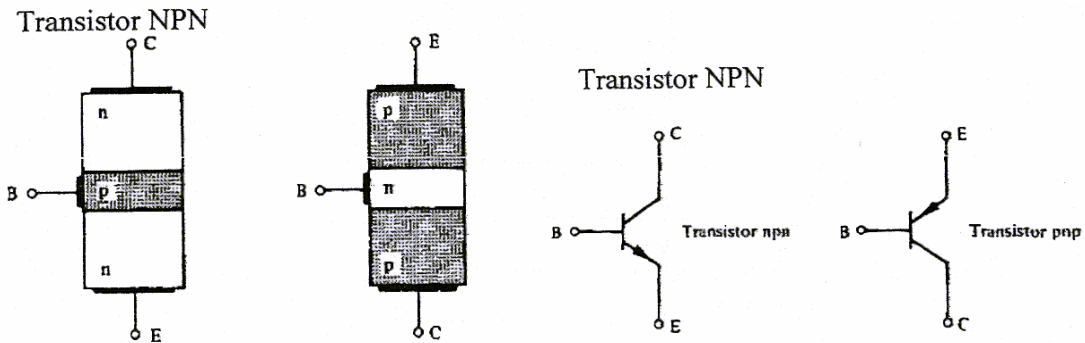


# Chapitre 4 : Le transistor Bipolaire

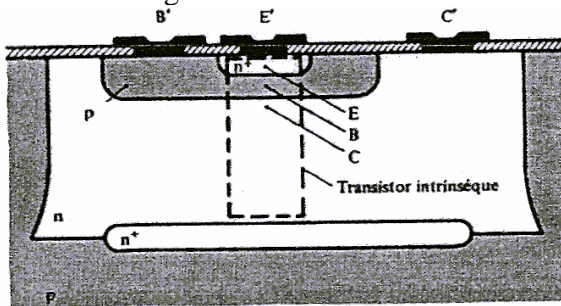
## 1. Structure et description du fonctionnement

### 1.1. Les transistors bipolaires

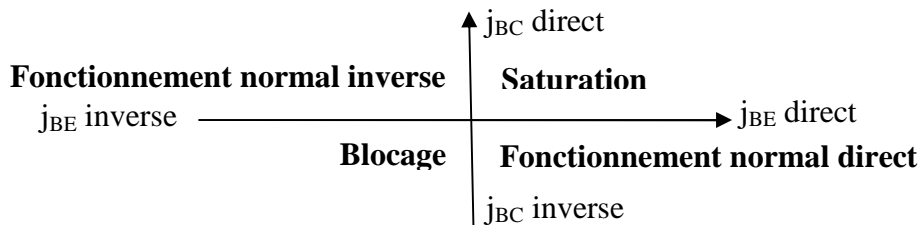


### 1.2 Le transistor NPN

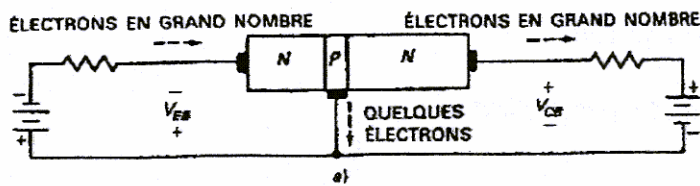
Structure intégrée d'un transistor NPN « vertical »



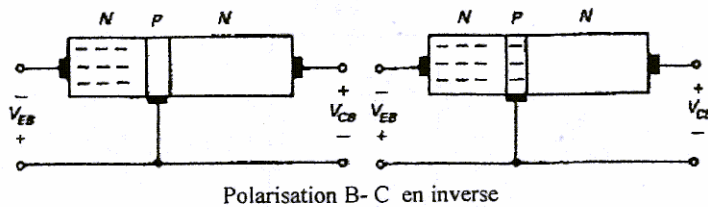
- Jonction P-N correspondant Base (B) - Emetteur (E) polarisée direct
- Si jonction Base (type P)-Collecteur (type N) non polarisée ou polarisée en direct  $\Rightarrow$  courant de collecteur  $I_C \approx 0$
- Si jonction Base-Collecteur polarisée en inverse  $\Rightarrow$  courant de collecteur  $I_C \approx I_E$



