



INSTITUT  
NATIONAL  
des SCIENCES  
APPLIQUÉES



**Nom des étudiants:**

Tian QI WANG      Youssouf TAHERALY  
Mehdi M'HAMMEDI ALAOUI  
Pierre ILLE      Arthur CORMERAIS

**Enseignant responsable du projet**

**François GUILLOTIN**

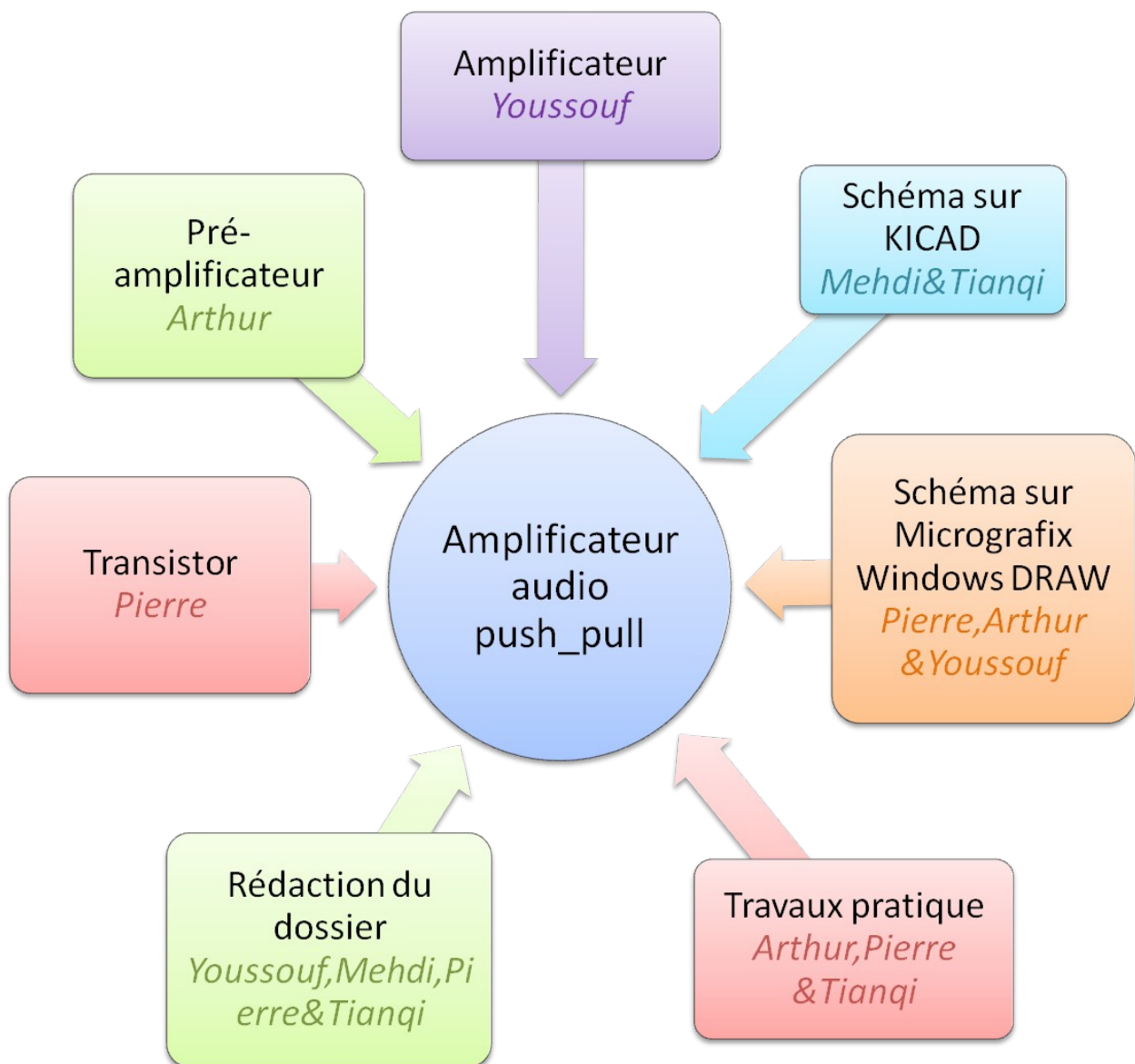


**AMPLIFICATEUR AUDIO:  
PUSH-PULL**



À TAILLE  
HUMAINE  
À L'ECHELLE  
DU MONDE

## ORGANISATION DES TÂCHES:



## Table des matières

Organisation des tâches:.....	2
I. Présentation et historique de l'amplificateur audio.....	4
1) Définition des besoins:.....	4
2) Le correcteur physiologique: loudness.....	4
3) Historique de l'amplificateur:.....	4
II. De quoi se compose un amplificateur audio?.....	6
1) Les transistors .....	6
a) La jonction PN.....	6
b) Le transistor bipolaire.....	7
b-1) Généralités.....	7
b-2) Utilisations.....	8
b-3) Composition .....	9
2) Le Pré-amplificateur.....	9
2.1 Traitement du son, les égaliseurs.....	9
a) Avant-propos : le son.....	9
b) Égaliseurs et correcteurs.....	9
c) Les différents types d'égaliseurs.....	10
d) Évolution des égaliseurs.....	11
2.2 Le correcteur Baxandall.....	11
a) Peter J. Baxandall, le père des égaliseurs.....	11
b) Description.....	11
c) Principe de fonctionnement.....	12
d) Exemples de montages.....	12
d-1) Correcteur Baxandall actif à 2 voies.....	12
d-2) Correcteur Baxandall passif à 2 voies.....	13
d-3) Le montage que nous utilisons.....	13
3) L'amplification de puissance.....	14
a) Définition.....	14
b) Le rôle et l'emplacement de l'amplification de puissance.....	15
c) Caractéristique d'un amplificateur de puissance .....	15
d) L'importance du rendement.....	16
e) Expression des puissances .....	16
f) . CLASSIFICATION DES AMPLIFICATEURS DE PUISSANCE.....	17
e-1). Amplificateurs de puissance Classe A.....	17
e-2). Amplificateurs de puissance Classe B.....	17
e-3). Amplificateurs de puissance Classe C.....	17
e-4). Amplificateurs de puissance Classe D.....	18
g) . L'amplification en classe B .....	18
f-1). Introduction.....	18
f-2). Analyse du fonctionnement .....	19
f-3). Caractéristique de transfert .....	20
f-4) . Élimination de la distorsion de croisement.....	20
III. Le montage amplificateur:.....	22
1) Un exemple de montage de base).....	22

2) Notre montage.....	22
a) Schéma sous Kicad.....	23
b) Schéma sous Draw: .....	24
b-1) Pré-amplificateur correcteur.....	24
b-2) Amplificateur:.....	24
BIBLIOGRAPHIE.....	25

## I. PRÉSENTATION ET HISTORIQUE DE L'AMPLIFICATEUR AUDIO

### 1) Définition des besoins:

Nous disposons d'un baladeur MP3 qui émet de la musique. Le problème réside dans le fait que tout notre groupe ne peut pas profiter de cette musique en même temps puisque le signal émis par ce baladeur est trop faible! On a donc besoin d'amplifier le signal tout en gardant une qualité de son acceptable et agréable à l'écoute, c'est à dire avec le minimum de déformation possible dues à cette amplification. Nous avons donc décidé de réaliser un amplificateur push-pull de classe AB pour répondre à nos besoin.

### 2) Le correcteur physiologique: loudness

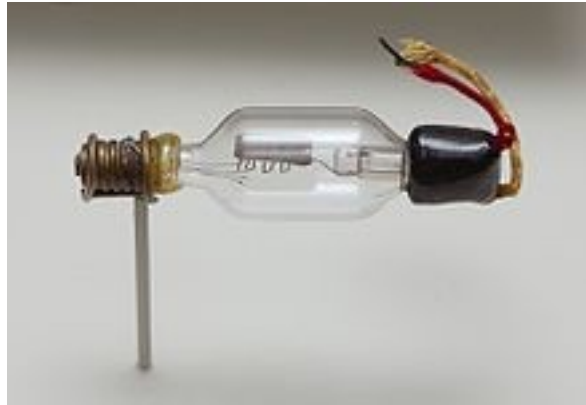
Il est intéressant de noter que l'oreille humaine est moins sensible dans les graves et les aigus à faible niveau sonore , le loudness permet de corriger en fréquence un signal audio afin d'obtenir un son plus puissant lors d'une écoute à bas niveau. Ce correcteur agit directement au niveau de la position du potentiomètre de volume en ajoutant des graves et des aigus.

