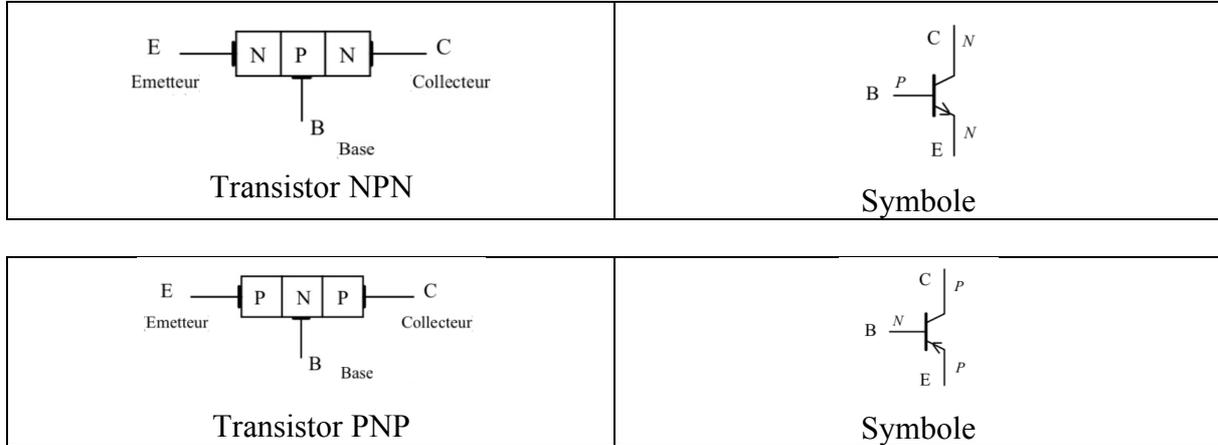


Chapitre 8 : Transistors bipolaires

I. Présentation et relations fondamentales

1. Description et symbole

Le transistor bipolaire est constitué de trois semi-conducteurs dopés et séparés par deux jonctions PN. Il peut être de type NPN ou PNP.



Les 3 régions du transistor sont appelées émetteur, base et collecteur

- Émetteur : fortement dopé, son rôle est de fournir des électrons à la base
- Base : légèrement dopée et très mince, elle transmet les électrons de l'émetteur au collecteur
- Collecteur : la plus grande des trois régions, il recueille les électrons de la base

2. Effet transistor

La jonction base-émetteur (BE) est sous polarisation directe et la jonction base-collecteur (BC) est sous polarisation inverse. Les électrons circulant de l'émetteur vers la base ne se recombinent pas mais diffusent vers la région d'appauvrissement BC. Une fois dans cette région, ils sont tirés par le champ de la région d'appauvrissement. En réalité, les électrons sont tirés à travers la jonction BC sous polarisation inverse par l'attraction de la tension appliquée au collecteur.

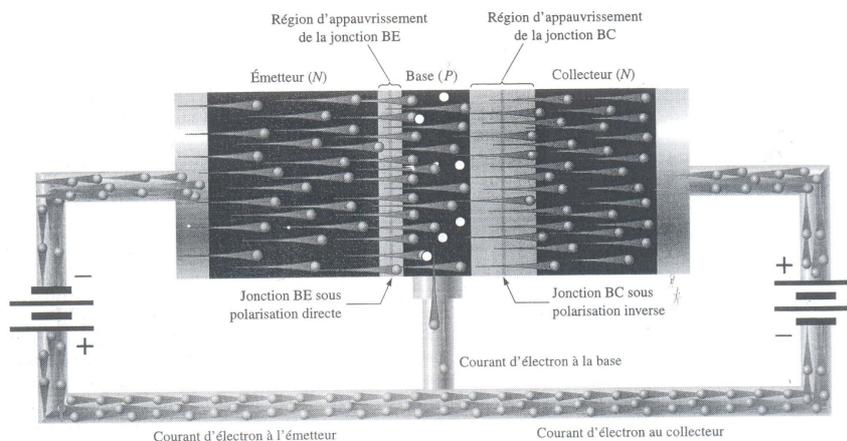
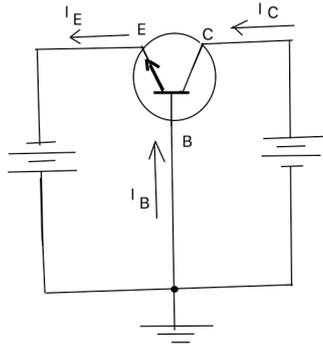


Figure 1 : Effet transistor

3. Relations fondamentales

Considérons le circuit suivant où la jonction BE est sous polarisation directe et la jonction BC est sous polarisation inverse :



On a :

- Effet transistor

$$I_C = \beta I_B$$

β est le gain en courant du transistor; c'est une caractéristique du transistor.

