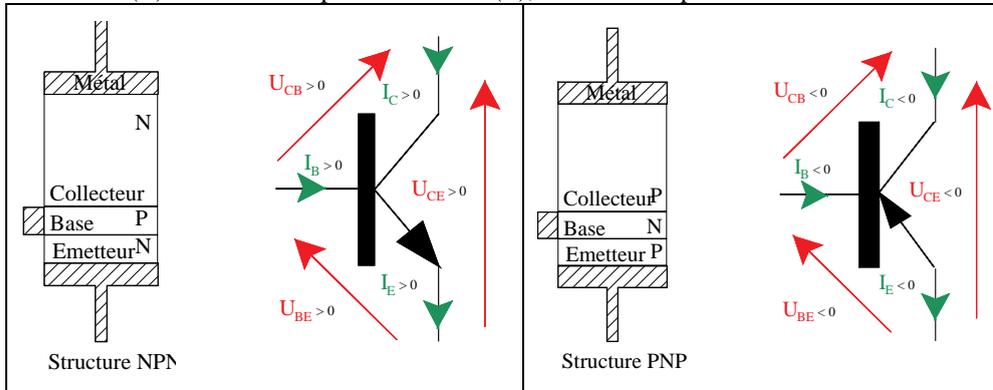


## V. LE TRANSISTOR BIPOLAIRE

### A. STRUCTURE ET SYMBOLE

Le transistor bipolaire est un sandwich constitué d'une mince couche de semiconducteur dopé, la base (B), prise en entre deux couches de semiconducteur de dopage opposé, le collecteur (C) faiblement dopé et l'émetteur (E), fortement dopé.

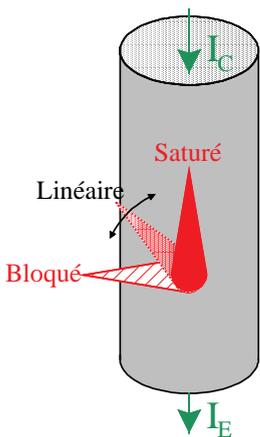


Structures et symboles des 2 types de transistors bipolaires.

Sur le symbole d'un bipolaire, la flèche indique le sens passant de la diode base-émetteur (B-E). Le transistor NPN est le plus fréquent.

### B. QUELQUES MODÈLES DU TRANSISTOR

#### 1. Modèle (très) sommaire



Le transistor est une **vanne de courant** qui contrôle le courant de collecteur  $i_C$ .

C'est le courant de Base  $i_B$  qui contrôle la vanne :

$$i_C = \beta i_B$$

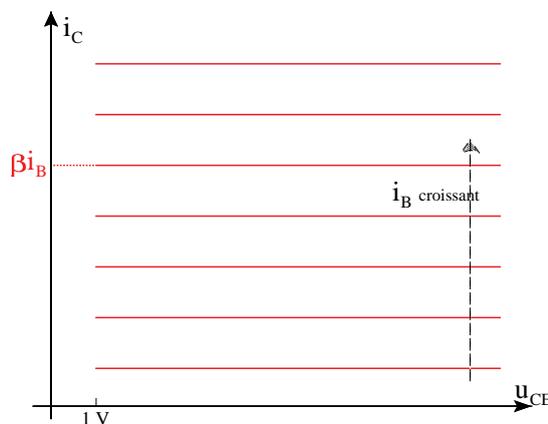
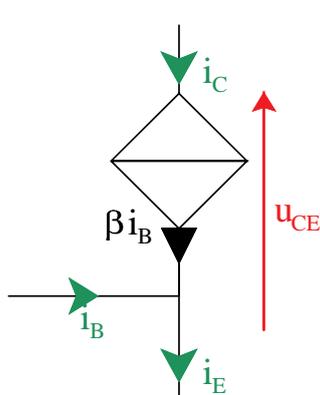
$$\beta \sim 10 \text{ à } 250$$

( $\beta$  est parfois noté  $h_{21E}$ )

