

# MP 42 : AMPLIFICATION DE SIGNAUX

16 avril 2022

Nathan Berrit & Juliette Colombier

## Niveau : L3

## Commentaires du jury

## Bibliographie

↗ *Electronique*, **Duffait**

→ La base pour les montages ! Plutôt bien expliqué

↗ *Electronique*, **Barrandon**

→ Pour chopper de la théorie !

## Prérequis

## Expériences



## Table des matières

<b>1</b>	<b>Le transistor bipolaire</b>	<b>2</b>
1.1	Caractéristique courant tension du tbip . . . . .	3
1.2	Mesure de $\beta$ et polarisation du transistor . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Amplification en tension : l'émetteur commun</b>	<b>4</b>
2.1	Evaluation de $h_{11}$ . . . . .	4
2.2	Evaluation des caractéristiques de l'amplificateur . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Montage Push-Pull</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Montage surprise passage du 31/03</b>	<b>8</b>

---

0. Par soucis de place toujours, je pense pas qu'il soit nécessaire de mettre les références exactes surtout pour un livre classique.

## Introduction

Comment et pourquoi amplifier du signal? C'est bien sûr un enjeu d'importance en télécommunication : Pour transmettre un signal loin il faut pouvoir le relayer, et qu'il soit assez puissant pour arriver à destination. C'est aussi fréquemment nécessaire pour un physicien, par exemple pour pouvoir exploiter le signal obtenu sur un détecteur.

On comprend que le coeur de ce montage se trouve dans les considérations d'électrocinétique : c'est la forme où est stocké l'information numérisée, et où la plupart des détecteur convertissent leur signal!

Dans ce domaine, l'amplification d'un signal peut prendre plusieurs formes selon l'usage qu'on veut en faire :

- en tension.
- en intensité
- en puissance

Globalement, on peut étudier les caractéristiques d'un amplificateur à partir de ce schéma équivalent :

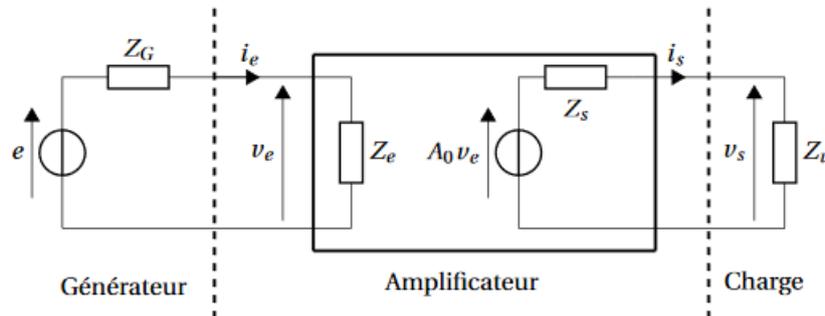


FIGURE 1 – Le schéma intéressant à étudier : à gauche le micro, au centre l'ampli, à droite la charge.

Il faut donc regarder :

- l'impédance d'entrée qu'on veut grande pour bien transmettre la tension à amplifier : si elle est trop faible par rapport à celle de la source, la tension transmise sera faible, ce qui nuit à l'amplification.
- le gain (en précisant si on parle de gain en tension, intensité ou puissance).
- l'impédance de sortie (si elle est trop grande devant celle de la charge, la tension sur la charge sera faible, donc peu de puissance de sortie).
- enfin, il faut s'assurer de la qualité du message restitué, et limiter au maximum la déformation de ce dernier dans le processus par effets non linéaires : il faudra donc en discuter dans ce montage.



Passons aux choses sérieuses : on considère ce microphone. On aimerait pouvoir écouter le son qu'il capte avec ce haut parleur. On constate qu'on n'entend rien au début : le signal délivré est d'environ 100 mV (on l'observe à l'oscillo) et il n'a pas assez de puissance pour être entendu! De même, on mesure l'impédance du haut-parleur : 6  $\Omega$  environ

Ces petites mesures permettront de comparer les caractéristiques des amplificateurs à celle du HP notamment.

