

COMPOSANTS SEMI-CONDUCTEURS

VII) Solutions S7

P.A. Besse

EPFL

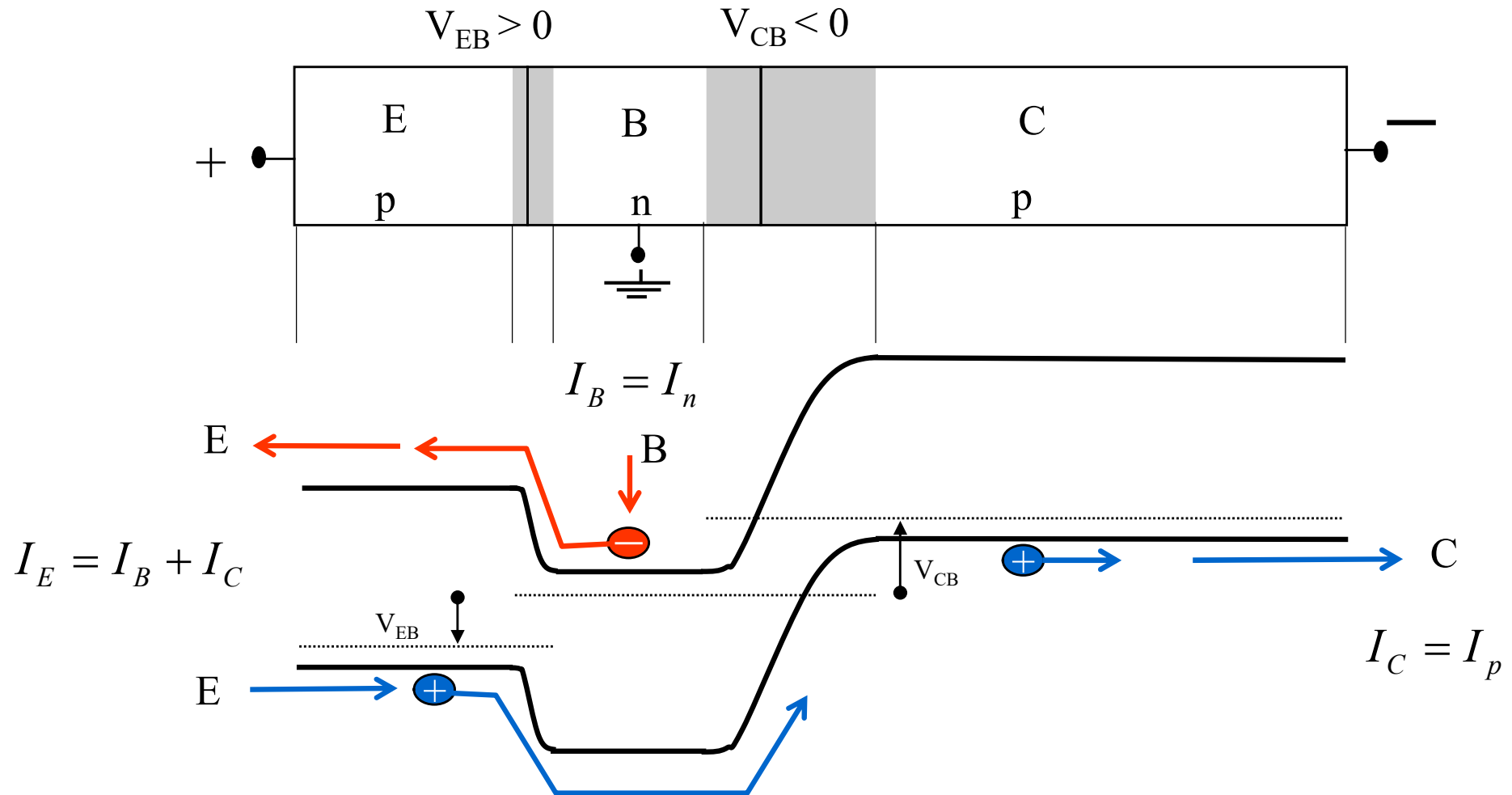


Répondez à la question de réflexion ci-dessous :

Attention on utilise un **pn**p !

