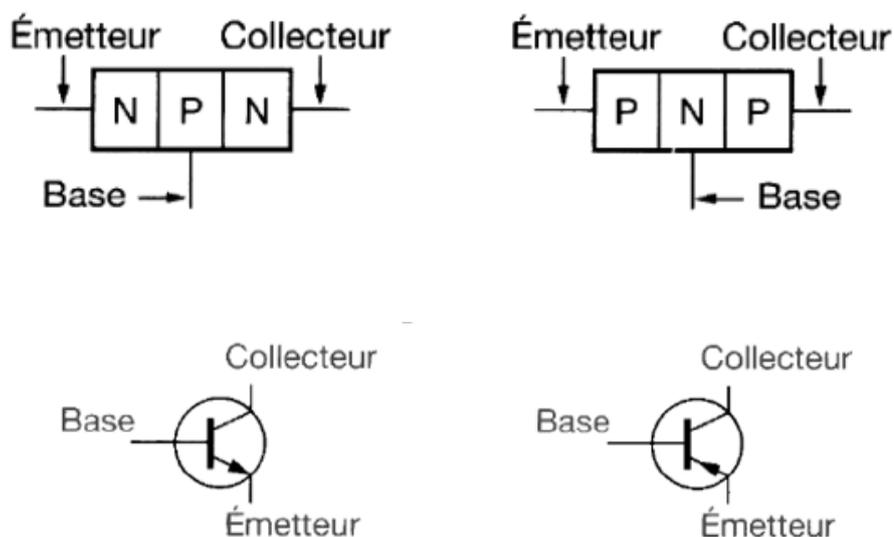




## Rappel de cours Transistor bipolaire en régime statique

### 1. Constitution

Un transistor est constitué de 2 jonctions PN (ou diodes) montées en sens inverse. Selon le sens de montage de ces diodes on obtient 2 types de transistors



**Fig.1** Représentation schématiques et symboles des transistors bipolaires

Les trois pattes d'un transistor sont respectivement nommées:

- Une région N : le collecteur C.
- Une région P (étroite) : la base B.
- Une région N : l'émetteur E.

L'émetteur est toujours repéré par une flèche qui indique le sens du courant dans la jonction entre base et émetteur.



On peut considérer le transistor comme l'association de deux diodes:

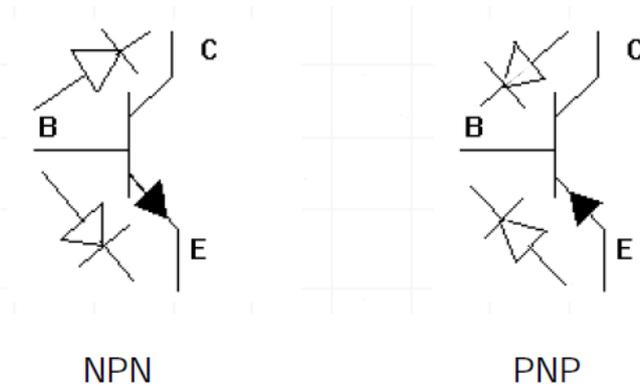


Fig.2

Le transistor NPN est constitué d'une jonction NP (Collecteur-Base) et d'une jonction PN (Base-Emetteur).

➤ La couche intermédiaire est appelée base. Cette couche est très mince et est légèrement dopée. Les porteurs majoritaires sont donc en quantité assez faible.

➤ Une autre zone est appelée émetteur. C'est la zone la plus dopée du transistor. Son rôle consiste à injecter des porteurs (électrons dans le cas d'un transistor NPN) dans la base.

➤ La dernière zone qui est de même type que l'émetteur est appelée collecteur. Son dopage est plus faible que celui de l'émetteur et sa géométrie est différente.

Le rôle principal du collecteur est de recueillir les porteurs.

