

# MP 22

## AMPLIFICATION DE SIGNAUX

*"On a tous un montage impasse"*

ARNAUD LE DIFFON

### Commentaires du jury

2010 à 2014 : Il y a de trop nombreux aspects des amplificateurs qui sont éludés : distorsion, impédance, rendement, en particulier. D'autre part, l'amplificateur opérationnel, comportant de nombreux circuits internes de compensation, n'est pas l'objet idéal pour aborder ce montage. Un circuit simple à transistors pourrait être plus illustratif.

2008 : La limite de linéarité de l'amplificateur opérationnel n'a pas pour seule origine la saturation en tension.

### Bibliographie

- **Donnini-Quaranta, Introduction à l'électronique** → Très bien pour les rappels théoriques sur le transistor et le montage par pont de polarisation.
- **Duffait d'élec** → Bien pour l'émetteur commun, le push pull, et les valeurs des gains et impédances petits signaux.
- **Quaranta, Dictionnaire de physique, Tome 3** → Pour le tracé de caractéristiques.

### Table des matières

<b>I Le transistor Bipolaire</b>	<b>2</b>
<b>II Amplification en régime variable : Émetteur commun</b>	<b>3</b>
II.1 Circuit de polarisation . . . . .	3
II.2 Montage émetteur commun . . . . .	4
<b>III Adaptation d'impédance - Push-pull</b>	<b>5</b>
III.1 Montage de Base . . . . .	5
III.2 Correction de la distorsion . . . . .	6
<b>IV Compléments</b>	<b>7</b>

## Introduction

Définition signal : Grandeur dont la variation transporte une information.

Problématique : Micro + Haut parleur. On veut amplifier le son d'un micro. Pour cela on le met sur un haut parleur...ca marche pas. Nécessité d'amplification.

Amplification : Augmentation de la puissance  $P = UI$  donc nécessité d'un gain en tension et/ou en courant.

Autre problème : Adaptation d'impédance. Il faut pouvoir transmettre la puissance a la charge. Exemple d'adaptation d'impédance avec un diapason. On entend rien, même si on tape fort (beaucoup de puissance), on met le diapason sur un résonateur (adaptation d'impédance), et on entend.

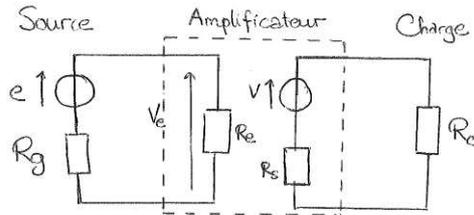


FIGURE .1 – Schéma d'un amplificateur avec la source et la charge

Pour réaliser l'adaptation d'impédance, il faut :

—  $Z_e \gg Z_g$  pour avoir  $V_e$  le plus grand possible (sinon chute de tension et le gain de l'ampli ne sert à rien).

—  $Z_s \sim Z_c$  Pour avoir la puissance fournie à la charge la plus grande possible.

Gains :

— En tension :  $V_s = G_v \times V_e$ .

— En courant :  $I_s = G_i \times I_e$ .

— En puissance :  $G = G_v \times G_i$ .

— Rendement  $\eta = \frac{P_s}{P_{in}}$  (en réalité c'est  $\frac{P_s}{P_{in} + P_e}$  mais on néglige souvent la puissance en entrée par rapport à la puissance de l'alim).

## I Le transistor Bipolaire

Quand on pense à l'amplification, on pense souvent à l'amplificateur opérationnel, mais on va ici étudier le composant qui est à la base du fonctionnement de l'AO : le transistor bipolaire.

- Présentation du transistor (succinct) :

Le transistor est l'association de trois semi-conducteurs dopés différemment. Deux configurations possibles NPN et PNP.

Le transistor peut être vu comme deux diodes mises têtes bèches, mais c'est plus compliqué. Des tensions de seuil identiques à celle d'une diode vont apparaître quand on va polariser un transistor.

