

## 6. Composants du type transistor

### 6.1 Transistor bipolaire

#### 6.1.1 Fonctionnement

Le transistor est un composant à trois couches, deux couches P séparées par une couche N (transistor P N P) (figure 41a) ou deux couches N séparées par une couche P (transistor NPN) (figure 41b). Dans la suite sera présenté le transistor P N P, les propriétés du transistor N P N s'en déduisant par analogie.

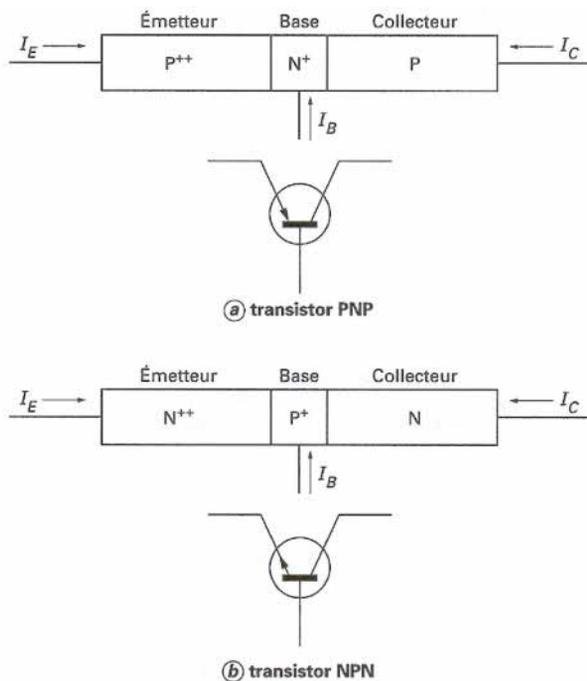


Figure 41 – Transistors PNP et NPN

Une jonction P N est polarisée en direct ; si la couche P est plus dopée que la couche N ( $N_a \gg N_d$ ), la couche P injecte des trous dans la région N ; la deuxième jonction P N est polarisée en inverse et donc la région P extrait des trous de la région N.

D'où l'appellation respectivement d'*émetteur* et de *collecteur* pour la zone P des première et deuxième jonctions, la région intermédiaire, d'épaisseur suffisamment faible pour avoir une bonne collection, est la *base*. Alors que la première jonction présente une faible impédance, la seconde opère à haute impédance ; donc si les trous émis par l'émetteur sont captés par le collecteur, le courant de l'émetteur et celui du collecteur sont à peu près égaux ; et il y a amplification de tension et de puissance en régime alternatif, avec ce type de montage appelé *base commune* (figure 42).

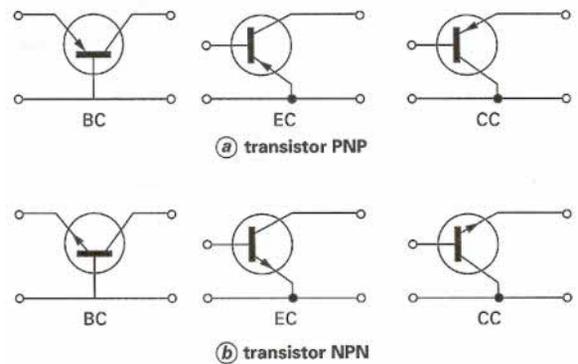


Figure 42 – Montages base commune (BC), émetteur commun (EC) et collecteur commun (CC) des transistors

Dans le montage en *émetteur commun*, on attaque entre base et émetteur et on sort sur une charge résistive placée entre collecteur et émetteur, en faisant varier le courant base (très petit devant les courants émetteur et collecteur), on module le courant collecteur et donc ce montage fonctionne en amplification de courant.

### 6.1.1.1 Fonctionnement à faible niveau

Soit  $p_{n0}$  la densité des trous, à l'équilibre, dans la base, d'épaisseur  $w$ , limitée en  $x=0$  par l'émetteur et en  $x=w$  par le collecteur. Si les tensions  $V_{EB}$  et  $V_{CB}$  sont appliquées à l'émetteur et au collecteur par rapport à la base, la concentration de trous  $p_n(x)$  dans la base est telle que :

$$\left. \begin{aligned} p_n(0) &= p_{n0} \exp[V_{EB}/kT] \\ p_n(w) &= p_{n0} \exp[V_{CB}/kT] \end{aligned} \right\} \quad (140)$$

En nous reportant à l'exemple b) du paragraphe 3.2.2.2, s'il y a injection de trous des deux côtés de la base, la solution  $p_n(x)$  vaut :

$$p_n(x) = [p_n(0) - p_{n0}] \sinh[(w-x)/L_p] / \sinh(w/L_p) + [p_n(w) - p_{n0}] \sinh[x/L_p] / \sinh(w/L_p) + p_{n0} \quad (141)$$

avec  $L_p = (D_p \tau_p)^{1/2}$  longueur de diffusion des trous dans la base.

