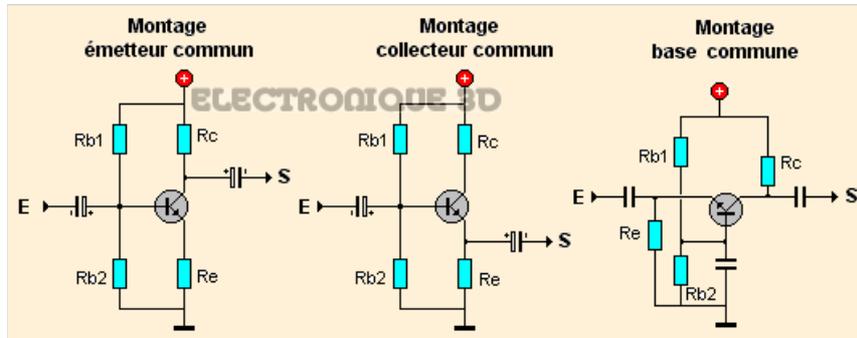


## Montages fondamentaux du transistor



Quatre résistances polarisent le transistor, c'est le meilleur. Mais on peut utiliser aussi seulement deux résistances pour un fonctionnement correct.

**1- Montage émetteur commun :** L'entrée se fait sur la base et la sortie sur le collecteur. L'impédance (résistance virtuelle) d'entrée est de quelques Kilos, elle dépend pour beaucoup aux résistances  $R_{b1}$ - $R_{b2}$ . L'impédance de sortie dépend de la résistance  $R_c$ . La phase du signal de sortie est inversée. Le gain est élevé. C'est le montage que l'on prendra en BF pour amplifier le signal.

**2- Montage collecteur commun :** L'entrée se fait sur la base et la sortie sur l'émetteur. L'impédance d'entrée est plus élevée que le montage émetteur commun. Par contre, l'impédance de sortie est basse. Le signal de sortie est en phase avec le signal d'entrée. Ce montage n'a pas de gain. On l'emploie souvent comme adaptateur d'impédance.

**3- Montage base commune :** L'entrée se fait sur l'émetteur et la sortie se fait sur le collecteur. L'entrée est à basse impédance, la sortie à moyenne impédance. Le signal de sortie est en phase. Ce montage présente un gain élevé. Ce montage est surtout utilisé en HF.

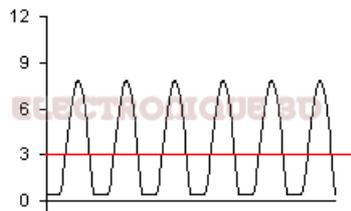
### Amplification d'un signal alternatif :

- J'entends par alternatif de la musique par exemple. En effet, la musique ou la parole est un signal alternatif modulé en amplitude et en fréquence.
- Voici en quoi cela ressemble :

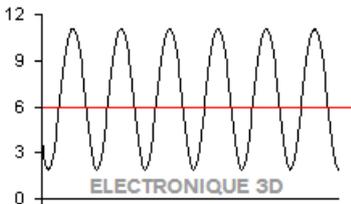


- Je prends comme exemple un préampli alimenté en 9 Volts. L'amplitude maximale théorique que peut atteindre le signal est de 9 Volts crête à crête. Si je veux que le signal soit amplifié sans écrêtage, il faut que cette amplification se fasse à la moitié des 9 V, soit 4,5 volts. Autrement, il y a un écrêtage du signal, soit en haut, soit en bas. Les résistances sont calculées en tenant compte de cet impératif.

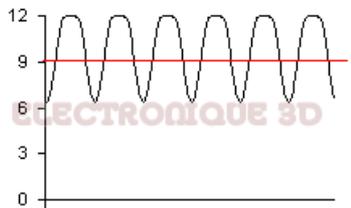
- Regardes la figure "**Mesure C-E**". Si la résistance  $R_e$  à 1 Volt a ses bornes, il ne reste comme excursion  $9-1=8$  Volts. C'est cette tension qui doit être divisée par 2, soit 4 Volts. La mesure de cette tension doit se faire entre Collecteur et Émetteur et non pas entre Collecteur et masse. Si la tension est mesurée par rapport à la masse, elle est de 5 Volts.



