

ECUE n° 1 : **Electronique Générale**

*Chapitre 5*

**Polarisation d'un Transistor**

Nombre d'heures/chapitre : 4h

Cours intégré

Système d'évaluation : **Continu**

**OBJECTIFS DE L'ENSEIGNEMENT :**

- Connaître les composants élémentaires de l'électronique et leurs applications dans les fonctions de base
- Prendre en compte les limitations et des caractéristiques d'un composant réel,
- Savoir exploiter un document constructeur.

**CONTENU THEORIQUE :**

Dans ce chapitre on reprend les caractéristiques d'un transistor bipolaire tout en cherchant les modes d'exploitation de ses caractéristiques tout en cherchant l'extraction de maximum de puissance avec une bonne qualité de signal et ce ci avec le bon choix du point de fonctionnement.

Dans ce chapitre aussi on cherche tout en étudiant statiquement, les effets inconvénients et avantageux le bon choix de la méthode de polarisation d'un transistor bipolaire qui nous garantit un fonctionnement normal et thermiquement stable.

Chapitre 5

**Polarisation d'un Transistor**

**1. Introduction :**

La polarisation a pour rôle de placer le point de fonctionnement du transistor dans la zone linéaire de ses caractéristiques. Pour cela on applique sur les trois électrodes du transistor des potentiels continus de valeurs convenables.

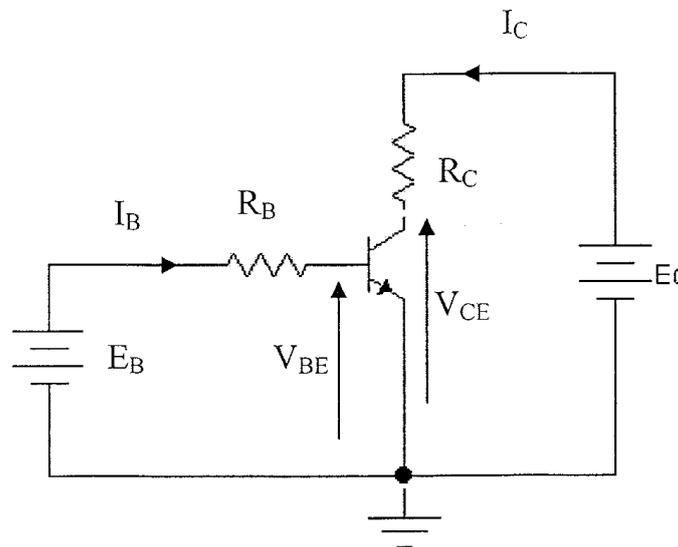


Figure V-1

Le point de fonctionnement est fixé par les valeurs de  $I_B$  et  $V_{BE}$  (caractéristiques d'entrée) et les valeurs de  $I_C$  et  $V_{CE}$  (caractéristiques de sortie)

**1.1. Point de fonctionnement :**

A partir du réseau de caractéristique, on peut déterminer le point de fonctionnement. La connaissance du point de repos à l'entrée N, permet de déduire, via la caractéristique de transfert en courant  $I_C = f(I_B)$ , la valeur du courant de sortie et donc le point de repos en sortie M

**1.1.1. Maille d'entrée : détermination du point N :**

La loi des mailles à l'entrée donne :  $E_B = R_B I_B + V_{BE}$ . Le point N est défini par l'intersection de la caractéristique d'entrée du transistor  $V_{BE} = f(I_B)$  et de la droite d'équation  $V_{BE} = E_B - R_B I_B$  appelée droite d'attaque statique.

**1.1.2. Maille de sortie : détermination du point M :**

La connaissance du point  $(V_{BE}, I_B)$  permet la détermination du courant  $I_{C0}$ . L'équation de la droite de charge statique est définie, à partir de la maille de sortie, par :  $V_{CE} = E_C - R_C I_C$ . L'intersection de cette droite avec la caractéristique de sortie du transistor (correspondant au courant  $I_{B0}$  d'entrée) définit le point de repos en sortie M caractérisé par  $I_{C0}$  et  $V_{CE0}$ .