Le but de ce correcteur n'est autre que d'apporter un certain confort lors de l'écoute à bas volume.

### 3) Historique de l'amplificateur:

Anciennement l'énergie des signaux captées par une antenne était faible et ne suffisait pas pour faire fonctionner les haut-parleurs qui demande plus d'énergie. C'est pourquoi on s'est préoccupé à amplifier les signaux et c'est ainsi que le premier amplificateur électronique a été inventé par un Américain Lee De Forest en 1906 et qui donnera naissance à la triode. Cette invention a été rapidement perfectionné par l'ajout de deux grilles. C'est ce tube qui sera adopté pour la plupart des amplificateur à tube.

*Triode*



Il est intéressant de noter que les amplificateur 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 avec l'apparition de transistor de puissance sûr et peu couteux ont fait que la plus part des amplificateurs se sont mis à fonctionner à transistor. 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 à leur mise sous tension contrairement aux tubes qui mettent un peu de temps pour chauffer.

Les tubes sont encore utilisées dans les amplificateur audio surtout ceux destinées aux guitares électriques puisque certaines personnes préfèrent ce son qui est estimé être plus humain, chaud et sensuel. Ces amplificateurs sont aussi utilisées pour les applications a très forte tension ou haute fréquence pour les fours a 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 transistor à effet de champ qui sont plus petits et plus rapides.

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

Au cours de notre projet, nous nous intéresserons plus particulièrement à l'amplificateur à transistor puisqu'il caractérise l'amplificateur le plus utilisé et le moins onéreux du moment.

## II. DE QUOI SE COMPOSE UN AMPLIFICATEUR AUDIO?

### 1) Les transistors

Dans la réalisation de l'amplificateur push-pull nous nous sommes confrontés au problème des transistors qui jouent une part importante dans son fonctionnement.

Avec l'objectif de bien maîtriser ce type de composant intéressons nous tout d'abord au fonctionnement même de ce dernier afin de comprendre ce que nous utilisons.

#### a) La jonction PN

Dans un transistor, notamment dans le cas du transistor bipolaire (composant électronique utilisé) le transistor fonctionne grâce au principe de la jonction PN.

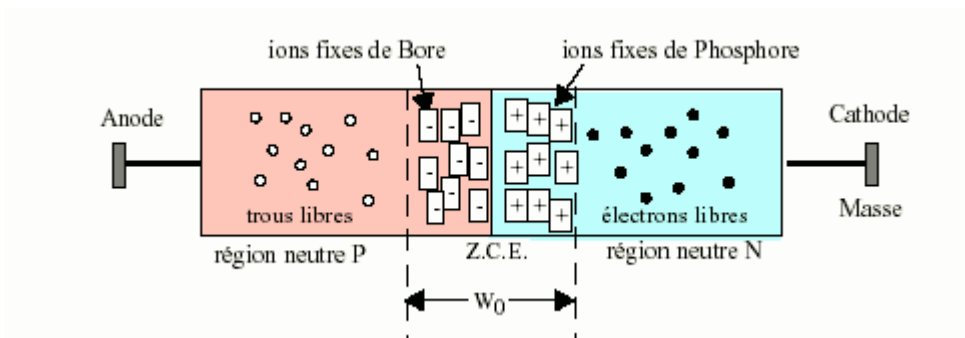
Du point de vue des propriétés électriques, il existe trois grands types de matériaux : les **isolants**, les **conducteurs** et les **semi-conducteurs**. Celle qui nous intéresse est celle des semi-conducteurs. Pour obtenir de nouvelles propriétés semi-conductrices il est possible d'effectuer un dopage. Ainsi des impuretés sont ajoutées en petites quantités à une substance pure afin d'en modifier ses propriétés de conductivité. (A noter cependant que leur concentration reste négligeable devant celle des atomes du matériau initial).

On peut alors avoir à faire à deux types de dopage :

- Si on substitue à des atomes du cristal semi-conducteur des donneurs d'électrons (comme l'arsenic dans le cas du silicium), on obtient un dopage de type N. Les porteurs de charges majoritaires sont alors les électrons.
- Si on substitue à des atomes du cristal semi-conducteur des accepteurs d'électrons (comme le gallium dans le cas du silicium), on obtient un dopage de type P. Les porteurs de charges majoritaires sont alors les trous. Ainsi La jonction PN est obtenue en juxtaposant un semi-conducteur dopé P et un semi-conducteur dopé N.

Durant la mise à l'équilibre, la différence de concentration entre les porteurs des zones P et N au niveau de la jonction crée un courant qui tend à égaliser ces concentrations. Mais il se crée également un champ électrique, dû aux charges fixes, qui s'oppose à ce courant. La situation se stabilise et il apparaît une **zone de charges d'espace**, dépourvue de porteurs mobiles.

Sur le schéma ci-dessus ne sont représentées que les particules de dopant, avec les électrons et les trous qu'elles apportent.



(\*Z.C.E.: zone de charge d'espace)

Ainsi lorsque des trous de P vont vers N on observe des charges négatives fixes en P et Dans le cas des électrons de N vers P on observe des charges positives. Ces charges sont responsables du champ électrique qui s'oppose à la diffusion des porteurs. D'où un équilibre électrique

## b) Le transistor bipolaire

Dans notre montage nous utilisons des transistors bipolaires de deux types des transistors PNP et NPN.

### b-1) Généralités

Le transistor bipolaire se constitue de 3 parties :

- L'émetteur
- La base
- Le collecteur

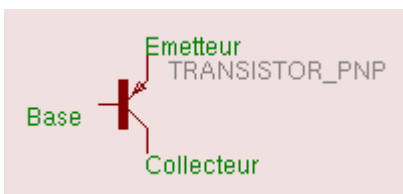


Schéma d'un transistor PNP  
(De l'émetteur au collecteur)

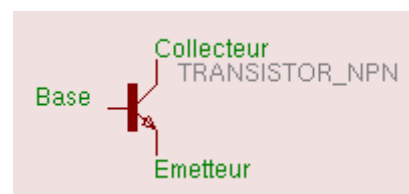
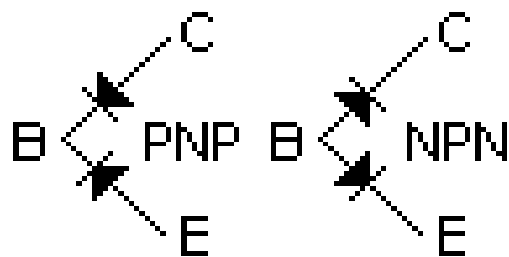


Schéma d'un transistor NPN  
(Du collecteur à l'émetteur)

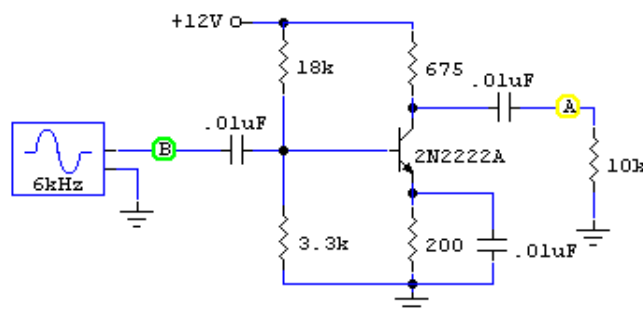
Pour faire fonctionner un transistor il faut le polariser, c'est à dire qu'on lui applique des tensions différentes sur ses broches E, B, C.

