

Transistors Bipolaires

Université de Carthage

Ecole Nationale des Sciences et Technologies Avancées de Borj

Cedria

1ere année TA-1

Année universitaire 2019/2020

Plan du cours

① Introduction

A. Généralités

B. Constitution et Structure

② Transistor NPN sous polarisation

A. Fonctionnement du transistor

B. Polarisation du transistor bipolaire

③ Transistor en régime dynamique

A. Modèles petits signaux

B. Amplificateur à émetteur commun

Introduction

Transistor NPN sous polarisation
Transistor en régime dynamique

A. Généralités

B. Structure interne

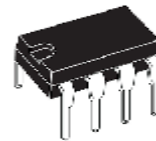
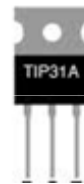
Transistor en électronique

■ Nombreuses Utilisations:

- ➔ Commutation : interrupteur commandé.
- ➔ Amplification: Petits signaux issus de capteurs ou d'antennes radio, de courant et de puissance

■ Formes:

- ➔ Composant discret.
- ➔ Circuit intégré: de quelques unités à quelques millions de transistors par circuit.



■ Types de transistors:

- ➔ Transistor bipolaire: source de courant pilotée en courant.
- ➔ Transistor à effet de champs: source de courant pilotée en tension

Introduction

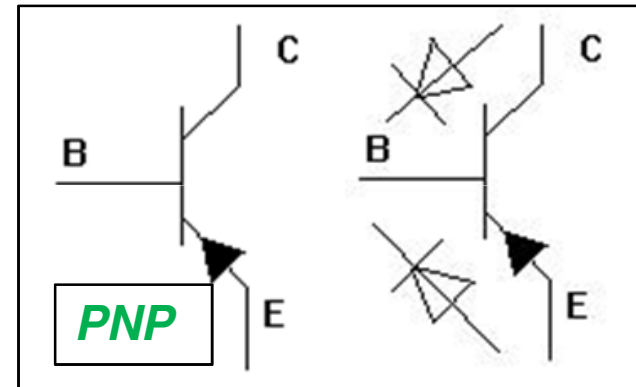
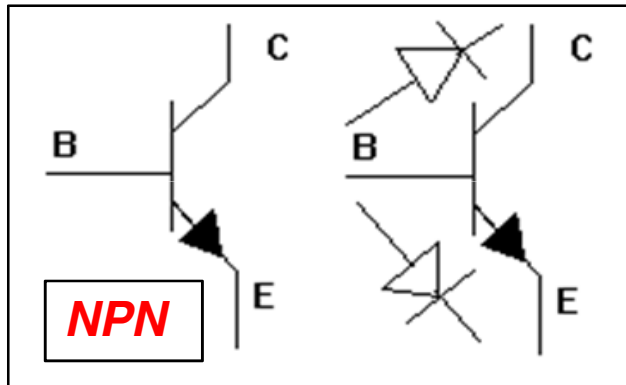
Transistor NPN sous polarisation
Transistor en régime dynamique

A. Généralités

B. Structure interne

Types de transistors bipolaires

- ➔ Le transistor bipolaire est la mise en contact de trois couches dopées de semi-conducteurs (Silicium ou Germanium) de façon à former soit un transistor de type **NPN** ou **PNP**.



- Un transistor bipolaire possède deux jonctions : La jonction Base-Emetteur (BE) et la jonction base-Collecteur(BC)..

Remarques:

- * La flèche sur l'émetteur indique le sens réel du courant. Elle permet aussi de différencier un NPN d'un PNP.
- * On peut assimiler les jonctions émetteur-base et collecteur-base à deux diodes sur le plan théorique. Mais il faut noter qu'on ne peut jamais réaliser un transistor à l'aide de deux diodes ordinaires.

Introduction

Transistor NPN sous polarisation
Transistor en régime dynamique

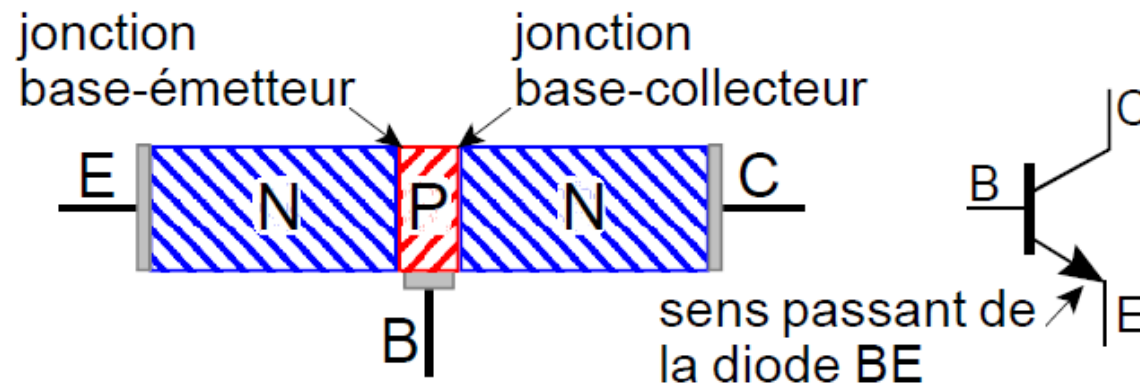
A. Généralités

B. Structure interne

Transistor bipolaire NPN

Le transistor NPN est formé de :

- ➔ L'émetteur E: Couche fortement dopée, d'épaisseur moyenne, son rôle est d'émettre les électrons vers la base;
- ➔ La base B: Couche faiblement dopée, très mince, son rôle est de transmettre la plupart des électrons venant de l'émetteur vers la base;
- ➔ Le collecteur C: Couche moyennement dopée et de forte épaisseur; son rôle est de collecter les électrons venant de l'émetteur via la base.