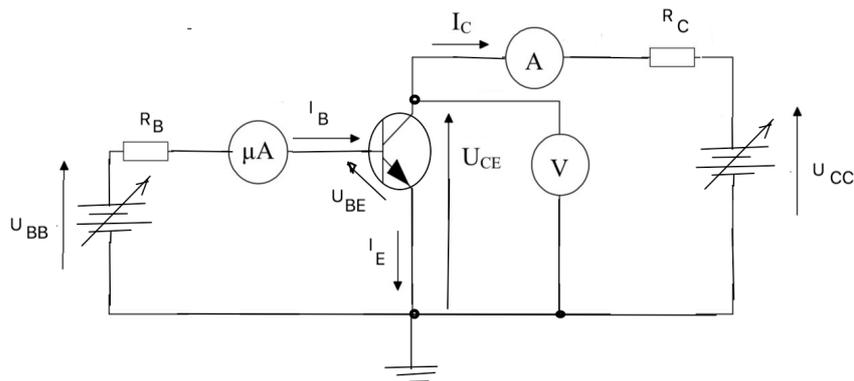
- Pour $\beta \gg 1$

$$I_E = I_C + I_B = (\beta + 1)I_B \approx \beta I_B = I_C$$

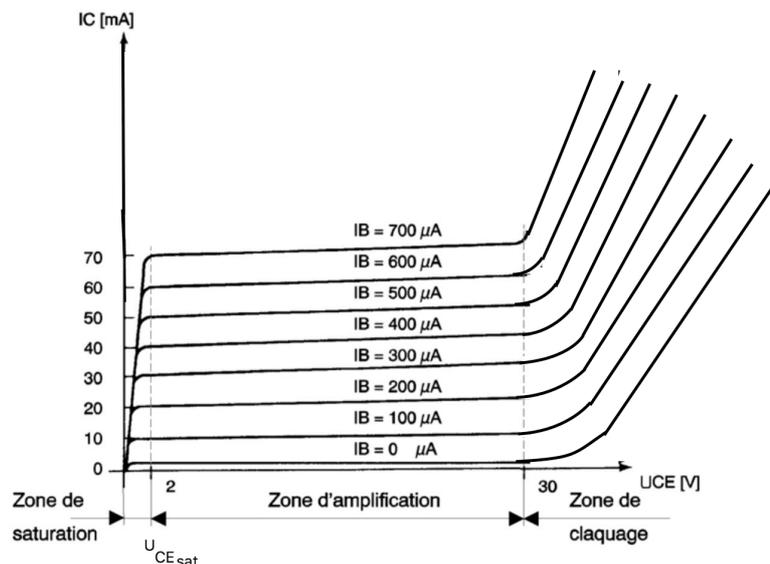
II. Caractéristiques des transistors bipolaires