## b-2) Utilisations

Pour tester un transistor bipolaire, on peut le comparer à 2 diodes en séries :

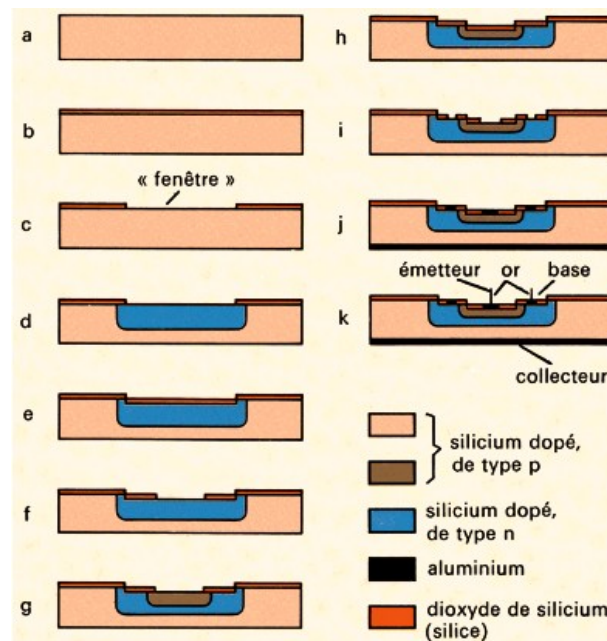


Fonction amplification linéaire, en modulant le courant base autour d'une valeur, on contient une modulation plus importante du courant collecteur





### b-3) Composition



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

## 2) Le Pré-amplificateur

### 2.1 Traitement du son, les égaliseurs

#### a) Avant-propos : le son

Une source sonore est composée d'une multitude d'ondes réparties sur un large spectre de fréquences audio. Il est donc possible de distinguer et d'isoler certaines bandes de fréquences afin de leur appliquer un traitement spécifique. En agissant sur une plus ou moins large gamme de fréquences : grave, médium, aigu, la correction permet d'atténuer ou au contraire de renforcer le timbre du son. Certains appareils permettent une sélection encore plus fine de ces fréquences.

#### b) Égaliseurs et correcteurs

Un égaliseur ou un correcteur de tonalité/de timbre est un montage électronique qui permet d'atténuer ou d'accentuer une ou plusieurs bandes de fréquences composant un signal audio. A la différence des égaliseurs qui agissent sur des plages de fréquences plus précises (et qui sont destinés à des utilisations plus poussées), le correcteur n'agit que sur 2, ou 3 bandes de fréquences : aigu, médium, grave ou simplement aigu, grave. Ce type de traitement du signal audio peut être exploité

lors de la prise de son, le mixage, ou l'ajustement d'un son (par exemple, l'equalizer d'une chaîne hi-fi). Un tel système peut être analogique ou numérique, c'est à dire sous forme matériel ou logiciel.

On distingue ainsi par convention l'égaliseur du correcteur (par définition, un correcteur est un égaliseur), simplement par la différence de performance entre les deux systèmes qui leur confère des types d'utilisations différentes. 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, saturation, 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...

### c) Les différents types d'égaliseurs

Les dispositifs électroniques de correction les plus perfectionnés peuvent être assimilés à une gamme d'égaliseurs appelés "graphiques": adjectif symbolisant l'effet produit lorsqu'on analyse le son (l'impact graphique en bosse ou en creux). Deux autres types de traitements sont aujourd'hui utilisés, les traitements paramétriques et semi-paramétriques qu'il convient d'avantage de qualifier de *correcteurs* (tandis que *égaliseur* désignera parfois par abus *égaliseur graphique* ou tout autre fonctionnement similaire).

Un égaliseur graphique est composé de curseurs linéaires positionnés conformément au spectre sonore. Les curseurs situés à gauche traitent les fréquences basses (graves), ceux situés au centre traitent les gammes médium et à droite sont situés les réglages affectant les signaux aigus (fréquences hautes). En un coup d'œil on évalue l'effet globalement appliqué sur le signal source dans toute les plages de fréquences.

Un égaliseur graphique se caractérise par le nombre de ses curseurs, ainsi que la fréquence centrale qu'il exploite.

Par exemple, un égaliseur graphique dont la caractéristique serrait : 60 Hz, 250 Hz, 1k Hz, 3.5k Hz, 10k Hz correspond à un 5 bandes de fréquence centrale 60Hz-10kHz.

Pour des projets de sonorisation, le type d'égaliseur le plus fréquemment utilisé est de type graphique 1 à 2 fois 31 bandes. Il existe des égaliseurs plus ou moins étendus, généralement allant de 5 à 64 bandes composant le signal sonore. Plus les réglages sont nombreux, plus la correction possible est précise !

Les traitements paramétriques et semi-paramétriques sont des méthodes encore utilisées de nos jours (pour l'animation musicale par exemple : DJ), bien que ces méthodes restent relativement figées et évoluent assez peu.

Le principe du traitement paramétrique est de pouvoir fixer soi-même les paramètres du traitement (par potentiomètres et commutateur rotatif) : type de filtre, étendue de la bande exploitée, gain appliqué au filtre. Ce type de système est très dur à paramétrer, sans compter que l'indication graphique ne figure pas sur le dispositif. Le correcteur de type semi-paramétrique sont des extensions plus fines des réglages grave/aigus de base fournis par le type paramétrique.

## d) Évolution des égaliseurs

Il va de soi que les progrès technologiques en matière "d'égalisation" du son se sont orientés naturellement vers l'audio analogique. Le numérique et l'informatique spécialisée ont permis l'apparition de correcteurs logiciels spécifiquement adaptés à cette application.

De plus, les progrès industriels réalisés grâce à la micro-électronique ont permis de développer de nouvelles possibilités de traitements audio, jumelés au numérique :

- Correcteur en peigne : agit sur une fréquence donnée, ainsi que ses harmoniques !
- Analyse numérique : automatise certains traitements et la détection/application de courbe de correction optimisée.
- Égalisation dynamique numérique : permet des variations multiples et successives de corrections, suivant des algorithmes programmés au préalable.

Nous n'entrerons pas en détails dans ces types de traitements du son, beaucoup plus sophistiqués et complexes.

## 2.2 Le correcteur Baxandall

### a) Peter J. Baxandall, le père des égaliseurs

En 1958, un ingénieur travaillant à l'EMI développa un circuit qui pouvait amplifier et atténuer les basses et les aigus grâce à une contre réaction sélective. Son nom était Peter Baxandall, et son circuit devint rapidement un standard de l'industrie pour toutes sortes d'égaliseurs et de contrôles de tonalité. Le circuit était simple et efficace !

En 1993, un journaliste anglais écrivit un article au sujet des égaliseurs, dans la revue *Studio Sound*. Il mentionna le nom de Peter Baxandall comme étant le père des égaliseurs modernes, et fut surpris, quelques jours après la publication, de recevoir un coup de téléphone de Peter Baxandall lui-même. Depuis qu'il avait développé et publié le circuit dans les années 50, presque personne n'avait parlé de lui, et il n'a pas gagné un seul penny pour cela. Peter Baxandall est mort en 1994, et il fit l'objet d'un *In Memoriam* dans le *Audio Engineering Soc. Volume 44, numéro 9*.

Pour le consulter : [http://www.aes.org/aeshc/docs/jaes.obit/JAES\\_V44\\_9\\_PG796.pdf](http://www.aes.org/aeshc/docs/jaes.obit/JAES_V44_9_PG796.pdf)

### b) Description

Le correcteur Baxandall, à 2 ou 3 filtres (ou encore "2 ou 3 voies"), correspond à l'égaliseur le plus simple possible, d'où le nom de *correcteur*. Il s'agit du système le plus répandu qui peut traiter sélectivement les bandes A/M/G ou A/G. On en trouve dans les amplificateurs hi-fi, les autoradios, les amplificateurs de guitares électriques ou sur les tables de mixage.

Il existe deux types de réalisation du montage Baxandall : passif, qui est non réglable après montage (résistances fixées), et actif, réglable après montage grâce à des potentiomètres. Ce correcteur dispose habituellement d'un gain de +12/-12 dB.