Remarque: Le raisonnement est identique pour le transistor PNP: il suffit de permuter le rôle des électrons et des trous.

Différents types de fonctionnement (Cas NPN)

- De la même manière qu'il faut polariser une diode, il faut, pour utiliser un transistor, le polariser d'une certaine manière.
- Le transistor bipolaire possède deux jonctions, (BE et BC) d'où quatre modes (ou régimes) de fonctionnement.

Jonction BE	Jonction BC	régime du transistor
Direct	Inverse	Normal
Inverse	Direct	Sans intérêt
Direct	Direct	Saturé
Inverse	Inverse	Bloqué

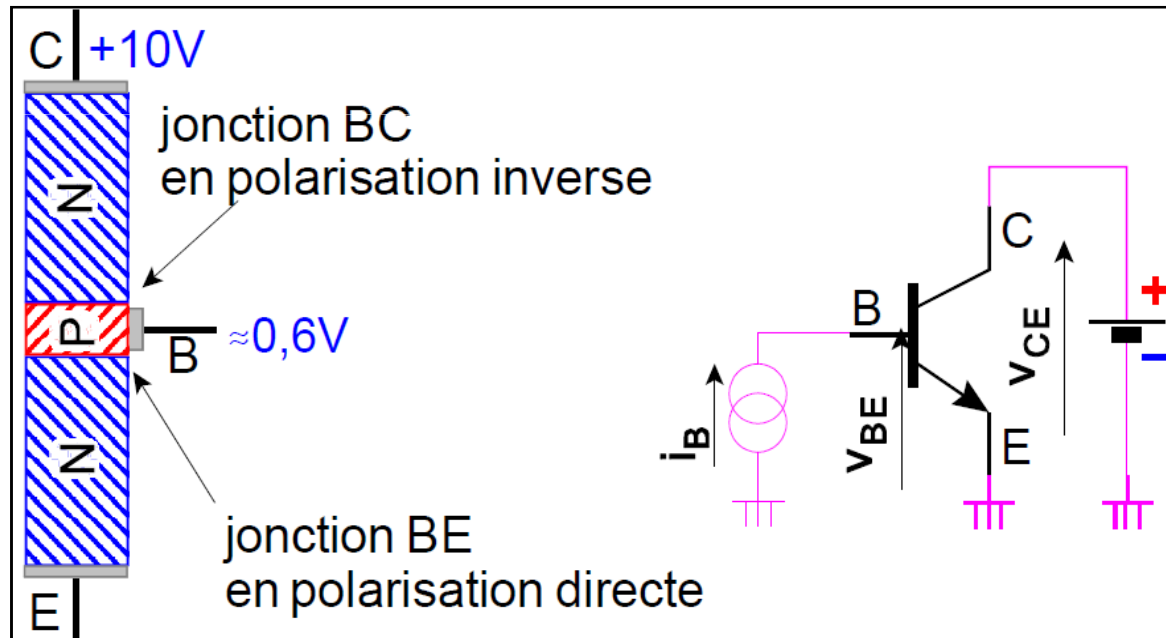
Remarques:

- ⚙ Les deux derniers types de fonctionnement sont utilisés pour ce que l'on appelle la commutation, dans ce cas le transistor est utilisé comme un interrupteur quand le transistor est bloqué et fermé quand il est saturé).
- ⚙ Le régime de fonctionnement normal. C'est le régime le plus utilisé. Il permet une amplification des signaux via l'exploitation de la source de courant équivalente au transistor.

Effet transistor(Cas NPN)

L'effet transistor » apparaît lorsque :

- ➔ La Jonction BE est polarisée en directe au moyen d'une source de tension continue.
- ➔ L'autre (la « BC ») est polarisée en inverse (diode bloquée).
- ⇒ On qualifie cet état de polarisation de « mode actif ».

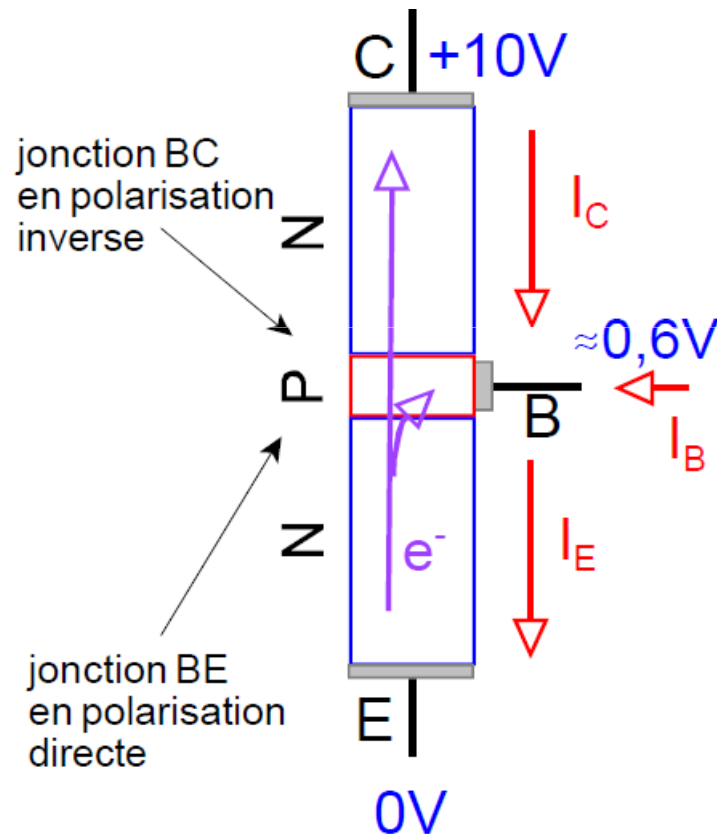


Dans ces conditions:

- ➔ Le courant I_E est déterminé par la tension V_{BE}
- ➔ Le courant I_C (au lieu d'être nul, comme dans le cas d'une diode bloquée) est égal, en première approximation, à I_E .