1. Le courant de collecteur I_C en fonction du courant de base I_B et de la tension collecteur émetteur U_{CE}

a. Schéma du montage



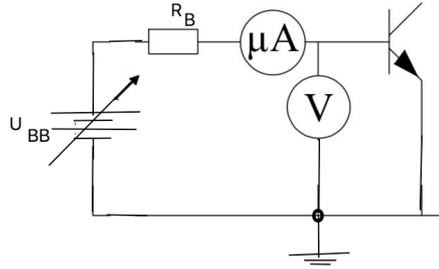
b. Réseau de courbes obtenus



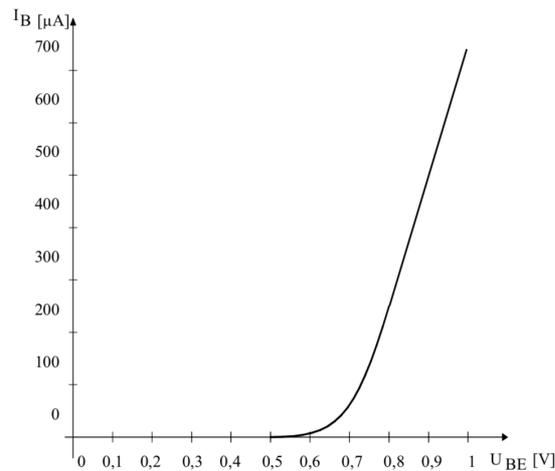
Chaque courbe correspond à un courant I_B maintenu constant pendant la mesure.

2. Courant de base I_B en fonction de la tension base-émetteur

a. Schéma du montage



b. Courbe obtenue



La jonction Base-émetteur ne supporte pas de tensions inverses élevées. La tension de claquage se situe vers -5 V à -20 V.

III. Zones de fonctionnement

Il existe trois zones de fonctionnement :

1. Zone de saturation

Dans cette zone, U_{CE} est faible (de 0 à quelques dixièmes de volt)

$$I_{C_{sat}} = \frac{U_{CC} - U_{c_{sat}}}{R_C}$$

$U_{c_{sat}}$ est faible devant U_{CC}

La condition de saturation est donnée par :

$$I_B > \frac{I_{C_{sat}}}{\beta_{CC}}$$

Le circuit collecteur-émetteur est équivalent à un interrupteur fermé.

2. Zone linéaire ou d'amplification

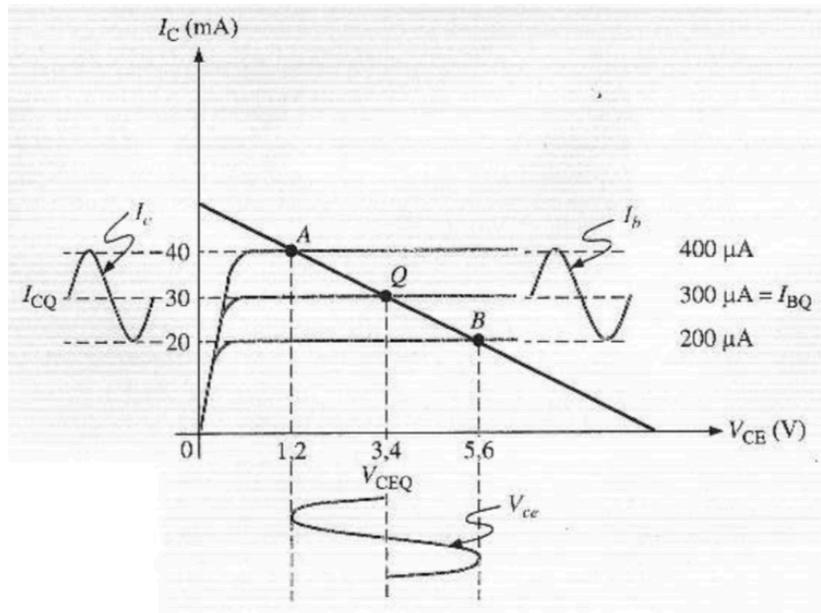
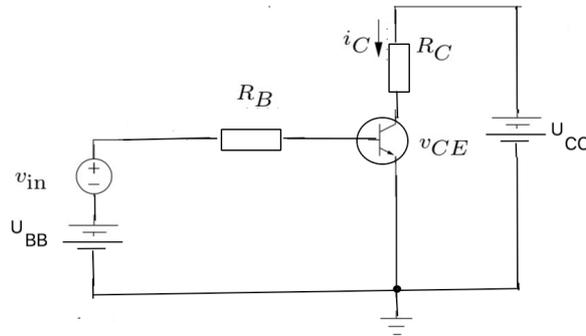
Lorsque $U_{CE} > U_{CE_{sat}}$, le transistor passe dans sa région linéaire. I_C augmente légèrement lorsque U_{CE} augmente. Il dépend de I_B .

$$I_C = \beta I_B$$

IV. Polarisation d'un transistor bipolaire

1. Qu'est-ce-que la polarisation ?

La polarisation a pour rôle de placer le point de fonctionnement Q du transistor dans une zone où ses caractéristiques sont linéaires. Elle impose au transistor des valeurs de courant et de tension continues.