## 1 Le transistor bipolaire

C'est l'objet central, actif, des amplificateurs qu'on utilisera dans les montages.

### 1.1 Caractéristique courant tension du tbip

Le tbip est un système complexe (association de SC dopés NPN), avec 4 inconnues à caractériser<sup>1</sup> :  $I_b$ ,  $I_c$ ,  $V_{ce}$  et  $V_{be}$ .

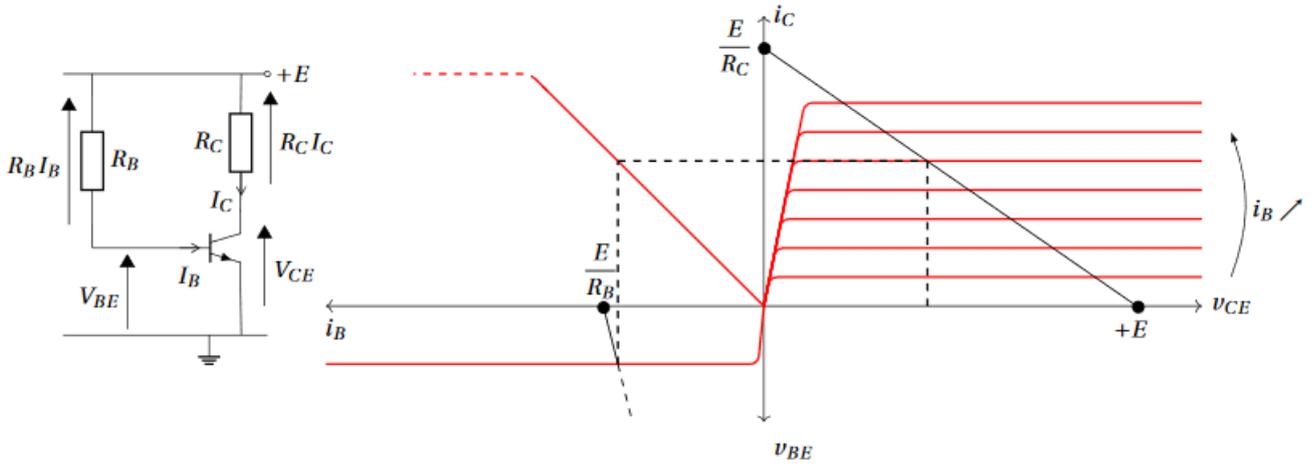


FIGURE 2 – A droite : la figure à montrer dans cette partie. On peut aussi dessiner le Tbip seul. Dans le cadran de droite,  $V_{ce}$  prend  $+E$  pour valeur max

Les caractéristiques qui sont importantes ici c'est l'augmentation de l'intensité d'entrée mise en B :  $I_c = \beta I_b$  ! C'est ce qu'on appelle l'effet transistor : un courant  $I_b$  en entrée va créer un courant important  $I_c$ .

Ce paramètre varie bcp d'un transistor à l'autre, et vaut environ 200 : on peut l'évaluer expérimentalement ici !