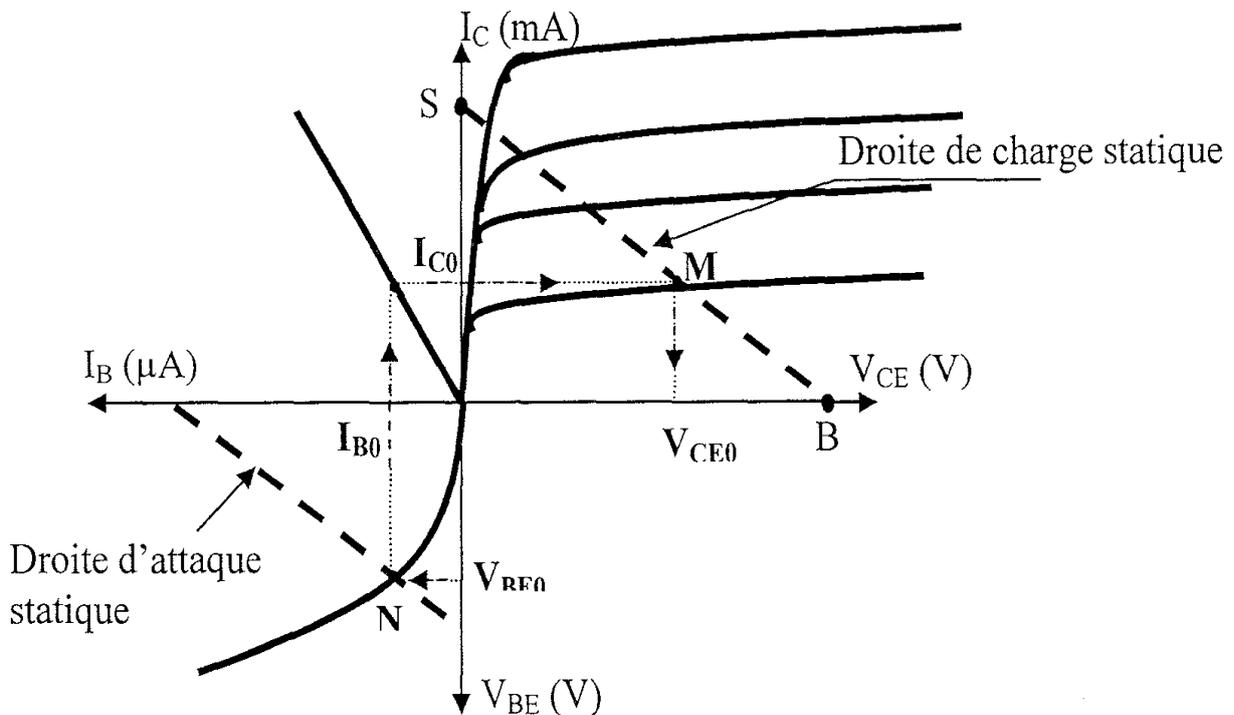


Figure V-2

**2. Réalisations pratiques de la polarisation :**

Le montage de la figure V-1 est fonctionnel, mais il nécessite deux sources de tension. En pratique, les montages utilisent une seule source de tension continue.

### 2.1. Polarisation par résistance de base :

Soit le montage de la figure V-3 :

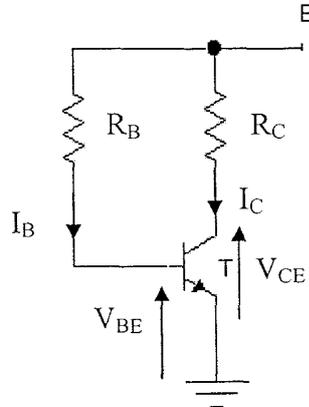


Figure V-3

La loi des mailles à l'entrée permet d'écrire :  $E = R_B I_B + V_{BE}$  avec  $V_{BE} \approx 0,7V$

$$I_B = \frac{E - V_{BE}}{R_B} \approx \frac{E}{R_B}$$

Pour la maille de sortie, on peut écrire :  $E = R_C I_C + V_{CE}$ . Donc :  $V_{CE} = E - R_C I_C$  avec  $I_C = \beta I_B$

Ce montage est sensible à la dérive thermique. Ce type de polarisation ne doit jamais être employé pour un transistor utilisé en amplificateur (il est tolérable en commutation).

