

3ème leçon: Le transistor bipolaire

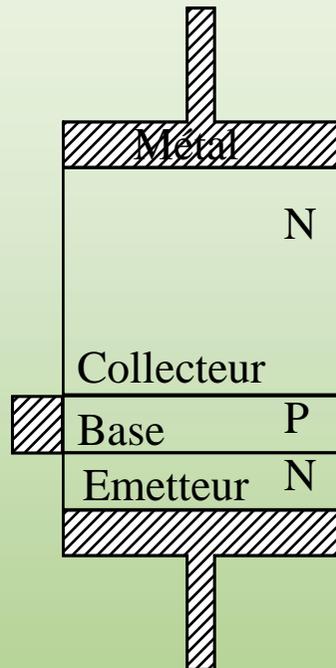
- **I. Le transistor bipolaire**
 - Structure et symbole
 - Modélisation
 - » Une vanne de courant
 - » Un générateur de courant parfait
 - » Un générateur comandé via une diode
 - Utilisations
 - » Interrupteur
 - » Amplificateur : rôle de la polarisation
- **II. Etude de l'amplification**
 - Schéma équivalent en petits signaux
- **III. Applications du transistor bipolaire**

1. Le transistor bipolaire

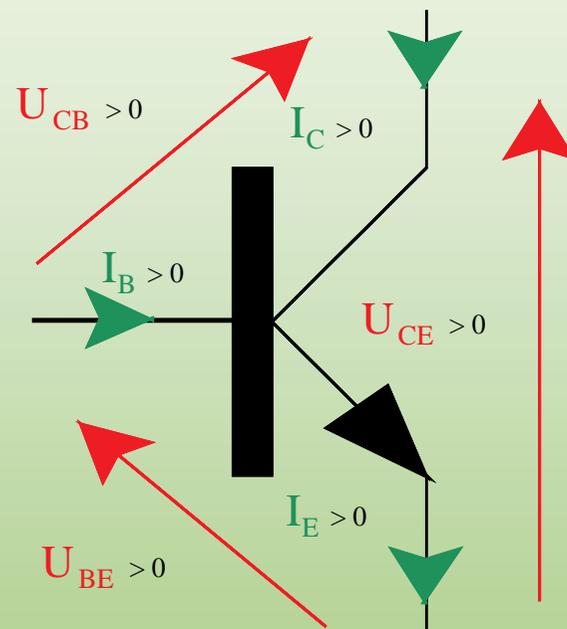
- **Structure et symbole.**

Un sandwich (Collecteur/Base/Emetteur) semiconducteur

NPN



Structure NPN

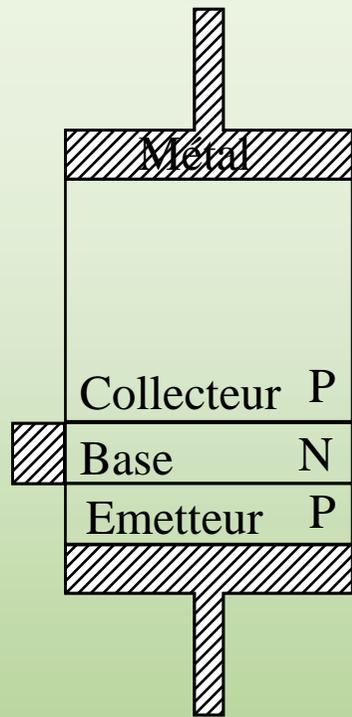


Les signes des variables sont ceux qui permettent d'obtenir l'effet transistor

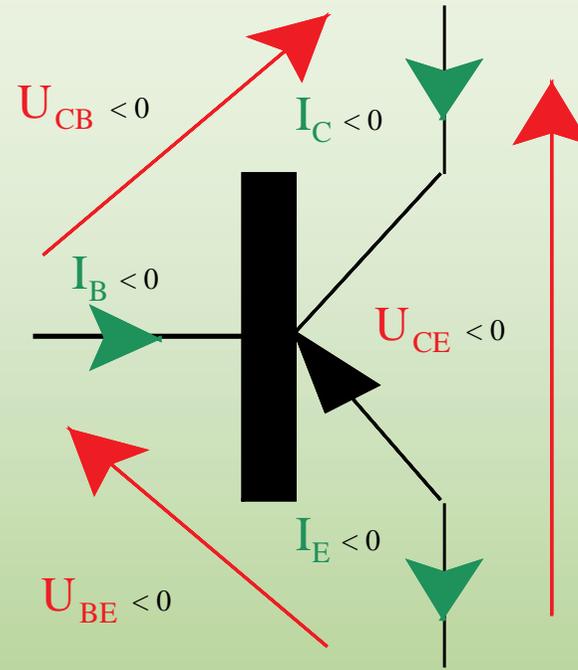
Symbole : La flèche indique le sens passant de la diode B-E

L'autre modèle de transistor bipolaire

PNP



Structure PNP

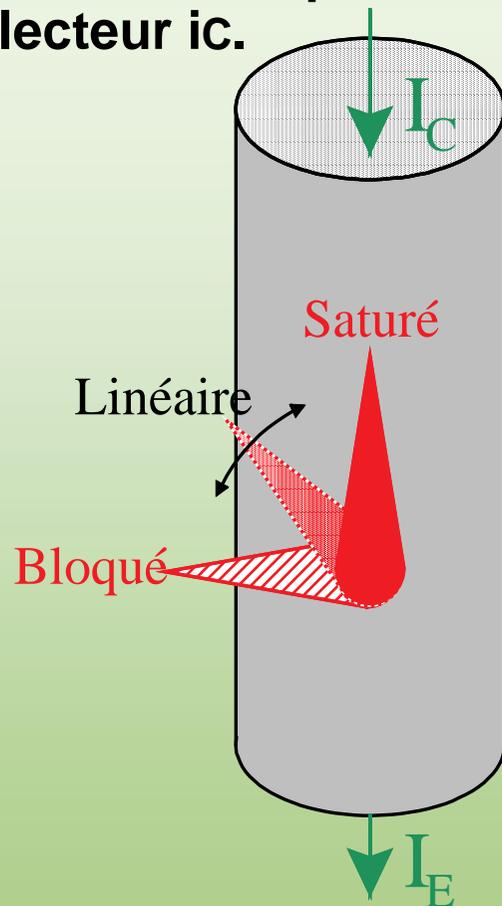


Les signes des variables sont ceux qui permettent d'obtenir l'effet transistor

Symbole : La flèche indique le sens passant de la diode B-E

Première approximation : la vanne de courant

- Le transistor bipolaire est une vanne de courant, qui contrôle le courant de collecteur i_C .