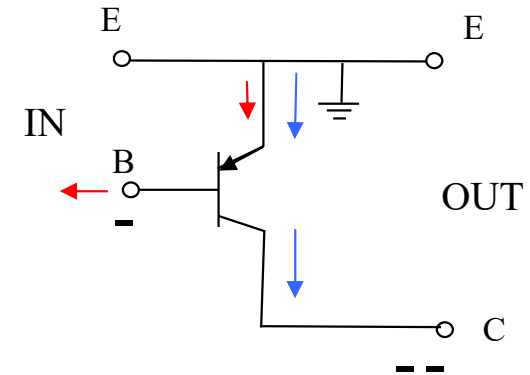
7.1	Esquissez le schéma de bandes d'un transistor bipolaire pnp. À partir de ce schéma, expliquez les concepts de gain en configurations « base commune » et « émetteur commun ». Comment optimiser le gain ? Quel est l'effet limitant et pourquoi ?
-----	---

Question 7.1bis: Transistor pnp



Gain en émetteur commun:

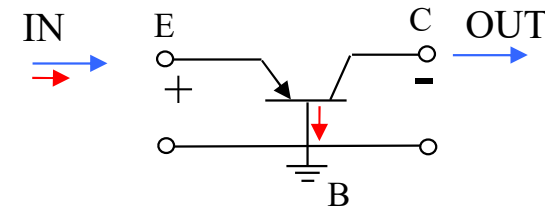
$$\beta_F \equiv \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_p}{I_n} = \frac{D_{pB}}{D_{nE}} \cdot \frac{W_E}{W} \cdot \frac{N_{AE}}{N_{DB}}$$



Valeur typique: 100 - 300

Gain en base commune:

$$\alpha_F \equiv \frac{I_C}{I_E} = \frac{I_C}{I_B + I_C} = \frac{I_p}{I_p + I_n} = \frac{\beta_F}{\beta_F + 1}$$



Valeur typique: 0.99

Optimisation des dopages:

- 1) Maximaliser le gain → l'émetteur beaucoup plus dopé que la base
→ base très courte (**attention à l'effet Early**)
- 2) Éviter effet Early → collecteur plus faiblement dopé que la base

→ Homostructure E/B/C optimale: **p⁺ / n / p⁻**



Répondez à la question de réflexion ci-dessous :

Attention on utilise un npn !

7.2	Définissez la transconductance d'un transistor bipolaire en mode émetteur commun. Utilisez un transistor nnp comme amplificateur de tension. Comment fixer le point de travail ? Comment introduire le signal AC ? Quel est le gain ? (Esquissez si possible une explication graphique).
-----	---

Conductance

$$g \equiv \frac{\partial \text{courant}}{\partial \text{tension}} = \frac{\partial I}{\partial V}$$

Conductance d'entrée:

$$g_{in} \equiv \frac{\partial \text{courant d'entrée}}{\partial \text{tension d'entrée}} = \frac{\partial I_{in}}{\partial V_{in}}$$

Conductance de sortie:

$$g_{out} \equiv \frac{\partial \text{courant de sortie}}{\partial \text{tension de sortie}} = \frac{\partial I_{out}}{\partial V_{out}}$$

Trans-conductance:

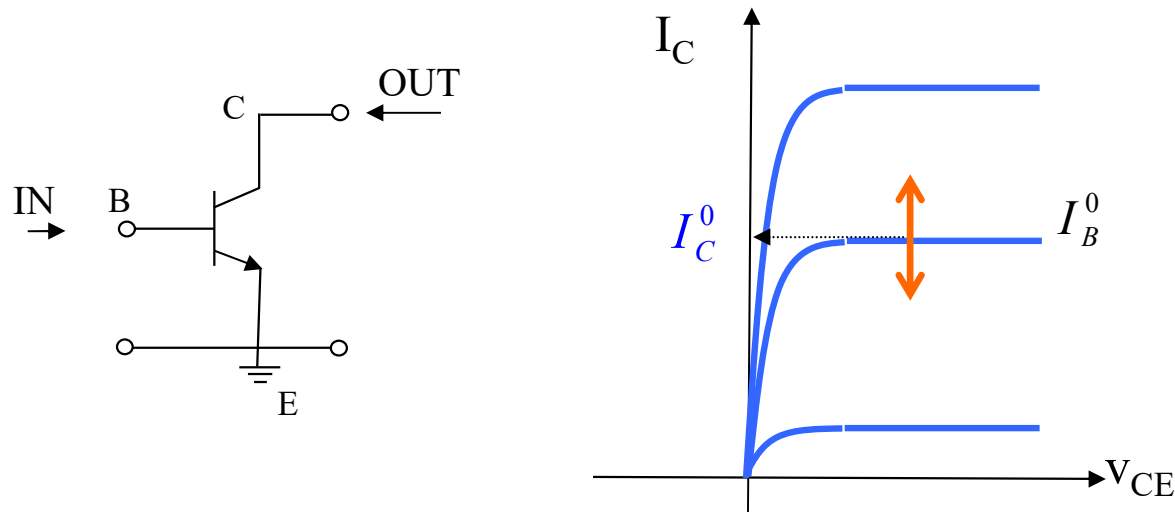
$$g_m \equiv \frac{\partial \text{courant de sortie}}{\partial \text{tension d'entrée}} = \frac{\partial I_{out}}{\partial V_{in}} = \frac{\partial I_{out}}{\partial I_{in}} \cdot \frac{\partial I_{in}}{\partial V_{in}} = \beta \cdot g_{in}$$