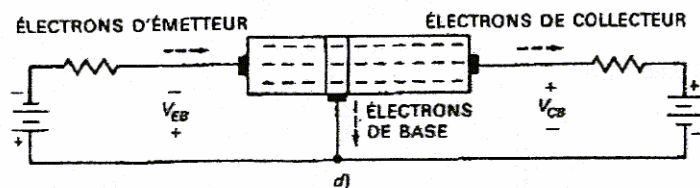
← Mode de fonctionnement du transistor bipolaire



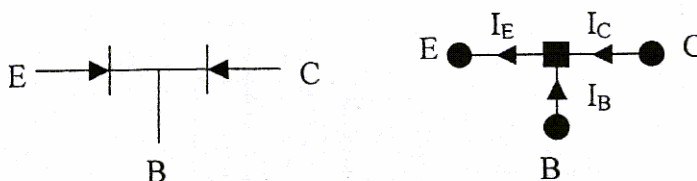
← Polarisation correcte d'un transistor NPN : fonctionnement normal direct



Polarisation inverse:  
← Injection d'électrons (majo) de l'émetteur dans la base

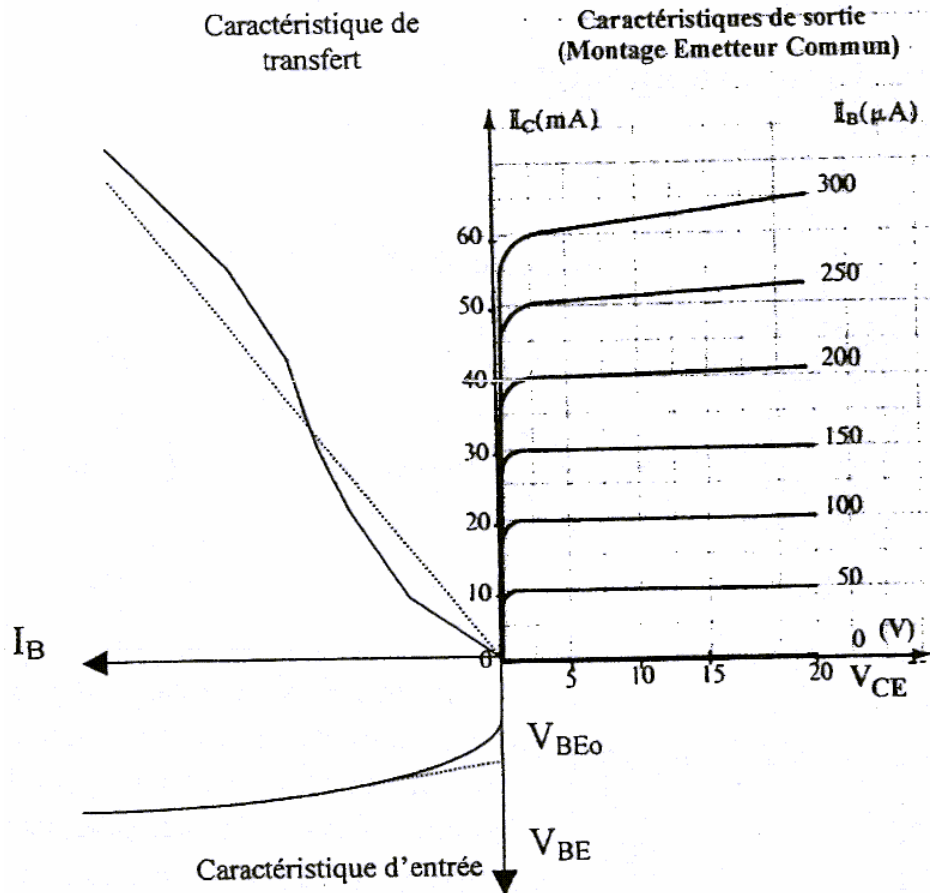


← Les électrons (mino pour la base) traversent la ZCE et sont aspirés par le collecteur