Les courants  $I_E$  et  $I_C$  entrant dans la base, de section  $S$ , respectivement par l'émetteur et le collecteur sont :

$$\left. \begin{aligned} I_E &= -qD_p S \left[ \frac{\partial p_n}{\partial x} \right]_{x=0} \\ I_C &= qD_p S \left[ \frac{\partial p_n}{\partial x} \right]_{x=w} \end{aligned} \right\} \quad (142)$$

Le résultat du calcul se met sous la **forme d'Ebers et Moll** :

$$\left. \begin{aligned} I_E &= I_{Es} [\exp(qV_{EB}/kT) - 1] - \alpha I_{Cs} [\exp(qV_{CB}/kT) - 1] \\ I_C &= -\alpha I_{Es} [\exp(qV_{EB}/kT) - 1] + I_{Cs} [\exp(qV_{CB}/kT) - 1] \end{aligned} \right\} \quad (143)$$

compte tenu des expressions suivantes :

$$\left. \begin{aligned} I_{Es} = I_{Cs} &= \frac{qD_p p_{n0} S}{L_p \tanh(w/L_p)} \\ \alpha &= \frac{1}{\cosh(w/L_p)} \end{aligned} \right\} \quad (144)$$

et

qui peuvent s'écrire, car  $w \ll L_p$  :

$$\left. \begin{aligned} I_{Es} = I_{Cs} &\approx \frac{qD_p p_{n0} S}{w} \\ \alpha &\approx 1 - \frac{w^2}{2L_p^2} \end{aligned} \right\} \quad (145)$$

et

### 6.1.1.2 Caractéristiques du transistor

Comme la jonction base-collecteur est, en fait, polarisée en inverse ( $qV_{CB}/kT \ll 0$ ), on a :

$$\left. \begin{aligned} I_E &= I_{Es} [\exp(qV_{EB}/kT) - 1] + \alpha I_{Cs} \\ I_C &= -\alpha I_{Es} [\exp(qV_{EB}/kT) - 1] - I_{Cs} \end{aligned} \right\} \quad (146)$$

Les relations (146) permettent d'écrire que :

$$I_C = -\alpha I_E - I_{C0} \quad (147)$$

avec  $I_{C0} = I_{Cs} (1 - \alpha^2)$  courant de saturation inverse du collecteur, à émetteur ouvert.

La relation  $I_E + I_C + I_B = 0$  permet, à partir de la relation (147) utilisée en base commune, de calculer le courant base en fonction du courant émetteur :

$$I_B = -(1 - \alpha) I_E + I_{C0} \quad (148)$$

et le courant collecteur en fonction du courant base (montage émetteur commun) :

$$I_C = \beta I_B - (1 - \alpha)^{-1} I_{C0} \quad (149)$$

avec  $\beta = \alpha/(1 - \alpha)$ .

Les relations (147) et (149) montrent que  $\alpha$  est le facteur d'amplification en courant, en montage base commune, et  $\beta$  le facteur d'amplification en courant, en montage émetteur commun ( $\alpha$  est de l'ordre de 0,98 et  $\beta$  de l'ordre de 50).

La figure 43 montre les caractéristiques  $I_C, -V_{CB}$  avec  $I_E$  comme paramètre et  $I_C, -V_{CE}$  avec  $I_B$  comme paramètre, relatives à un transistor P N P.

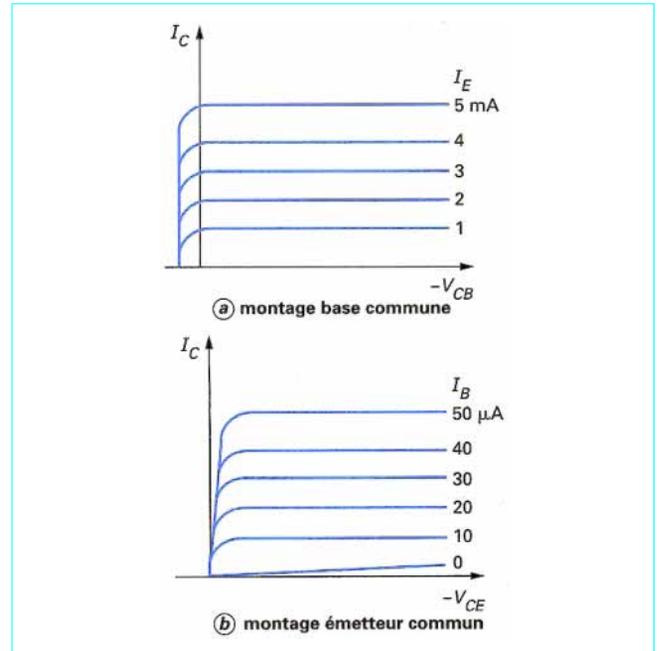


Figure 43 – Caractéristiques de sortie d'un transistor PNP