Notons que, dans notre montage d'amplificateur audio, nous avons un correcteur Baxandall actif à 2 voies. Il tient le rôle d'un pré-amplificateur et peut par exemple permettre de corriger une tonalité grave ou aigu excessive, ou bien simplement amplifier un signal tout ou en partie faible (contrôle indépendant sur les graves/aigus).

### c) Principe de fonctionnement

Techniquement, un correcteur Baxandall peut être considéré comme un intégrateur ou un différenciateur selon les curseurs des potentiomètres. Voir le c) pour des exemples de réalisations Baxandall.

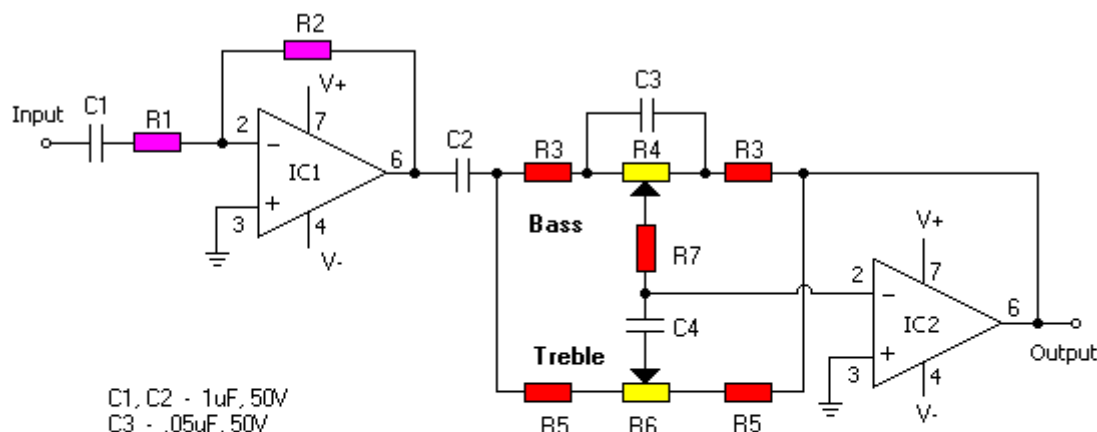
En pratique, le fonctionnement du montage 2a-Baxandall (i.e. 2 voies actif Baxandall, pour la suite) est simple :

- 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).

### d) Exemples de montages

#### d-1) Correcteur Baxandall actif à 2 voies

Ce montage dispose en plus d'une pré-amplification en entrée (IC1). Les valeurs des composants sont purement théoriques.



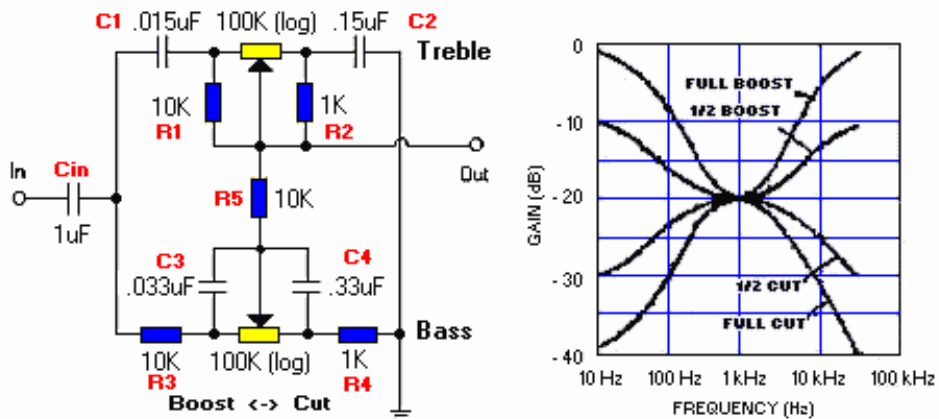
C1, C2 - 1 $\mu$ F, 50V  
 C3 - .05 $\mu$ F, 50V  
 C4, C6 - .005 $\mu$ F, 50V  
 IC1, IC2 - Burr-Brown OPA132 FET OpAmp  
 R1, R2 - 100K ohms, 1/4 W  
 R3, R7 - 11K ohms, 1/4W  
 R4 - 100K ohms potentiometer (linear)  
 R5 - 3.6K ohms, 1/4W  
 R6 - 500K ohms potentiometer (linear)

Power supply:  $\pm$ 9-15VDC  
 All power supply pins decoupled  
 with 10 $\mu$ F and .1 $\mu$ F caps.

Figure 1b - 2-Band Active Baxandall Equalizer

### d-2) Correcteur Baxandall passif à 2 voies

On peut remarquer les courbes caractéristiques de ce montage Baxandall montrant bien l'amplification/atténuation des graves et aigus.



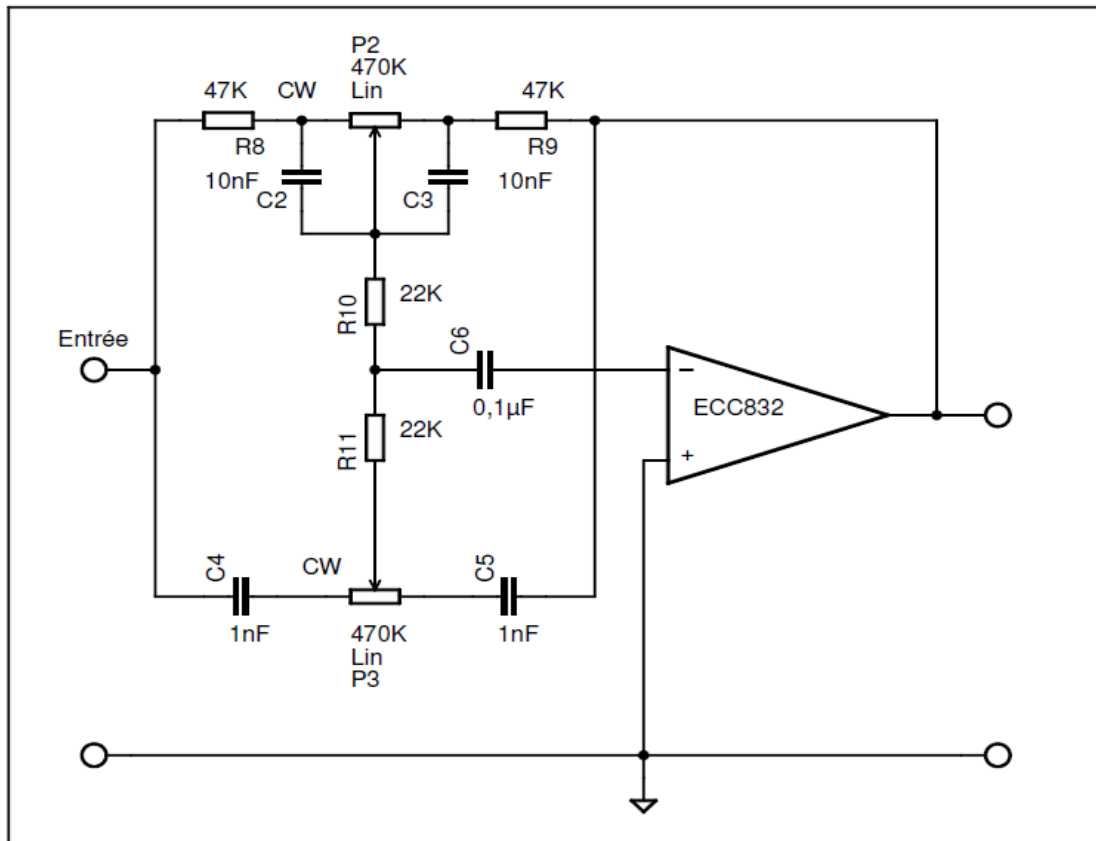
Source: Encyclopedia of Electronic Circuits  
by Rudolph Graf and William Sheets

Figure 1 - Passive 2-band shelving equalizer (one channel)

### d-3) Le montage que nous utilisons

Exemple de manipulation :

- Le potentiomètre P2 est placé à son maximum.
- C2 est court-circuité
- On a contre-réaction via R9 et C3.
- Cela donne un circuit intégrateur qui amplifie les fréquences basses.