### 1.2 Mesure de $\beta$ et polarisation du transistor

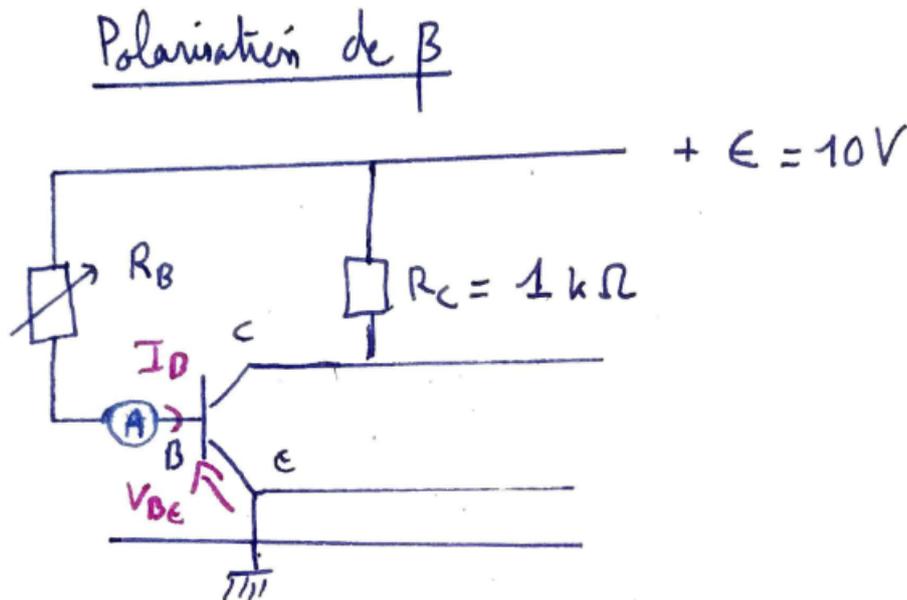


FIGURE 3 – Montage

1. Il y en a 6 normalement, mais on a la loi des mailles et des noeuds

## Evaluation de Beta

⚡ Duffait partie émetteur commun

⊖ 5min

On peut déjà utiliser le montage de l'émetteur commun, sans mettre de source!

On choisit de fixer  $R_c = 1 \text{ k}\Omega$  et  $E = 1V$ .

En faisant varier  $R_b$ , on lit  $I_b$  à l'ampèremètre et  $I_c$  avec la tension  $V_{ce}$  et la donnée de  $R_c$ .

On travaille tjrs à la fréquence de 1 kHz (audible, logique avec le microphone) et on fait varier  $R_b$  entre 200 k $\Omega$  et 800  $\Omega$ .

On en déduit  $\beta$  en traçant  $I_c$  )  $f(I_b)$ .

Après, régler  $R_b$  pour avoir  $V_{ce} \sim 5V$ .

La dernière étape correspond à la polarisation du transistor : pour amplifier un signal, on veut un système linéaire (ce que n'est pas le tbip). La polarisation correspond au choix de paramètres continus  $I_b$ ,  $I_c$ , etc... afin de se placer au point  $V_{ce} = +E/2$ .<sup>2</sup> Ainsi, les petites variations autour de ces valeurs continues sont linéaires en première approximation!

↓ Super, ce tbip peut maintenant être utilisé en régime linéaire. On va s'en servir dans un premier amplificateur (de tension) : l'émetteur commun.

## 2 Amplification en tension : l'émetteur commun

### 2.1 Evaluation de $h_{11}$

Maintenant on va faire fluctuer les polarisations autour du point de polarisation. Les grandeurs fluctuantes sont liées linéairement! On peut noter par exemple  $I_b = I_{b,0} + i_b$ , avec  $I_{b,0}$  la valeur du point de polarisation.