Effet transistor(Cas NPN)

L'effet transistor peut se résumer en trois grands points:



⚙ Lorsque le potentiel V_{BE} dépasse le seuil de conduction de la jonction BE (0.7V pour le Si) le champ interne résultant accélère les e^- vers la base ; d'où I_E ;

⚙ Une très faible proportion des e^- venant de l'émetteur se recombine avec les trous de la base où ils sont peu nombreux (couche mince) puis s'écoulent en passant de trou en trou vers la connexion de base, d'où un faible courant I_B .

⚙ La majorité des e^- libres venant de l'émetteur et rentrant dans la zone de déplétion base-collecteur vont être évacués vers le collecteur sous l'action du champ externe ; d'où I_C .



L'effet transistor se traduit par la relation simple

$I_C = \alpha \cdot I_E$. α inférieur à 1 est le gain en courant en base commune.

En introduisant $I_E = I_C + I_B$, on obtient: $I_C = \beta \cdot I_B$

Avec: $\beta = \alpha / (1 - \alpha) \gg 1$ est le gain en courant du transistor.

$$I_E = I_B + I_C = (1 + \beta)I_B \approx \beta \cdot I_B$$

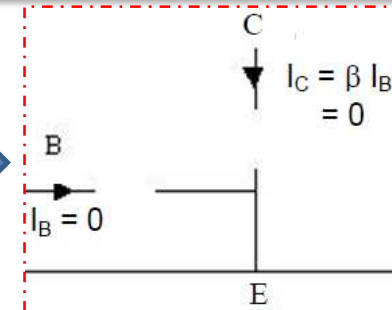
Régimes de fonctionnement

- Si $V_{BE} \leq 0.7V$ (tension de seuil de la diode base-Emetteur).

→ Le courant de base $I_B = 0$

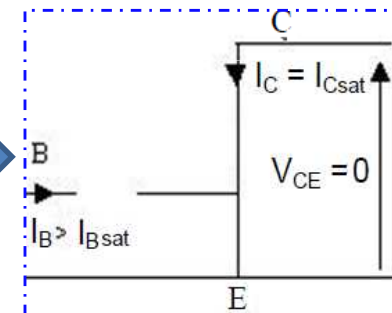
→ Le courant du collecteur $I_C = 0$

⇒ Le transistor est assimilé à un interrupteur ouvert



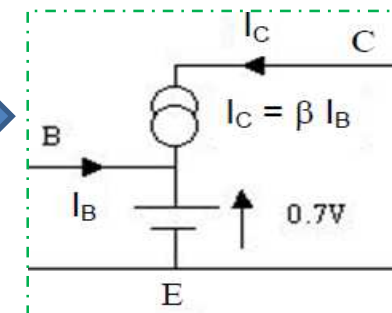
- Si $I_B > I_{B-sat} = I_{C-sat}/\beta$ (Le courant du collecteur I_C se sature a une valeur I_{C-sat}).

⇒ $V_{CE}=0$: Le transistor est assimilé à un interrupteur fermé ($I_C=I_{C-sat}$)



- Si $I_B > 0$, $I_C = \beta \cdot I_B$ et $V_{CE} \neq 0$

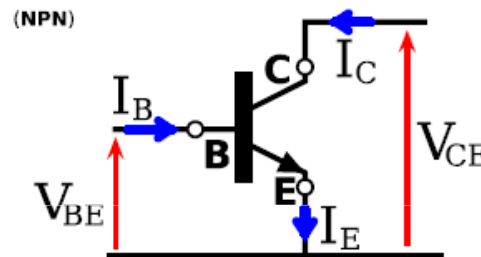
⇒ transistor en régime linéaire (effet transistor).



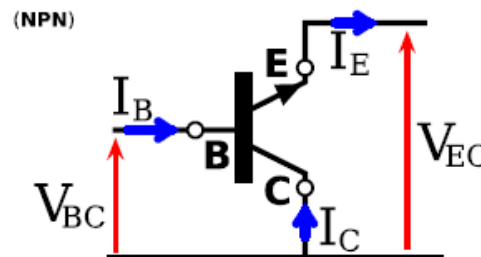
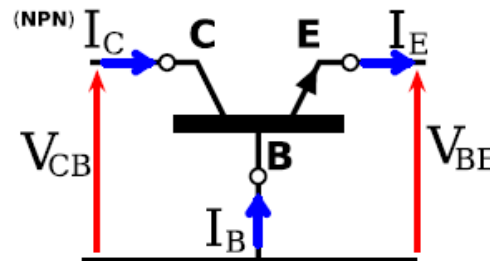
Montages du transistor

- Le transistor peut être considéré comme un quadripôle dont une électrode est commune à l'entrée et à la sortie.
- Trois montages en résultent:

Configuration "Base Commune" (BC)