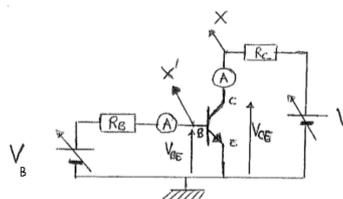


FIGURE I.1 –  $R_B = 60k\Omega$  et  $R_C = 500\Omega$

1ère expérience rapide au début pour montrer qu'on a une amplification.

**Manip' 1 :**

On montre avec deux ampèremètre que le courant de sortie  $I_C$  est beaucoup plus grand que le courant de la base. Calcul rapide du gain.

Le gain est-il constant ? Linéaire ? Quelle est la plage de linéarité de ce gain ?

Pour répondre a cela, on fait une étude détaillé du transistor.

► **Dico de la physique** p 469**Manip' 2 :**

Tracé des caractéristiques du transistor.

•  $I_C$  en fonction de  $V_{CE}$  :

On contrôle le courant  $I_B$  avec la valeur de  $V_B$ . Pour différentes valeurs de  $I_B$  ( connues grâce a un ampèremètre) on envoie un signal rampe sur  $V_{CC}$ . On mesure X, en faisant la différence avec la rampe, on peut tracer  $I_C = f(V_{CE})$ .

•  $I_B$  en fonction de  $V_{BE}$  :

On contrôle le courant  $I_C$  avec la valeur de  $V_{CC}$ . Pour différentes valeurs de  $I_C$  ( connues grâce a un ampèremètre) on envoie un signal rampe sur  $V_B$ . On mesure X', en faisant la différence avec la rampe, on peut tracer  $I_B = f(V_{BE})$ .

•  $I_C$  en fonction de  $I_B$ 

On déduit de la première courbe, une courbe de  $I_C$  en fonction de  $I_B$  dans le cas où le transistor est en régime linéaire (polarisation de  $V_{CE}$  suffisante). Barres d'erreur en fonction de la pente de la droite  $I_C = f(V_{BE})$ . Calcul précis du gain du transistor  $\beta$ . Plage de courant  $I_B$  pour lequel le gain est linéaire.

(• Mesure des paramètres hybrides grâce au tracé des caractéristiques.)

On sait maintenant comment le transistor fonctionne. Pour un courant  $I_B$  fixé, il faut une certaine tension  $V_{CE}$  pour être dans le régime linéaire. Ce montage convient cependant il est instable en température :

**Manip' 3 :**

On utilise un sèche cheveux pour chauffer le transistor. On observe une forte dérive des signaux, qui s'arrête lorsqu'on enlève le chauffage.

Le gain  $\beta$  dépend fortement de la température. On utilise alors un montage qui va permettre entre autres de stabiliser en température le gain.

## II Amplification en régime variable : Émetteur commun

### II.1 Circuit de polarisation

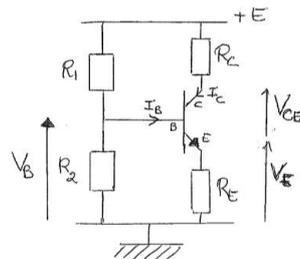
► **Donnini & Quaranta** p 46

FIGURE II.1 – Circuit de polarisation

Cette fois on a mis une résistance à l'émetteur ce qui permet de stabiliser en température (si T augmente,  $\beta$  augmente, donc  $I_C$  augmente donc  $V_E$  aussi. Or  $V_B = V_E + V_{BE}$  donc  $V_{BE}$  diminue donc  $I_B$  diminue donc

$I_C$  aussi!).

Choix des résistances :

- $R_E$  détermine le courant  $I_C$  donc  $I_B$ . Explication rapide.
- $R_C + R_E$  détermine la valeur de  $V_{CE}$ . L'expliquer avec la droite de charge sur les caractéristiques. Attention à la puissance dissipée par le transistor.  $P \simeq I_C V_{CE} \simeq \frac{V_{CC}^2}{4(R_E + R_C)}$ .
- Choix de  $R_1$  et  $R_2$  : Peu détaillé dans la littérature (voir la partie de Quaranta sur la stabilisation du pont). Le rapport des deux doit être de l'ordre de 10 pour ne pas avoir trop de perte de puissance à l'entrée. Mais on a une condition avec  $R_E$  pour stabiliser en température.