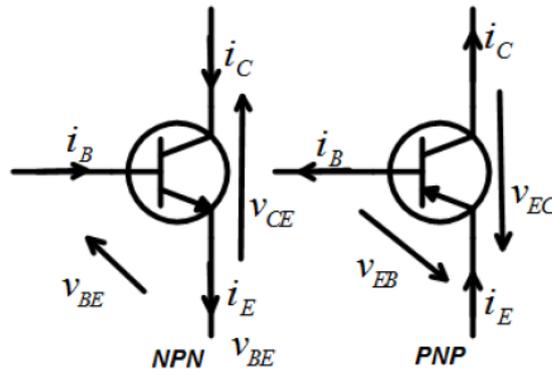


Fig.3 Convention et symboles

Loi de Kirchhoff appliquée au transistor bipolaire  $i_E = i_B + i_C$

## 2. Fonctionnement d'un Transistor bipolaire

Pour illustrer le fonctionnement du Transistor bipolaire soit le montage suivant :

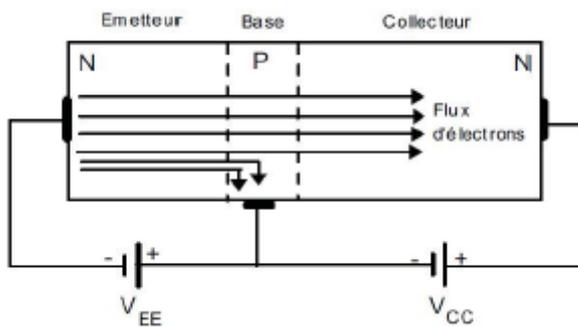


Fig.4 Jonctions EB et BC d'un transistor bipolaire

- ✓ La jonction E-B est polarisée dans le sens passant ;
- ✓ la jonction B-C, polarisée en inverse, est bloquée , Il circule donc un courant de E à B, appelons le  $I_b$ .



- ✓ La base est une zone très étroite et les électrons qui arrivent de l'émetteur vont certes se combiner avec les "trous" (peu nombreux) de la base, mais ils seront en majorité fortement attirés vers la zone du collecteur par le champ électrique créé par la polarisation inverse de la jonction B-C: il en résulte, sous l'effet d'avalanche, un important courant de collecteur,  $I_C$
- ✓ Le courant de collecteur  $I_C$  est proportionnel au courant de base  $I_b$ , le facteur  $\beta$  étant le gain encourant.
- ✓ Ainsi l'émetteur « injecte » ou « émet » des porteurs majoritaires et le collecteur les collecte.
- ✓ Quand la tension collecteur-émetteur VCE diminue pour devenir très faible, la jonction B-C cesse d'être polarisée en inverse, et l'effet transistor décroît alors très rapidement. A la limite, la jonction B-C devient aussi polarisée en direct: on n'a plus un transistor, mais l'équivalent de deux diodes en parallèle. On dit que le transistor est saturé.