- Droite de charge

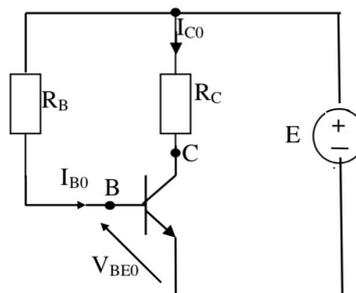
Dans le circuit du collecteur on a : $-U_{CC} + R_C I_C + U_{CE} = 0$

$$\Delta : I_C = f(U_{CE})$$

$$I_C = \frac{U_{CC} - U_{CE}}{R_C}$$

- La zone linéaire située la zone de saturation et la zone de blocage

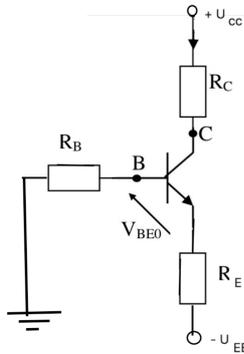
2. Polarisation par la base



La polarisation par la base donne un point de fonctionnement $Q(I_{C0}, V_{CE0})$ instable car I_{C0} et V_{CE0} sont affectés par les variations de β qui varie avec la température.

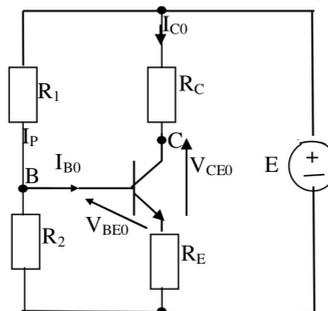
3. Polarisation par l'émetteur

La polarisation par l'émetteur utilise à la fois une tension d'alimentation positive et une tension d'alimentation négative



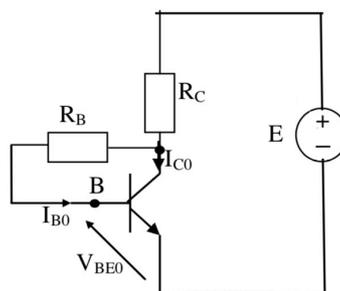
La polarisation par l'émetteur peut fournir un point Q stable lorsqu'elle est configurée correctement.

4. Polarisation par diviseur de tension



La polarisation par diviseur de tension est largement utilisée car elle fournit une bonne stabilité à partir d'une seule source d'alimentation.

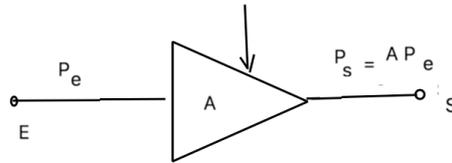
5. Polarisation avec rétroaction au collecteur



Le circuit avec rétroaction au collecteur maintient un point Q stable.

V. Amplificateurs bipolaires aux faibles signaux

Le rôle principal de l'amplificateur est d'augmenter le signal utile en ajoutant de l'énergie prélevée par une source d'alimentation



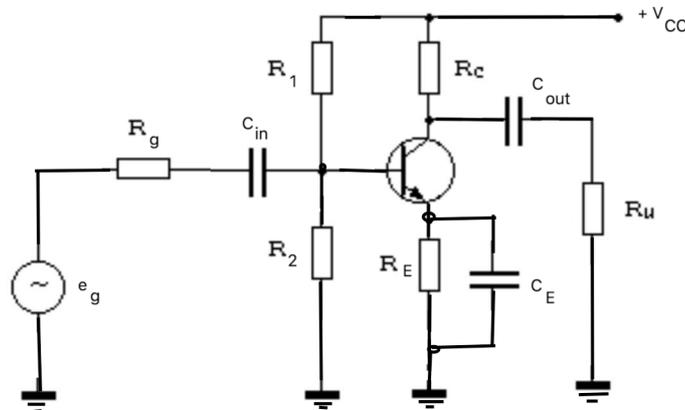
L'amplificateur peut être réalisé à partir de transistors ou de circuits intégrés

1. Théorème de superposition

L'étude d'un amplificateur est complexe car les sources à courant continu (DC) et à courant alternatif (CA) sont présentes simultanément dans le même circuit. Ainsi, en utilisant le théorème de superposition, on additionne les effets de chaque source prise séparément.