#### Manip' 4 :

Polariser le transistor et vérifier qu'on se situe bien au milieu de la caractéristique afin d'avoir la plus grande plage de linéarité.

Vérifier la faible dépendance en la température.

## II.2 Montage émetteur commun

### ► : Duffait p 119

Le but de ce montage est de pouvoir amplifier les signaux variables.

Choix des capacités :

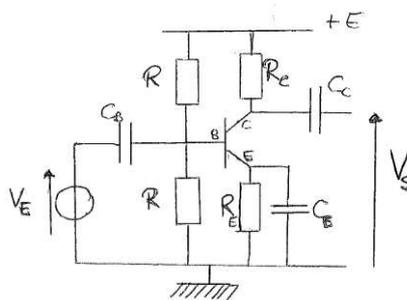


FIGURE II.2 – Schéma du montage en émetteur commun

- $C_B$  ( $\sim 100\mu F$ ) : On veut couper la composante continue pour ne pas imposer une tension continue sur le GBF qui doit délivrer une tension variable.
- $C_C$  ( $\sim 100\mu F$ ) : Dépend de ce qu'on met en sortie. On la met si on branche en sortie un composant qui doit travailler en tension variable.
- $C_E$  : Permet de court-circuiter la résistance  $R_E$  en régime variable. La résistance  $R_E$  est nécessaire en continu pour choisir le point de polarisation et pour stabiliser en température le montage mais elle réduit le gain du montage. Cette capacité doit être grande devant  $R_E$  ( $1mF$  mais ça dépend de la freq) pour ne pas influencer sur le montage en régime variable. Le test est de vérifier que la tension de sortie est bien en opposition de phase avec la tension d'entrée.

**Manip' 5 :**

- Gain en tension : Étude en fonction de la fréquence. Tracé de la bande passante. Plage de fréquence dans lequel l'ampli amplifie avec un gain constant. Valeur du gain. (Gain en intensité de l'ordre de  $\beta$  mais ca dépend trop de la charge donc on le calcule pas).
- Calcul des impédances d'entrées et de sortie :
  - $R_E \simeq 1k\Omega$ . Grande impédance d'entrée  $\rightarrow$  Cool !
  - $R_S \simeq 500\Omega$ . Grande impédance de sortie par rapport a un haut parleur d'impédance de sortie de l'ordre de  $10\Omega$ . On ne va donc pas pouvoir transmettre la puissance au haut parleur avec cette impédance de sortie.
- Distorsion dans le cas d'une trop forte amplitude. FFT du signal. Critère arbitraire : On dit que le signal est "trop distordu" lorsque la deuxième composante harmonique dans le spectre de fourier est de l'ordre de 10% de la première. Calcul de l'amplitude max d'entrée.
- Calcul du rendement  $\eta = (\frac{V_{max}}{E})^2$ . Amplificateur de classe A :  $\eta < 25\%$  . Mauvais rendement même dans les conditions optimales.

On va utiliser un autre montage qui a une impédance de sortie adaptée et qui donne aussi un meilleur rendement duffait de son point de polarisation.

### III Adaptation d'impédance - Push-pull

#### III.1 Montage de Base

► Duffait ou Quaranta pour la théorie

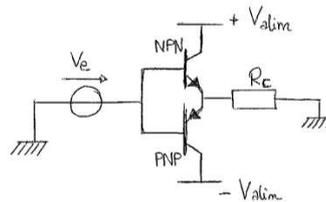


FIGURE III.1 – Montage de base Push pull sans circuit de compensation

Polarisation simple : Point de fonctionnement avec un courant nul et une tension de  $E \rightarrow$  polarisation en classe B, pas de puissance dissipée.

Fonctionnement du montage : Le courant est amplifié successivement par le transistor NPN puis par le transistor PNP. Lorsque  $I_B$  est positif, le NPN est passant et le PNP est bloqué.

Explication rapide avec les deux caractéristiques. La caractéristique du deuxième transistor est renversée car c'est un PNP et pas un NPN.