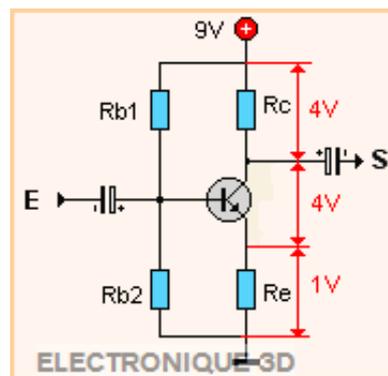
Mauvaise polarisation



Bonne polarisation



Mauvaise polarisation



- Une mauvaise polarisation entraîne de la distorsion. Si c'est un pré-ampli micro, le problème ne se pose pas, le signal de sortie n'atteindra jamais les 8 volts crête à crête. Mais il y a des montages où ce problème se posera. Si tel est le cas, il faudra procéder avec plusieurs transistors. Par exemple pour un gain total de 120, mettre par exemple deux transistors amplifiant l'un 10, l'autre 12 fois. On évite ainsi un écrêtage dissymétrique du signal, et on limite aussi le bruit de fond du transistor. En effet plus le transistor amplifie, plus l'agitation des électrons augmente, par exemple en Hi-fi cela génère un bruit de souffle dans les enceintes. On évite une auto-oscillation du transistor ce qui arrive parfois. Cette oscillation haute fréquence, inaudible donc difficile à détecter sans oscilloscope, entraîne une surchauffe du transistor.

## Pour un minimum de distorsion ne pas faire travailler les transistors à leurs limites maximales.

### Exemple de polarisation d'un transistor:

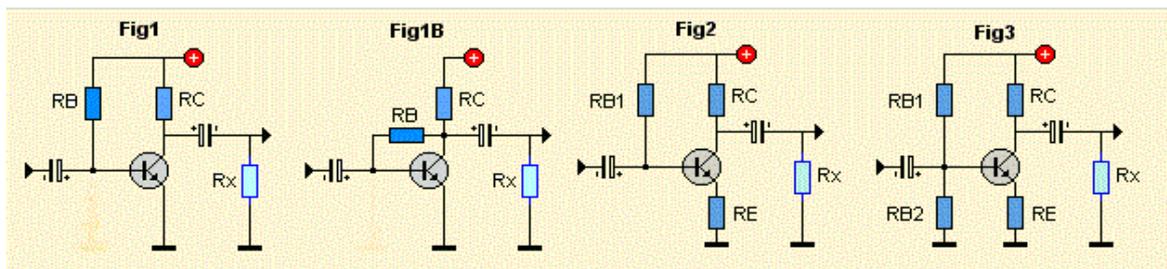
- Nicolas, on aborde ici le sujet épineux, qu'est la polarisation des transistors. Vaste sujet, générant de nombreux maux de tête, voir des céphalées chroniques persistantes. Bien des livres et des pages internet abordent le sujet. Il va sans dire que le lecteur lambda hallucine devant les équations développées à longueur de

page. Nicolas si cela te tente, tu vas ICI

- \*¶-?? Ce que c'est, que ça que c'est ?

- Hé oui Nicolas, hé oui... Il m'a même été rapporté qu'un retraité voulant s'y instruire, de dépit il s'est mis à la chopine, non sans avoir mis la mémé et le chat dehors. Mais rassures toi, on va faire plus simple...

- **Montage émetteur commun.**



### Polarisation à deux résistances : Figure 1

- Tous les calculs sont faits en partant d'une tension de 9 Volts et avec un transistor X ayant un gain moyen de 150 fois pour  $I_c=10\text{mA}$ .

Tout d'abord, la résistance  $R_x$  est une résistance "fictive". Elle représente la "charge" en sortie du transistor, qui peut être l'impédance du circuit suivant, ou tout simplement une résistance réelle ou un potentiomètre.

- On commence par calculer  $R_C$ . Pour ce faire, on se fixe un courant de repos  $I_c$  ici 10 mA. Ce courant de repos peut aller de quelques  $\mu\text{A}$  à quelques milliampères. Dans les amplificateurs HiFi, on choisit un courant  $I_C$  plutôt faible, pour des raisons de bruit intrinsèque du transistor. On se fixe également la tension de repos  $U_c$ , qui sera égale à  $U/2$  comme vu plus haut donc 4,5 Volts.