### 3. Caractéristiques statiques du transistor

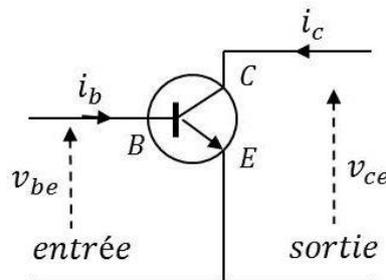
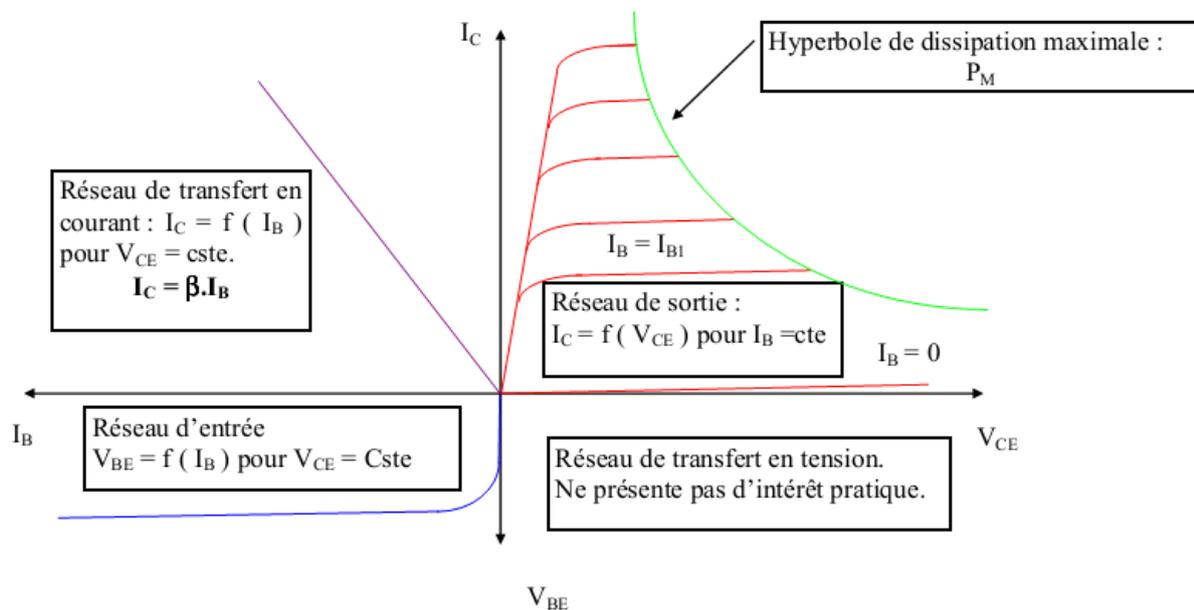


Fig.5

Il y a quatre grandeurs qui caractérisent le comportement du transistor :

- deux grandeurs d'entrée :  $I_B$  et  $V_{BE}$
- deux grandeurs de sortie :  $I_C$  et  $V_{CE}$



**Fig.6** Caractéristiques électriques d'un transistor bipolaire



1. Caractéristique de transfert en courant  $I_C=f(I_B)$

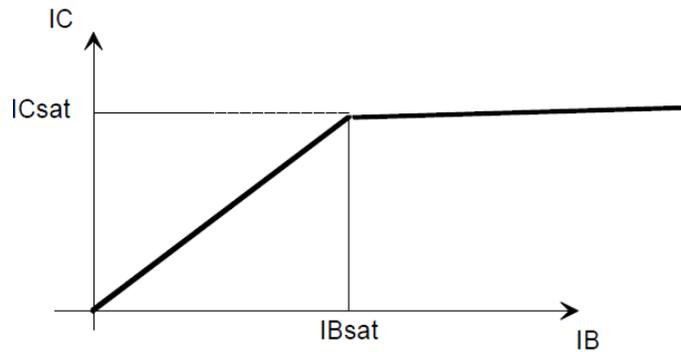


Fig.7

On peut remarquer deux régions sur cette caractéristique :

- ✓ **Une région de régime linéaire** : pour laquelle la caractéristique de transfert est une droite; elle est pratiquement linéaire et admet pour équation :  $I_C = \beta I_B$   
 $\beta$  Coefficient d'amplification statique en courant  
On peut donc dire que le transistor se comporte comme un générateur de courant commandé par un courant
- ✓ **Une région de régime saturé** : même si  $I_B$  continue d'augmenter le courant  $I_C$  n'augmente plus.



### 2. Caractéristiques d'entrée $I_b = f(V_{ce})$

La caractéristique d'entrée  $I_b=f(V_{be})$  est identique à celle d'une diode à jonction PN.