**Manip' 6 :**

- ▷
- Mesure du gain en tension : De l'ordre de 1, même inférieur.
- Mesure du gain en intensité dans un rhéostat de l'ordre de  $10\Omega$  : De l'ordre de  $\beta$ .
- Mesure des impédances d'entrée et de sortie :  $R_e \sim 1M\Omega$  (mais ca dépend de la charge) et  $R_s \simeq 10\Omega$ . C'est la tout l'intérêt du Push-Pull, il a une grande charge en entrée ce qui permet d'avoir plein de puissance en entrée et il a une faible impédance de sortie qui permet de réaliser une adaptation d'impédance avec par exemple le haut parleur.

On observe une distorsion qui est due à la tension nécessaire pour polariser le transistor. Le Push-pull ne donne qu'un gain sur le courant, la tension est donc trop faible pour alimenter directement le haut parleur, il faut qu'on utilise un amplificateur de tension avant cela : l'émetteur commun. On fait bien attention à rester dans la zone de non distorsion de l'émetteur commun.

Essayons de faire fonctionner la chaîne micro+émetteur+push-pull+haut parleur :

Ça fonctionne mais on entend que la distorsion est importante. On va corriger cela avec un circuit de diodes.

## III.2 Correction de la distorsion

### ► Duffait

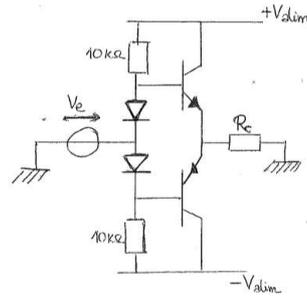


FIGURE III.2 – Montage Push Pull avec correction de la distorsion grâce à un circuit de diodes.

### Manip' 7 :

On réalise le montage du Push Pull avec correction de la distorsion. On entend nettement la différence avec le montage non corrigé.

NB très important : Après avoir testé la plupart des plaquettes disponibles en TP, on s'est rendu compte qu'il est beaucoup plus sûr de créer soit même le montage Push-Pull, ainsi que le circuit de correction. Ça prend très peu de temps et ça marche généralement mieux. Par contre il faut utiliser des transistors BD 235-236 qui sont en fait des Darlington (association "en série" de deux transistors) pour plus de puissance.

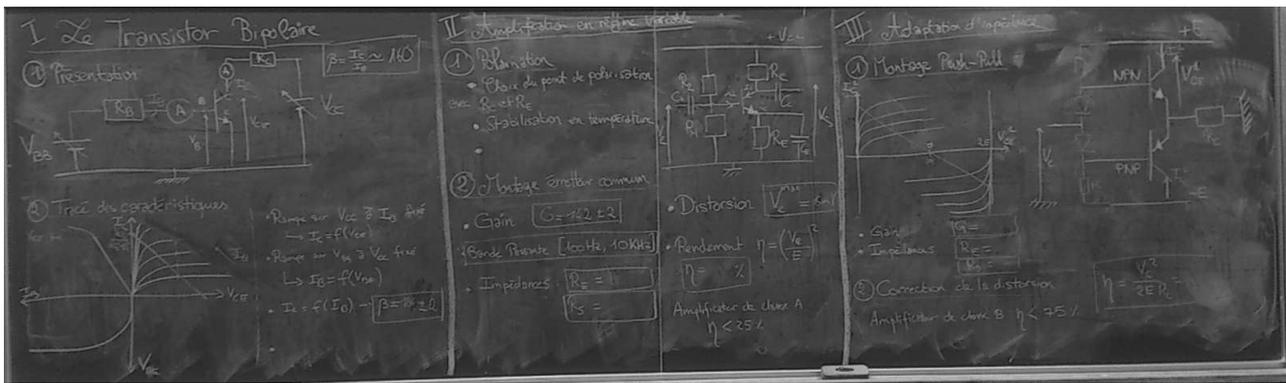
## Conclusion

La problématique était d'augmenter le signal sonore émis par un micro et le transmettre à un haut parleur. Pour cela nous avons dû explorer les capacités du transistor dans plusieurs montages. Nous avons aussi dégager des notions essentielles en amplification.