Caractéristique de sortie

$$I_C(V_{CE}, I_B) \cong \beta_F \cdot I_B$$

En mode actif:

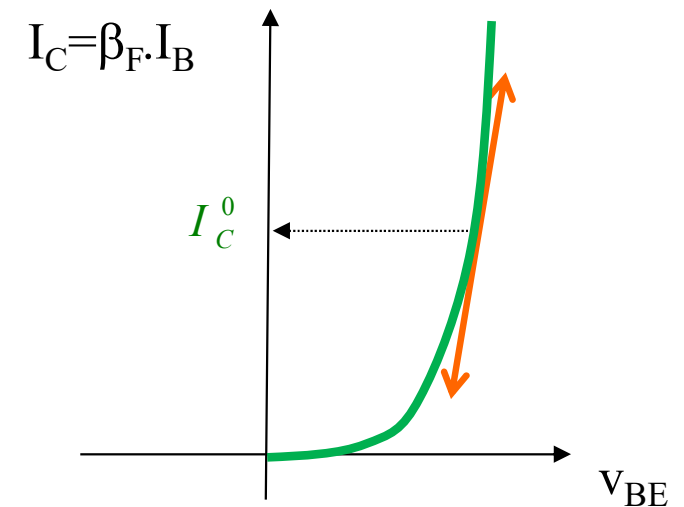
$$I_C(V_{BE}) \cong \beta_F \cdot I_B = \beta_F \cdot I_s \cdot (e^{qV_{BE}/kT} - 1)$$

Conductance d'entrée $g_{BE} = \delta I_B / \delta V_{BE}$

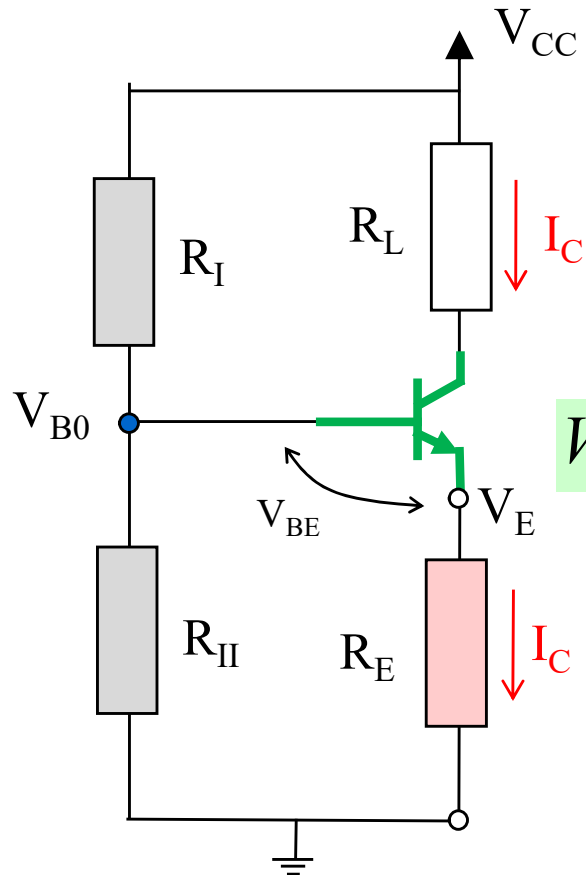
$$g_{BE} \cong \frac{q}{kT} \cdot I_B^0$$