### 2.2. Polarisation par réaction d'émetteur :

Soit le montage de la figure V-4 ci-dessous :

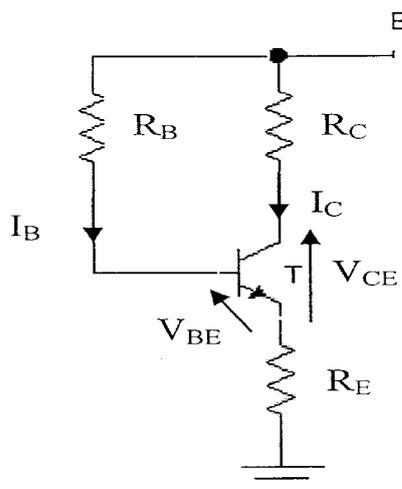


Figure V-4

La résistance  $R_E$  permet de compenser les variations de  $\beta$ . En effet, Si  $\beta$  croit,  $I_C$  et donc  $I_E$  augmente. Le potentiel de l'émetteur  $V_E = R_E I_E$  croit ainsi que le potentiel de base (puisque  $V_{BE} = 0,7V$ ) ce qui diminue ainsi le courant de base puisque  $I_B = \frac{E - V_B}{R_B}$  ; donc le courant  $I_C$  diminue.

### 2.3. Polarisation par réaction de collecteur :

Soit le montage de la figure V-5 ci-dessous :

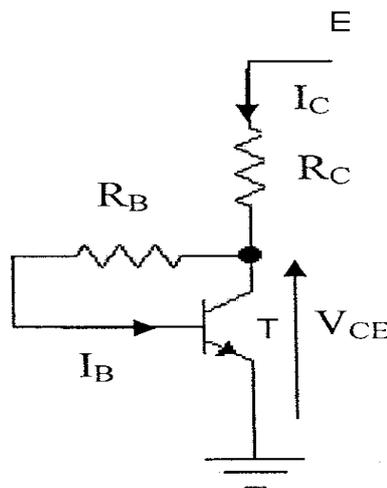


Figure V-5

On a :  $V_{CE} = E - R_C I_C$  et :  $V_{CE} = R_B I_B$ . Si  $\beta$  croit,  $I_C$  augmente, donc  $V_{CE}$  diminue ainsi que la différence de potentiel aux bornes de  $R_B$ . Le courant  $I_B$  diminue et contrebalance l'accroissement du gain.

### 2.4. Polarisation par pont de base et résistance d'émetteur :

Soit le montage de la figure V-6 ci-dessous :

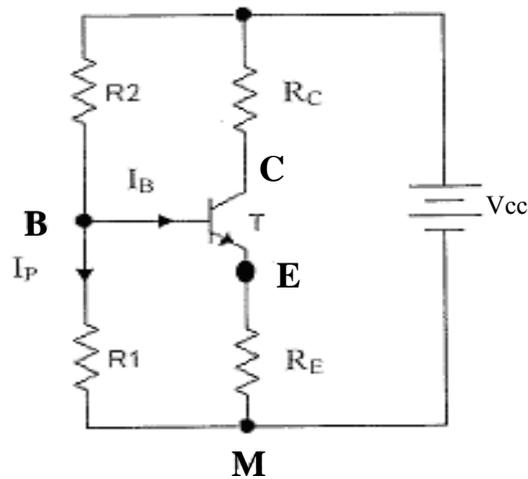


Figure V-6

Pour rendre indépendant le courant collecteur des variations du gain, on utilise un diviseur de tension nomme « pont de base ».