**Calcul de  $R_C$ :** Avec un gain ( $\beta$ ) moyen de 150 Fois.

$$R_C = U_c/I_c \text{ d'où } 4,5\text{V}/0,010 = 450 \text{ Ohms (} R=U/I \text{)}$$

**Calcul de  $R_B$ :** On sait que  $I_b = I_c/\text{Gain } (\beta)$  d'où  $0,010/150 = 0,000066 \text{ A}$ .

On se souvient que la base est toujours positive de 0,7 Volt par rapport à l'émetteur (voir plus haut). Donc différence de potentiel sur  $R_B = 9 - 0,7 = 8,3\text{V}$ .  $R_B = 8,3/0,000066 = 124,6 \text{ K}$ . Ce qui donne en valeur de résistance normalisée.  $R_C = 470 \text{ Ohms}$  et  $R_B = 120 \text{ K}$

Ce montage présente peu d'intérêt, il est sous influence de la dérive thermique (le gain du transistor change en fonction de la température). À savoir aussi que le gain d'un transistor varie beaucoup d'un transistor à l'autre. Le point de fonctionnement se trouve donc changé d'un transistor à l'autre. Ce genre de polarisation est juste bon pour un pré-ampli micro vite fait. La courbe de réponse avec les résistances calculées va de 20 Hz à plus de 100kHz pour un gain de 40 dB (100 fois).

### - Polarisation à deux résistances : Figure 1B

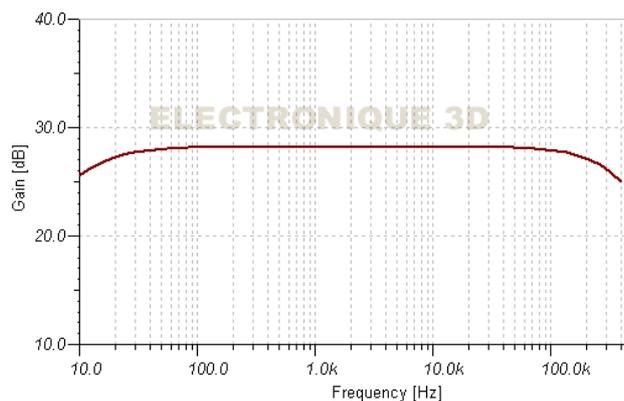
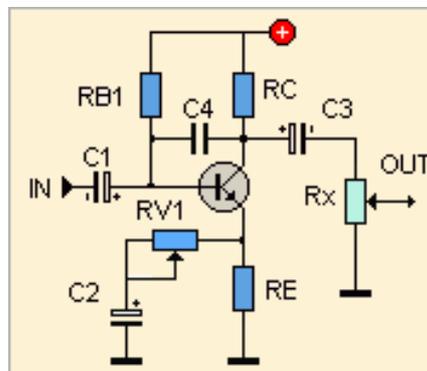
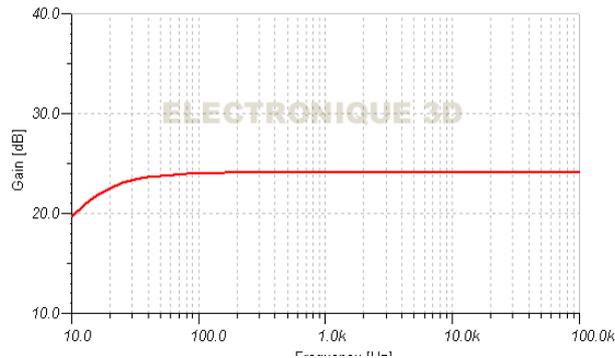
Voilà qui est mieux comme polarisation, elle est dite "par contre réaction du collecteur". Le montage est compensé en température.

Pour ce qui est du calcul de  $R_B$ , celle-ci n'est plus au 9 Volts de l'alimentation, mais câblé sur le collecteur du transistor.

Sa valeur se calcule à partir de  $U/2 = 4,5 \text{ V}$ .