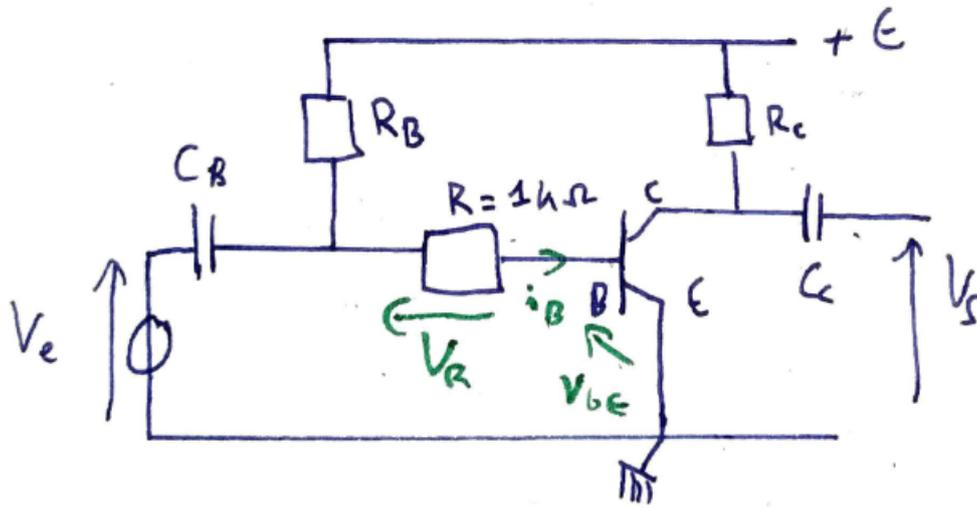
Dans un modèle simplifié, on a la relation  $v_{be} = h_{11}i_b$ . Ce paramètre est important puisqu'il permet de quantifier le gain en tension théorique prévu pour le système :

$$G_v = -\frac{R_c\beta}{h_{11}} \quad (1)$$

On veut discriminer la tension de consigne fluctuante et celle de polarisation : c'est pourquoi on a rajouté des capacités. Leur but est d'être coupante pour le point de polarisation, mais d'être passante pour les petites fluctuations : ça fixe le choix de  $C$  à 10  $\mu F$  en entrée, et au moins 10  $\mu F$  en sortie (on calcule les pulsations de coupure  $1/R_bC$  et  $1/R_cC$ ).

<sup>2</sup>. Au milieu : à droite ça saturerait et à gauche il y a les effets NL de blocage

# Étude de $h_{11}$



$C_C = 10 \mu F$   
 $C_B = 10 \mu F$

FIGURE 4 – Montage

## Calcul de $h_{11}$

➤ Duffait chap 4

⊖ 5min

Le processus est bien expliqué dans le Duffait : on veut faire varier le signal d'entrée, en mesurant à chaque fois  $i_b$  et  $v_{BE}$ .

Pour mesurer  $i_b$ , il faut placer juste devant l'entrée une résistance et utiliser un voltmètre fluke de précision ! On regarde le courant en AC. Pour la tension, un voltmètre normal fait le taf (ne pas prendre la valeur délivrée par le GBF en alim mais bien lire la tension direct).

Pour la résistance, le Duffait recommande  $R = 1 \text{ k}\Omega$ . La valeur de  $h_{11}$  dépend de  $I_b$  le courant de polarisation. On attend d'après le Duffait une valeur d'environ  $35 / I_b \Omega$ , avec  $I_b$  donné en mA.

Petit problème : on constate que le GBF ne descend pas sous 20 mV, et le signal est très vite non linéaire : c'est un problème à discuter à l'oral. On peut rajouter une résistance en entrée pour faire un pont diviseur de tension et descendre plus bas.

Le Duffait prévoit un  $odg \ h_{11} \sim 1000\Omega$ , car  $I_b$  vaut quelques dizaines de  $\mu A$ .

⚡ Ok, on a un amplificateur en tension et un gain théorique. Maintenant on peut caractériser cet amplificateur

## 2.2 Evaluation des caractéristiques de l'amplificateur

On utilise le même montage.

### Caractérisation de l'amplificateur créé

➤ Duffait chap 4

⊖ 5min

On veut évaluer les caractéristiques de cet amplificateur ! on envoie un signal à 1 kHz :

- On mesure l'impédance d'entrée avec la technique de la tension moitié (avec une résistance en série du GBF on vise la tension moitié de celle obtenue pour un fil). On trouve une valeur de qq centaines de Ohm : c'est bien, c'est assez grand devant celle de sortie du micro pour bien transmettre la consigne en tension du micro. <sup>a</sup>
- On mesure la résistance de sortie avec la méthode de la tension moitié (On place une résistance de charge et on vise la tension moitié de celle obtenue en sortie ouverte). On trouve aussi une valeur autour de 1 k $\Omega$  : c'est pas bien, beaucoup trop grand de l'impédance d'entrée du micro, le signal sera pas amplifié.
- On montre la non linéarité du système si le consigne devient trop grande. pour ça, on fait une TF du signal à l'oscillo et on montre l'apparition d'harmoniques.