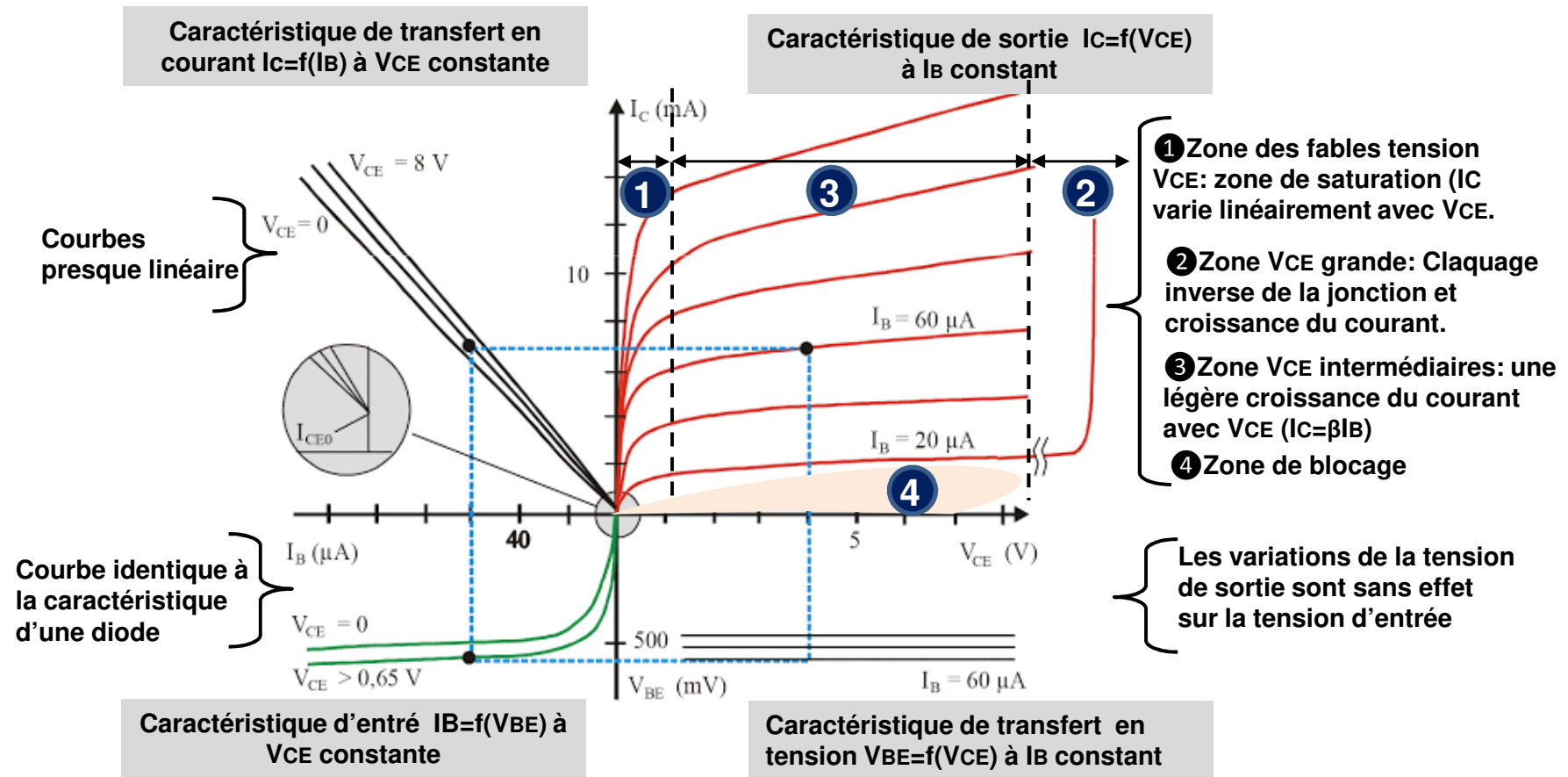
Configuration "Émetteur Commun" (EC): Cette représentation est la plus employée.



Configuration "Collecteur Commun" (CC)

Réseau de caractéristiques (montage EC)

- En « configuration base commune », on représente les caractéristiques d'un transistor NPN par



Polarisation par résistance de base

- La polarisation a pour rôle de placer le point de fonctionnement du transistor dans une zone où ses caractéristiques sont linéaires.

- Polarisation = Grandeurs continues et constantes.

⇒ Capacités de liaison ⇔ circuit ouvert.

- Droite d'attaque statique (Δ): Ensemble des points de fonctionnement du circuit d'entrée.

⇒ On utilise la maille de commande (en rouge)

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

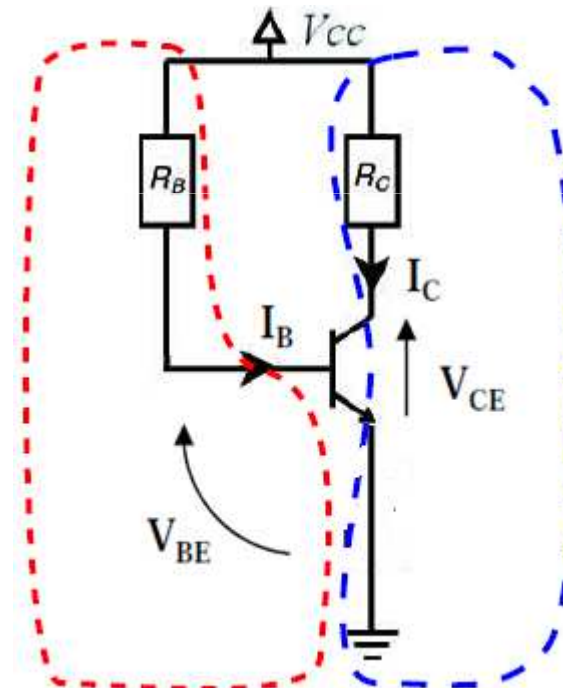
⇒ tracé dans le réseau de caractéristique statique $I_B = f(V_{BE})$

- Droite de charge statique (Δ'): Ensemble des points de fonctionnement du circuit de sortie.