2. Montage émetteur commun

a. Schéma de principe



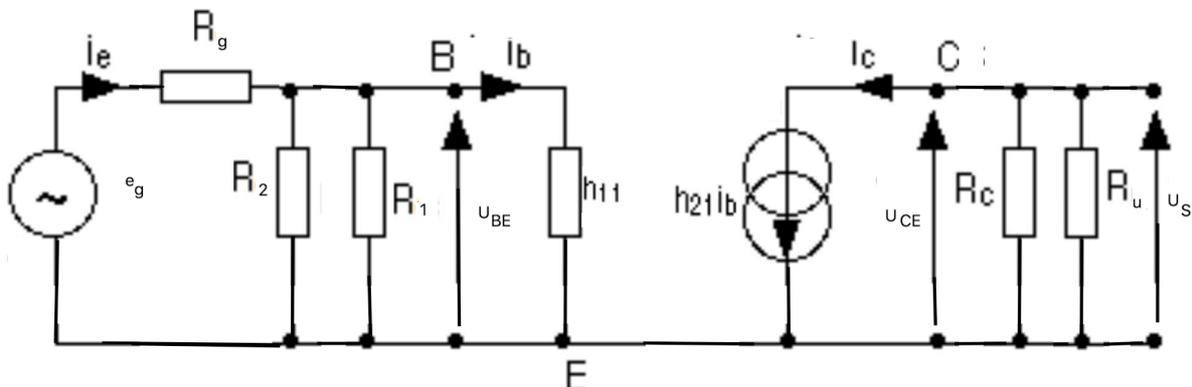
C_{in} et C_{out} sont des condensateurs de couplage. Un condensateur de couplage transmet un signal alternatif d'un point qui n'est pas à la masse à un autre qui lui non plus n'est pas à la masse.

C_E est un condensateur de découplage. Il couple à la masse un point qui n'y ait pas.

Pour que les condensateurs puissent jouer convenablement leurs rôles. Il faut que la réactance du condensateur X_c soit négligeable. Aux fréquences considérées donc leurs impédances sont nulles ; ainsi ils sont en court-circuit.

b. Analyse en courant alternatif

Le circuit équivalent est décrit ci-après



$$h_{21} = \beta ; h_{11} = h_{21} \frac{U_T}{I_C} ; U_T = \frac{kT}{e} = 25 \text{ mV}$$

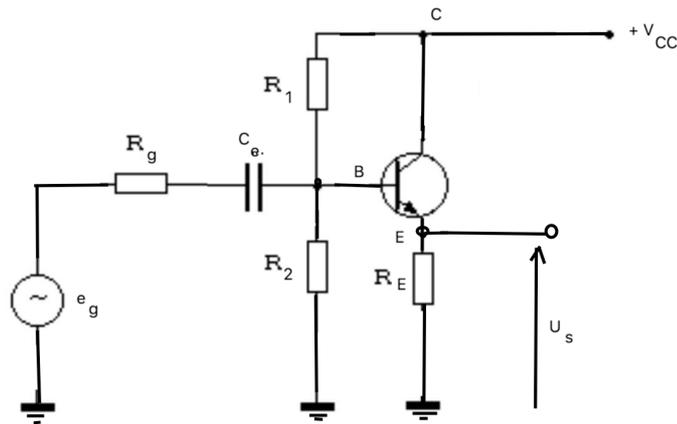
- Résistance d'entrée à la base : $R_{en}(base) = h_{11}$

- Résistance d'entré de l'amplificateur : $R_{en} = h_{11} // R_1 // R_2$
- Résistance de sortie : $R_s = R_C // R_u$
- Gain : $A_v = \frac{U_s}{U_{en}} = \frac{-R_s i_C}{h_{11} i_B} = - \frac{R_s}{h_{11}}$

La tension de sortie est en opposition de phase par rapport à la tension d'entrée.