Trans-conductance $g_m = \delta I_C / \delta V_{BE}$

$$g_m = \beta_F \cdot g_{BE} \cong \frac{q}{kT} \cdot I_C^0$$



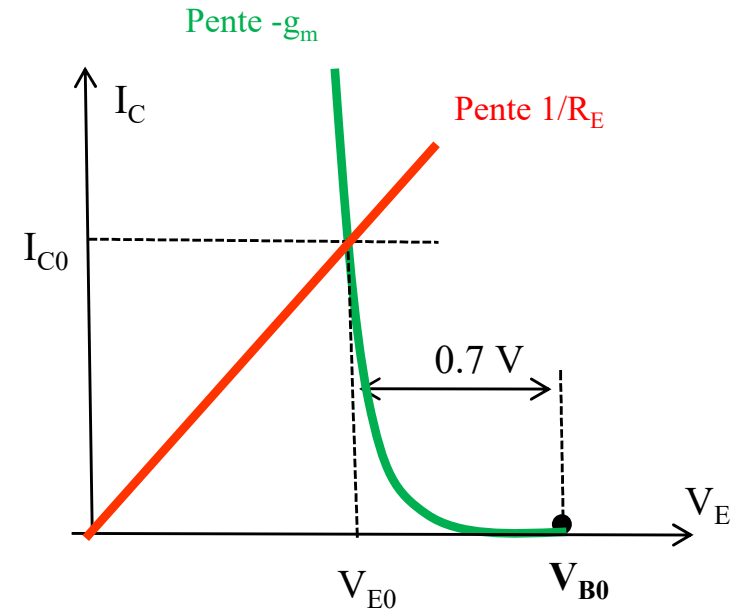
Transistor npn comme ampli de tension: point de travail



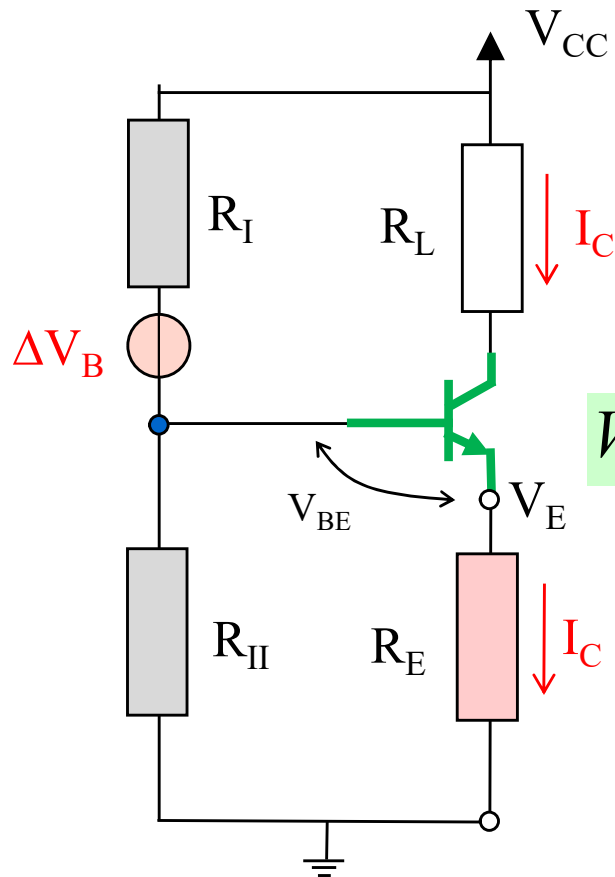
$$V_E \cong V_{B0} - 0.7$$

$$I_C \cong \frac{V_E}{R_E}$$

Courbe: $I_C(V_{BE}) = \beta_F \cdot I_B(V_{BE})$



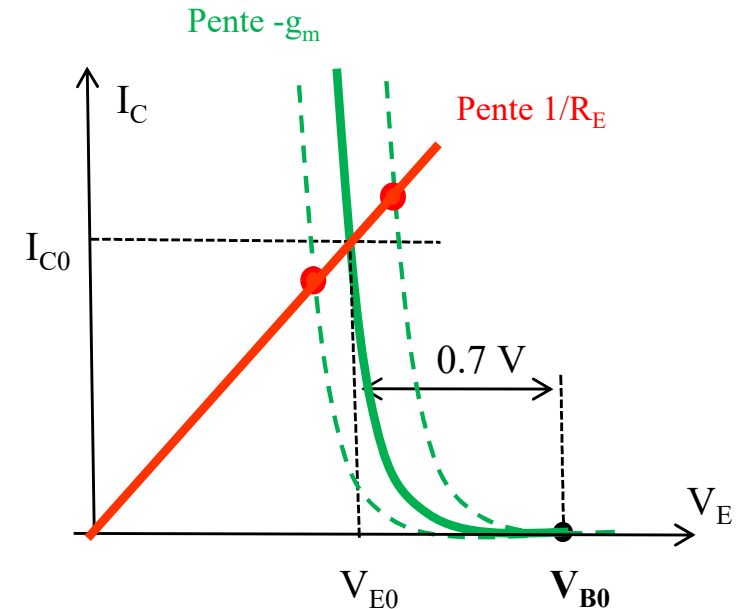
Transistor npn comme ampli de tension: point de travail



