0) and (sum[i+2]=0) then begin
        fin:=i;
        maximum[z]:=maxim(sum,debut,fin);
        z:=z+1;
        end;
        end;{l'instruction qui cherche dans le tableau des reels
        les sous sequences et trouve l'element maxmal de chaque sous-sequence}
  for i:=1 to 20 do
    WriteLn(i,'. element max: ',(maximum[i]));
    taux:=0;
  for i:=2 to 20 do
    taux:=taux+maximum[i]*maximum[i];
  writeln('le taux: ',sqrt(taux)/maximum[1]);{Calcul du taux-Le but du cet programme}

```



End.

### 6.2. Schémas de montages

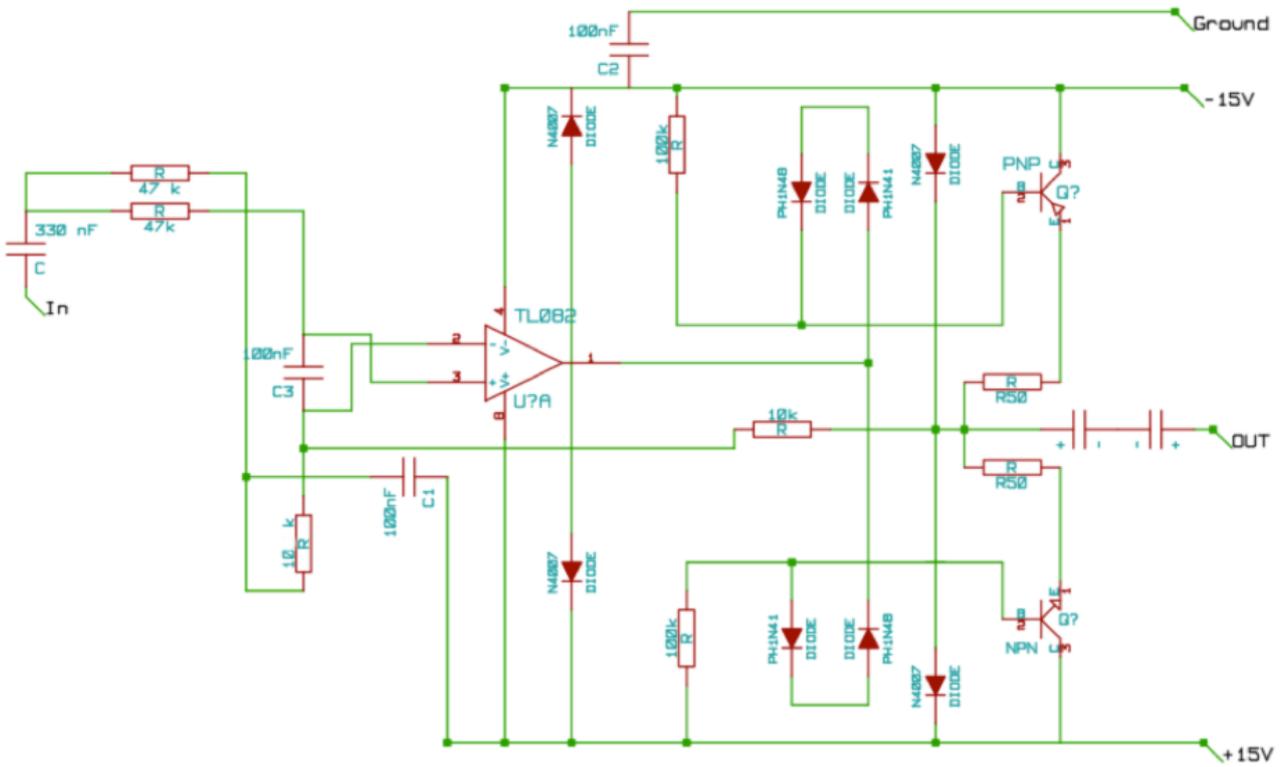


Figure 3 Schéma de l'amplificateur réalisé avec le logiciel KiCad