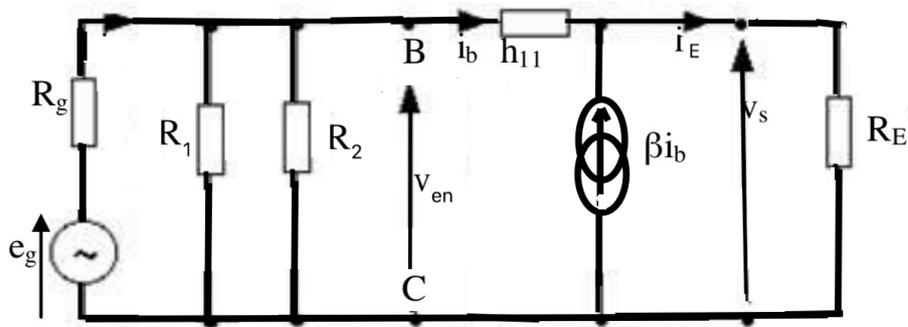
3. Montage collecteur commun

a. Schéma de principe



b. Analyse en courant alternatif

Circuit équivalent :

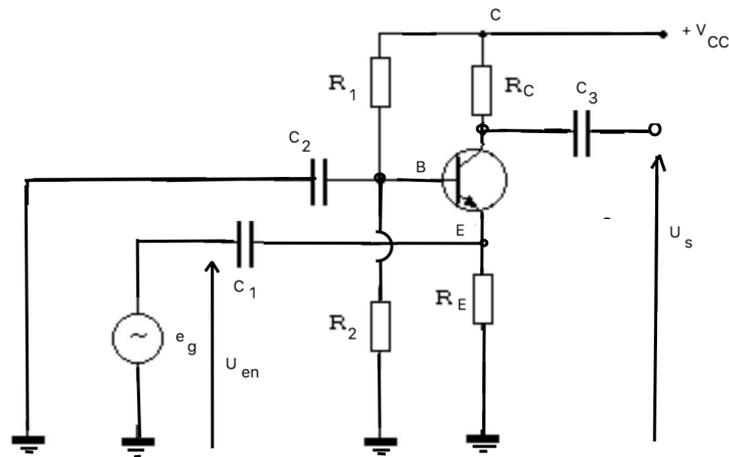


- Résistance d'entrée à la base : $R_{en}(base) = h_{11} + R_E(1 + \beta)$
- Résistance d'entré de l'amplificateur : $R_{en} = [h_{11} + R_E(1 + \beta)] // R_1 // R_2$
- Gain : $A_v = \frac{U_s}{U_{en}} = \frac{R_E i_E}{R_{en} i_B} = \frac{R_E(1+\beta)}{h_{11}+R_E(1+\beta)} \simeq 1$
- Résistance de sortie : $R_s = \frac{(R_1 // R_2 // R_g) + h_{11}}{\beta + 1}$

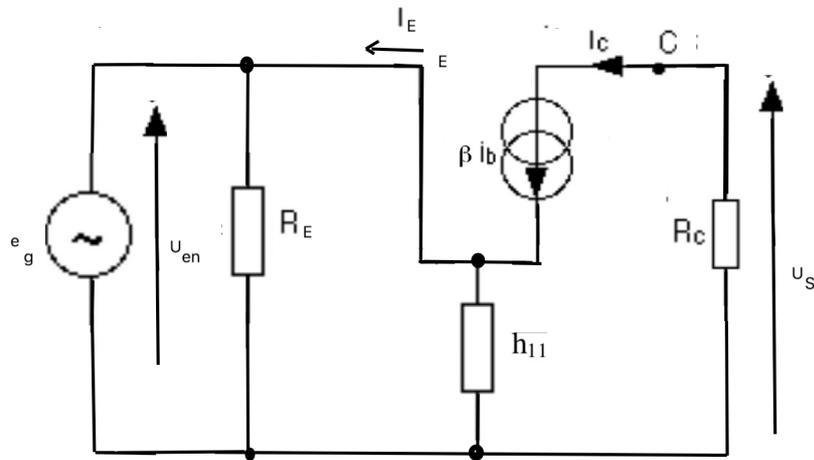
Cette impédance de sortie est relativement faible : le montage pourra tenir des charges plus faibles que le montage émetteur commun.