$$V_E \cong V_{B0} - 0.7$$

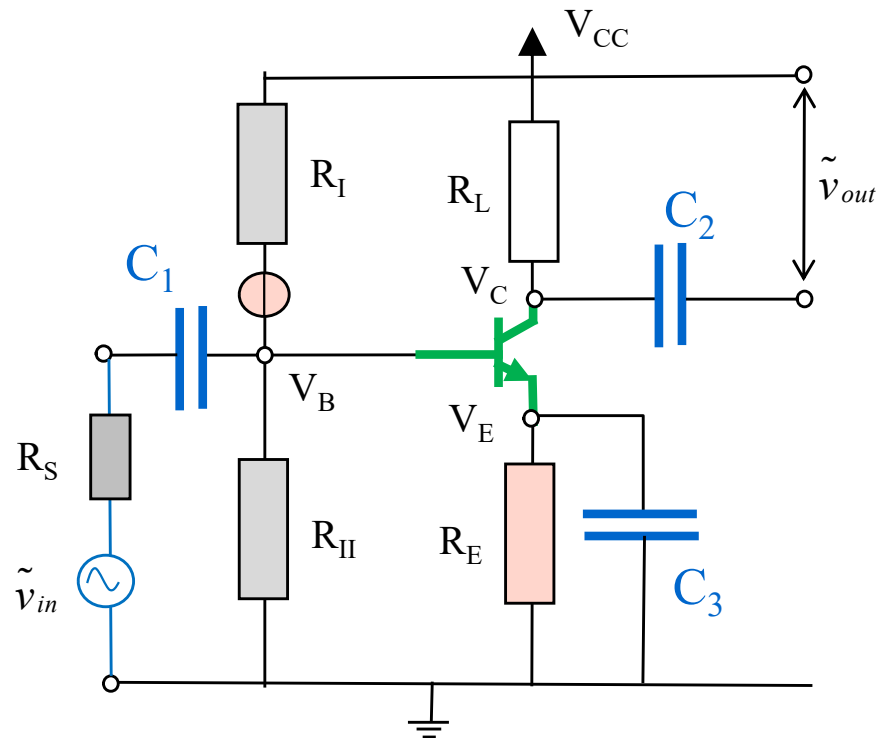
$$I_C \cong \frac{V_E}{R_E}$$

Courbe: $I_C(V_{BE}) = \beta_F \cdot I_B(V_{BE})$

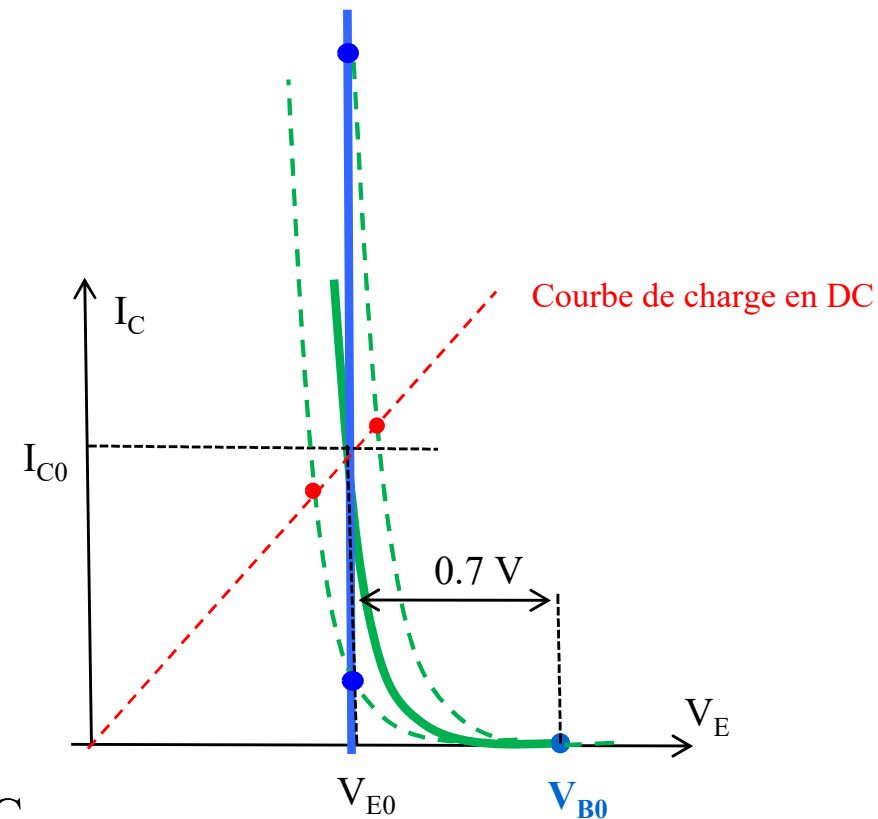


R_E assure la stabilité du courant de bias I_{C0} .