### 3) L'amplification de puissance

#### a) Définition

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, ce 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.

## b) Le rôle et l'emplacement de l'amplification de puissance

Dans une chaîne d'appareils ou de circuits électroniques, toutes les modifications que doit subir un signal sont effectuées dans les étages intermédiaires. Les traitements divers (limitation, filtrage, intégration, etc.) sont plus faciles à réaliser en travaillant avec des signaux d'une amplitude de l'ordre du Volt et avec des courants faibles de l'ordre de quelques milliampères.

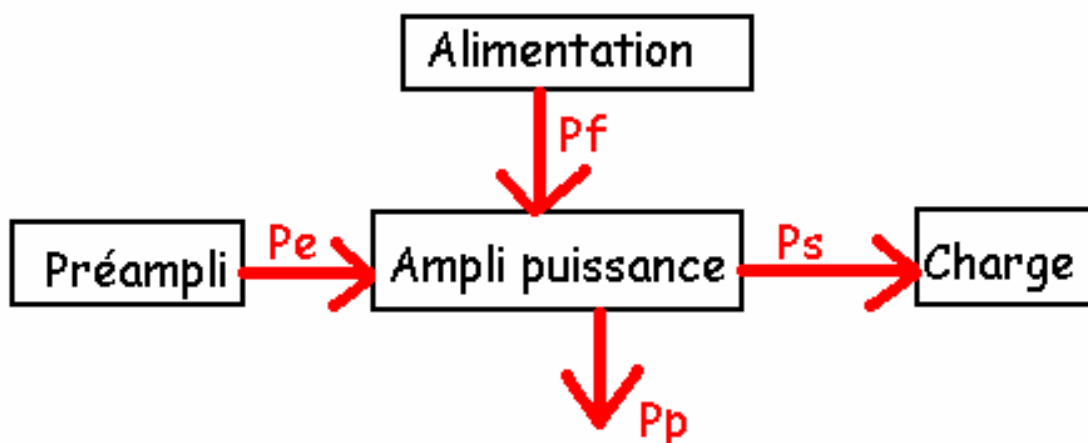
C'est également le cas pour les signaux présents aux connexions entre appareils ou circuits électroniques. Les étages de puissance sont situés à la fin de la chaîne, c'est pourquoi nous entendons souvent parler des "étages finaux", ou composants "finaux", pour désigner ces étages de sorties.

Ce n'est que vers la sortie, après plusieurs étages de gain en tension, que le signal va atteindre la puissance voulue, grâce aux amplificateurs de sorties qui amènent le gain supplémentaire en courant. Généralement, un amplificateur final amplifie le courant au lieu de la tension.

En d'autres termes, ce sont les "finaux" qui produisent la puissance désirées sur la résistance de charge. Cette puissance sera tirée de l'alimentation.

## c) Caractéristique d'un amplificateur de puissance

Bilan des puissances :



**Pf** : puissance fournie par l'alimentation

**Ps** : puissance restituée en sortie de l'amplificateur

**Pe** : puissance reçue à l'entrée de l'amplificateur de puissance

**Pp** : puissance perdue par échauffement dans les composants (effet Joule).

## d) L'importance du rendement

Le rendement est une caractéristique très importante pour un amplificateur de puissance. En effet, plus le système doit fournir une puissance élevée, plus le rendement de l'étage final est important. Les pertes des étages finaux sont bien sûr dissipées en chaleur.

Un amplificateur délivre une puissance sur la charge sous forme de signal alternatif, et consomme une puissance à l'alimentation sous forme de courant continu. Le calcul du rendement est:

$$\text{Rendement } \eta = \frac{\text{puissance délivrée}}{\text{puissance absorbée}} \cdot 100 [\%]$$

Enfin, les étages finaux ont besoin de circuits de protections envers la surchauffe, les courants trop importants (surintensité) ou encore des pointes de tensions élevées.

Par exemple, il est impératif de protéger les étages finaux envers un court-circuit toujours possible à la sortie, sans quoi la température des composants va très vite atteindre la limite acceptable. Dans ce cas et sans circuits de protections, les semi-conducteurs de sorties seront détruits à coup sûr.

## e) Expression des puissances

$$P_s = \langle p_s(t) \rangle$$

$$P_s = \langle u_s \times i_s \rangle$$

Mais on sait aussi, que :

$$P_s = \langle R \times i_s^2 \rangle$$

Mais comme une résistance n'a pas de valeur moyenne, on a donc :

$$P_s = R \times \langle i_s^2 \rangle$$

Mais on peut aussi simplifier cette expression, en remplaçant par la valeur efficace :

$$P_s = R \times I_s^2$$

On obtient donc l'expression de la puissance qui est la suivante :

$$P_s = \frac{U_s^2}{R}$$

$$P_s = U_s \times I_s$$

$$P_s = R \times I_s^2$$



**Remarque** : Les trois expressions précédentes, sont valables, pour n'importe quel forme du signal. Si le signal est sinusoïdal, on peut retenir la simplification suivante :

$$P_s = \frac{U_s^2}{R} \text{ avec } \hat{U}_s = U_s \times \sqrt{2}$$

$$P_s = \frac{\hat{U}_s^2}{2 \times R}$$

## f) . CLASSIFICATION DES AMPLIFICATEURS DE PUISSANCE

### e-1). Amplificateurs de puissance Classe A

Les amplificateurs de classe A sont les amplificateurs linéaires les plus fidèles, c'est-à-dire présentant le taux de distorsion harmonique le plus faible, même en l'absence de réaction négative. Leur rendement est toutefois tellement faible que leur usage est généralement limité aux amplificateurs de très faible puissance ou encore aux amplificateurs haute-fidélité haut de gamme de puissance moyenne.

L'amplificateur est constitué d'un étage de sortie ne comportant qu'un seul transistor. Le point de repos se situe approximativement au milieu de la droite de charge. En fonction du signal à amplifier, il peut donc se déplacer de part et d'autre de ce point le long de la droite de charge.

### e-2). Amplificateurs de puissance Classe B

Les amplificateurs classe B (et surtout leur variante de classe AB) sont de loin les amplificateurs les plus utilisés. Quand on leurs associe une boucle de réaction négative, leur distorsion tombe à un niveau extrêmement faible. Leur rendement est très bon et ils peuvent aisément fournir des puissances de sortie élevées.

L'amplificateur est constitué d'un étage de sortie comportant deux transistors complémentaires. Le point de repos se situe à la limite du blocage de chaque transistor. Pour pouvoir amplifier les deux alternances d'un signal sinusoïdal, il faut que l'un des transistors amplifie les alternances positives et le second les alternances négatives.

### e-3). Amplificateurs de puissance Classe C

Les amplificateurs de classe C sont des amplificateurs non-linéaires à très haut rendement. Ils ne sont toutefois utilisables que dans les amplificateurs HF (émetteur radio) avec des porteuses non modulées en amplitude. Ils génèrent un nombre considérable d'harmoniques qui doivent être filtrées à la sortie à l'aide de circuits accordés appropriés.

L'étage de sortie est constitué d'un seul transistor. Le point de repos se situe largement dans la région bloquée des caractéristiques de ce dernier. Seules les crêtes des alternances positives du signal d'entrée feront apparaître un signal de sortie.

Ce type d'amplificateur ne s'emploie que pour des applications particulières, parmi lesquelles

on peut citer les amplificateurs HF accordés (pour signaux non-modulés en amplitude), les multiplicateurs de fréquence, etc ...

#### **e-4). Amplificateurs de puissance Classe D**

Les amplificateurs classe D ont le rendement le plus élevé de tous les amplificateurs linéaires, mais ils présentent un taux de distorsion harmonique légèrement supérieur aux amplificateurs de la classe B ou AB. Ils sont utilisés par exemple dans les amplificateurs d'autoradio.