4. Montage base commune

a. Schéma de principe



b. Analyse en courant alternatif



- Gain en tension : $A_v = \frac{u_s}{u_{en}} = \frac{-R_C i_C}{h_{11} i_B} = \frac{\beta R_C}{h_{11}}$
- Impédance d'entrée à la base : $R_{en}(base) = \frac{u_{en}}{i_{en}} = \frac{h_{11} i_B}{i_e} = \frac{h_{11}}{1+\beta}$
- Impédance d'entrée totale : $R_{en}(total) = R_{en}(base) // R_E$

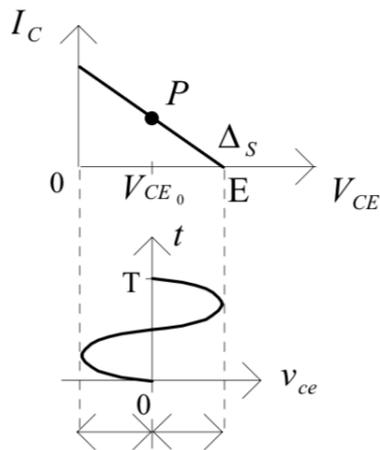
La résistance d'entrée d'un amplificateur à base commune est si faible qu'elle surcharge la plupart des sources de signal. La plus grande partie du signal alternatif est perdue entre les bornes de l'impédance de la source : l'amplificateur à base commune n'est guère utilisée à basse fréquence.

VI. Classes d'amplificateurs à transistor bipolaire

Les différentes classes d'amplification sont déterminées par le choix du point de fonctionnement statique autour duquel est appliqué le signal à amplifier.

1. Amplificateurs de classe A

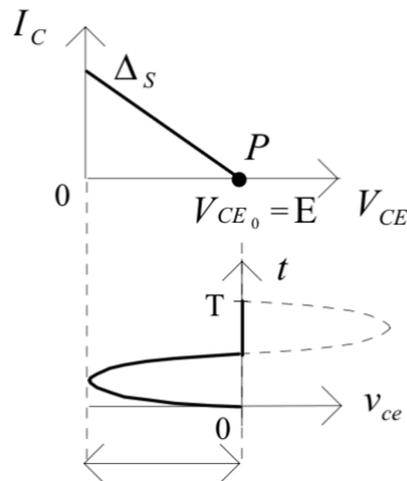
Le point de polarisation Q est choisi de sorte que $U_{CEQ} = \frac{E}{2}$.



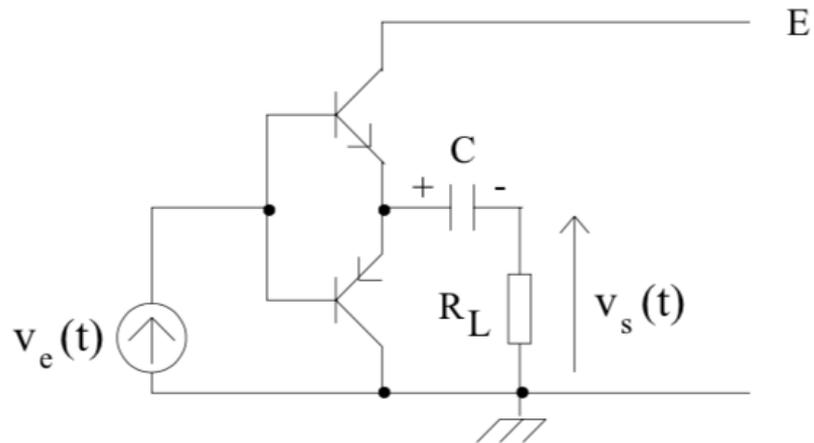
Dans ce mode de fonctionnement particulier, l'amplificateur ne passe ni en blocage, ni en saturation. La tension de sortie est une réplique amplifiée de celle de l'entrée. Leur rendement est toutefois tellement faible que leur usage est généralement limité aux amplificateurs de très faible puissance.

2. Amplificateurs de classe B

Le point de polarisation Q est choisi de sorte que $U_{CEQ} = E$ (blocage).



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.



Il a un meilleur rendement de puissance par rapport aux amplificateurs de classe A.

3. Amplificateurs de classe C

L'amplificateur de classe C est principalement utilisée en HF (\equiv Hautes Fréquences).