⇒ On utilise la maille de charge (en bleu)

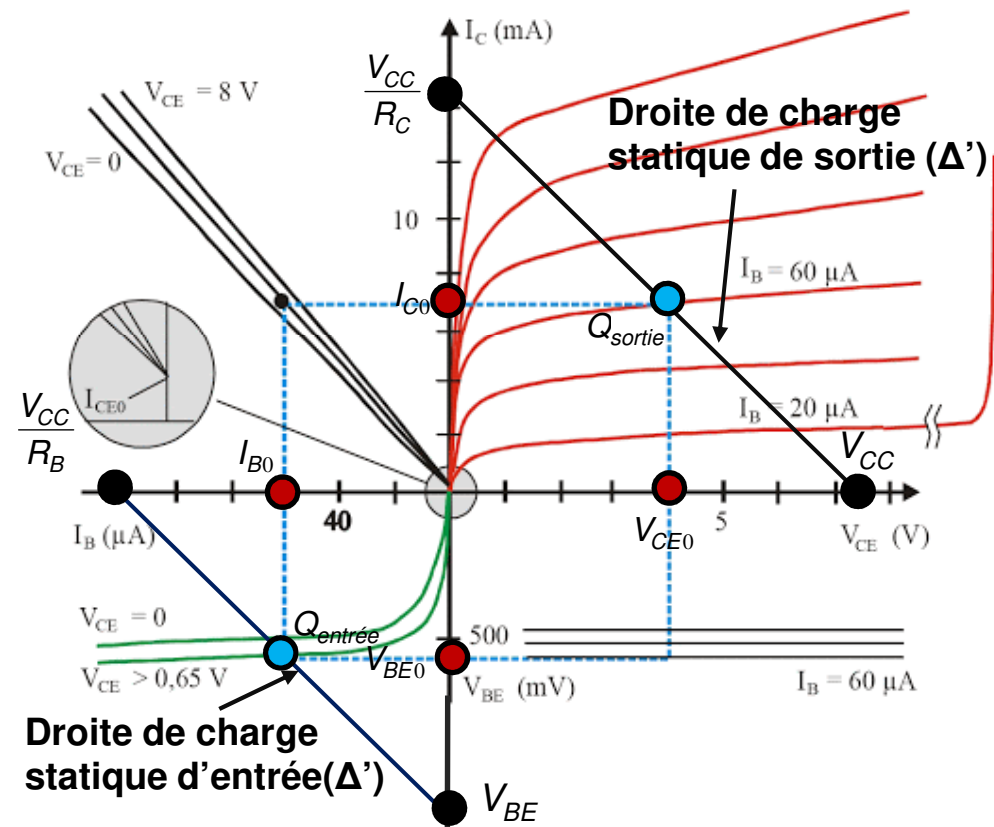
$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} = \beta I_B = \beta \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

⇒ tracé dans le réseau de caractéristique statique $I_C = f(V_{CE})$



Polarisation par résistance de base (Point de repos)

- Le point de repos à l'entrée $Q_{\text{entrée}}$ (V_{BE0} , I_{B0}) est l'intersection entre la droite d'attaque et la caractéristique d'entrée $V_{BE}=f(I_B)$ dans le plan (I_B , V_{BE})
- La valeur de I_{B0} , permet de connaître le point de repos $Q_{\text{transfert}}$ sur la caractéristique de transfert en courant dans le plan (I_C , I_B)
- Le courant de sortie I_{C0} étant continu, le point de fonctionnement Q_{sortie} (V_{CE0} , I_{C0}). Appartient à la droite de charge statique.
- On en déduit par projection, le point de repos dans le réseau de sortie



Polarisation par un pont

- On applique le théorème de Thévenin pour se ramener au cas précédent

$$E_{TH} = V_{CC} \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}}$$

$$R_{TH} = R_{b1} // R_{b2} = \frac{R_{b1} \cdot R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}}$$

- La loi des mailles appliquée au circuit d'entrée donne:

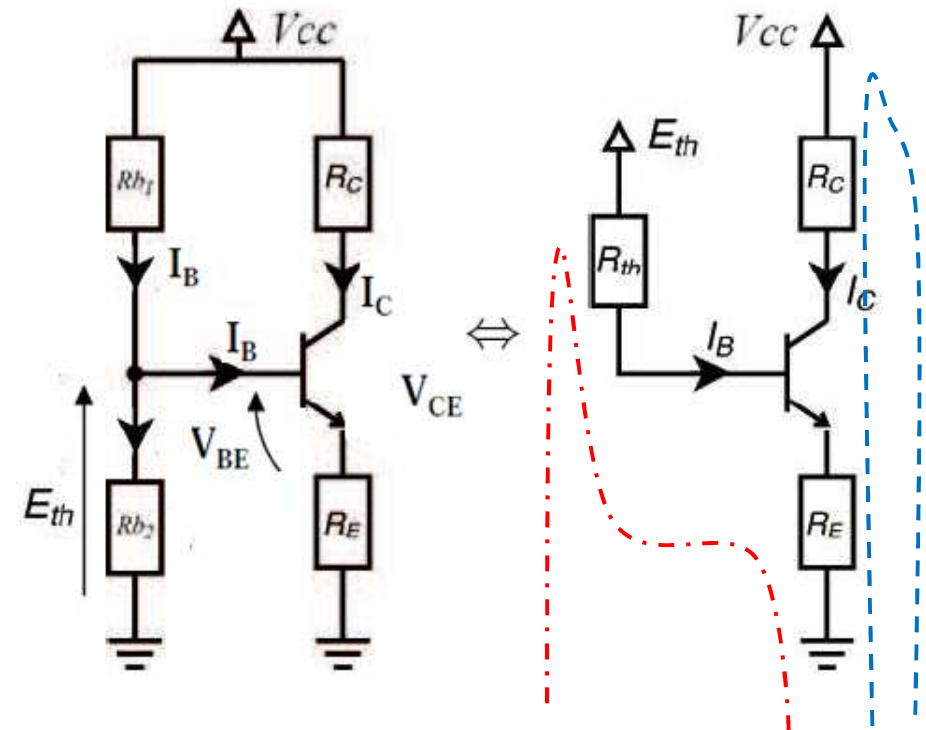
$$I_B = \frac{E_{th} - V_{BE} - R_E \cdot I_E}{R_{th}} = \frac{E_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (1 + \beta) \cdot R_E}$$