Différence de potentiel sur  $R_B = 4,5 - 0,7 = 3,8V$ .

$R_B = 3,8 / 0,000066 = 57 K$ .  $R_C = 470 Ohms$ . Le gain du montage est aussi de 40 dB environ.



### - Polarisation à 3 résistances : Figure 2

- Voilà qui est beaucoup mieux comme polarisation, elle est dite "par contre réaction de l'émetteur". La dérive thermique est compensée par la résistance  $R_E$ . Pour les calculs, je prends le gain moyen d'un transistor = 150,  $R_x = 10K$ , tension alimentation  $U = 9$  Volts.

La résistance  $R_E$  doit être au minimum 5 fois plus faible que la résistance de charge ( $R_x$ ). Si je veux une amplification de 20 fois, et sachant que pour ce genre de polarisation le gain du montage est d'environ  $R_C/R_E$ .

On a vu que la tension collecteur doit être d'environ  $U/2 = 4,5$  Volts.

**Calcul de  $R_C$**  :  $R_C = R_x / 5 = 2000 \text{ Ohms}$ , normalisée 2200 Ohms

**Calcul de  $R_E$**  :  $R_E = R_C / 20 = 110 \text{ Ohms}$ , normalisée 120 Ohms

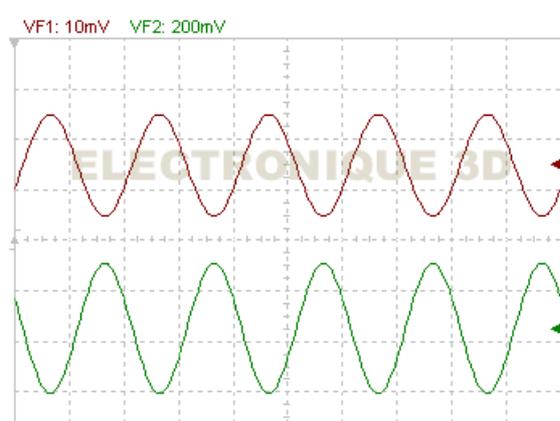
**Intensité  $I_c$**  =  $4,5 / (2200 + 120) = 0,0020 \text{ (I=U/R)}$ .  $I_b = 0,0020 / 150 = 0,000013 \text{ A}$

On sait que  $I_b = I_c / \text{Gain}$ . Pour connaître la tension présente sur la base, il nous faut connaître la tension sur  $R_E$ .  $U_{R_E} = 120 * 0,0020 \text{ A} = 0,24 \text{ Volts (U=R*I)}$ . On en déduit que  $U_{\text{base}} = 0,24 + 0,7 = 0,94 \text{ Volt}$ . (La base est positive par rapport à l'émetteur de 0,7V)

Tension aux bornes de  $R_b$  =  $9 - 0,94 = 8 \text{ V}$

**Calcul de  $R_{B1}$**  :  $U_{R_{B1}} = 8 \text{ V} / 0,000013 \text{ A} = 615 \text{ K}$ . Valeurs normalisées des résistances =  $R_E = 120 \text{ Ohms}$  -  $R_C = 2,2 \text{ K}$  -  $R_{B1} = 620 \text{ K}$ . Avec les résistances ainsi calculées et la sortie chargée par 10K ( $R_x$ ), le gain est de 24 dB, soit 16 fois environ au lieu des 20 souhaités. **(Figure 4)**

- Courbe de réponse du montage:



**Figure 6 :**

- Si l'on juge le gain insuffisant, il est possible de l'augmenter en insérant en parallèle sur  $R_E$  un ajustable et une capacité. Ce condensateur ne perturbe en rien la polarisation du transistor vu qu'une capacité ne conduit pas les tensions continues. Par contre, elle entre en action dès la présence d'un signal alternatif à l'entrée.- C'est la réactance capacitive du condensateur qui est mis en parallèle sur  $R_E$ , elle va pour ainsi dire court-circuiter en alternatif  $R_E$ , d'où une augmentation du gain du montage. Le gain allant ainsi de 20 à 42 décibels (28 décibels en position médiane) Figure 5.

Sur l'oscillogramme (figure 6 (droite)), tu remarques Nicolas le déphasage ( $180^\circ$ ) de la sortie par rapport à l'entrée, remarques aussi l'amplification. En Haut (rouge) l'amplitude est de 20 mV crête à crête, en bas (vert) l'amplitude est de 500 mV crête à crête.

- Le condensateur  $C_4$  limite les ardeurs en haute fréquence du transistor à 100 KHz environ. Ceci est visible sur la courbe de réponse. (Figure 6 (gauche)).

Valeur des composants  $R_E = 120 \text{ Ohms}$  -  $R_C = 2,2 \text{ K}$  -  $R_{B1} = 560 \text{ K}$  -  $R_{V1} = 100 \text{ Ohms}$  -  $C_1 = 10 \mu$  -  $C_2 = 220 \mu$  -  $C_3 = 10 \mu$  -  $C_4 = 220 \text{ pF}$  - Potentiomètre 10 K.

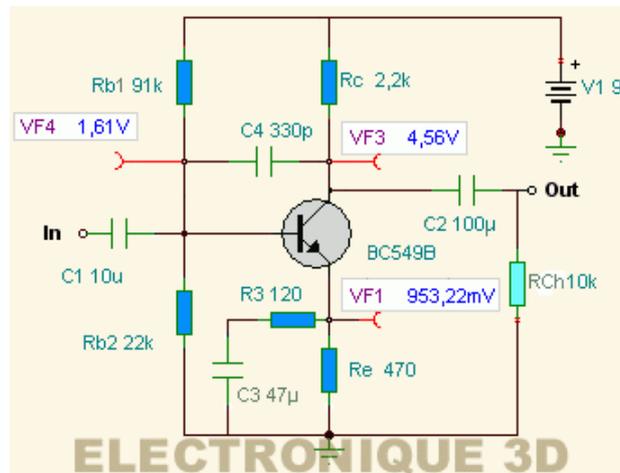
### - Polarisation à quatre résistances : Figure A

Cette configuration est le mieux, pour calculer les composants, je me fixe des paramètres.

- 1- Le courant collecteur  $I_c = 0,002 \text{ A}$ .  $I_b$  sera donc de  $I_c / \text{Béte} = 0,000008 \text{ A}$
- 2- Une tension émetteur de 1 Volt.

3- Tension d'alimentation  $U = 9$  volts.

4 - Le transistor est un BC 549B. Son Béta est estimé à 250.



- Rappelle-toi Nicolas, que  $I_c = I_e$  (environ). Tu te souviens également que le collecteur doit être à la tension  $U/2$ . Vu la chute de tension dans  $R_e$  il reste  $U = 9 - 1 = 8$  Volts disponibles.

**Calcul de  $R_c$**  :  $R_c = (8/2) / 0,002 = 2K$

**Calcul de  $R_{b2}$**  : Pour le calcul de cette résistance, on prend  $I_b \cdot 10$  soit  $0,00008A$ .

Tu te souviens Nicolas que  $U_b = U_e + 0,7$  Volt, soit  $1 + 0,7 = 1,7V$  (la base est supérieure de  $0,7$  v par rapport à l'émetteur).

Donc  $R_{b2} = 1,7 / 0,00008 = 21,250 K$

$R_{b1} = (9 / 0,00008) - R_{b2} = 91,250K$ .

$(9 / 0,00008)$  est la résistance totale du pont résistif  $R_{b1} + R_{b2}$  qui est égal à  $U/I$  ).

- Impédance d'entrée du montage :  $Z_{in} = R_{b1} // R_{b2} // h_{11} = 3,6K$  environ.

$(h_{11}$  est appelé aussi  $h_{ie}$  dans certains datasheet, ce terme indique la résistance d'entrée du transistor, elle est donc exprimée en  $K\Omega$ . Cette résistance varie en fonction de la polarisation du transistor, ainsi que de la fréquence du signal). Voir datasheet [BC 107](#) et du [2N2222](#) par exemple. (format PDF).

À savoir également que tous les datasheet ne donnent pas cette indication.

Le montage a été testé en réel et avec le simulateur TINA. Les tensions calculées par TINA sont proches des calculs ci-dessus. Le gain est de  $24$  dB, défini par  $R_3 - C_3$ . La capacité  $C_4$  limite les hautes fréquences à  $120$  KHz environ.

Les condensateurs  $C_1$  et  $C_2$  sont des condensateurs de liaison, ils n'interviennent pas dans les calculs. Ne laissant passer que le signal alternatif, ils isolent le montage d'éventuelles composantes continues susceptibles de se trouver à l'entrée comme à sa sortie et pouvant le perturber. Voir le montage suivant où  $C_1$  isole le transistor de la tension continue alimentant le micro à électret. Ils évitent aussi de perturber les étages suivants des composantes continues propres au montage.

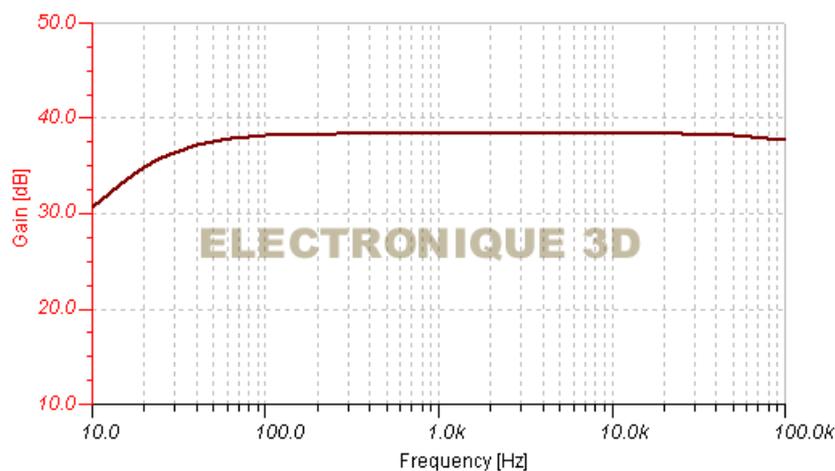
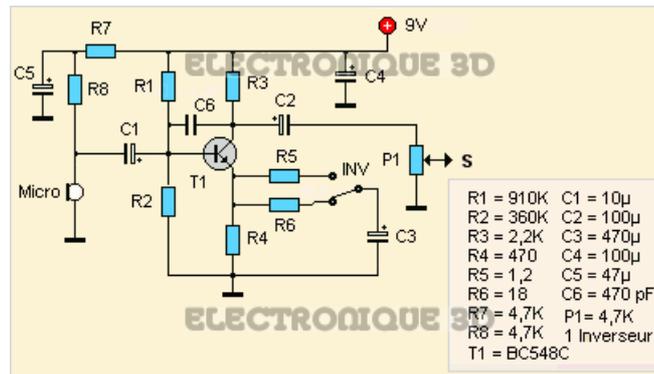
- Les capacités  $C_1$  et  $C_2$  devront être dimensionnées en fonction de la fréquence de coupure voulue. En effet, on peut assimiler l'impédance d'entrée à une résistance. Elles forment donc un filtre passe haut. Une capacité de faible valeur limite donc les basses fréquences.

Valeur normalisée des résistances  $R_c = 2,2K$   $R_e = 470$  Ohms  $R_{b2} = 22K$   $R_{b1} = 91K$ . Les tensions indiquées sont calculées avec ces résistances.

**Calcul de  $R_e$**  :  $R_e = 1 / 0,002 = 500$  Ohms ( $R = U/I$ )

Un petit logiciel bien sympa, TransistoAmp est disponible dans la page des exécutable. La preuve ce petit préampli micro présenté ici, réalisé avec ce logiciel.

- Les données rentrées dans ce logiciel sont. Gain 20 - 9 Volts - Z In= 50K - Z Out = 2K - Résistances série E24, transistor BC 548



- Cette polarisation est la meilleure. On remarque la similitude des montages Figure 7 et Figure 5. La base est polarisée par RB1 et RB2. Le condensateur C3 est en parallèle sur R4 via R5 et R6. Le gain est donc réglable en fonction de l'inverseur de 32 et 38 dB (40 dB sans R5 ). Ce préamplificateur utilise un micro à électret. Ce genre de micro a besoin d'une tension continue pour fonctionner. La valeur de la résistance de polarisation est d'environ 10K pour 12 Volts. On peut mettre qu'une seule résistance, mais ici, j'ai mis deux résistances d'égales valeurs, un condensateur de filtrage est ajouté, afin de limiter le bruit de l'alimentation.

### - Montage collecteur commun: Figure 9

- Pour rappel, l'entrée se fait sur la base et la sortie sur l'émetteur. L'impédance d'entrée est plus élevée que le montage émetteur commun. Par contre, l'impédance de sortie est très basse. Le signal de sortie est en phase avec le signal d'entrée. Ce montage n'a pas de gain. On l'emploie souvent comme adaptateur d'impédance.

- Toujours avec le logiciel TransistorAmp, on peut calculer les composants sans se dilater la rate.

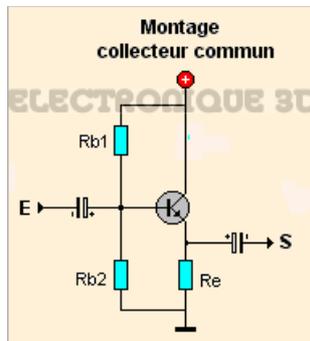


Figure 9

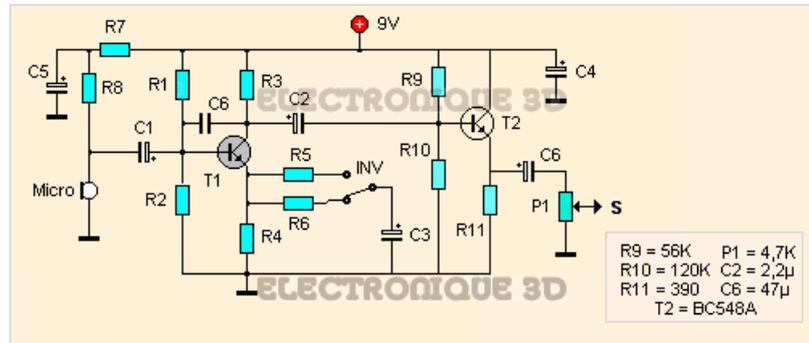


Figure 10

Voici figure 10, un préampli réalisé avec TransistorAmp. Ce préampli reprend le schéma de la figure 7, auquel est ajouté T<sub>2</sub> monté en collecteur commun.

Afin de ne pas claquer un transistor, voici les valeurs limites du transistor à ne pas dépasser.

1. **I<sub>c</sub>**: Courant collecteur.
2. **V<sub>ce</sub>**: Tension maximale Collecteur-Émetteur.
3. **P<sub>tot</sub>**: Puissance maximale qu'il peut dissiper à une température de 25°. Voir exemple de calcul.
4. **V<sub>cb</sub>**: Tension maximale entre collecteur et base.
5. **V<sub>eb</sub>**: Tension maximale inverse entre base et émetteur.
6. Est mortelle une inversion de polarité, un dépassement de la tension émetteur-collecteur (V<sub>ce</sub>), un dépassement de la température (P<sub>tot</sub>).

### Paramètres importants du transistor.

**H<sub>fe</sub>**: Indique le rapport entre le courant collecteur et base. Le Béta ou Gain sont pratiquement identiques au H<sub>fe</sub>.

**h<sub>11</sub>**: ou **h<sub>ie</sub>**: Indique la résistance d'entrée du transistor.

**F<sub>t</sub>**: C'est la fréquence de coupure (fréquence maximale) que peut passer le transistor.

Les lettres A-B-C marquées sur les transistors correspondent au gain (β). C est le gain maximum garanti.

- Tu vois Nicolas, que cela n'est pas sorcier de polariser un transistor, un peu de logique, une calculatrice et une bonne compréhension du fonctionnement du transistor suffit.

- Il ne faut pas chercher à trouver sur un montage exactement les tensions calculées sur le papier, en effet il y a les tolérances des composants qui influent, le gain du transistor aussi, qui lui varie parfois considérablement.

Voilà Nicolas, pour ce qui est du transistor, un aperçu qui devrait t'aider.