On suppose que le courant de base est négligeable par rapport au courant qui circule dans les résistances du pont de base.

$$I_B \ll I_P$$

Dans ces conditions, le pont diviseur maintient constant le potentiel  $V_B$  de la base (par rapport à la masse) puisque :  $V_{BM} = R_1 I_P$

$$V_{BM} = V_{BE} + R_E I_E$$

$$V_{BE} \approx 0,7V$$

$$I_E = \frac{V_{EM}}{R_E} = \frac{V_{BM} - 0,7}{R_E} = \frac{R_1 I_P - 0,7}{R_E}$$

Comme  $I_B \ll I_C$ , on a :

$$I_C \approx I_E$$

La valeur de  $I_C$  est indépendante du gain. En imposant le potentiel de base, on impose le potentiel de l'émetteur donc le courant d'émetteur et donc le courant de collecteur. L'équation de la droite de charge est donnée par la maille de sortie, soit

$$V_{CE} = E - (R_C + R_E) I_C$$

**Remarque :** En remplaçant  $R_1$  et  $R_2$  par le générateur de Thévenin, on tire :

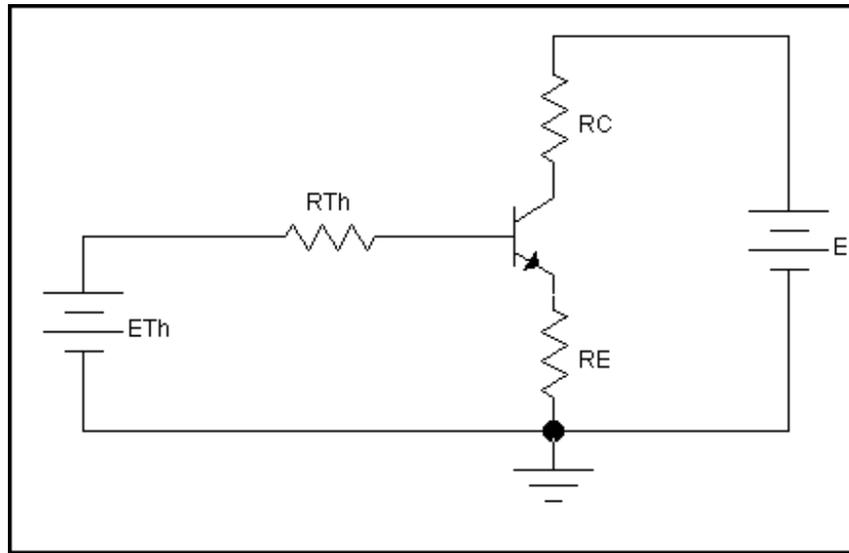


Figure V-7

$$E_{Th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E$$

$$R_{Th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

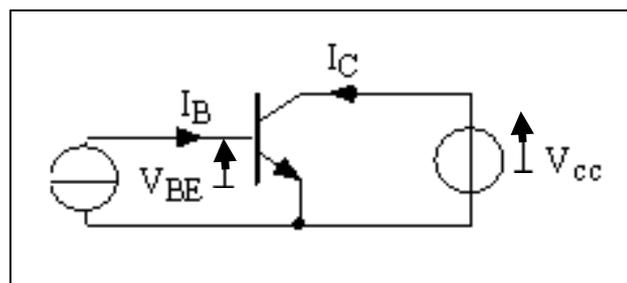
Soit:  $V_{BE} = E_{Th} - R_{Th} I_B$

## 6. Application :

### Exercice 1 :

Une mesure sur un transistor bipolaire NPN, faite avec le circuit de la figure au dessous a donné les résultats suivants :

a/ pour  $V_{cc} = 3 \text{ V}$  et  $I_B = 12 \mu\text{A} \Rightarrow I_C = 2 \text{ mA}$  et  $V_{BE} = 0.675 \text{ V}$

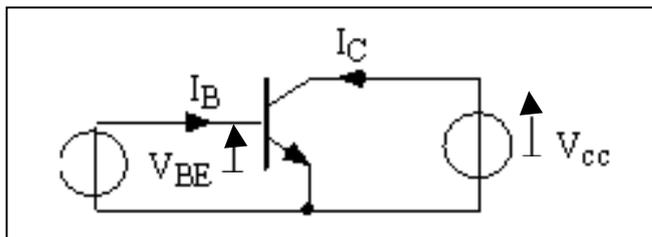


Dans quel mode de fonctionnement se trouvait le transistor ?

Déterminer les paramètres  $I_S$  et  $\beta$  de ce transistor.

Quel courant de base faudrait-il imposer pour avoir un courant de collecteur de 10 mA ?  
 Quelle serait alors la tension base-émetteur ? Dans ces conditions quelle est la variation relative du courant de collecteur si la source de courant de base varie de  $\pm 2\%$  ?

b/ Avec le même transistor qu'au point a) mis dans le circuit de mesure ci-dessous, quelle tension base-émetteur faut-il imposer pour avoir le même courant de collecteur de 10 mA ? Quel est le courant de base correspondant ?



Dans ces conditions quelle est la variation relative du courant de collecteur si la source de tension  $V_{BE}$  varie de  $\pm 2\%$  ?

**Corrigé :**

a)  $V_{cc} = V_{CE} = 3 \text{ V}$  et  $V_{BE} = U_j = 0.7 \text{ V}$

$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = 2.3 \text{ V} > 0 \Rightarrow$  mode normal

$$I_C = \beta \cdot I_B \Rightarrow \beta = \frac{I_C}{I_B} = 167$$

$$I_C = I_S e^{\frac{V_{BE}}{U_T}} \Rightarrow I_S = I_C e^{-\frac{V_{BE}}{U_T}} \Rightarrow I_S = 10.6 \text{ fA}$$

pour avoir  $I_C = 10 \text{ mA}$ , il faut imposer  $I_B = \frac{I_C}{\beta} = 60 \mu\text{A}$

ce qui donne la valeur exacte  $V_{BE} = U_T \ln \frac{I_C}{I_S} = 0.717 \text{ V}$

Comme  $I_C = \beta \cdot I_B$ , si  $I_B$  varie de  $\pm 2\%$ ,  $I_C$  varie de  $\pm 2\%$ .

b) Pour avoir  $I_C = 10 \text{ mA}$ , il faut imposer :  $V_{BE} = U_T \ln \frac{I_C}{I_S} = 0.717 \text{ V}$  et le courant de base

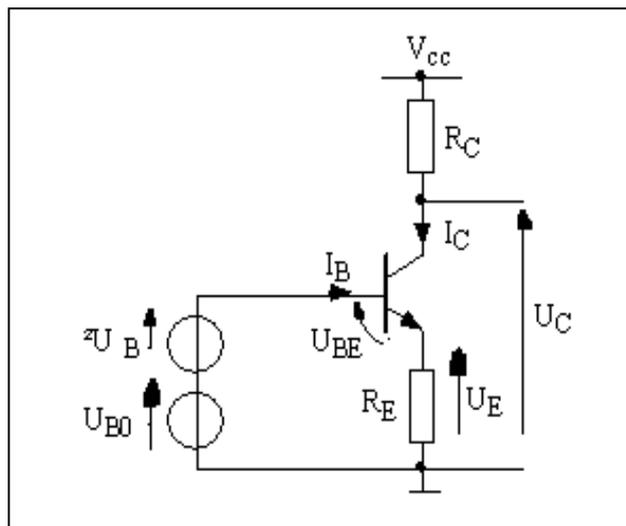
vaut :  $I_B = \frac{I_C}{\beta} = 60 \mu\text{A}$

Si  $V_{BE}$  varie de  $\pm 2\%$ ,  $I_C$  varie de  $5.78 \text{ mA}$  à  $17.43 \text{ mA}$ , soit de  $-42\%$  à  $+74\%$  !

Le transistor est donc beaucoup plus sensible à des variations de la tension  $V_{BE}$  qu'à des variations du courant  $I_B$ , ce qui est gênant pour faire des mesures statiques, mais devient intéressant pour faire un amplificateur.

**Exercice 2 :**

Soit le montage suivant :



$U_{B0} = 2.9 \text{ V}$      $U_j = 0.7 \text{ V}$      $R_C = 4.7 \text{ k}\Omega$      $R_E = 2.2 \text{ k}\Omega$ ,  $\beta = 200$     et  $V_{cc} = 15 \text{ V}$

Calculer le point de repos c.à.d. les courants  $I_{B0}$ ,  $I_{E0}$  et  $I_{C0}$ , ainsi que les tensions  $U_{E0}$  et  $U_{C0}$  lorsque  $\Delta U_B = 0$ .

Quel est le mode de fonctionnement du transistor ?