Le contrôle s'effectue à l'aide du courant de base i_B :

$$i_C = \beta i_B$$

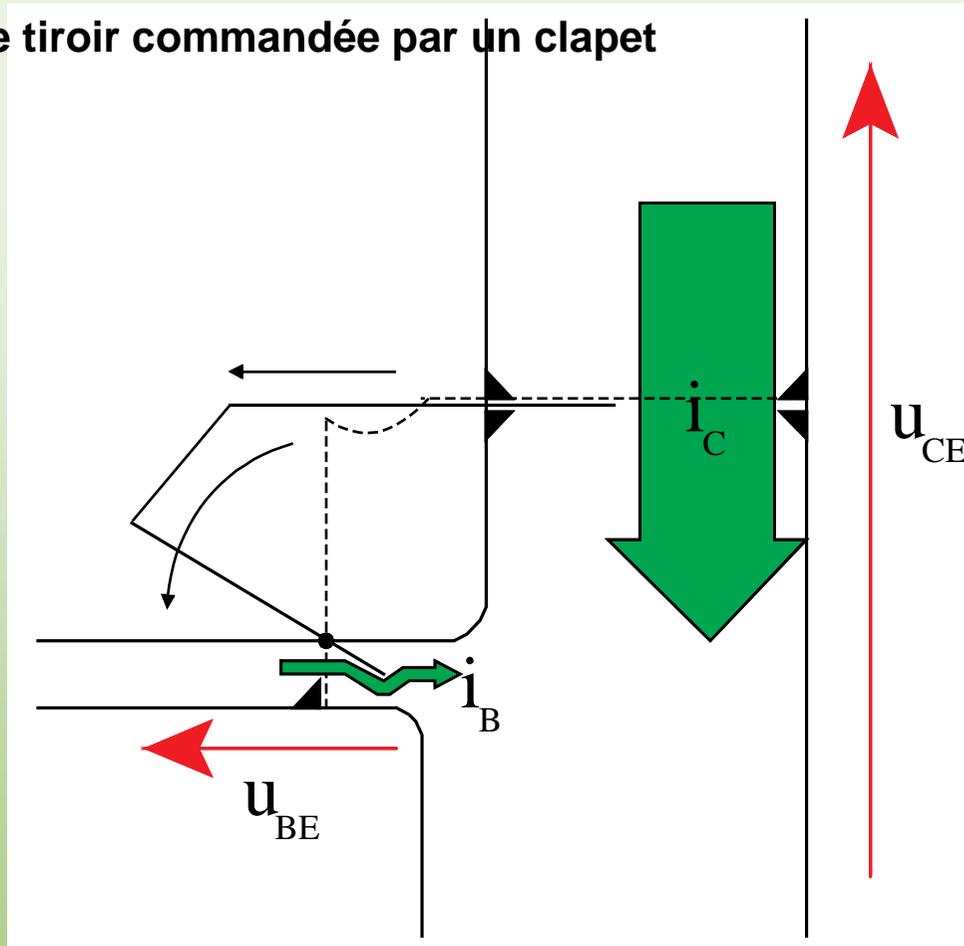
$$\beta \sim 10 \text{ à } 250$$

Le transistor est également un noeud à 3 brins :

$$i_E = i_C + i_B$$

Essai de représentation d'une vanne commandée par un courant

- Vanne tiroir commandée par un clapet

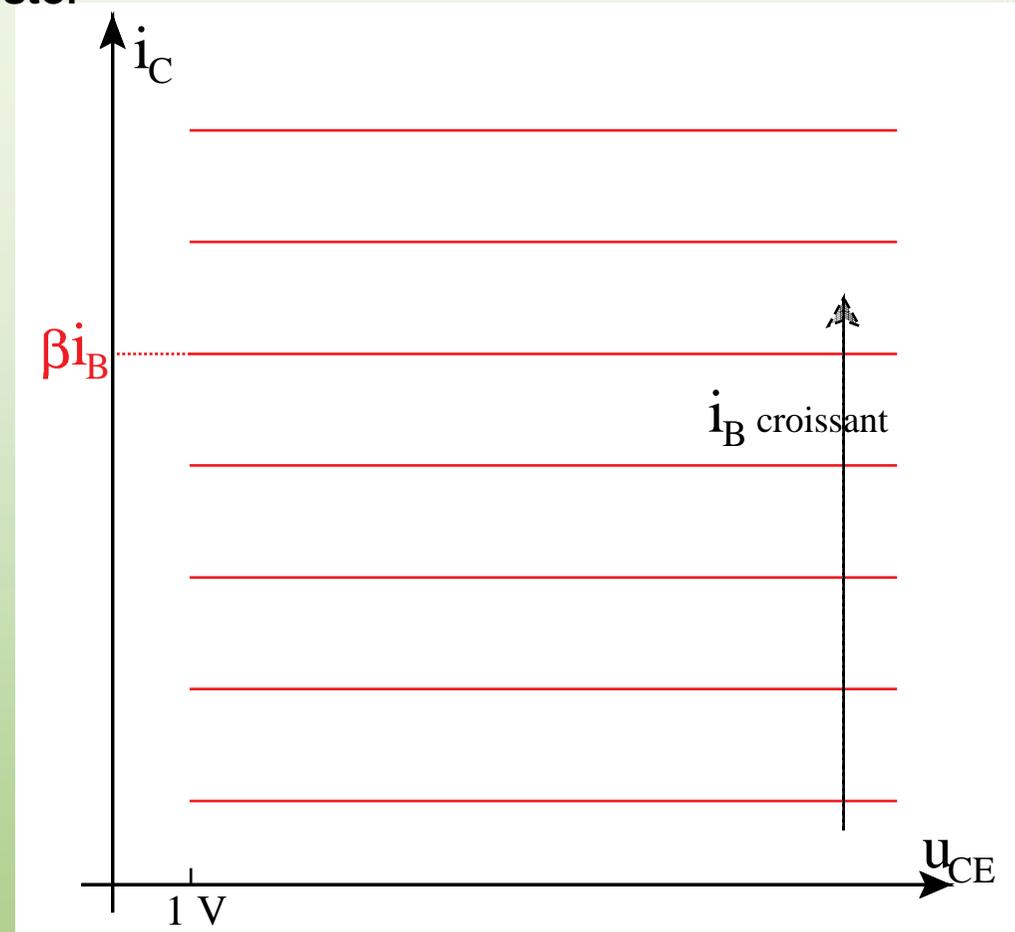
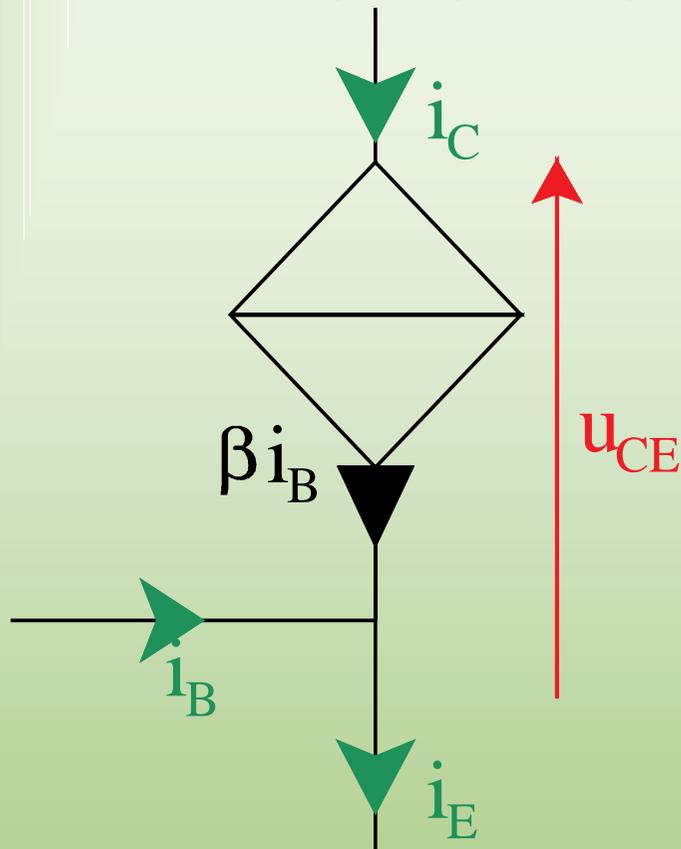