$$I_B \approx \frac{E_{th} - V_{BE}}{R_{th} + R_E \cdot \beta}$$

- La loi des mailles appliquée au circuit d'entrée donne:

$$V_{CC} = (I_C + I_B) \cdot R_E + V_{CE} + R_C \cdot I_C \approx I_C (R_E + R_C) + V_{CE}$$

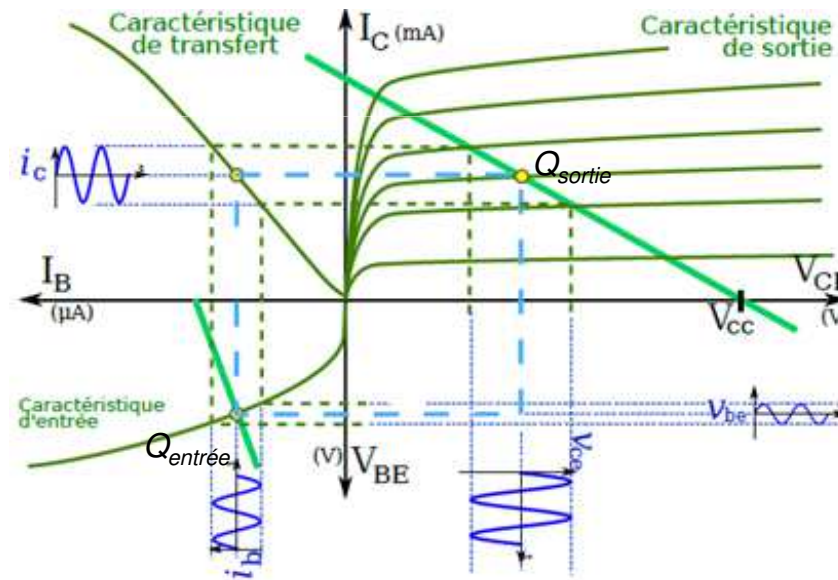
$$\Rightarrow I_C \approx \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C + R_E}$$



Zone de fonctionnement de l'amplificateur

Qu'est-ce qu'un modèle petits signaux ?

- Petit signal: variations de faibles amplitudes de tensions et de courants
- Le modèle petit signaux correspond à la linéarisation du fonctionnement du transistor autour de son point de polarisation

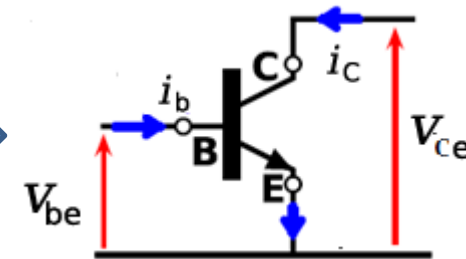


- Petit signaux = Grandeurs périodiques et centrées
 - ➔ Capacités de liaison \Leftrightarrow Fils.
 - ➔ Tension d'alimentation constantes \Leftrightarrow Masses

Paramètres hij (montage EC)

- Le transistor est un cas particulier de quadripôle (tri-pôles), et son circuit équivalent peut être analysé par les paramètres hybrides .

$$\begin{bmatrix} v_{be} \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_b \\ v_{ce} \end{bmatrix}$$



Avec: $V_{be} = \Delta V_{BE}$, $i_b = \Delta I_B$, $V_{ce} = \Delta V_{CE}$ et $i_c = \Delta I_C$

- Les paramètres hij de cette matrice hybride sont les dérivés des paramètres Hij au voisinage du point de fonctionnement étudié.

➔ h_{11} : impédance d'entrée du transistor en EC :
$$h_{11} = \left. \frac{v_{be}}{i_b} \right|_{v_{ce}=0} = \left. \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} \right|_{V_{CE}=cte}$$

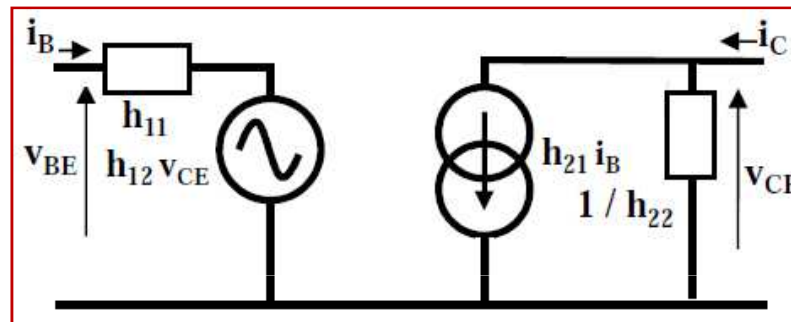
➔ h_{22} : admittance de sortie du transistor en EC:
$$h_{22} = \left. \frac{v_{ce}}{i_c} \right|_{i_b=0} = \left. \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} \right|_{I_B=cte}$$