Décrivez le fonctionnement du montage

**Corrigé :**

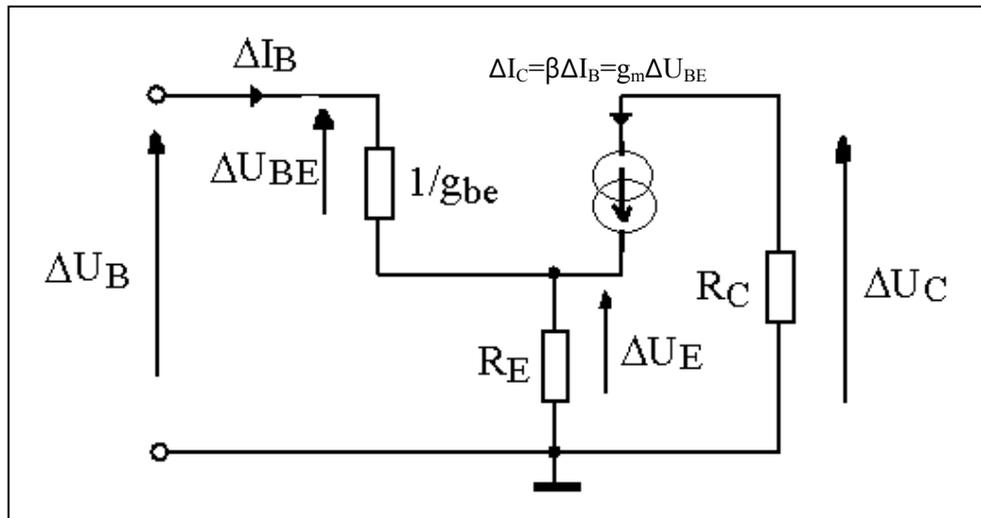
a)  $\Delta U_B = 0 \quad U_{E0} = U_{B0} - U_j = 2.2 \text{ V}$

$$I_{E0} = \frac{U_{E0}}{R_e} = 1 \text{ mA} \quad I_{C0} = \frac{\beta}{1 + \beta} I_{E0} = I_{E0} = 1 \text{ mA}$$

$$I_{B0} = \frac{I_{C0}}{\beta} = 5 \text{ }\mu\text{A} \quad U_{C0} = V_{cc} - R_C I_{C0} = 10.3 \text{ V}$$

$U_{BC0} = U_{B0} - U_{C0} = -7.4 \text{ V} \Rightarrow$  mode normal

b)  $g_m = \frac{I_{C0}}{\beta} = 3.85 \cdot 10^{-2} \text{ A/V} \quad g_{be} = \frac{g_m}{\beta} = 192 \text{ }\mu\text{A/V}$



c)  $\Delta U_E = R_E(\Delta I_C + \Delta I_B) = R_E(g_m + g_{be})\Delta U_{BE}$

$$\Delta U_C = -R_C \Delta I_C = -g_m R_C \Delta U_{BE}$$

$$\Delta U_B = \Delta U_E + \Delta U_{BE} = (R_E(g_m + g_{be}) + 1)\Delta U_{BE}$$

comme  $\beta \gg 1$  on peut admettre que  $(g_m + g_{be}) \gg g_m$  d'où :

$$\frac{\Delta U_E}{\Delta U_B} = \frac{g_m \cdot R_E}{1 + g_m \cdot R_E} \quad \text{et} \quad \frac{\Delta U_C}{\Delta U_B} = -\frac{g_m \cdot R_C}{1 + g_m \cdot R_E}$$

si de plus  $g_m R_E \gg 1$  c.a.d si  $R_{EIC0} = U_{E0} \gg U_T = 26 \text{ mV}$

alors  $\frac{\Delta U_E}{\Delta U_B} = 1$  et  $\frac{\Delta U_C}{\Delta U_B} = -\frac{R_C}{R_E}$

Application numérique :  $U_{E0} = 2.2 \text{ V} \gg 26 \text{ mV}$

$\Rightarrow \frac{\Delta U_E}{\Delta U_B} = 1$  et  $\frac{\Delta U_C}{\Delta U_B} = -2.1$ , figure ci-dessous :