- Amplification de courant d'un transistor : Gain de courant en statique, dépendance en température.
- Montage émetteur commun : Point de polarisation. Gain en tension fort et bande passante large. Mais on a des distorsions et un mauvais rendement. Grande résistance d'entrée mais grande résistance de sortie.
- Push-pull : Gains faible mais adaptation d'impédance. Correction de la distorsion.

• Voici les points suivants qu'il faut étudier (plus ou moins dans l'ordre) quand on veut étudier un montage d'amplification :

- Gains : Tension, intensité → puissance.
- Impédances d'entrées et de sortie. Il faut toujours que l'impédance d'entrée soit grande, l'impédance de sortie dépend de la charge mais doit être petite en générale.
- Linéarité, Distorsion. Quand est-ce que le gain est constant ? Pour quelles valeurs de la fréquence ? Pour quelle amplitude d'entrée ? Mêmes questions pour la distorsion.
- Rendement. Important pour les grandes puissances. On a de nombreuses classes de montages ( voir Malvino pour une description détaillée) et le rendement est majoré différemment suivant la classe.
- Stabilité vis à vis de la température : Montage émetteur commun permet en statique de stabiliser le montage en température.



## IV Compléments

Le plan proposé est très classique, mais comme le jury ne voit pas souvent ce montage, il reste pas trop bateau. Voici cependant quelques idées si vous voulez faire un plan plus original.

### Paramètres hybrides, rendement, et classe des amplificateurs

Ces points ont été éludés disons volontairement lors de ce montage. Il ne nous a pas paru pertinent de parler de circuit équivalent en petits signaux. On a pris comme fil conducteur la question : Comment amplifier le son qui sort d'un micro pour le mettre sur un haut parleur ? Et avec cette problématique, il n'est pas utile de parler des paramètres hybrides, ni de comparer les impédances et gains mesurés à la théorie. De même, le rendement n'est pas essentiel puisqu'on ne manipule pas des fortes puissances.

Mais on peut voir le montage différemment : Lors du calcul des caractéristiques, on peut calculer les paramètres hybrides (pour un point de polarisation donné), et ensuite comparer chaque valeur avec les valeurs prédites par le montage en petits signaux...

#### Darlington ► Quaranta (ou d'autres) p 81

On associe deux transistors de façon à augmenter le gain (le montage est aussi simple que celui du Push Pull). On peut faire une étude détaillée, calculer le gain en intensité et montrer qu'il ne vaut pas le produit des gains des deux transistors séparément.

**Transistor** Le rapport du jury dit qu'un montage simple avec un Transistor est plus illustratif qu'un montage à AO qui possède pleins de circuits de compensation. Cependant je pense qu'après une première partie détaillée sur le transistor, on peut très bien faire une partie sur l'AO en disant qu'elle utilise principalement le transistor avec des circuits en plus... Mais ça doit venir après l'étude du transistor selon moi (alors que tanguy (agreg de l'an dernier) commence par l'AO dans son plan).

**Amplification Acoustique ?** L'expérience de début n'est pas de l'amplification, mais plus une adaptation d'impédance acoustique. L'amplification nécessite forcément une source d'énergie supplémentaire. On ne peut donc pas faire une partie sur "l'amplification acoustique" avec le diapason et le résonateur de Helmholtz. Cependant le titre du montage est "Amplification de signaux" donc on n'est à priori pas obligé de ne parler que d'élec.

**Citation de début** On a eu beaucoup de mal à ce décider pour la citation de début...voici quelques idées de citation adaptées au montage, qui aurait pu remplacer celle de début (on remercie d'ailleurs  $D_r$ . Altes pour l'idée).

- "UNLIMITED...POWAH!" - L'EMPREUR PALPATINE
- "LSD is a catalyst or amplifier of mental processes." - STANISLAV GROF
- "Oh non...Pas le montage amplification!" - JASON RENEUVE
- "1.21 Gigawatt!!!" - DOC
- "Amplification is the vice of modern oratory. It is an insult to an assembly of reasonable men, disgusting and revolting instead of persuading. Speeches measured by the hour, die with the hour." -THOMAS JEFFERSON