➔ h_{21} : gain en courant dynamique:
$$h_{21} = \left. \frac{i_c}{i_b} \right|_{v_{ce}=0} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{V_{CE}=cte} \approx \beta$$

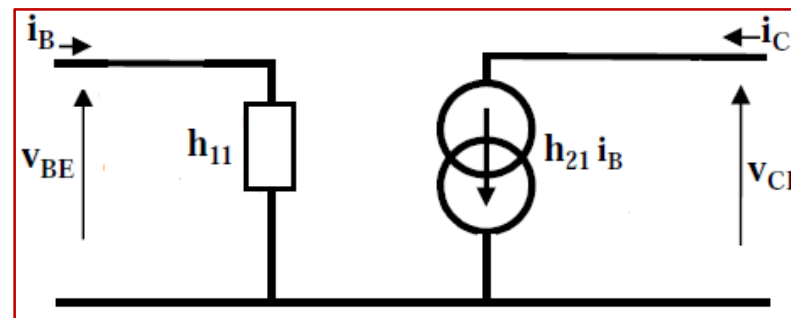
➔ h_{12} : coefficient de réaction de la sortie sur l'entrée:
$$h_{12} = \left. \frac{v_{be}}{v_{ce}} \right|_{i_b=0} = \left. \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta V_{CE}} \right|_{I_B=cte}$$

Schéma électrique sinusoïdal basses fréquences

- Circuit équivalent du transistor en alternatif monté en EC

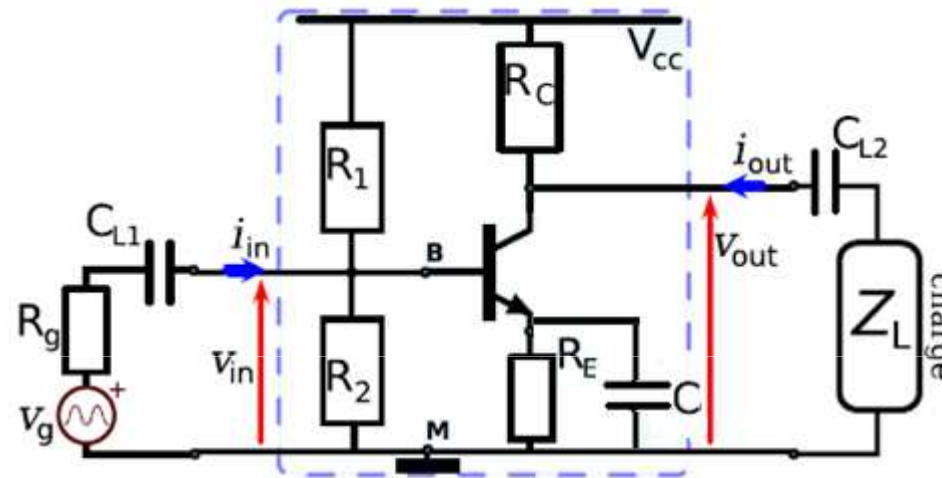


- Comme h_{12} est voisin de 0 et que h_{22} est petit, le circuit peut être simplifié.



Exemple : Amplificateur à émetteur commun (EC)

■ Montage initial:



■ Le circuit de polarisation (**en bleu**) considéré est celui ayant une contre-réaction à l'émetteur et exploitant un pont diviseur de tension..

■ Les capacités ont pour rôle de “découpler” la source et la charge:

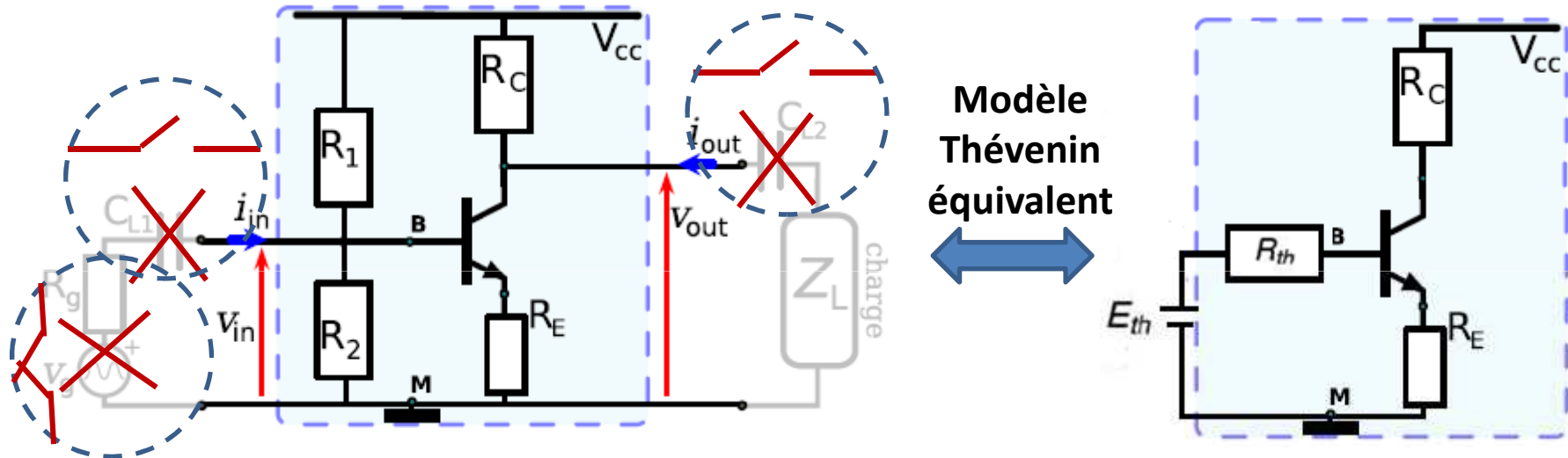
➔ C_{L1} est nécessaire pour que le point de fonctionnement statique ne soit pas modifié par la présence de la source.