Enfin, on relève le gain en tension et on compare à la valeur théorique : ça marche assez bien !

a. Pas la mesure la plus importante, je l'ai pas faite par manque de temps.

On branche le haut parleur en sortie micro en entrée, oh ça marche pas ah bah ça doit être du à un problème d'adaptation d'impédance : effectivement la résistance de sortie est de 1000 ohm : c'est beaucoup trop. On va donc faire un montage qui va nous permettre de régler nos problèmes d'impédance.

### 3 Montage Push-Pull

Ce qu'il faut bien comprendre avec ce montage :

- Il n'amplifie pas la tension, cependant son impédance de sortie est bien plus faible que l'émetteur commun : il va amplifier l'intensité et donc la puissance
- Il fonctionne en deux parties qui sont presque symétriques. Un tbip est bloquant pour les tensions négatives, l'autre est alors passant. Pour les tensions négatives, c'est l'inverse.
- Les tbip on un caractère commun avec les diodes : ils ont une tension seuil pour ne pas être bloquant de 0.6 V. C'est ce qui va expliquer la distorsion du signal qu'on observera !

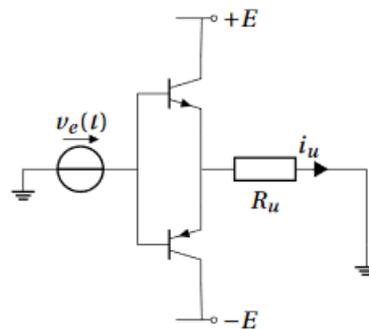


FIGURE 5 – Les 4 cadrans : dessiner un Tbip aussi !

#### Caractériser le Push-Pull

↗ Duffait

⊖ 5/10 min

On envoie un signal de consigne à 1 kHz et une amplitude de 5V : la sortie a la même tension et on peut observer la distorsion associée autour de 0 : c'est dû à la tension seuil des transistor. <sup>a</sup>

On évalue l'impédance de sortie avec un rhéostat ! : l'intensité va être grande donc la boîte à décade ne tiendrait pas. on trouve environ  $R_u = 2 \Omega$  : c'est bcp mieux !

Ensuite, on évalue le rendement pour la résistance optimale  $R_u$  ! Suivre les explications du Duffait pour le faire c'est bien expliqué !

En préparation, j'ai trouvé une puissance très faible, je sais pas pourquoi. A l'oral j'ai manqué de temps et je

n'ai pas pu le faire.

*Commentaire de Philippe Audier à noter pour ce montage : Je pense qu'il est important de signaler que pour voir la distorsion, il faut que le push-pull débite du courant (donc dans un rhéostat et non juste dans l'oscillo, dont l'impédance d'entrée est trop grande). Tu avais fait cette erreur, et d'autres la feront certainement donc il faut le signaler.*

a. Attention à mettre un signal assez grand pour pas qu'il soit complètement écrété par ce seuil)

*Autre commentaire de Philippe Audier : 2 effets obtenus avec le push-pull :*

- Très grande impédance d'entrée (beta fois la résistance de charge donc de l'ordre du kOhm avec le HP en charge) et très faible impédance de sortie ( $h_{11}/\beta$  donc de l'ordre du ohm) donc plus de problème de chute de tension entre l'émetteur commun et le HP.
- Et en plus, le push-pull amplifie le courant, sans toucher à la tension, donc on amplifie encore plus la puissance (gain en puissance égal au produit des gains de l'EC et du push-pull si tout est idéal).

Super, on a réussi à amplifier notre micro ! On a vu que c'était au prix d'une distorsion du signal dont on a identifié au moins deux sources : la non linéarité de l'émetteur commun et l'écrêtage du push-pull.

Bien sûr, il existe d'autres méthodes et de nos jours on trouve des systèmes tout fait ! On peut citer l'AO bien sûr, qui permet avec un simple montage inverseur d'amplifier le signal. Mais il y aurait quand même une déformation et des choses à étudier...

## Bonus : AO inverseur

Si on a encore du temps (!) on peut faire ça avec des résistances de 20  $\Omega$  et 1 k $\Omega$ .

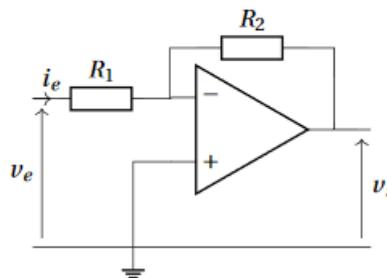


FIGURE 3.7 – Mesure du slew-rate sur un circuit amplificateur inverseur.

FIGURE 6

On se rend compte que l'AO règle tous nos problèmes : il est suffisant pour amplifier notre signal (on règle son gain avec les valeurs de résistance). En plus l'impédance d'entrée est infinie. Ça montre l'utilité de l'AO...

Qualitativement on peut essayer d'observer le slew-rate (la pente de la sortie est limitée, ce qui triangularise le signal si la fréquence et l'amplitude sont trop grandes) ou le caractère passe bas à haute fréquence...

## Bonus : Résonateur de Helmholtz

**Au final beaucoup de correcteurs peuvent tiquer sur cette vision de l'amplification. Moi je trouve que ça se défend bien : on rend bien un signal détectable alors qu'il ne l'était pas avant. Cependant on injecte pas d'énergie, ce qui peut étonner. Au final, c'est trop risqué de parler de ça pour ce montage, et les autres manips remplissent largement les 30min.**

Avant de rentrer dans le dur, on peut commencer plus simplement. Prenons la musique : on a su amplifier le signal d'un instrument bien avant l'électronique. Pour cela, on s'est contenté d'exploiter la résonance d'un système (ici des cavités résonantes).

L'idée repose sur ce constat : si j'injecte un signal dans un système à sa résonance, il est possible que la sortie ait une amplitude supérieure à l'entrée<sup>3</sup> (exemple : RLC ou les résonateurs qu'on voit ici).

## Résonateurs de Helmholtz

🔗 poly de TP et Garing : ondes mécaniques et diffusion ☹ Moins de 5min

L'idée ici est juste de comparer la fréquence de résonance du plus gros résonateur à celle évaluée théoriquement :

$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{VL}}$  avec A et L la section et la longueur de la petite ouverture et V le volume du résonateur.

Les incertitudes sont ici bien sûr énormes, c'est issu d'un modèle très simple : on attend un résultat vers 100 Hz.

On place un micro dans le résonateur sont on lit le signal à l'oscillo, et on met un haut parleur devant l'entrée. on fait varier la fréquence du haut parleur jusqu'à observer un maximum dans la fréquence du micro.

Bon, on comprend qu'on arrive à amplifier un peu le son, et avec un système passif qui coûte rien en énergie!  
*Commentaire du correcteur : Toute la subtilité est là : si par amplifier, on entend augmenter l'énergie, il n'est pas physiquement possible de le faire sans source d'énergie extérieure. Dans le cas du résonateur, l'énergie n'est pas accrue, mais elle est mieux transmise, c'est-à-dire qu'elle n'est pas dissipée ailleurs. Comme j'ai dit jeudi, ça me paraît limite et risqué...*

## 4 Montage surprise passage du 31/03

Qu'est-ce que tu peux faire avec deux bobines, du fil à coudre, une ampli et un oscillo et un aimant. Oscillations autour d'une position d'équilibre stable mais comment retrouver  $\mu$ . Il faudrait revenir au lien entre la pulsation et  $\mu$ .

$$U(\theta) = -\mu \cos(\theta)B \quad (2)$$

Ok mais juste en écrivant juste le TMC :  $J\ddot{\theta} = \theta\mu B$  donc la pulsation  $\omega = \sqrt{\frac{\mu B}{J}}$

Comment mesurer le plus précisément possible la période? On relie le teslamètre à l'oscillo or variation périodique du champ donc c'est super. On peut négliger le couple de torsion du fil (100 fois plus petit). Et puis  $J = mL^2/12$  pour un cylindre.

### Montage surprise

Il est cool ce montage surprise à garder pour d'autres montages. C'est probablement plus simple que de faire la mesure avec une balance

## Questions

- **Le push-pull : est-ce que tu peux refaire le branchement pour essayer de voir quelque chose en sortie?** La distorsion on la voit que si le push pull sort du courant : elle est due à la tension de seuil de la diode mais c'est une notion qui va dépendre du courant délivrée. Ici il faut sortir du courant pour que le seuil ne soit pas trop petit. DU coup, si on met juste un oscillo, on va rien voir!
- **Bon du coup à retenir que Francis avait raison : il faut une tension suffisamment grande pour voir l'écrêtage (plus grand que la tension de seuil).**
- **Revenons sur le problème de  $h_{11}$  : c'est beaucoup trop grand : on devrait trouver 1 k $\Omega$ . Comme le gain expérimental est ok c'est la mesure qui pose problème. Sinon le faire avec  $g \sim 30I_c R_c$**
- **Est-ce qu'on peut regarder une mesure de  $h_{11}$ ?** Peut-être le branchement du voltmètre de précision qui pose pb? Non en fait erreur avant
- **C'est quoi le rôle des capa** Bloquantes pour polarisation et passante pour le signal traversé?
- **En fait  $R_c$  c'est ta résistance de sortie** question : du coup le pb c'est qu'on a soit un gain pourri soit une impédance de sortie pourrie?
- **T'as dis des choses fausses : "il faut que l'impédance de sortie soit faible pour transmettre le courant" Faible devant quoi?** devant la résistance de charge

3. Attention : à aucun moment on augmente l'énergie mise dans le système, contrairement à avant où on avait de systèmes actifs. Ici, on augmente la puissance acoustique rayonnée, mais en contrepartie le système émet moins longtemps. On le voit bien avec les diapasons.

- **Pourquoi est-ce que sur le schéma de la caractéristique tu as écrit  $E - V_{CE}$  y'a pas de  $v_{CE}$ .** Ok c'était juste mal écrit, le mettre de l'autre côté pour que la confusion avec l'ordonnée à l'origine ne soit pas possible.
- **Problème de sémantique : on ne met pas un montage (quadripole) en série mais en cascade.**
- **Tu as dit que peut-être que c'était problématique de changer la résistance pour  $h_{11}$ . Ça explique que le point n'était pas cohérent mais pas que tous les autres n'étaient pas cohérent.**

## Remarques

- SI tu résouds les problèmes y'a sûrement une bonne note à la clé.
- Globalement les manips sont cools c'est pas si grave de pas faire la dernière mesure
- *Le montage est compliqué, il faut lire de la théorie pour le comprendre (et se renseigner sur le tbip). J'ai essayé de détailler le fonctionnement des circuits. Par contre, au passage on a pas le temps de tout expliquer<sup>4</sup>, les 30min passent trop vite! Il faut donc bien gérer son temps et avancer si on veut pouvoir tout faire. Perso, j'ai trop expliqué et j'avais plus que 3min pour le push pull.*

---

4. Et c'est pas le but, il faut manipuler en montage