← En régime continu une loi  $I_E = I_C + I_B$  et  $I_B \ll I_C$

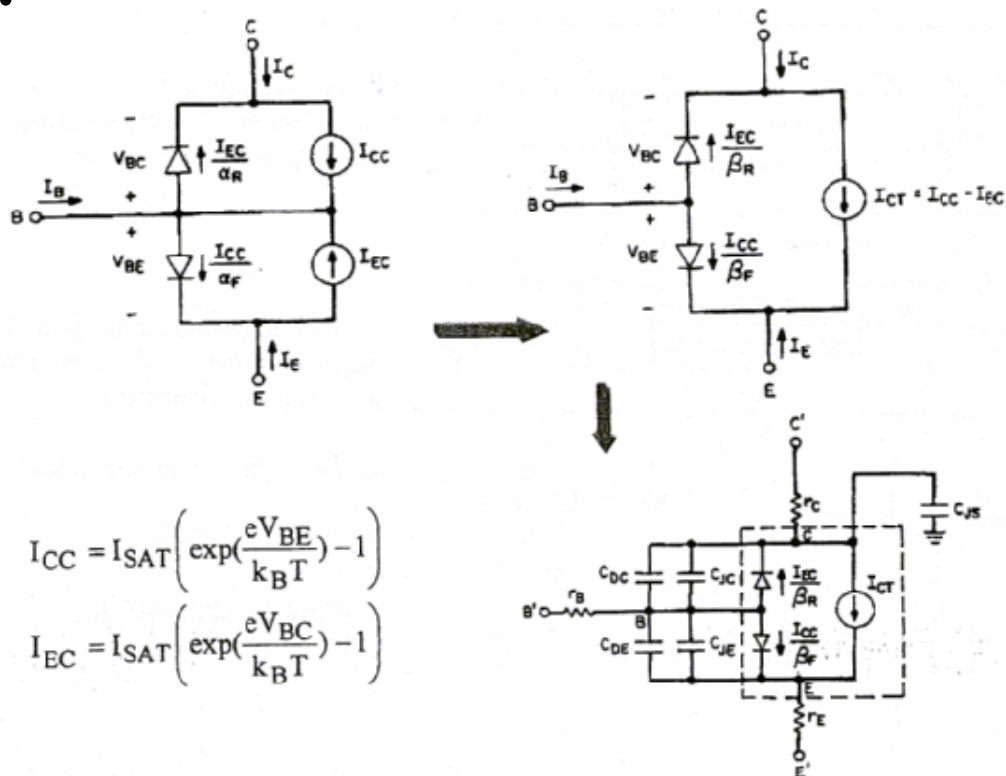
### 1.3. Caractéristiques statiques d'un transistor montage émetteur commun



Quelques paramètres des transistors :

- $V_{BE0}$ : tension de seuil (ou de coude d'une diode en direct) = 0,7 V pour le silicium
- $BV_{CBO}$ : tension de claquage collecteur-base lorsque émetteur est ouvert
- $BV_{CE0}$ : tension de claquage
- $BV_{EBO}$ : tension de claquage
- $\beta_{CC} = I_C / I_B$  gain en courant statique, voisin de 100