➔ C_{L2} est nécessaire pour que la charge Z_L n'influe pas sur le point de repos, et évite que celle-ci “voit” la composante continue de l'étage d'amplification.

➔ C sert à découpage R_E en régime alternatif.

Analyse statique: Amplificateur à EC

- Analyse statique (Les condensateurs agissent comme des circuits ouverts)



Avec : $E_{th} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ et $R_{th} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

- Droite de charge d'entrée

$$V_{BE} = E_{th} - (R_{th} + R_E \cdot (\beta + 1)) \cdot I_B$$

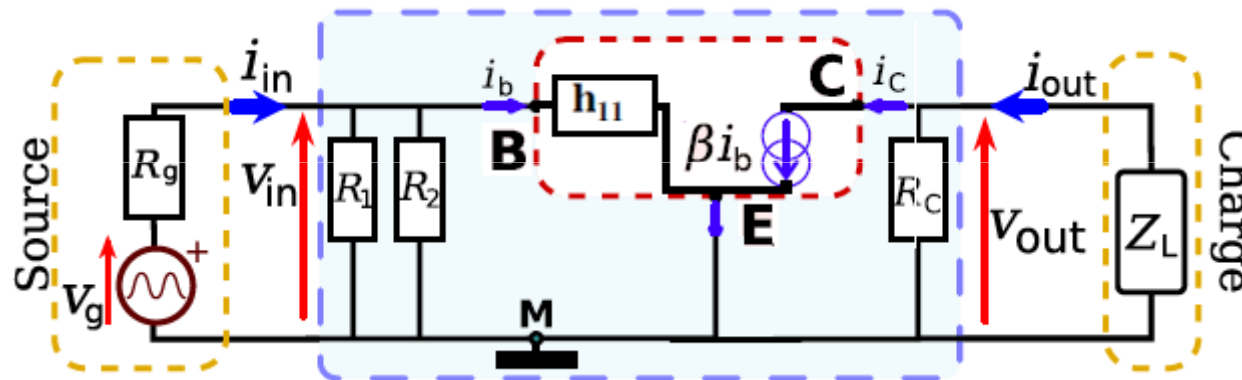
- Droite de charge de sortie

$$V_{CE} \approx V_{CC} - (R_C + R_E) \cdot I_C$$

Analyse dynamique : Amplificateur à EC

■ Analyse dynamique (**Condensateurs = circuits fermés**)

■ L'analyse dynamique s'effectue en établissant le schéma équivalent dynamique du montage. Puis il s'agit de déterminer les caractéristiques de l'étage amplificateur EC.



■ Gain en tension à vide G_{V0}

$$\begin{cases} V_{in} = h_{11} \cdot i_b \\ V_{out} = -R_c \cdot i_c \\ i_c = \beta \cdot i_b \end{cases} \Rightarrow G_{V0} = \frac{V_{out}}{V_{in}} \bigg|_{Z_L = \infty} = -\beta \frac{R_c}{h_{11}}$$

Analyse dynamique : Amplificateur à EC

- Gain en tension en charge G_{VL}

$$G_{VL} = \left. \frac{V_{out}}{V_{in}} \right|_{Z_L} = -\beta \frac{R_c // Z_L}{h_{11}}$$

➡ Le gain est négatif. Le montage émetteur commun est un amplificateur inverseur

- Gain en courant du montage G_i

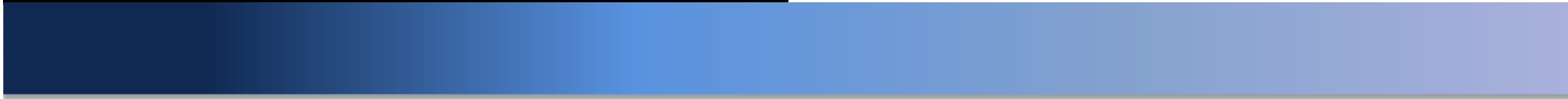
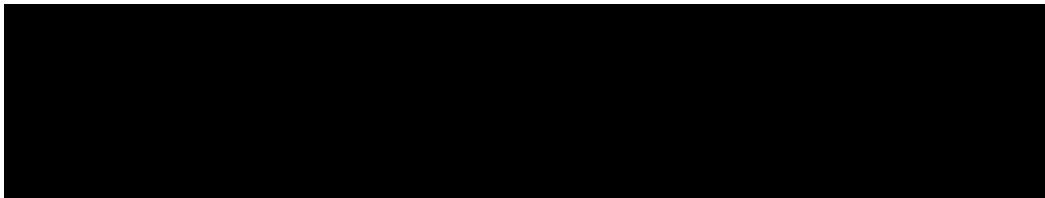
$$G_i = \frac{i_{out}}{i_{in}} = -\beta \frac{R_c \cdot (R_1 // R_2)}{(h_{11} + (R_1 // R_2))(R_c // Z_L)}$$

- Impédance de sortie Z_s (charge est déconnectée + force électromotrice V_g est remplacée par un court circuit.)

$$Z_s = \frac{V_{out}}{i_{out}} = R_c$$

- Impédance d'entrée Z_e

$$Z_e = \left. \frac{V_{in}}{i_{in}} \right|_{V_{out}=0} = R_1 // R_2 // h_{11}$$



FIN