Transistor npn comme ampli de tension: signal AC

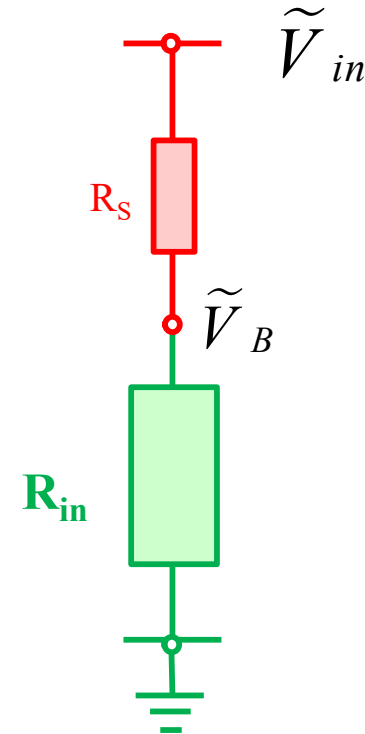
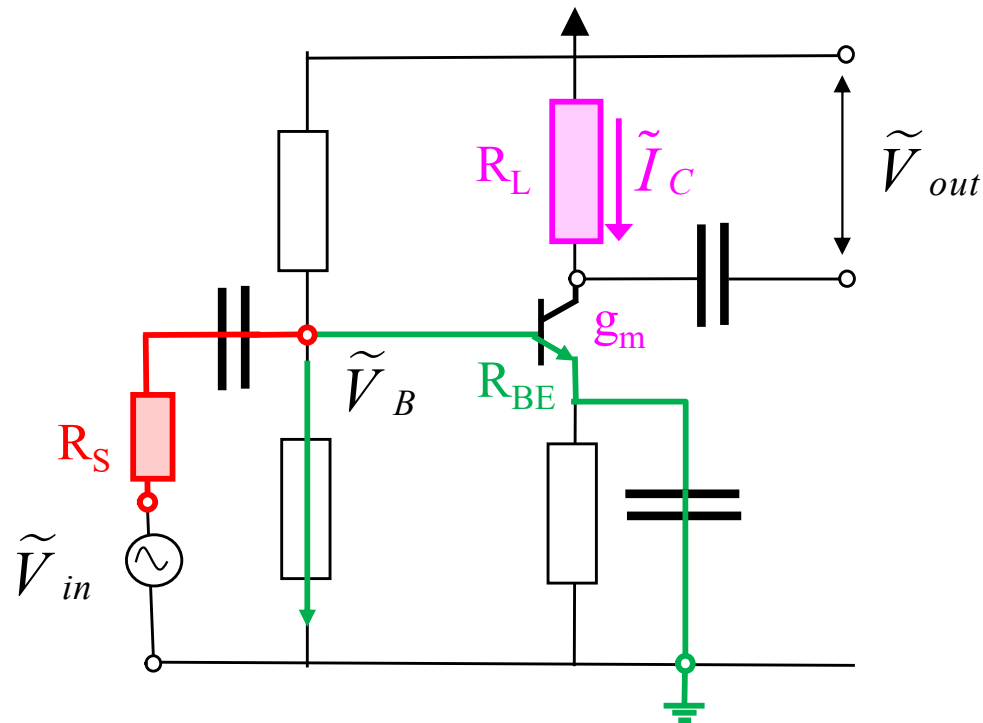


Courbe de charge en AC



- Les capacités C_1 et C_2 assurent le couplage du signal AC à l'entrée et à la sortie
- La capacité C_3 maintient la tension de bias V_{E0} fixe et assure un transfert complet du signal v_{in} sur le courant I_C .
- R_S doit être beaucoup plus petit que $R_{BE}=1/g_{BE}$