### 1.4. Établir un modèle pour PSPICE (Étapes préliminaires)

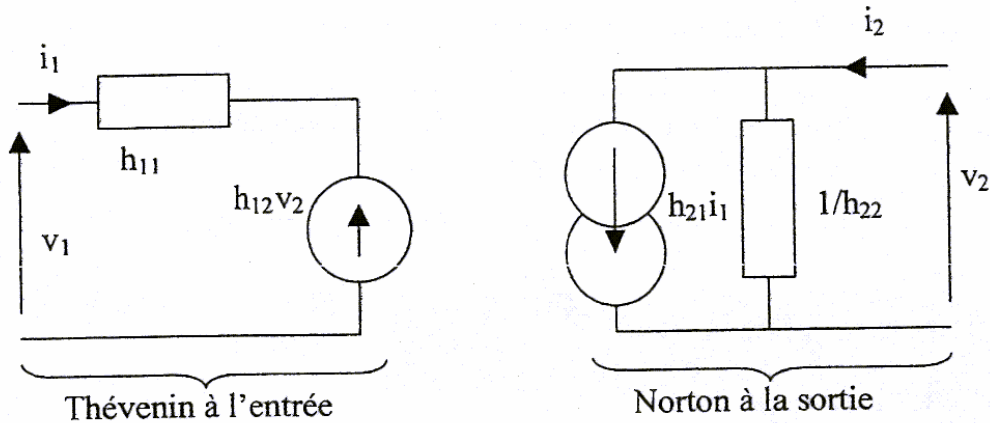


$$I_{CC} = I_{SAT} \left( \exp\left(\frac{eV_{BE}}{k_B T}\right) - 1 \right)$$

$$I_{EC} = I_{SAT} \left( \exp\left(\frac{eV_{BC}}{k_B T}\right) - 1 \right)$$

## 2. Modèle hybride petit signaux (montage EC)

### 2.1. Rappels sur paramètres hybrides



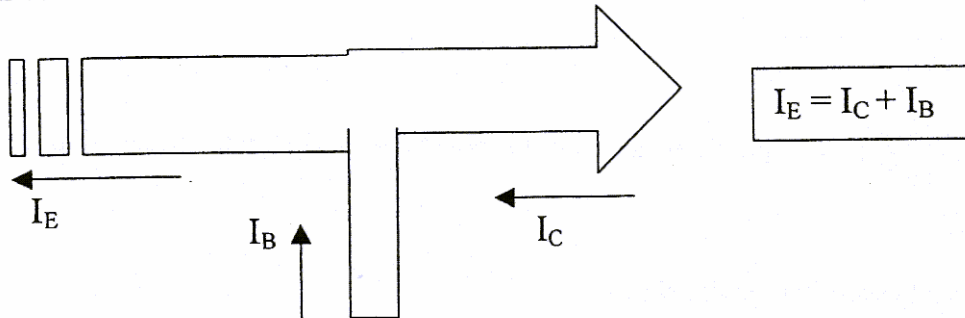
→ Application au transistor, montage EC :  $V_1 = V_{BE}$ ,  $V_2 = V_{CE}$ ,  $i_1 = i_B$  et  $i_2 = i_E$