$$i_C = \beta i_B$$

$$i_E = i_C + i_B$$

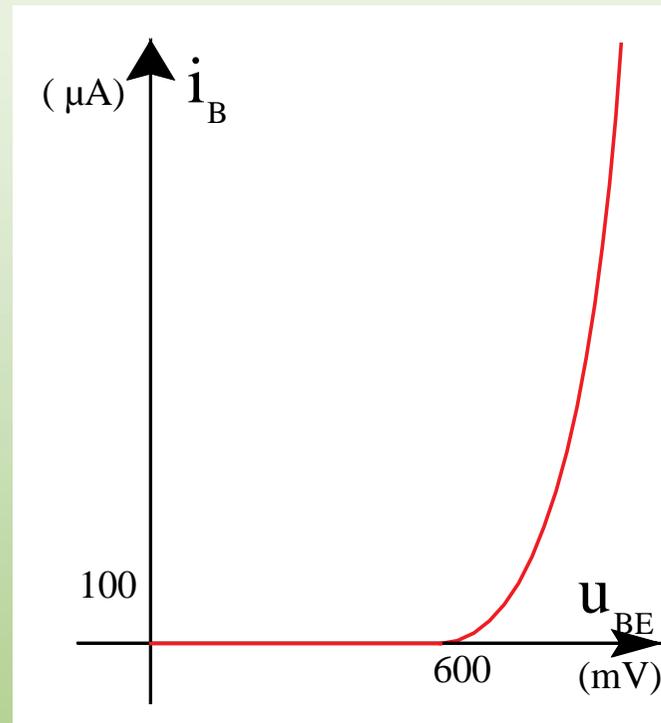
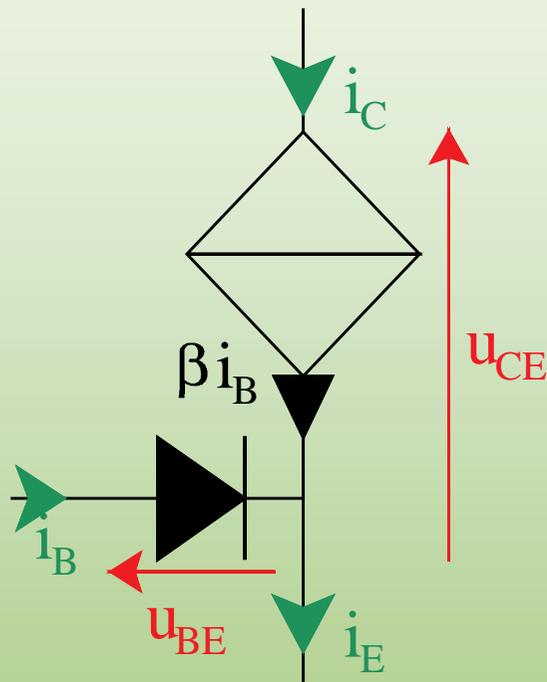
Un générateur de courant parfait i_C Commandé par un courant i_B

- Modèle électrique le plus simple du transistor



Il y a une diode entre la base et l'émetteur

- L'effet transistor (la commande de i_C par i_B) n'apparaît que si la diode B-E est passante et la diode B-C bloquée.



$$i_B = I_{BS} (e^{u_{BE}/U_T} - 1)$$

$$u_T = 25.8 \text{ mV à } 300 \text{ K}$$

En fonctionnement normal du transistor, la jonction B-E a toutes les propriétés d'une diode passante

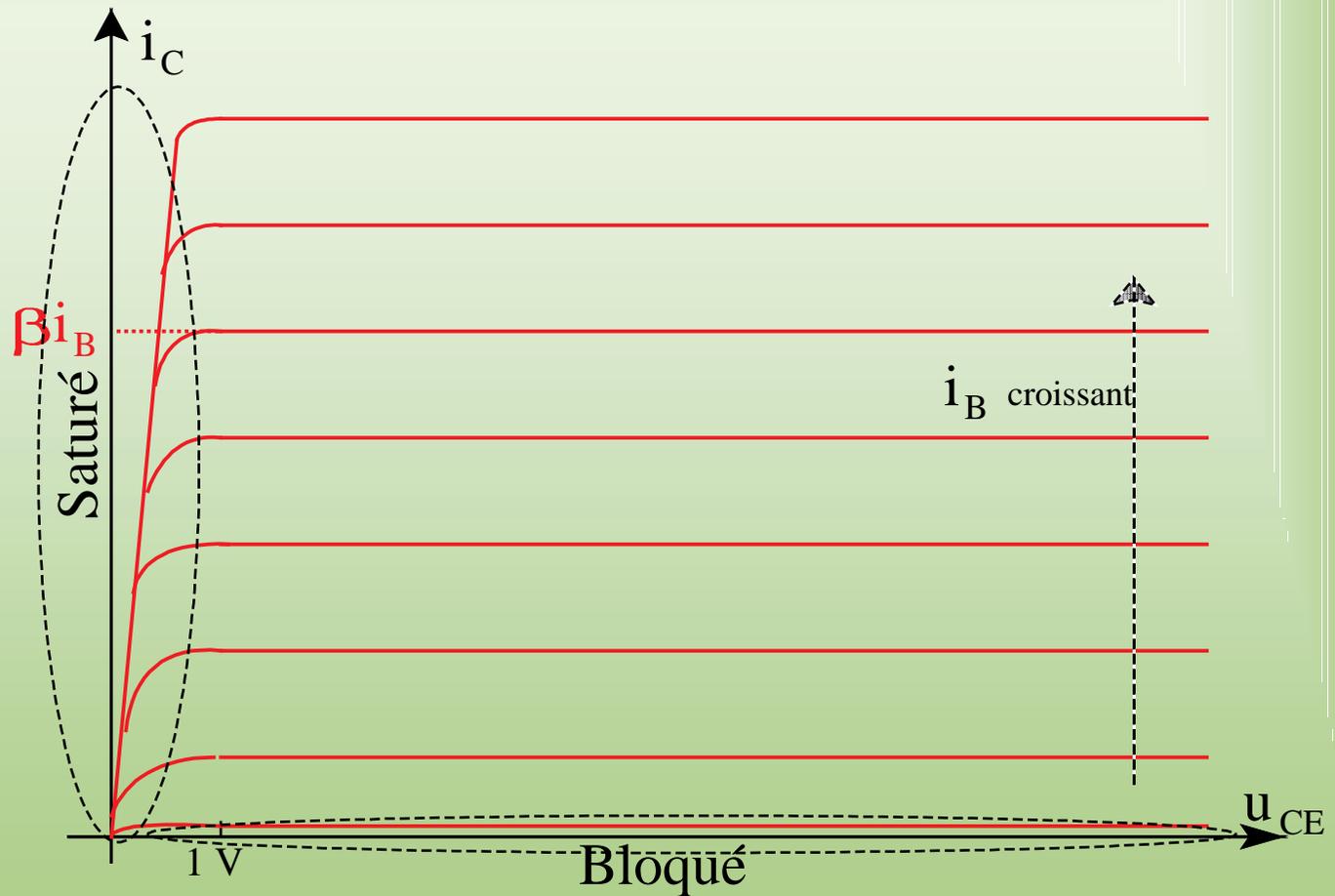
Si $u_{BE} < U_{D0}$, alors $i_B = 0$, la diode se bloque et $i_C = 0$: le transistor est **BLOQUE** (circuit ouvert entre C et E)

Pour bloquer la diode B-C $u_{CE} > 0.8 \text{ V}$

- Si $u_{CE} < 0.8 \text{ V}$, la diode B-C devient passante et l'effet transistor disparaît.