Transistor npn comme ampli de tension: signal AC



$$\tilde{V}_B = \frac{R_{in}}{R_S + R_{in}} \tilde{V}_{in}$$

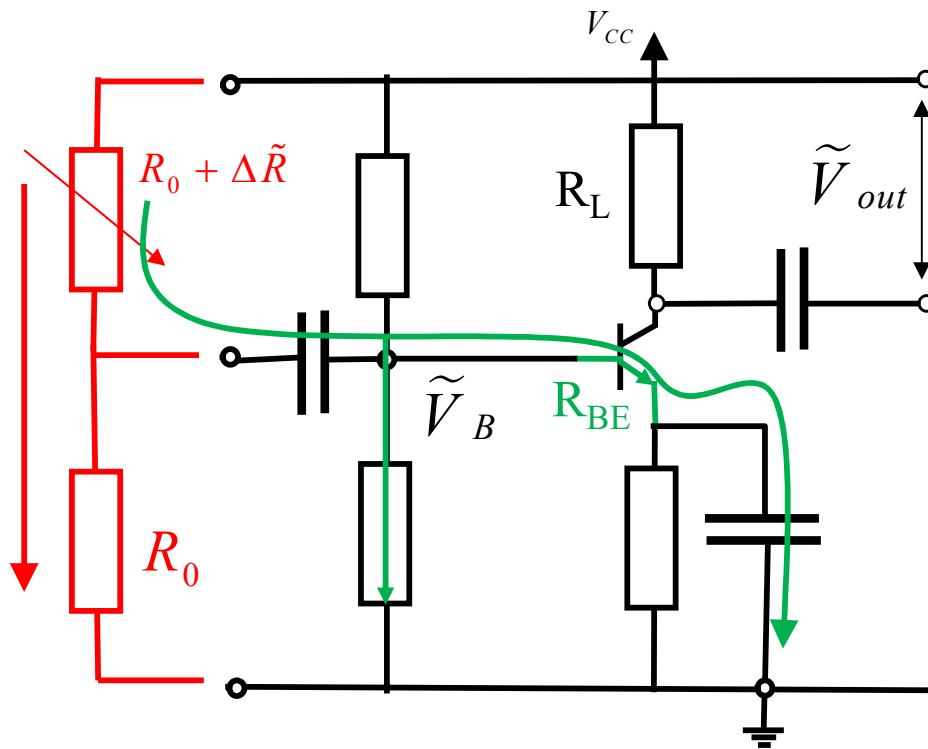
1) Eviter l'effet «diviseur de tension»

$$R_S \ll R_{in} \Rightarrow \tilde{V}_B \cong \tilde{V}_{in}$$

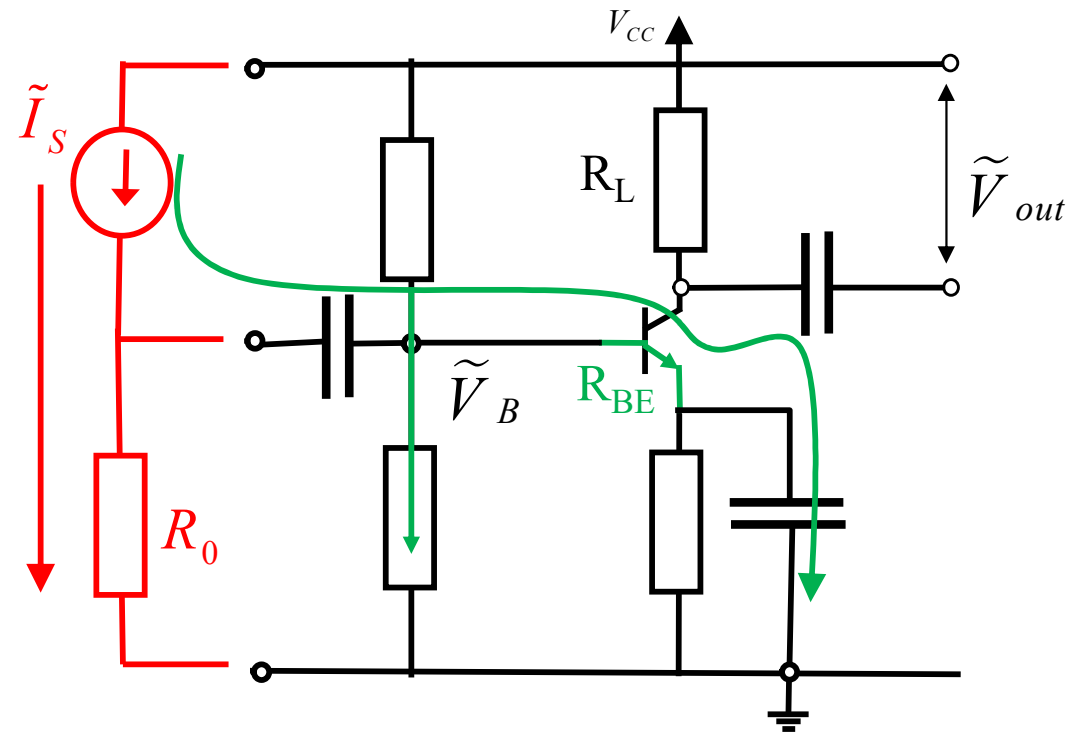
2) Gain en tension:

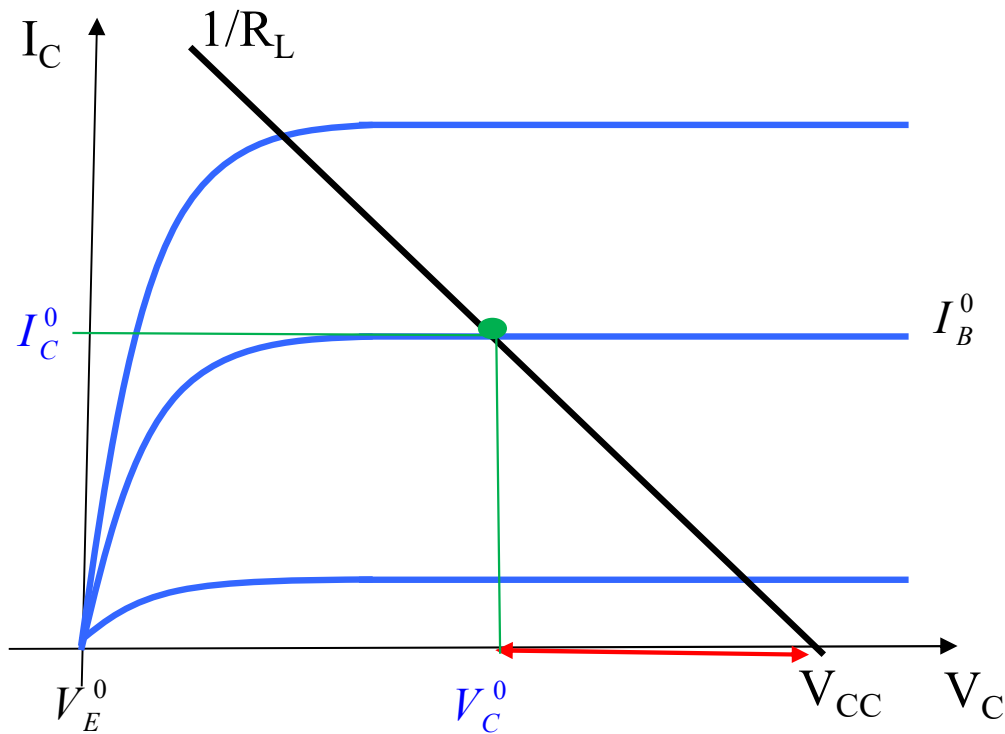
$$\frac{\tilde{V}_{out}}{\tilde{V}_{in}} \cong \frac{\tilde{V}_{out}}{\tilde{I}_C} \cdot \frac{\tilde{I}_C}{\tilde{V}_B} \cdot \frac{\tilde{V}_B}{\tilde{V}_{in}} = R_L \cdot g_m \cdot \left(\frac{\tilde{V}_B}{\tilde{V}_{in}} \right)$$

- Piezo-résistance
- Senseur de température PT 100



- Photodiode
- Détecteur pyroélectrique





$$\frac{\tilde{V}_{out}}{\tilde{V}_{in}} = g_m \cdot R_L = \left(\frac{g_m}{I_{c0}} \right) \cdot (R_L I_{c0})$$

$$\frac{\tilde{V}_{out}}{\tilde{V}_{in}} = \frac{(V_{CC} - V_C^0)}{U_{th}} \cong 100 \quad (V_{CC} = 5V)$$

Gain en courant:

$$\beta_F \cong 300$$

Transconductance:

$$\frac{g_m}{I_c^0} = \frac{q}{kT} \cong \frac{1}{25 \text{ mV}} \cong 40 \text{ [1/V]}$$

Gain en tension:

$$\frac{\tilde{V}_{out}}{\tilde{V}_{in}} = g_m \cdot R_L = \left(\frac{g_m}{I_{c0}} \right) \cdot (R_L I_{c0})$$

$$\frac{\tilde{V}_{out}}{\tilde{V}_{in}} = \frac{g_m}{I_{C0}} \cdot (V_{CC} - V_C^0) \cong 100 \quad (V_{CC} = 5V)$$

Résistance base-émetteur:

$$R_{BE} \equiv \frac{1}{g_{BE}} = \frac{\beta_F}{g_m} = \frac{\beta_F}{I_{C0}} \cdot \frac{I_{C0}}{g_m} = \frac{1}{I_{C0}} \cdot \beta_F \cdot \frac{kT}{q}$$

$$R_S \ll R_{BE} \cong 7.5 \text{ k}\Omega \quad (I_C^0 = 1mA)$$