### 2.2. Bases physiques du modèle hybride simplifié pour un transistor EC

#### Modélisation en régime statique

Electrons émis par l'émetteur et arrivant dans la base

Electrons traversant la base et aspirés par le collecteur

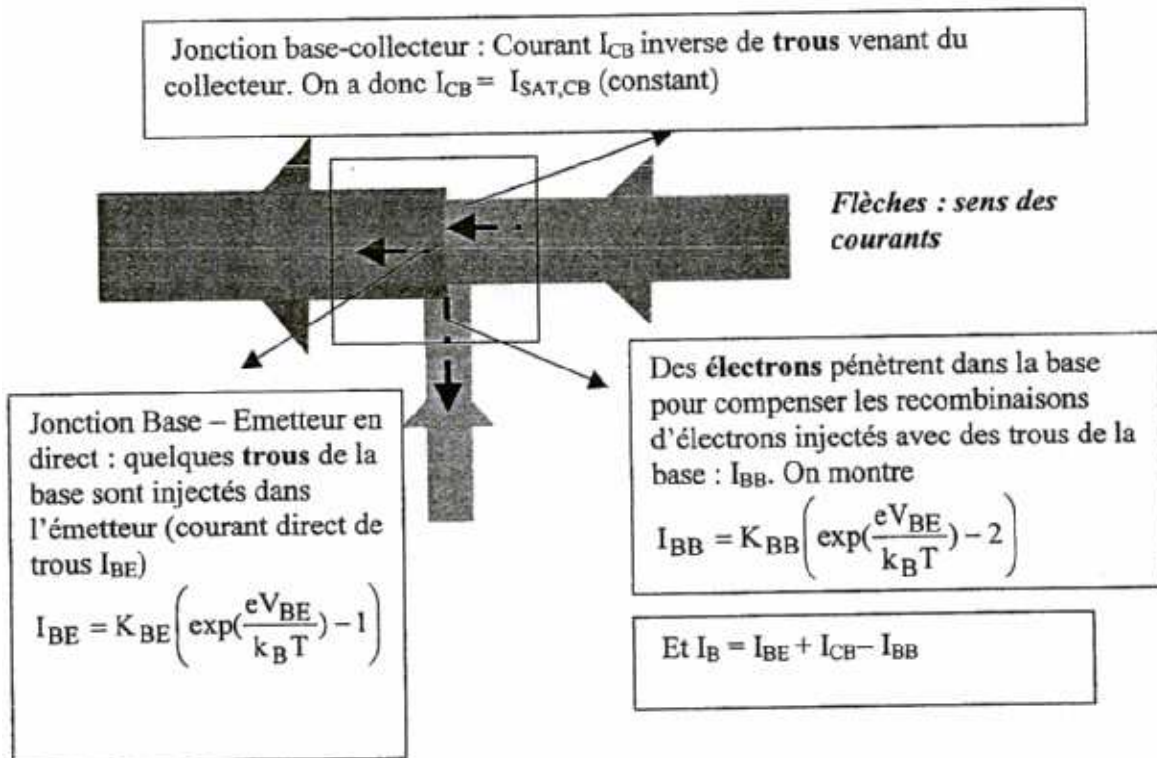


#### • Origine du courant de collecteur $I_C$

- Si la jonction EB n'est pas polarisée le courant dû aux électrons est un courant inverse (électrons « minos » de la base)
- Lorsque que la jonction EB est polarisée en direct les électrons « majos » de l'émetteur arrivent dans la base: si la polarisation du transistor est telle que la jonction BC est polarisée en inverse alors le nombre d'électrons atteignant le collecteur devient important: il ne dépend que de la concentration d'électrons injectés dans la base c'est à dire de la tension  $V_{BE}$ .
- Le courant de collecteur est donc déterminé par le courant de porteurs majoritaires d'une jonction P-N polarisée en direct:

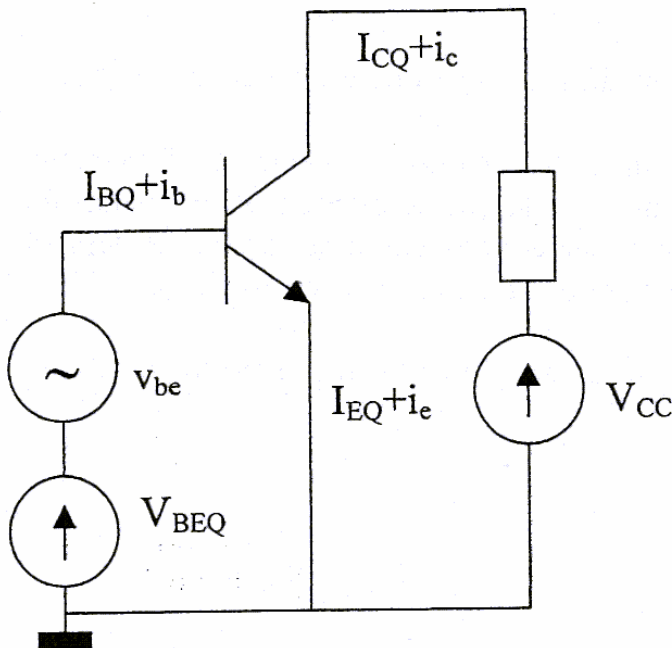
$$I_C = K_C \exp\left(\frac{eV_{BE}}{k_B T}\right)$$