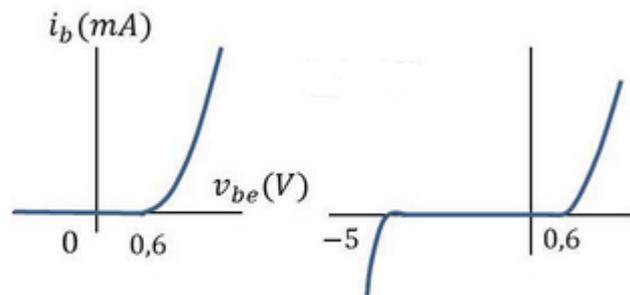


Fig.8

### 3. Caractéristique de sortie $I_C=f(V_{CE})$

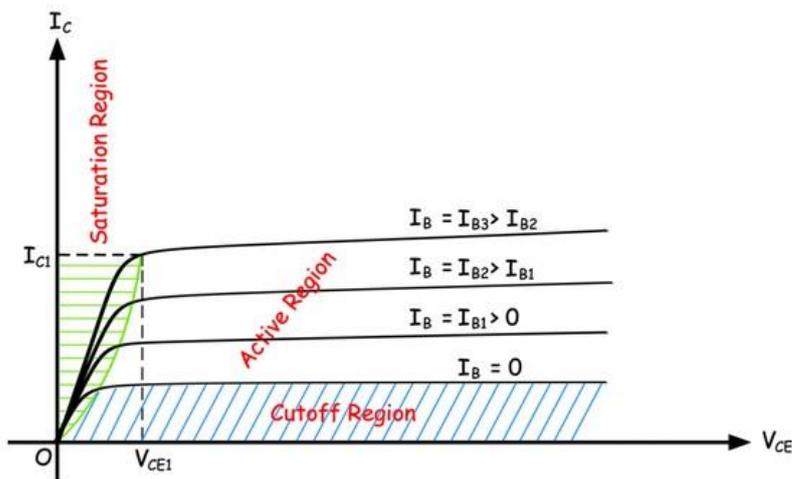


Fig.9

Dans une caractéristique de transistor, il y a trois régions. Elles sont

- Région de coupure
- Région active
- Région de saturation

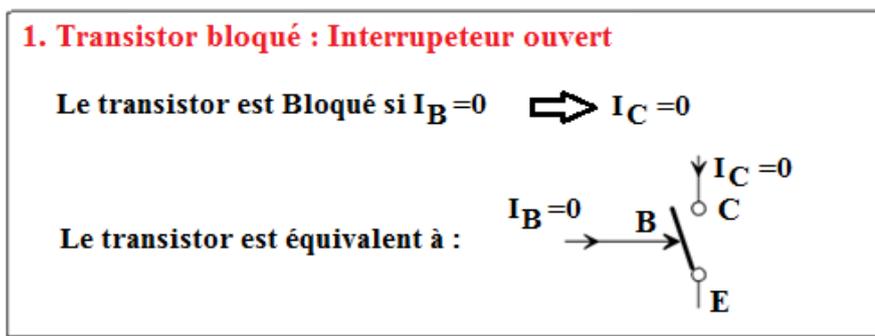


- Dans la région active, pour une large plage de tension collecteur-émetteur ( $V_{CE}$ ) courant collecteur ( $I_C$ ) reste constant, il y aura une perte de puissance importante si le transistor est utilisé dans cette région .
- Lorsqu'un interrupteur idéal est sur OFF, le courant est égal à zéro, ce qui évite toute perte de puissance. De la même façon, lorsque le commutateur est sur ON, la tension sur le commutateur est égale à zéro, il n'y a donc plus de perte de puissance. Lorsque nous voulons que **le transistor soit utilisé comme un commutateur**, il doit être utilisé de manière à ce que la perte de puissance pendant l'état ON et OFF soit presque nulle ou très faible, ce n'est possible que lorsque le transistor est seulement exploités dans la région de coupure et la région de saturation .

#### 4. Régime de fonctionnement en commutation

Le transistor remplit outre, une autre fonction essentielle en électronique : **la commutation**. Selon qu'il est **bloqué ou passant**, on peut alors l'assimiler à un interrupteur ouvert ou fermé. La commande de cet interrupteur se fait par l'intermédiaire de signaux électriques.

Le transistor se comporte comme un interrupteur entre **le collecteur (C)** et **l'émetteur (E)** commandé par la **base (B)**.