L'étage de sortie fonctionne en commutation, c'est-à-dire entre deux niveaux de tension. La fréquence de commutation est fixe mais le rapport cyclique de commutation est variable. Le signal BF à amplifier est donc codé en modulation de largeurs d'impulsions (MLI ou PWM : Pulse-Width-Modulation).

La fréquence de commutation est au moins d'un ordre de grandeur supérieur à la fréquence maximum du signal BF. Ce signal est reconstitué par filtrage passé-bas à la sortie.

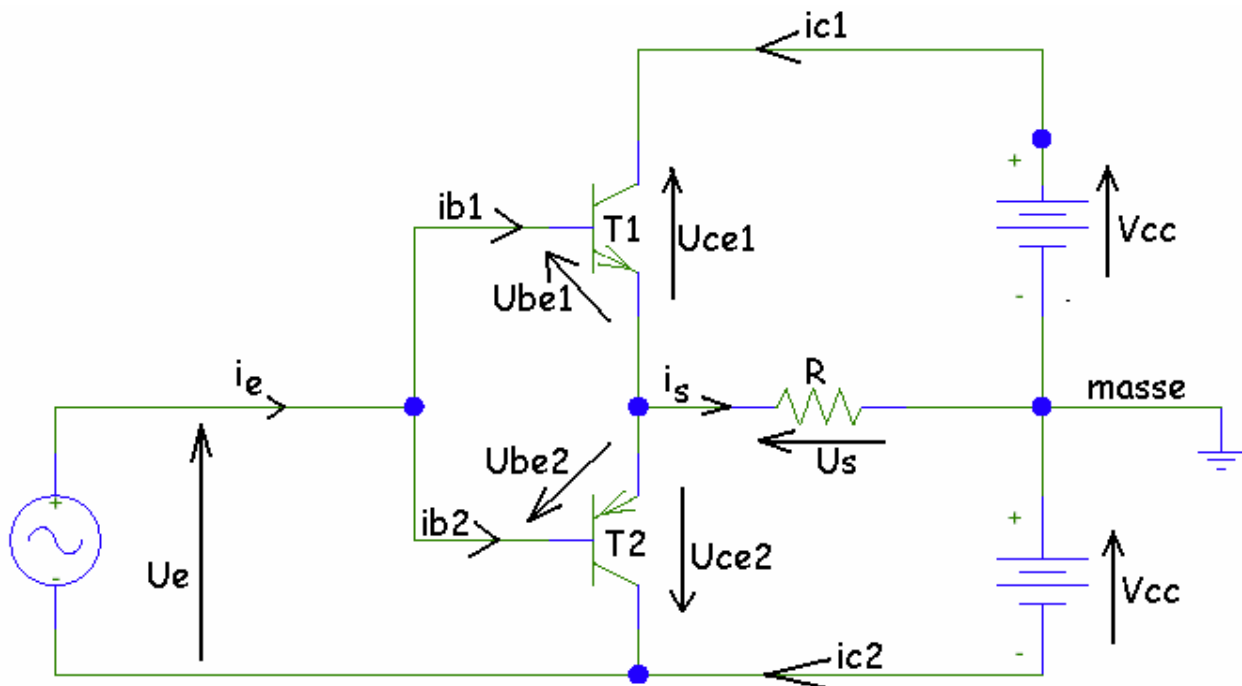
Nous allons maintenant nous intéresser plus particulièrement aux amplificateurs de puissance B car c'est ce type d'amplificateur que l'on qualifie de PUSH-PULL.

### **g) . L'amplification en classe B**

#### **f-1).Introduction**

Cet amplificateur permet de fournir au signal la puissance nécessaire pour faire fonctionner une charge telle qu'un haut parleur. Il peut être réalisé avec des composants discrets, mais il faut savoir qu'on le retrouve également sous forme intégrée dans l'étage de sortie des Amplificateurs opérationnels.

**Le schéma est le suivant :**



On considère que :  $i_{e1} = i_{c1} = \beta \times i_{b1}$  (lorsque  $U_e > 0V$ )

On considère que :  $i_{e2} = i_{c2} = \beta \times i_{b2}$  (lorsque  $U_e < 0V$ )

### f-2). Analyse du fonctionnement

On peut dénombrer les cas suivants :

**- 0,6V < Ue < 0,6V :**

o T1 et T2 sont bloqués

o  $i_s = 0A$ , et  $U_s = 0V$ .

**+0,6V < Ue < Vcc + 0,6V :**

o T1 est passant, et T2 est bloqué

o  $V_{be1} = 0V$

o  $i_s = U_s / R$ , et  $U_e = U_s + V_{be1}$ , donc  $U_s = U_e - V_{be1}$

o Pour que le transistor T1 ne soit pas saturé, il faut que  $V_{ce1} > V_{cesat}$ . Donc comme on a  $V_{cc} = U_s + V_{ce1}$ , alors  $U_s$  doit être tel que  $U_s < V_{cc} - V_{cesat}$ .

**-Vcc - 0,6V < Ue < - 0,6V :**

o T1 est bloqué, et T2 est passant.

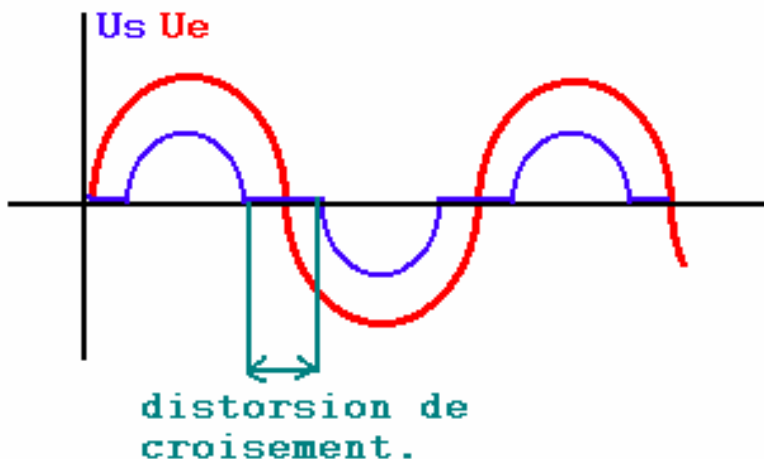
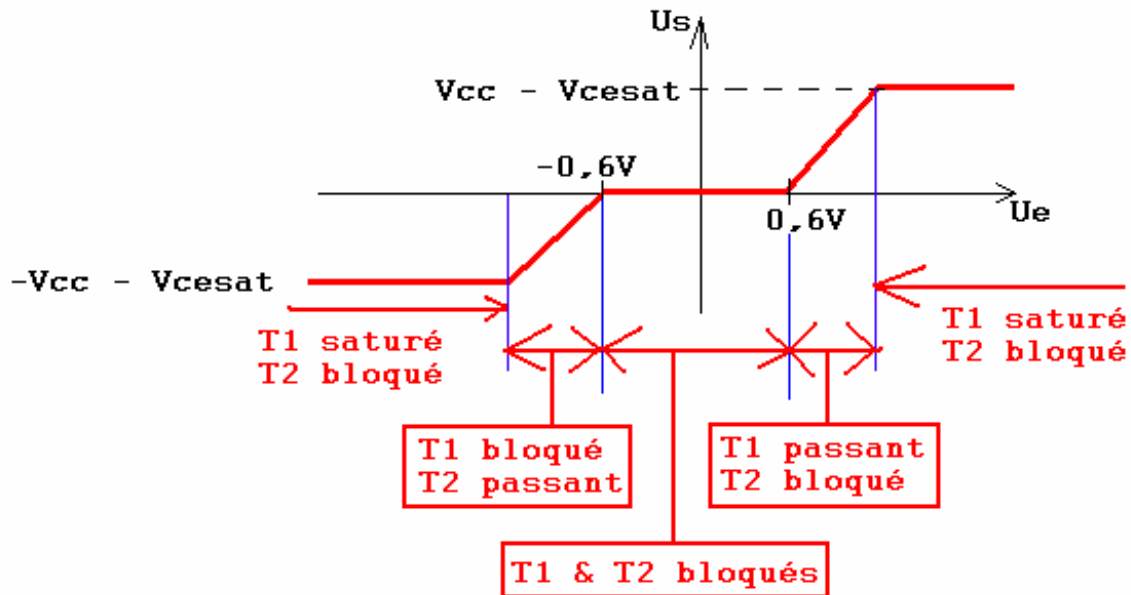
o On a alors,  $i_s = U_s / R = i_{c2} = \beta \times i_{e2}$ .

o Dans ce cas, on a  $i_s < 0A$ .

o Comme  $U_e = U_s + V_{be2}$ , on  $U_s = U_e - V_{be2}$

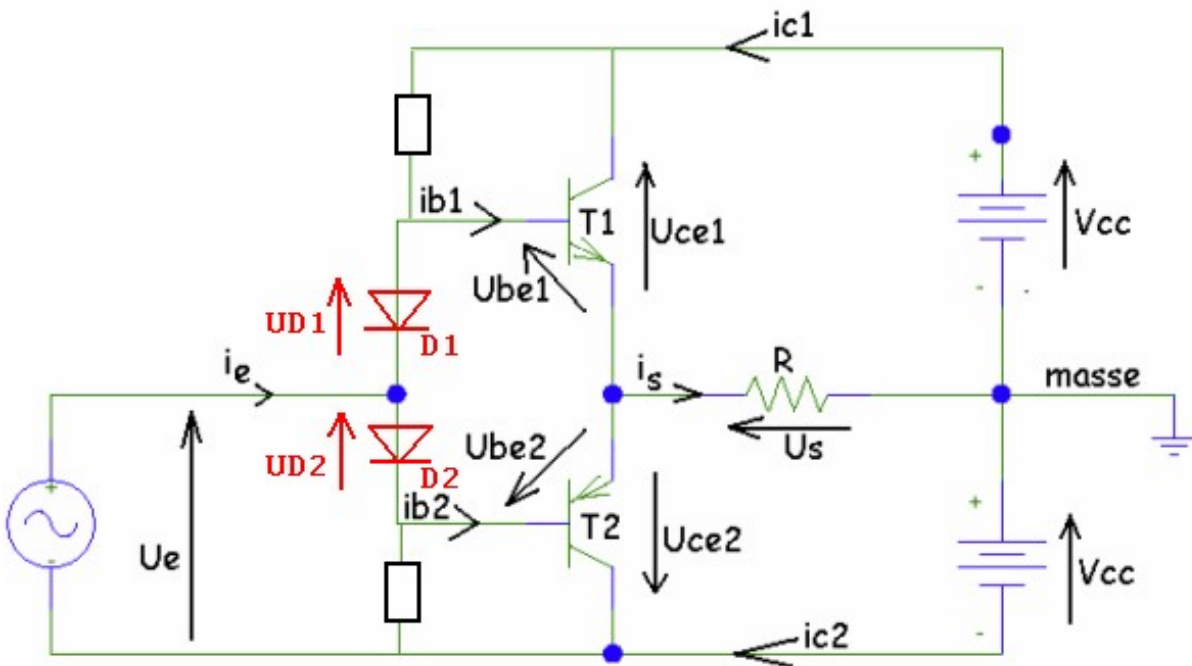
o Pour que le transistor T2 ne soit pas saturé, il faut que l'on est  $U_s < -V_{cc} - V_{ce2sat}$ .

### f-3). Caractéristique de transfert



### f-4). Élimination de la distorsion de croisement

Pour éliminer la distorsion de croisement, on ajoute deux diodes, qui sont toujours passantes, et qui ainsi jouent le rôle de « générateur » de tension :



**Si T1 est passant, on a :**

$$U_e + U_{d1} - V_{be1} - U_s = 0V$$

$$U_s = U_e + U_{d1} - V_{be1}$$

$$U_s = U_e, \text{ car } U_{d1} = V_{be1}$$

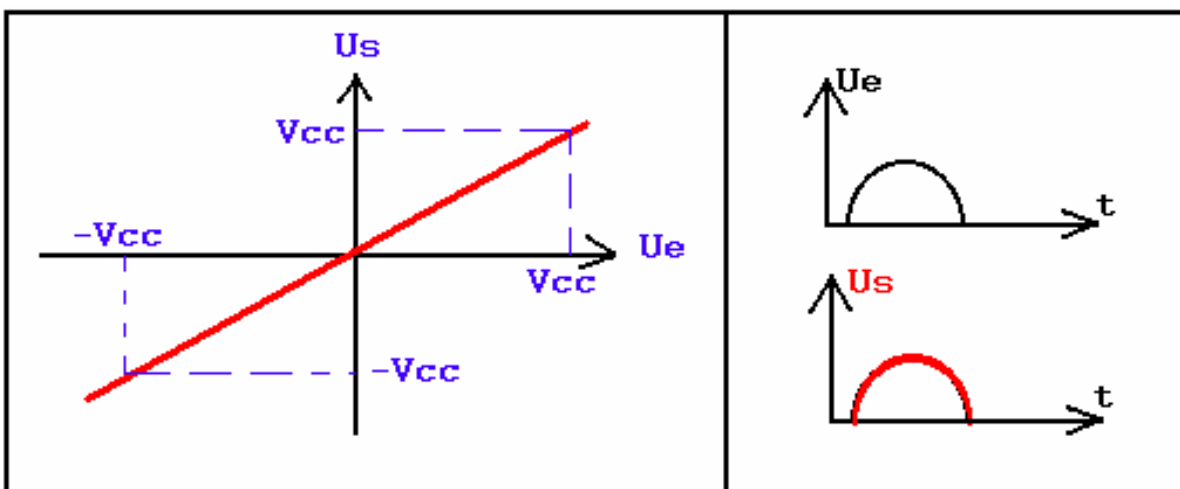
**Si T2 est passant, on a :**

$$U_e - U_{d2} - V_{be2} - U_s = 0V$$

$$U_s = U_e - U_{d2} - U_{be2}, \text{ or } V_{be2} < 0V$$

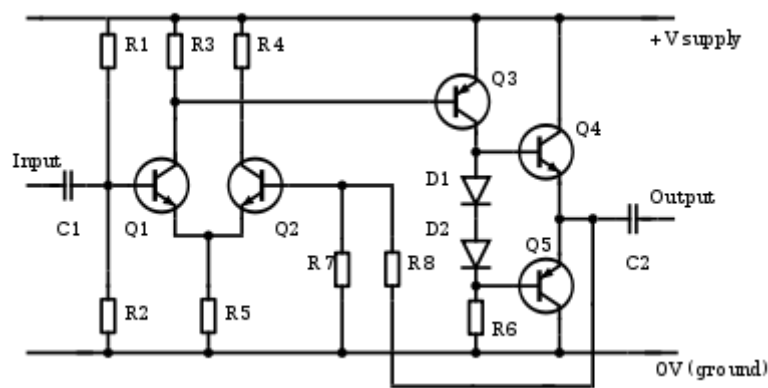
$$U_s = U_e$$

**Conclusion :** La distorsion de croisement à disparu. On obtient donc la caractéristique de transfert suivante :



### III. LE MONTAGE AMPLIFICATEUR:

#### 1) Un exemple de montage de base)



#### 2) Notre montage

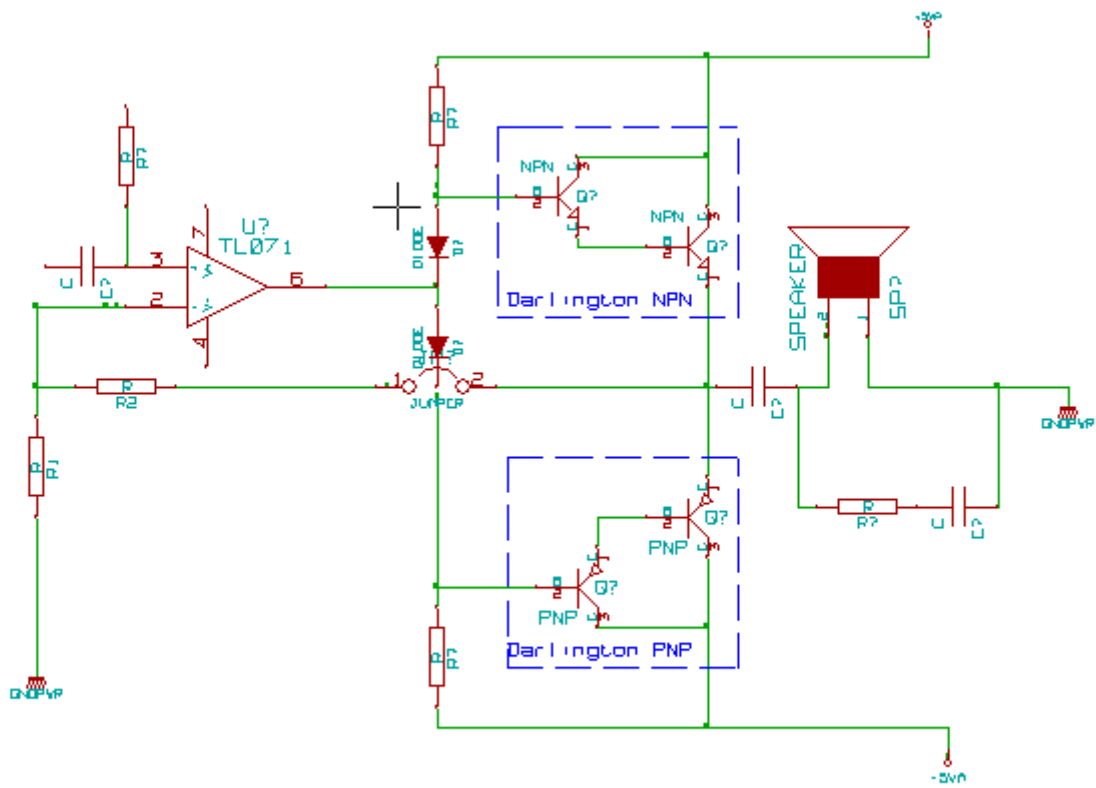
Pour le choix de notre montage, nous nous sommes basé sur des conceptions de montages standards, dont la documentation est souvent plus fournie sur internet.

Nous avons choisi un pré-amplificateur correcteur Baxandall actif à 2 voies (donc atténuation/amplification des graves/aiguës réglable par des potentiomètres). Comme expliqué dans la partie II)2), l'intérêt de ce système devait être d'amplifier notre signal, possiblement faible en entrée.

Quant à l'amplificateur de puissance, nous avons choisi un amplificateur avec un push-pull de classe AB.

Malheureusement, nous n'avons pas pu réaliser sur circuit imprimé, par manque de temps – nous avons commencé trop tard le côté 'pratique' du projet. Malgré cela, voici ci-dessous les schémas réalisés sous Kicad et Draw 5.

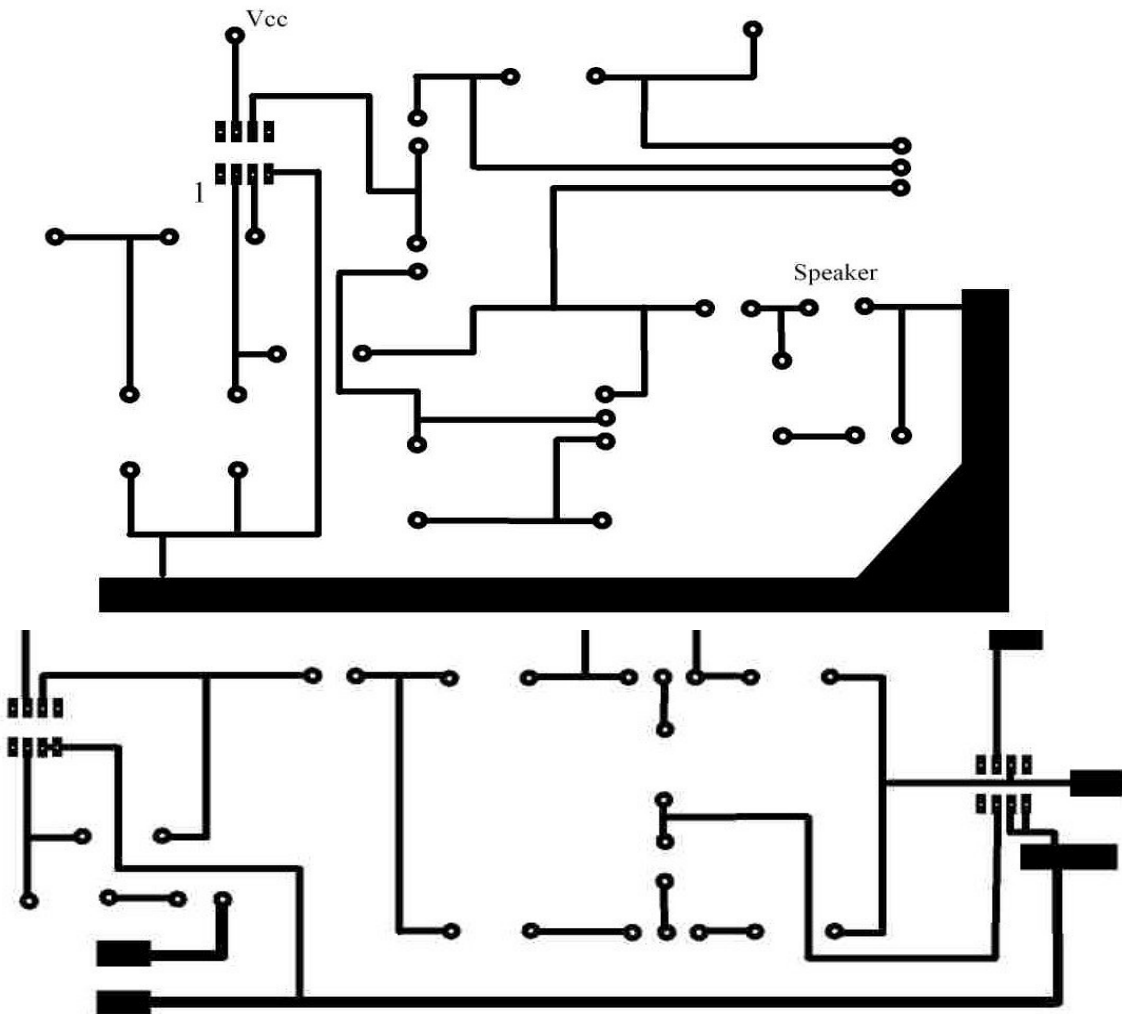
## a) Schéma sous Kicad



## b) Schéma sous Draw:

*b-1) Pré-amplificateur correcteur*

*b-2) Amplificateur:*





## BIBLIOGRAPHIE

<http://etronics.free.fr/dossiers/analog/analog20/transist.htm>

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Transistor\\_bipolaire](http://fr.wikipedia.org/wiki/Transistor_bipolaire)

[http://xizard.chez.com/Cours/transistor\\_composant.htm](http://xizard.chez.com/Cours/transistor_composant.htm)

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Amplificateur>

<http://www.jeldev.org/5ALI.pdf>

<http://www.bedwani.ch/electro/ch15/index.htm>

<http://etronics.free.fr/dossiers/analog/analog20/transist.htm>

<http://lsiwww.epfl.ch/LSI2001/teaching/physiciens/>

<http://pagesperso-orange.fr/avrj.cours/index.htm>

<http://www.yopdf.com/transistor-en-amplificateur-principes-de-base-pdf.html#a11>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Darlington\\_transistor](http://en.wikipedia.org/wiki/Darlington_transistor)

<http://pourquoietcomment.site.voila.fr/>

<http://www.people.fas.harvard.edu/~thayes/phys123/>

<http://ocw.mit.edu/OcwWeb/Electrical-Engineering-and-Computer-Science/6-002Spring-2007/VideoLectures/detail/embed06.htm>