Le courant de base est dû aux 3 contributions suivantes :



On a donc :  $I_B = K_1 \exp\left(\frac{eV_{BE}}{k_B T}\right) + K_2$  où  $K_1$  et  $K_2$  sont des constantes qui dépendent des dopages des 3 régions

**Le modèle simplifié petits signaux**



On montre aisément que:

$$\Delta I_B = i_b = I_{BQ} \frac{e}{k_B T} v_{be}$$

$$\Delta I_C = i_c = I_{CQ} \frac{e}{k_B T} v_{be}$$

on a donc:

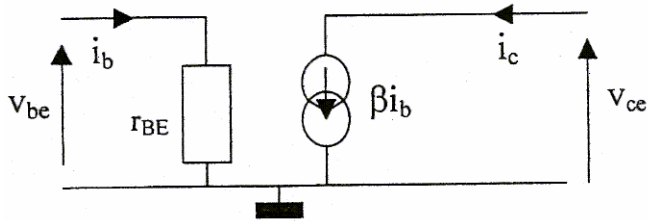
$$i_c = g_m v_{be}$$

$$i_b = \delta g_m v_{be}$$

avec  $\delta = K_1/K_C \ll 1$  (de 0,02 à 0,003)

Le gain en courant quand l'entrée se fait entre la base et l'émetteur et la sortie entre le collecteur et l'émetteur (montage émetteur commun (EC)) est donc  $\beta = i_c/i_b$  (de 50 à 300).

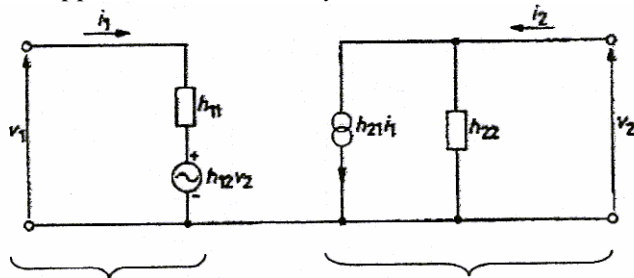
Le circuit équivalent petits signaux d'un transistor en montage EC est donc:



Montage EC :  $r_{BE} \approx k\Omega$

Ce circuit est équivalent à un circuit hybride simplifié (modèle valable en petits signaux uniquement).

Rappels sur le modèle hybride :

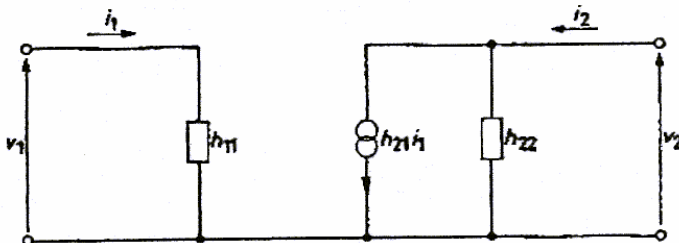


$$v_1 = h_{11} i_1 + h_{12} v_2$$

$$i_2 = h_{21} i_1 + h_{22} v_2$$

Thévenin à l'entrée

Norton à la sortie



Circuit équivalent hybride simplifié pour les montages BC et EC.