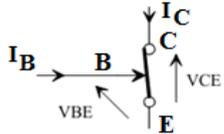




**2. Transistor saturé : Interrupteur fermé**

Le transistor est saturé si:  $I_B > \frac{I_{Cmax}}{\beta_{min}}$

Le transistor est équivalent à :



- ★  $I_B > I_{Bsat min}$
- ★  $V_{CE} = V_{CEsat} = 0V$  ( Transistor parfait)  
 $= 0.1V$  à  $1V$  (Transistor réel)
- ★  $I_C = I_{Cmax}$

**5. Exemple d'application d'un régime de fonctionnement en statique :**

Dans ce montage, la base est polarisée par la résistance désignée  $R_B$ . Le potentiel de la base est d'environ 0,7 V, car l'émetteur est à la masse et la jonction base-émetteur équivaut à une diode passante. Le collecteur est polarisé par la résistance désignée  $R_C$ , de telle manière que la tension du collecteur soit supérieure à la tension de la base ( $V_{CE} > V_{BE}$ ): la jonction base-collecteur est alors polarisée en inverse. L'entrée est caractérisée par les deux grandeurs :  $I_B$  et  $V_{BE}$ , et la sortie par les grandeurs  $I_C$  et  $V_{CE}$ , soit donc 4 variables.

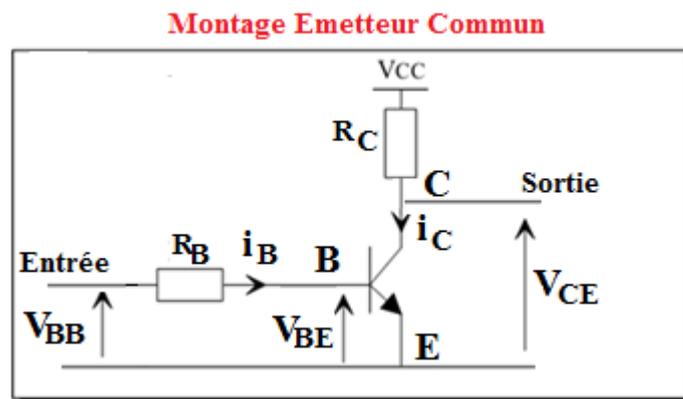


Fig.10



Le circuit d'entrée donne :

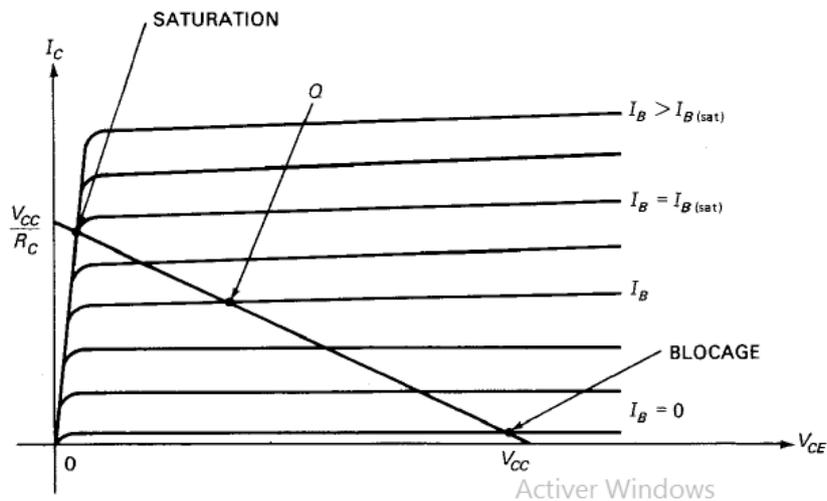
La droite d'attaque:  $\Rightarrow V_{BB} = V_{BE} + R_B I_B$   
 $I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$

Le circuit de sortie :

la droite de charge:  $\Rightarrow V_{CC} = V_{CE} + R_C I_C$   
 $I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}$

Le point de fonctionnement en régime statique du transistor bipolaire est obtenue soit par :

- ✓ l'intersection de la droite d'attaque avec la caractéristique d'entrée  $I_B=f(V_{BE})$ .
- ✓ Ou l'intersection de la droite de charge avec la caractéristique de sortie  $I_C=f(V_{CE})$ .