Le transistor est aussi un noeud à trois brins qui respecte les lois de Kirschhoff :

$$i_E = i_C + i_B$$

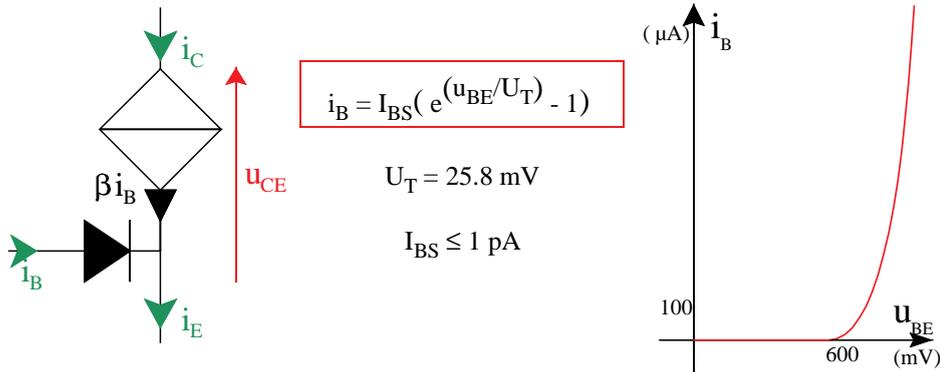
$$\Rightarrow i_E = (\beta + 1)i_B = (1 + 1/\beta)i_C$$



Electricquement, le transistor bipolaire est un générateur de courant parfait ( $i_C$ ) commandé par un courant ( $i_B$ ).

## 2. Première amélioration du modèle : B-E est une diode

L'effet transistor n'apparaît que si :  
 la diode B-E est passante  
 la diode B-C est bloquée



La jonction B-E a toutes les propriétés d'une diode

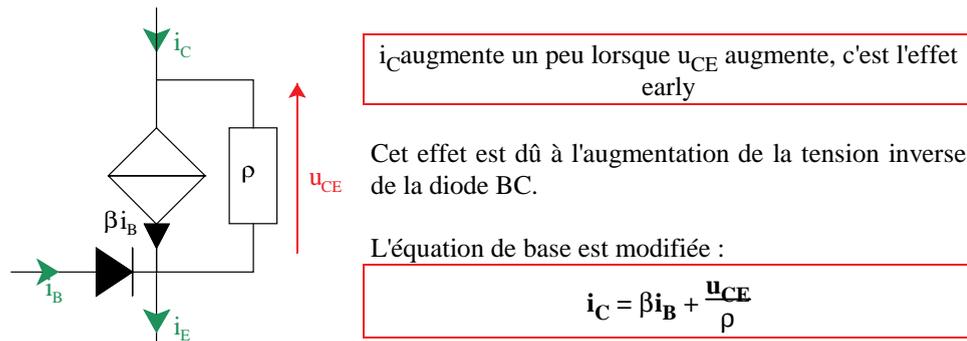
Si  $U_{BE} \leq 0$ , alors  $I_B = 0$  et  $I_C = 0$ , le transistor est **bloqué**  
 (circuit ouvert entre C et E)

## 3. Deuxième amélioration du modèle : $U_{CE} > 0.8 \text{ V}$

Pour bloquer la diode B-C, il faut au moins que  $U_{CE} = U_{CB} + U_{BE} > 0.8 \text{ V}$ .

Si  $U_{CE} < 0.8 \text{ V}$ , l'effet transistor disparaît,  
 $i_C < \beta i_B$ , le transistor est **saturé** (circuit fermé entre C et E)

## 4. Troisième amélioration du modèle : l'effet Early

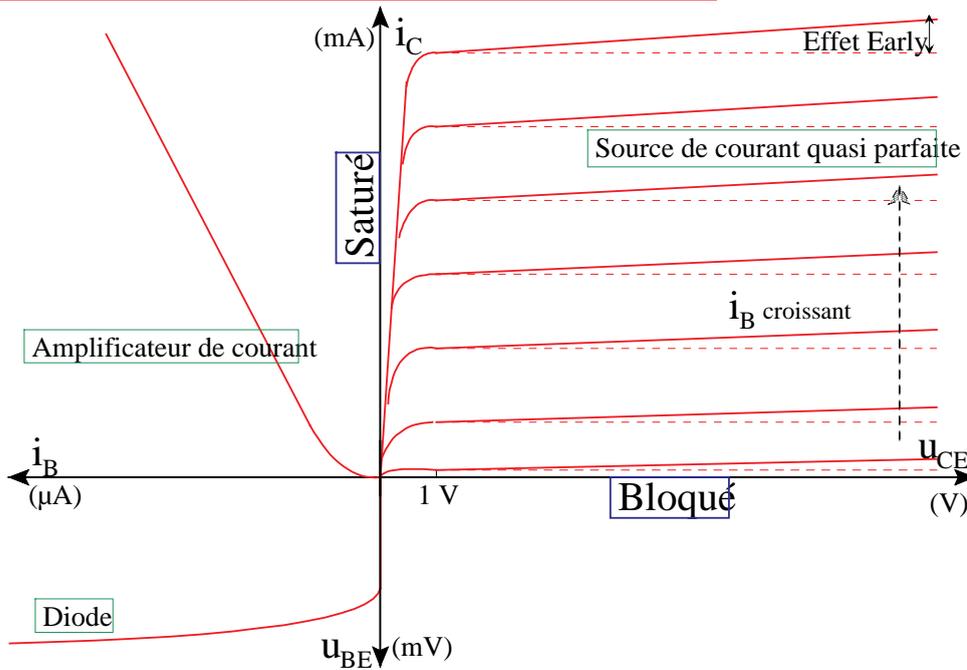


## 5. Un dispositif à semi-conducteurs présente des fuites

$$i_C = \beta i_B + I_{CE0} + \frac{u_{CE}}{\rho}$$

Avec  $I_{CE0}$ , le courant de fuite en émetteur commun.

**C. CARACTÉRISTIQUES D'UN TRANSISTOR BIPOLAIRE**



Ces courbes décrivent la totalité des propriétés d'un transistor bipolaire.

**D. UTILISATION N°1 : INTERRUPTEUR COMMANDÉ**

Entre C et E, le transistor bipolaire est assimilable à un interrupteur.

Saturation  $\Rightarrow$  court-circuit entre C et E  $\Leftrightarrow$  interrupteur fermé ( $u_{CE} \sim 0.2$  V)

Blocage  $\Rightarrow$  circuit ouvert entre C et E  $\Leftrightarrow$  interrupteur ouvert.

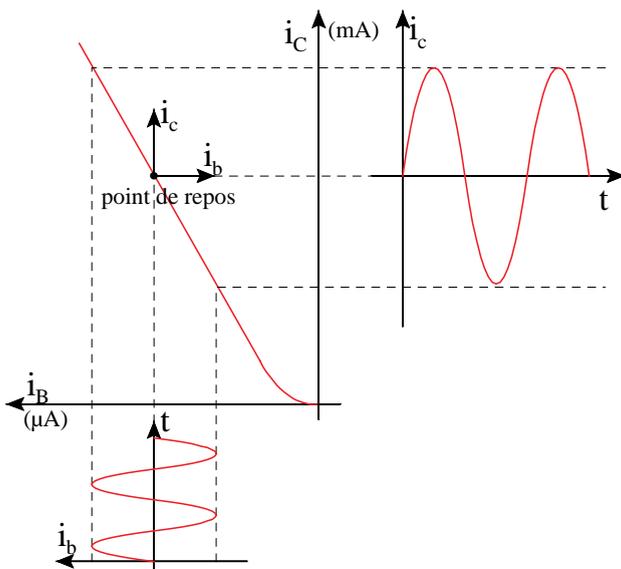
Ces propriétés sont utilisées dans deux domaines distincts :

**La logique**, à chaque état est attribué une valeur, 0 ou 1. Un ensemble de transistors peut constituer une porte logique (voir les portes TTL).

**L'électronique de puissance**, pour la commande ou l'alimentation d'appareils consommant des courants importants (hacheurs, moteurs,...).

**E. UTILISATION N°2 : L'AMPLIFICATION**

**1. Approche graphique**

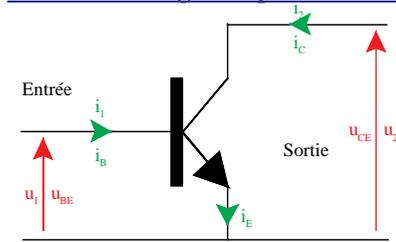


Quelques projections sur la courbe  $i_C(i_B)$  permettent de mettre en évidence l'effet d'amplification de courant.

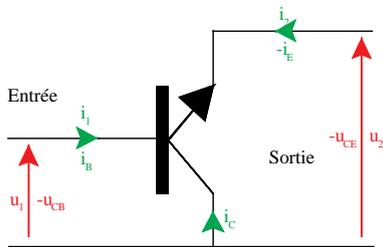
Le point de repos ( $I_B, I_C$ ), permet de placer le système dans son domaine linéaire. Ainsi la sortie  $i_C$  a la même forme que l'entrée  $i_b$  (absence de distortion).

$$i_C = I_C + i_c$$

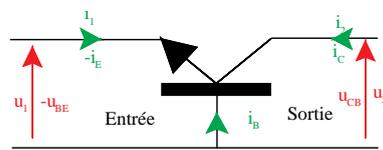
**2. Trois montages amplificateurs de base**



**Emetteur commun**  
 Gain en courant > 1 :  
 $i_2 = i_C = \beta i_B = \beta i_1$   
 Fort gain en tension possible :  
 $u_2 = u_{CE} = u_{BE} + u_{CB} = u_1 + u_{CB}$



**Collecteur commun**  
 Gain en courant > 1 :  
 $i_2 = i_E = (\beta + 1)i_B = (\beta + 1)\beta i_1$   
 Pas de gain en tension :  
 $u_2 = -u_{CE} = -u_{BE} - u_{CB} = u_1 - u_{BE}$   
 $\Rightarrow u_2 \sim u_1$

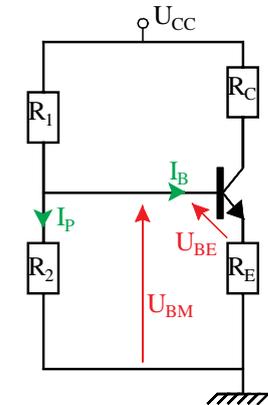


**Base commune**  
 Pas de gain en courant :  
 $i_2 = i_C = \alpha i_E = -\alpha i_1$   
 avec  $\alpha = \beta / (\beta + 1) < 1$   
 Gain en tension possible :  
 $u_2 = u_{CB} = -u_{CE} - u_{BE} = -u_{CE} + u_1$

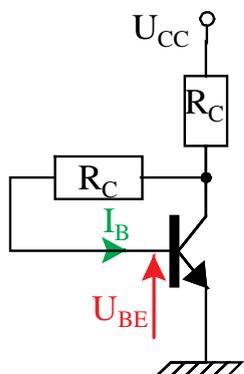
Ces montages, qui, pour fonctionner linéairement, demandent un point de repos à  $I_C \neq 0$ , sont dit des montages en **classe A**.

**F. POLARISATION, POINT DE REPOS ET LINÉARISATION**

L'objectif est de placer le transistor en un point de sa caractéristique où celle-ci est quasiment une droite. Le circuit de polarisation vise aussi à stabiliser le point de repos (par rapport aux dérives thermiques en particulier) sans pour autant rendre les courants et tensions absolument constants



**Polarisation par pont de base.**  
 (Méthode classique)  
 $I_P \gg I_B \Rightarrow U_{BM} \sim U_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \text{cte}$   
 $U_{BE} = U_{BM} - R_E I_E$   
 donc :  
 $I_C \uparrow \Rightarrow I_E \uparrow \Rightarrow U_{BE} \downarrow \Rightarrow I_B \downarrow \Rightarrow I_C \downarrow$   
 $I_C$  est bien stabilisé.



**Polarisation par contre-réaction  $U_{CE} - I_B$**   
 $U_{CC} = R_C(1+1/\beta)I_C + U_{CE}$   
 $U_{CE} = R_B I_B + U_{BE}$   
 donc :  
 $I_C \uparrow \Rightarrow U_{CE} \downarrow \Rightarrow I_B \downarrow \Rightarrow I_C \downarrow$   
 $I_C$  est stabilisé.  
Rq : Ce montage est intrinsèquement contre-réactionné (voir 2<sup>ème</sup> année)