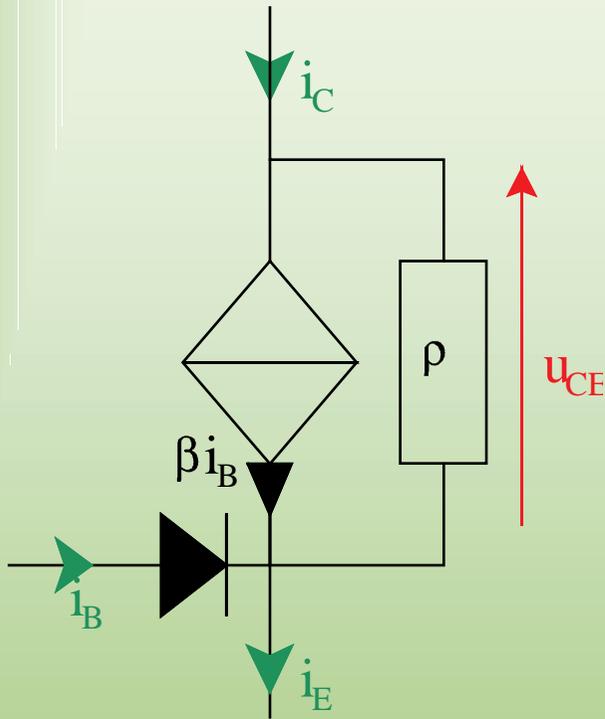
Dans ce cas, le transistor est saturé et se comporte comme un circuit fermé entre C et E

$$i_C < \beta i_B$$

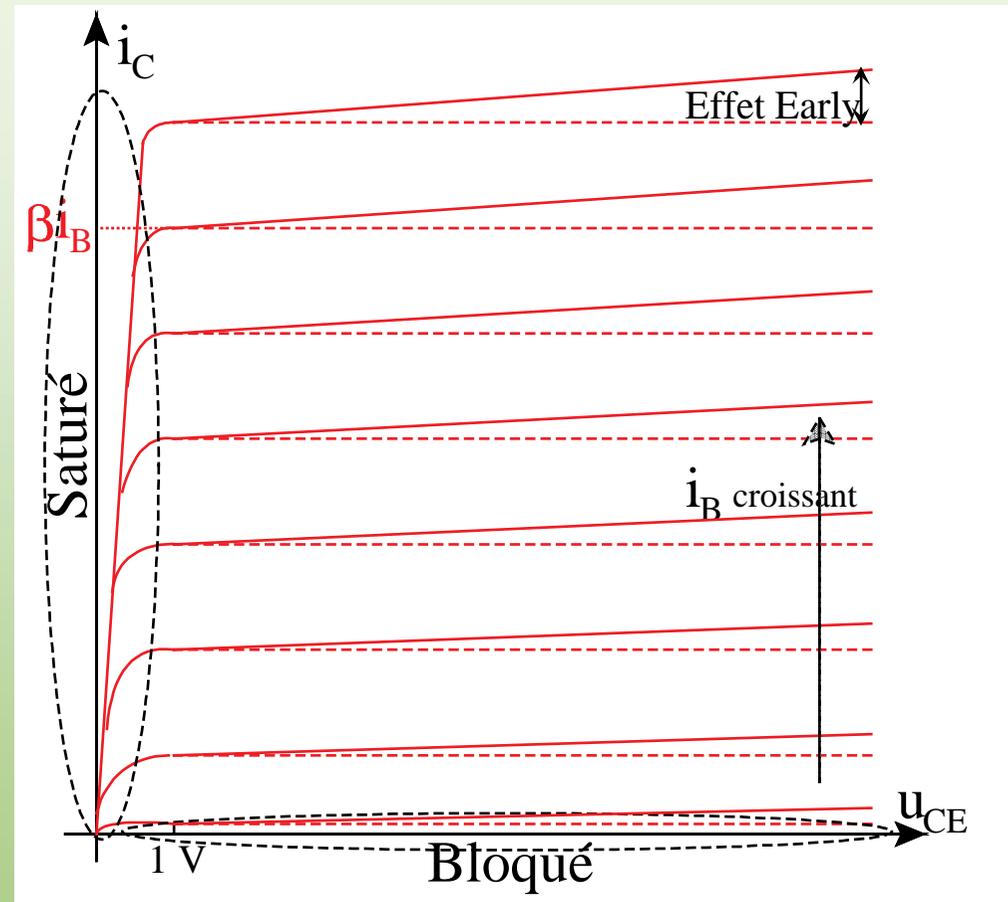


i_C augmente avec u_{CE} : C'est l'effet Early

- Cet effet est dû à l'augmentation de la tension inverse de la diode BC.

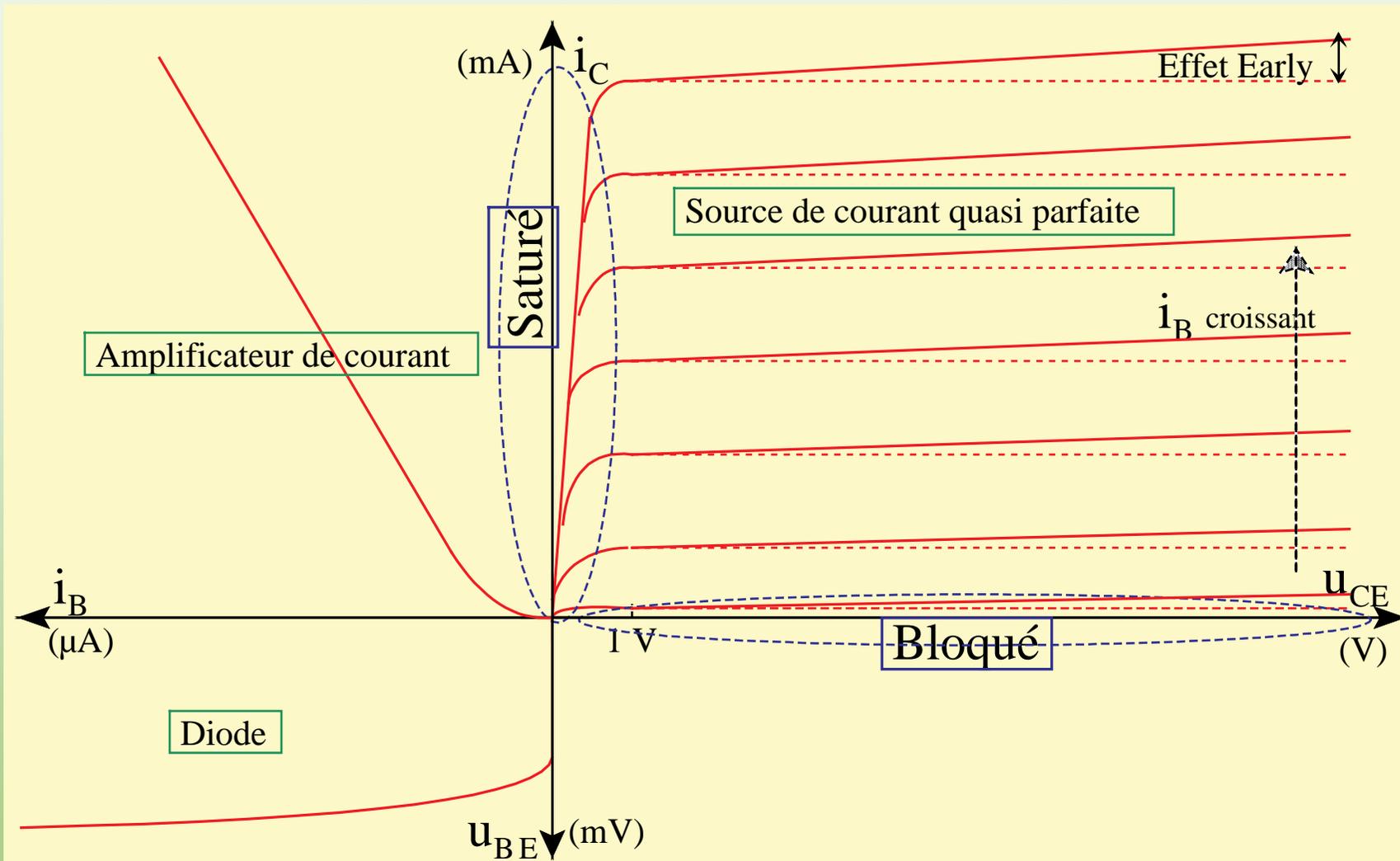


$$i_C = \beta i_B + \frac{u_{CE}}{\rho}$$



Réseau des caractéristiques du bipolaire

- Chaque quadrant correspond à une propriété intéressante du composant



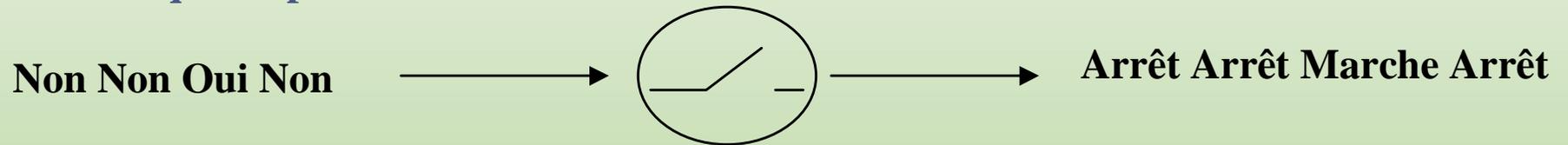
Deux principales utilisations des transistors

- Comme un interrupteur commandé :

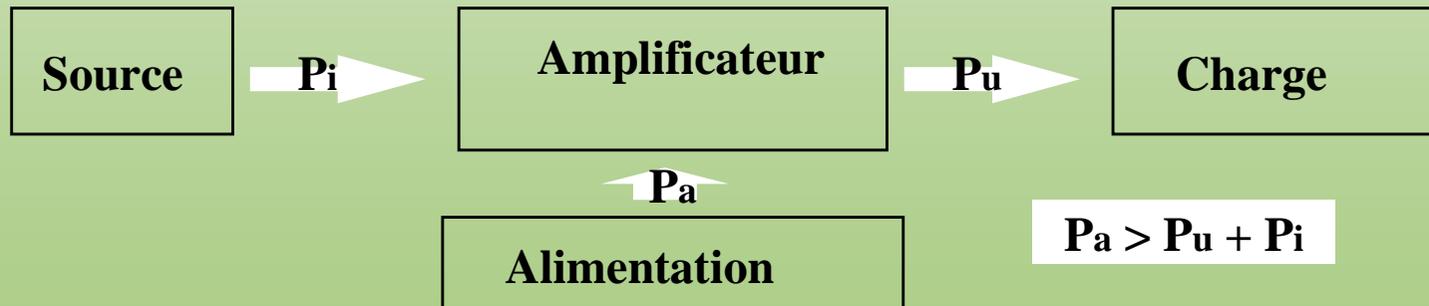
En Logique :



En électronique de puissance :

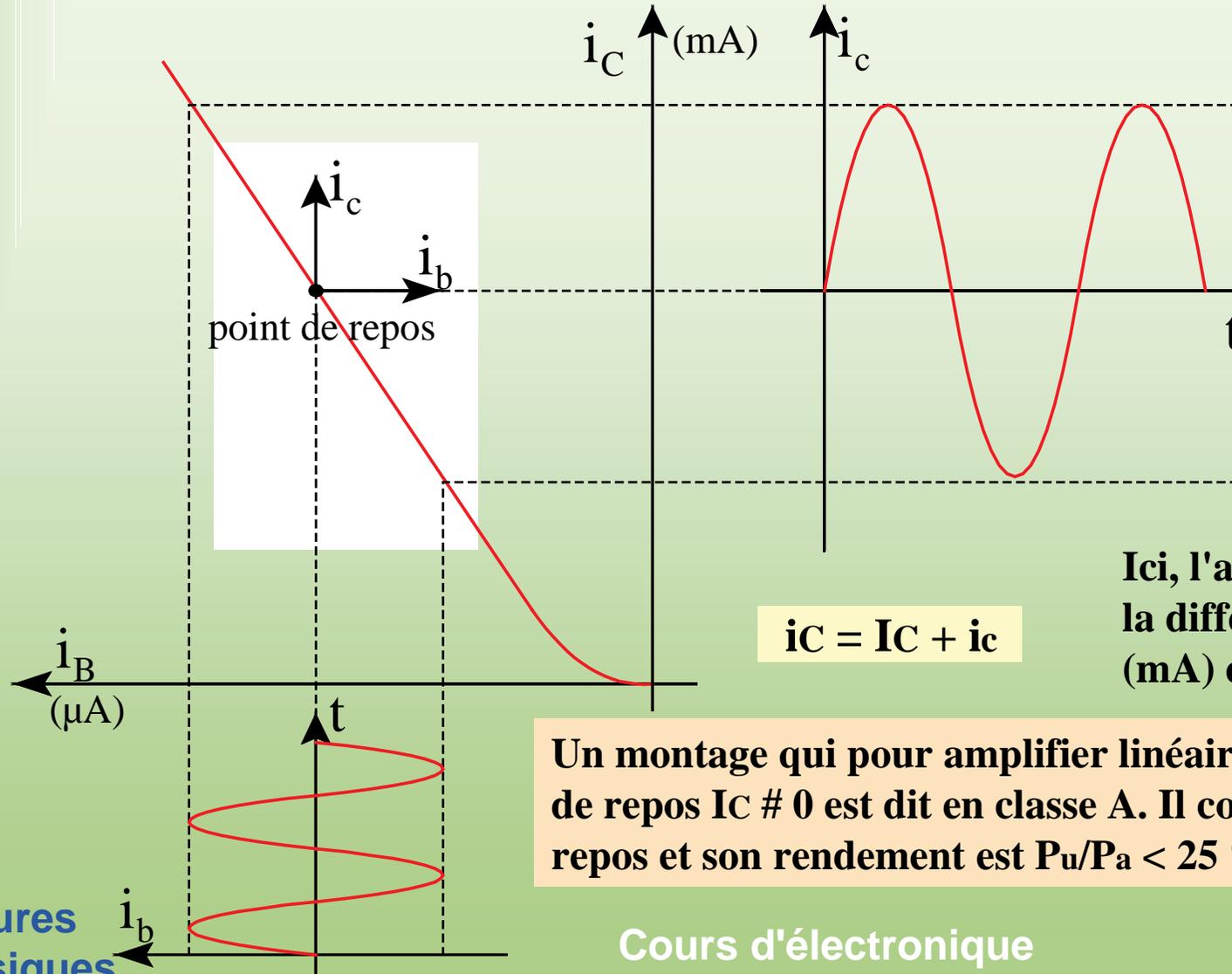


- Comme amplificateur :



Approche graphique de l'amplification

- L'amplification est linéaire si la sortie a la même forme que l'entrée.



I_C : point de repos
 i_c : petit signal
 i_C : somme des 2

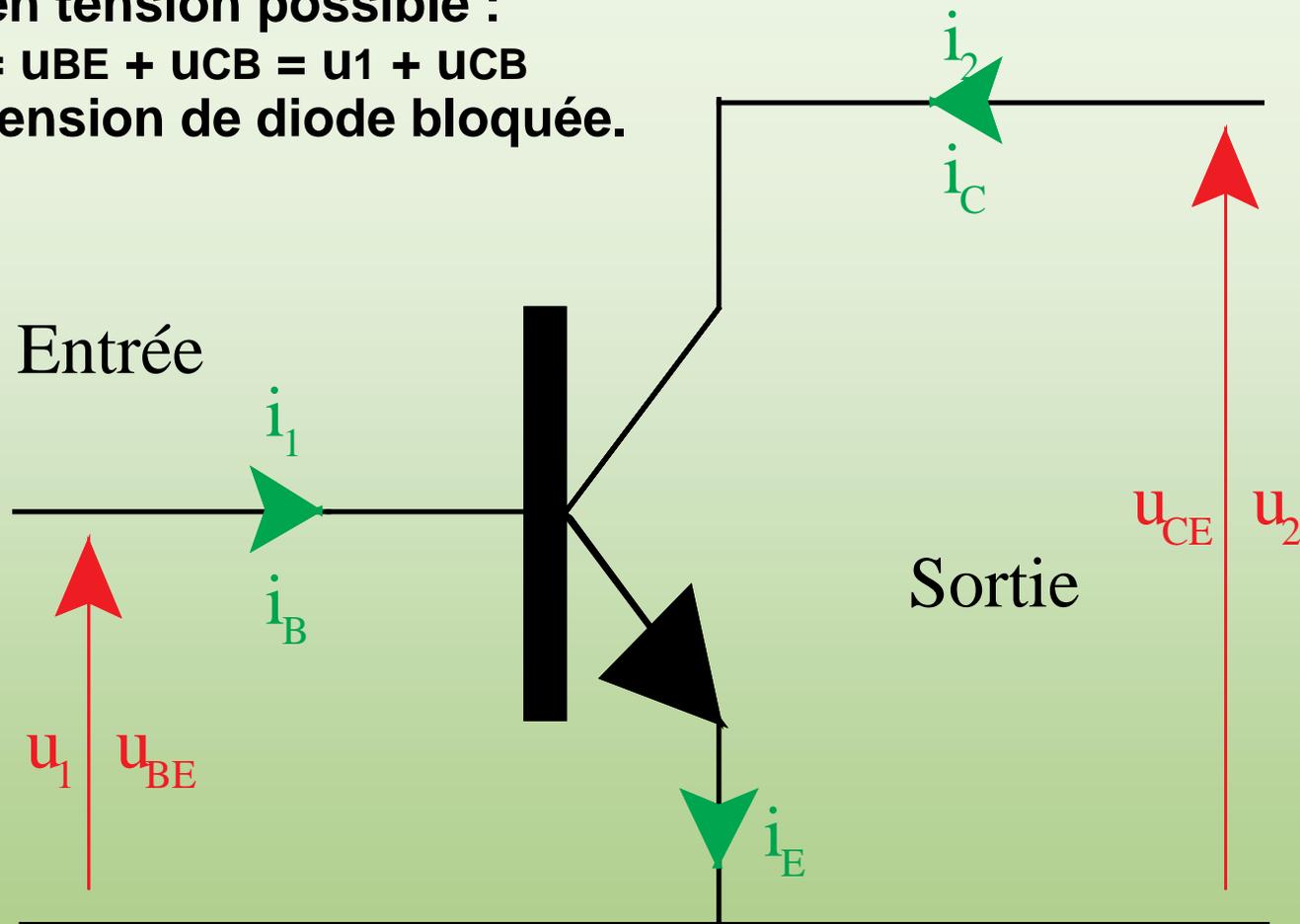
$$i_C = I_C + i_c$$

Ici, l'amplification est visible dans la différence d'unités entre i_C (mA) et i_B (μA).

Un montage qui pour amplifier linéairement a besoin d'un point de repos $I_C \neq 0$ est dit en classe A. Il consomme de l'énergie au repos et son rendement est $P_u/P_a < 25\%$

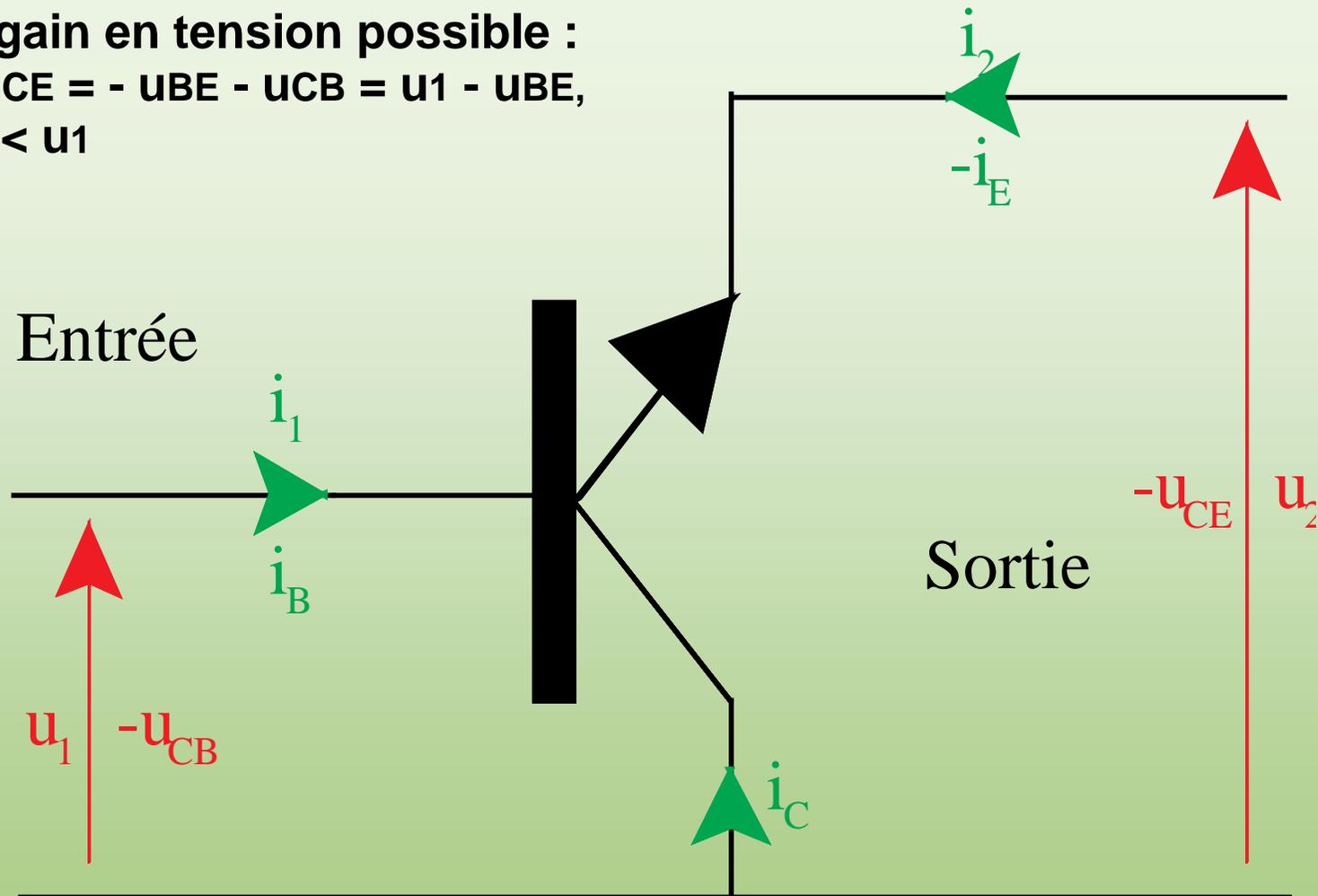
Emetteur Commun

- Fort gain en courant $A_i > 1$: $i_2 = i_C = \beta i_B = \beta i_1$
- Fort gain en tension possible :
 $u_2 = u_{CE} = u_{BE} + u_{CB} = u_1 + u_{CB}$
avec u_{CB} tension de diode bloquée.



Collecteur Commun

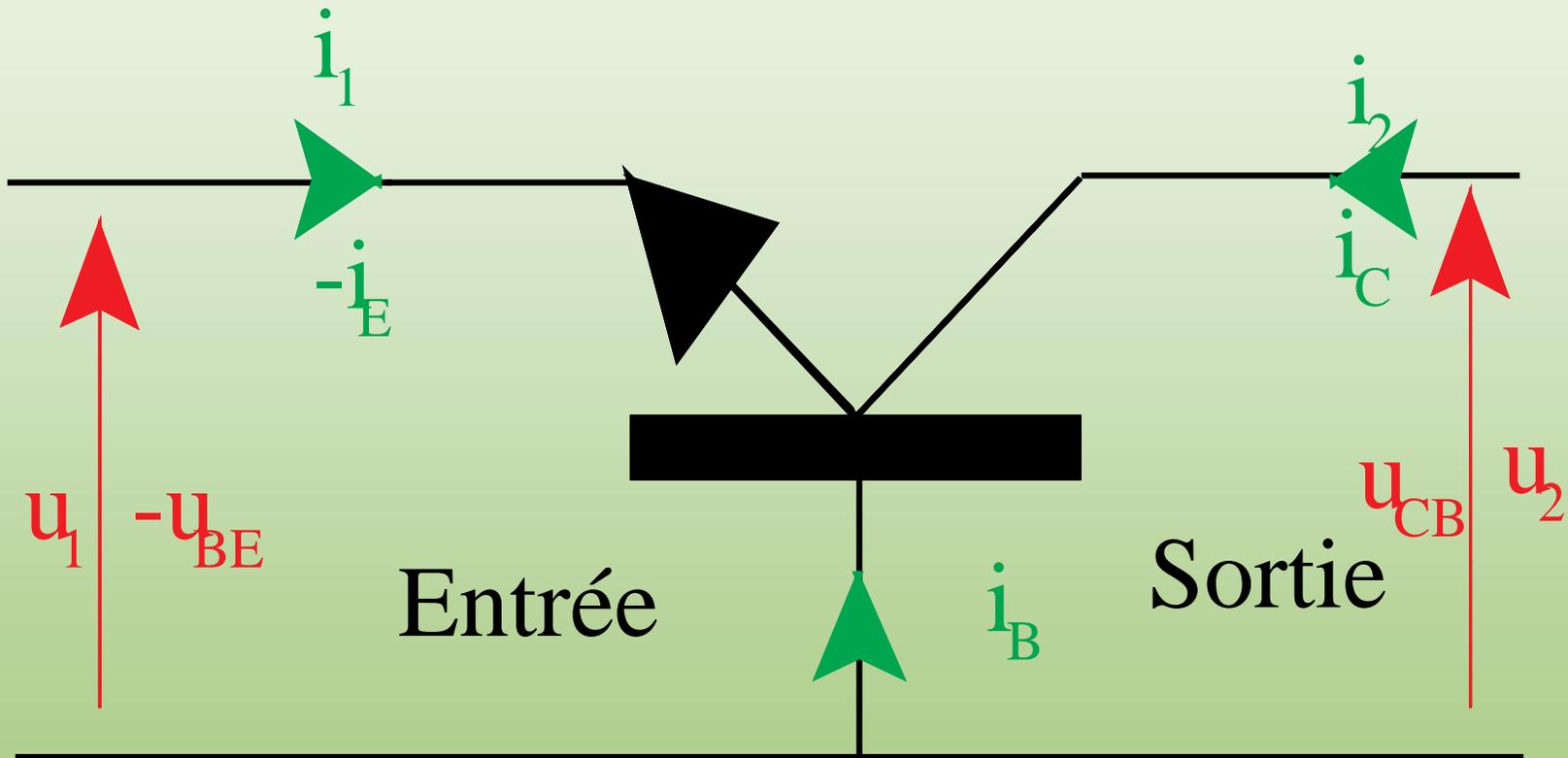
- Fort gain en courant $A_i > 1$: $i_2 = i_C = (1 + \beta)i_B = (1 + \beta)i_1$
- Pas de gain en tension possible :
 $u_2 = -u_{CE} = -u_{BE} - u_{CB} = u_1 - u_{BE}$,
soit $u_2 < u_1$



Base Commune

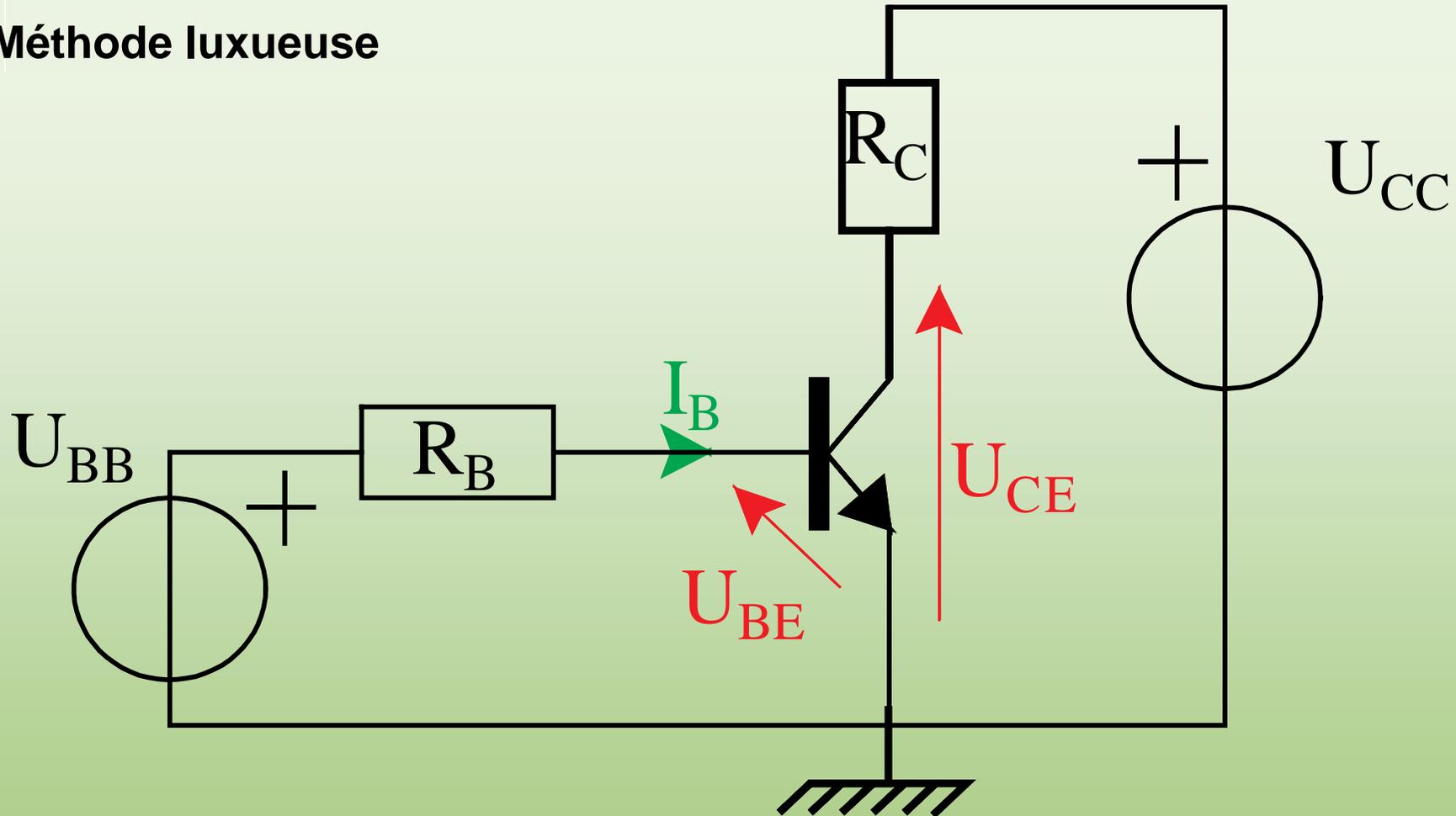
- Pas de gain en courant $A_i \sim 1$: $i_2 = i_C = \alpha i_E = -\alpha i_1$
- Gain en tension possible :
 $u_2 = u_{CB} = -u_{CE} - u_{BE} = u_1 - u_{CE}$,
 soit $u_2 < u_1$

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} < 1$$



Polarisation à deux sources

- Méthode luxueuse



Polarisation Instable

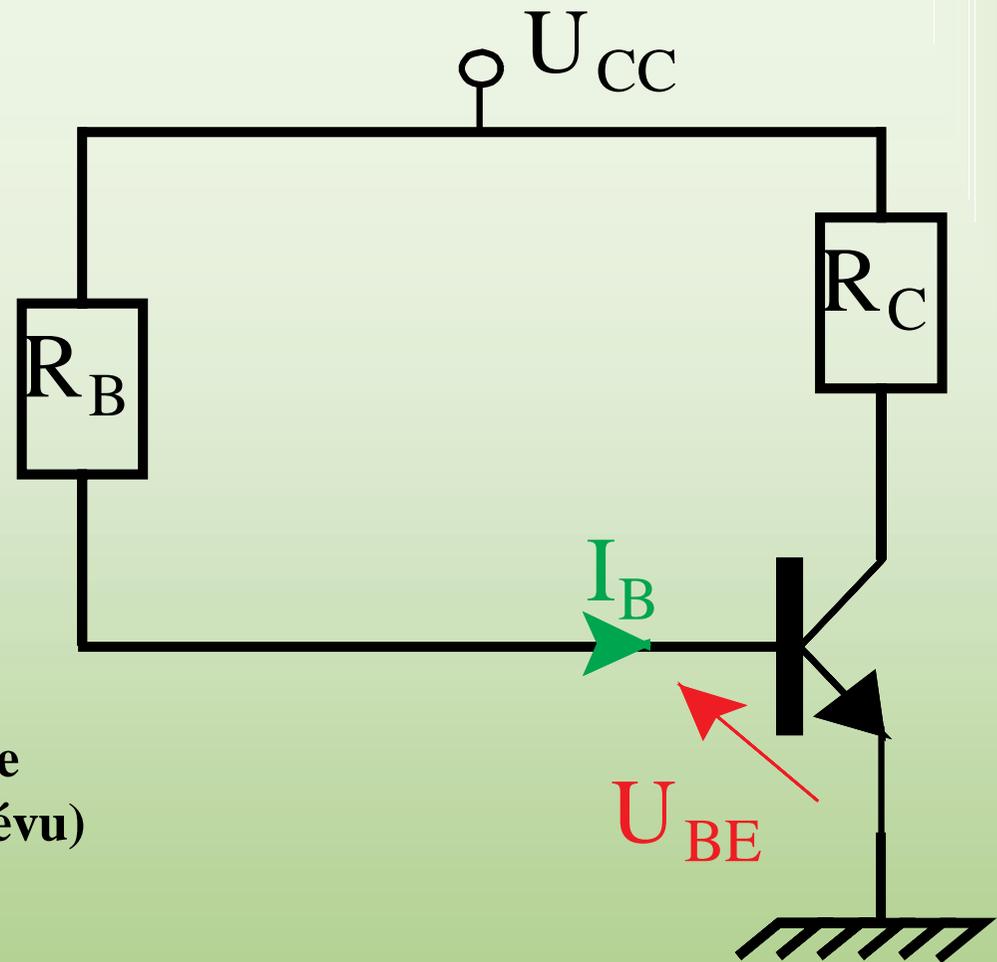
- Rien n'est prévu pour stabiliser I_C

Causes des dérives de I_C :

Changement de β
Echauffement

Conséquences :

Saturation au repos
Diminution de la dynamique de sortie
(la saturation arrive plus vite que prévu)



Polarisation par pont de base

- La plus classique : stabiliser U_{BM} le potentiel de la base

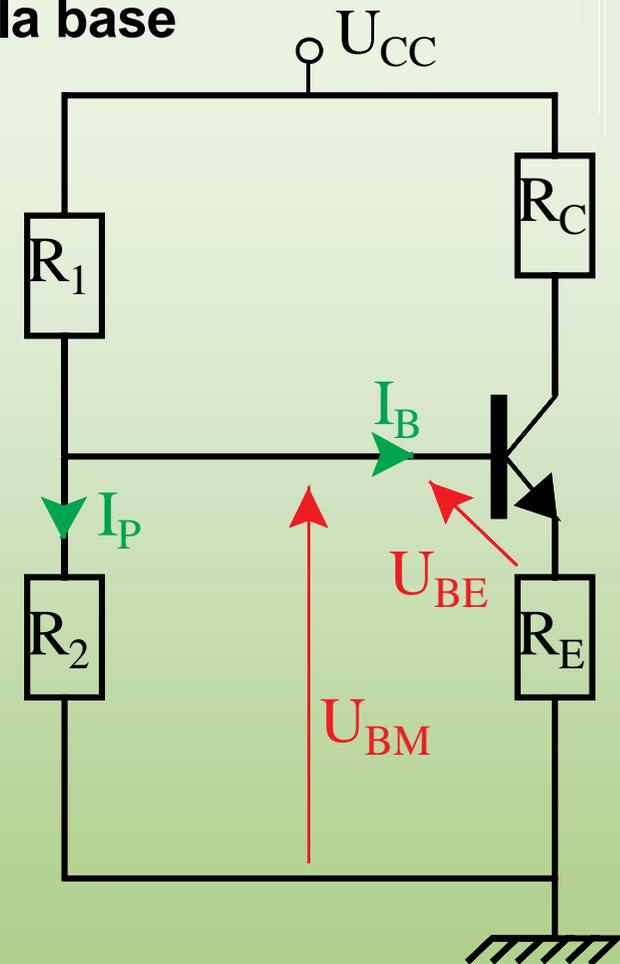
$$I_P \gg I_B \Rightarrow U_{BM} \sim U_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \sim \text{cte}$$

$$U_{BE} = U_{BM} - R_E I_E$$

$$I_C = \beta I_B$$

Stabilisation :

$$I_C \uparrow \Rightarrow I_E \uparrow \Rightarrow U_{BE} \downarrow \Rightarrow I_B \downarrow \Rightarrow I_C \downarrow$$



Polarisation par contre-réaction

- Utilise moins de composants, mais complique un peu l'analyse du circuit.

$$U_{CC} = R_C(1 + \frac{1}{\beta})I_C + U_{CE}$$

$$U_{CE} = R_B I_B + U_{BE}$$

$$I_C = \beta I_B$$

Stabilisation :

$$I_C \uparrow \Rightarrow U_{CE} \downarrow \Rightarrow I_B \downarrow \Rightarrow I_C \downarrow$$