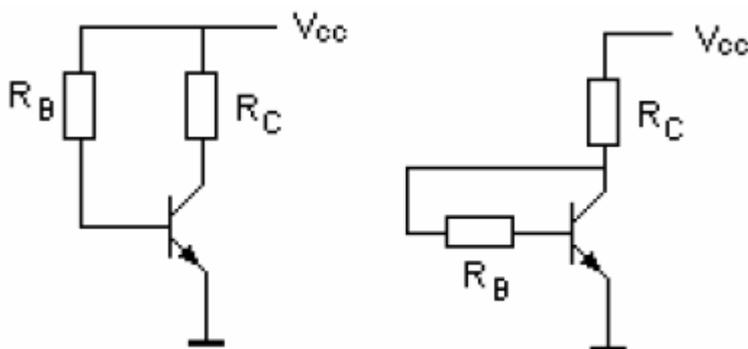
**Fig.11** Droite de charge statique

### Exercice

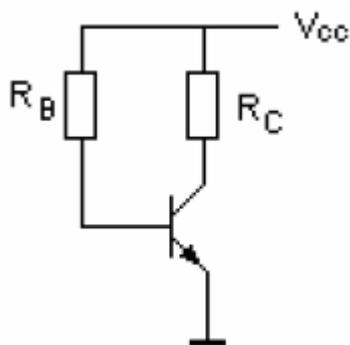
Calculer les résistances nécessaires à la polarisation d'un transistor NPN au silicium dans chacun des deux montages suivants.

On donne  $\beta = 100$ ,  $V_{CC} = 10V$ , et on désire que le point de repos soit fixé à

$V_{CE_0} = 5V$ ,  $I_{C_0} = 1mA$  et  $V_{BE_0} = 0.7V$ .



Correction d'exercice

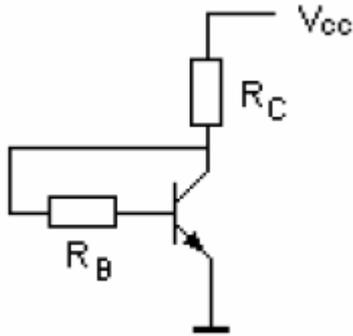


- $V_{CC} = V_{CE} + R_C I_C \Rightarrow R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C}$

Au point de repos :  $R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE0}}{I_{C0}} = \frac{5}{1} = 5K\Omega$

- $V_{CC} = V_{BE} + R_B I_B \Rightarrow R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B}$

Au point de repos :  $R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE0}}{I_{B0}} = \frac{V_{CC} - V_{BE0}}{I_{C0} / \beta} = \frac{(10 - 0.7)}{1/100} = 930K\Omega$



- $V_{CC} = V_{CE} + R_C(I_C + I_B) \Rightarrow R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C(1 + \frac{1}{\beta})}$

$$R_C \cong \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C}$$

Au point de repos :  $R_C \cong \frac{V_{CC} - V_{CE0}}{I_{C0}} = 5K\Omega$

- $\begin{cases} V_{CC} = V_{BE} + R_B I_B + R_C(I_C + I_B) \\ I_C + I_B \cong I_C \end{cases}$

$$V_{CC} = V_{BE} + R_B \frac{I_C}{\beta} + R_C I_C + R_C \frac{I_C}{\beta} \Rightarrow V_{CC} = V_{BE} + R_C \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) I_C + R_B \frac{I_C}{\beta}$$

$$R_B \frac{I_C}{\beta} = V_{CC} - V_{BE} - R_C \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) I_C \quad , \quad 1 + \frac{1}{\beta} = \frac{\beta + 1}{\beta} \cong 1$$

$$\Rightarrow R_B \frac{I_C}{\beta} = V_{CC} - V_{BE} - R_C I_C \Rightarrow R_B = (V_{CC} - V_{BE} - R_C I_C) \frac{\beta}{I_C}$$

Au point de repos :  $\Rightarrow R_B = (V_{CC} - V_{BE0} - R_C I_{C0}) \frac{\beta}{I_{C0}}$

$$\Rightarrow R_B = 430K\Omega$$



## Bibliographie

Electricité générale, Tahar Neffati, Dunod 2003.

"Principes d'Electronique", Albert Paul Malvino, Dunod, Paris, 2002.