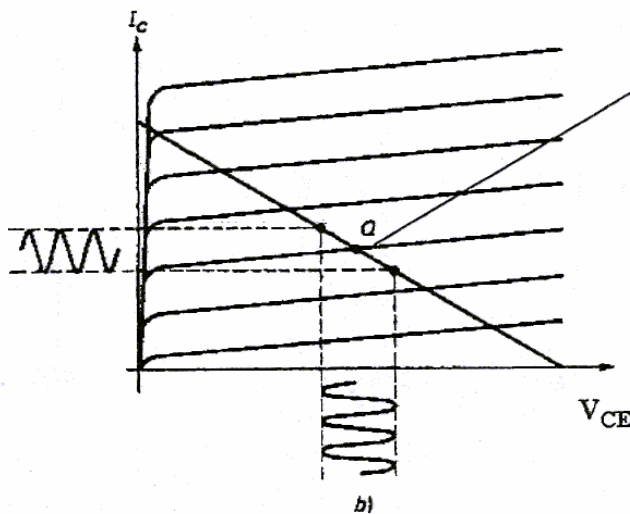
Montage EC	Montage BC
$h_{11e} \approx 1000 \Omega$	$h_{11b} \approx 50 \Omega$
$h_{12e} \approx 10^{-3} \text{ à } 10^{-8}$	$h_{12b} \approx 10^{-3} \text{ à } 10^{-8}$
$h_{21e} \approx 50 \text{ à } 200$	$h_{21b} \approx -1$
$1/h_{22e} \approx 100 \text{ k}\Omega$	$1/h_{22b} \approx 10^4 \text{ k}\Omega$

*Les valeurs des paramètres dépendent du type de montage*

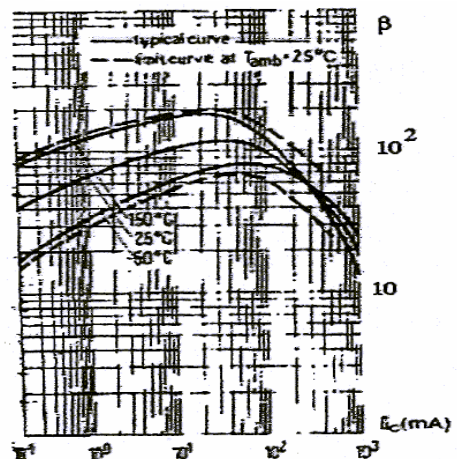
La résistance d'admittance  $1/h_{22}$  est dans le modèle hybride simplifié (montages EC et BC) supposée infinie.

### 3. Circuits de polarisation (montage EC)

#### 3.1. Position du problème



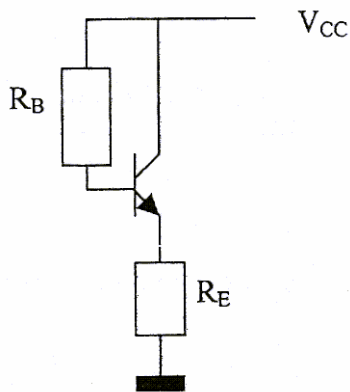
Point de fonctionnement statique Q au milieu de la droite de charge statique



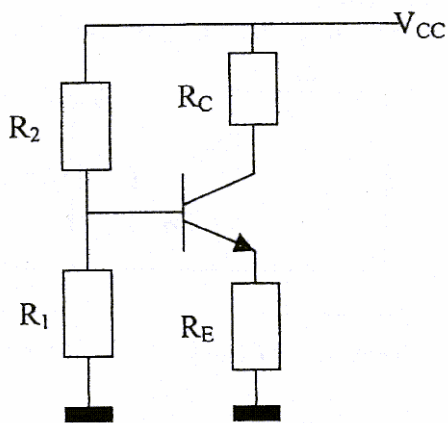
- de plus le gain en courant dépend de la température →

### 3.2. Deux exemples de circuits de polarisation:

Le plus mauvais circuit: sensible aux variations de  $\beta_{CC}$  avec la température



Le meilleur circuit de polarisation: Polarisation par diviseur de tension (voir TD)



### 3.3. Le circuit amplificateur à EC

Voir TD pour l'analyse:

