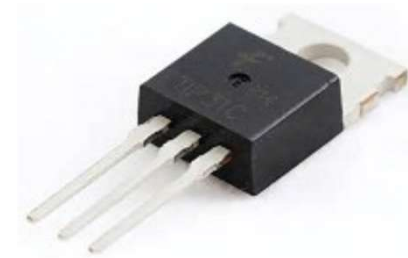


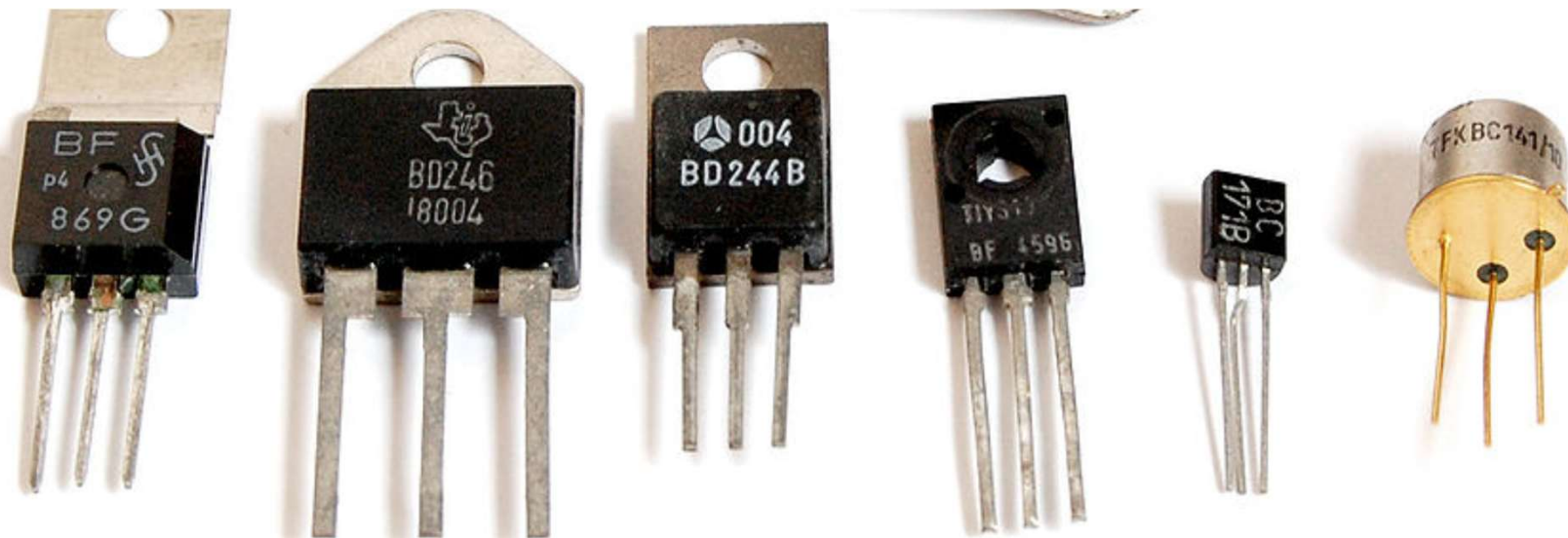
Les transistors bipolaires



Introduction

- Le transistor a été inventé en **1947**.
- Le transistor est l'élément de base de tous les composants électroniques allant d'un petit amplificateur jusqu'aux circuits intégrés.
- Les transistors sont utilisés dans une multitude d'applications électroniques :
 - Amplification des signaux
 - Commutation
 - Régulation de tension
 - Circuits logiques

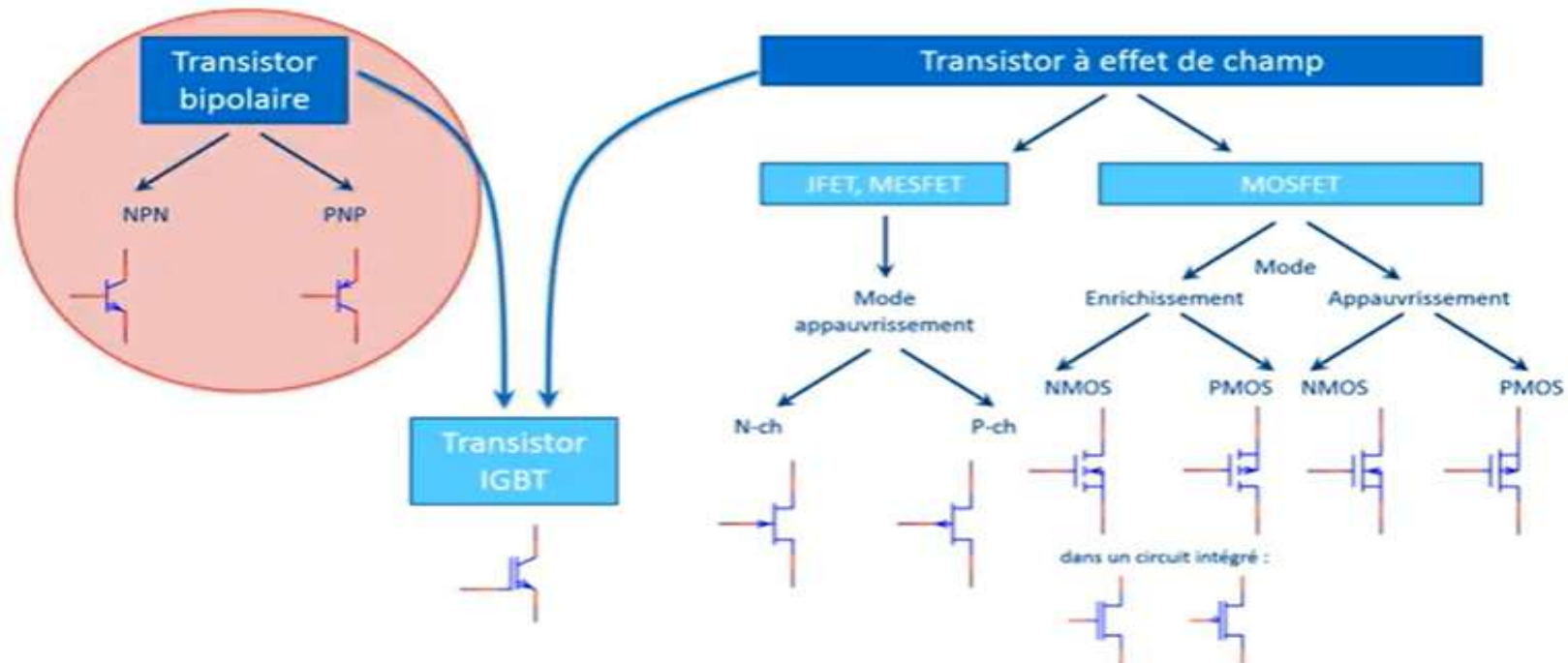
Introduction



Classes de transistors

- Les transistors peuvent être classés en deux grandes catégories
 1. **Transistor bipolaire à jonction (BJT)** : utilise les électrons et les trous comme porteurs de charge.
 - **NPN** : Les électrons sont les porteurs majoritaires.
 - **PNP** : Les trous sont les porteurs majoritaires.
 2. **Transistor à effet de champ (FET)** : contrôle le flux de courant grâce à un champ électrique.
 - **MOSFET** : Transistor métal-oxyde-semi-conducteur.
 - **JFET** : Transistor à effet de champ à jonction.

Classes de transistors

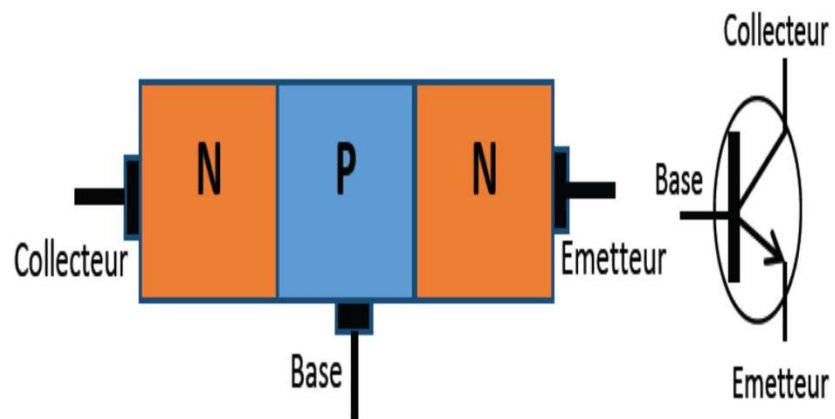


Transistor bipolaire à jonction (BJT)

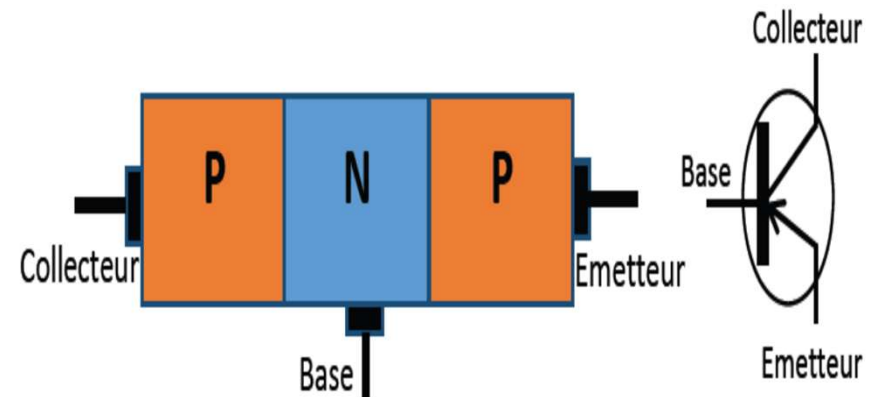
- C'est un composant actif, c'est-à-dire un composant capable de transformer un signal électrique et d'en amplifier sa puissance.
- Selon les cas, les transistors sont dits **NPN** ou **PNP**.
- Il est constitué d'un monocristal semi-conducteur comportant trois régions contigües :
 - **L'émetteur (E)** : injecte les porteurs de charge.
 - **La base (B)** : contrôle le flux des porteurs entre l'émetteur et le collecteur.
 - **Le collecteur (C)** : collecte les porteurs de charge provenant de l'émetteur.

Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Types de transistors BJT



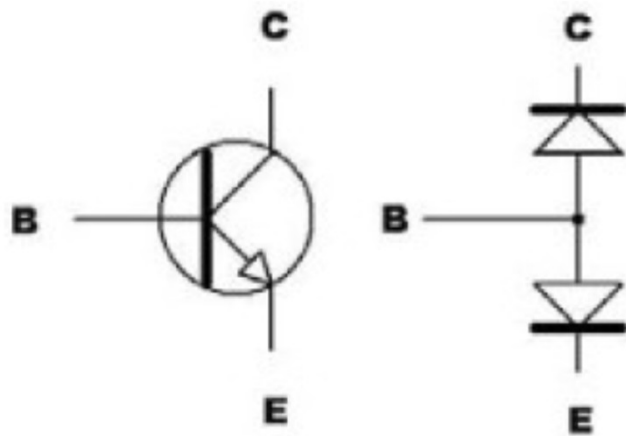
Transistor NPN



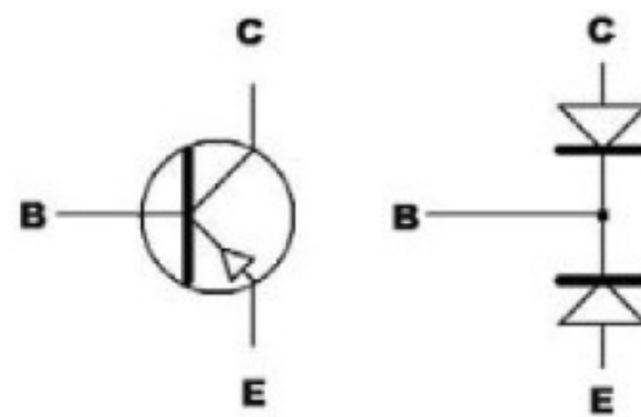
Transistor PNP

Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Types de transistors BJT



Transistor NPN

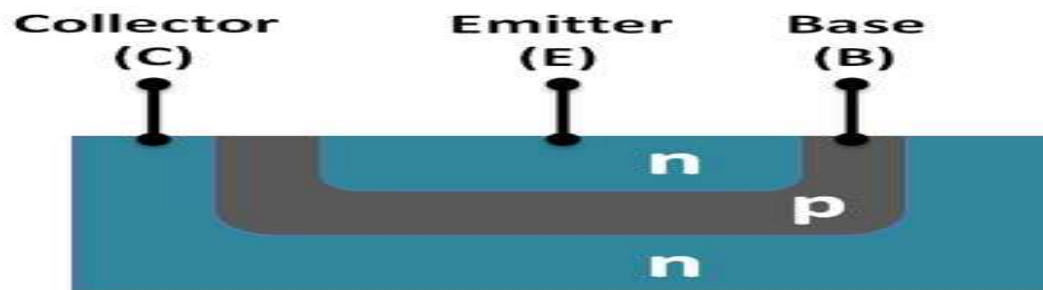


Transistor PNP

Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Transistor NPN

- L'émetteur (E) est fortement dopé. Son rôle est d'injecter des électrons dans la base.
- La base (B) est faiblement dopée et très mince. Elle transmet au collecteur la plupart des électrons venant de l'émetteur.
- Le collecteur (C) recueille les électrons qui lui viennent de la base d'où son nom.

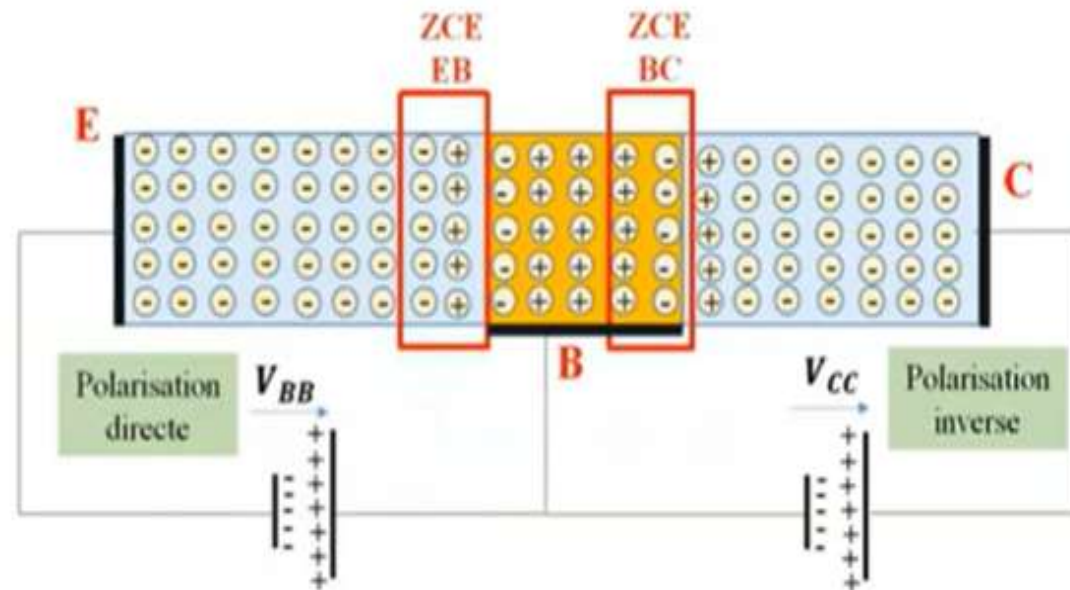


Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Transistor NPN

Effet Transistor

L'effet transistor consiste à faire passer un nombre important de charge à travers une jonction bloquée



Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Transistor NPN

□ Le transistor est caractérisé par 6 grandeurs électriques:

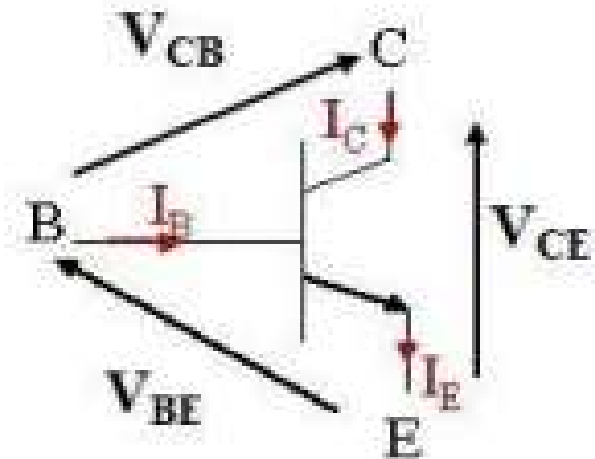
- 3 courants : I_B , I_C , I_E
- 3 tensions : V_{BE} , V_{CE} , V_{CB}

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

$$I_E = (1 + \beta)I_B$$

$$I_C = \frac{\beta}{1 + \beta} \cdot I_E \quad \alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} \simeq 1 \Rightarrow I_E \simeq I_C$$

$$I_E = I_B + I_C$$
$$V_{CE} = V_{BE} + V_{CB}$$



β est le gain en courant du transistor

Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Transistor NPN → Modes de fonctionnement

Le transistor NPN a deux modes de fonctionnement :

- **Mode linéaire (fonction d'amplification) :**

- ✓ $I_C = \beta \cdot I_B, V_{CE} > 1, V_{BE} = 0,7V$

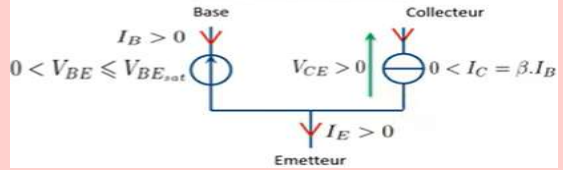
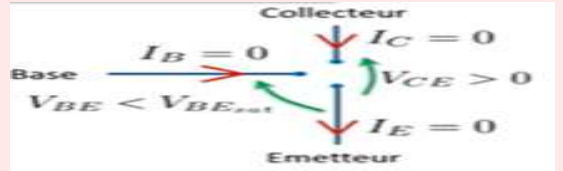
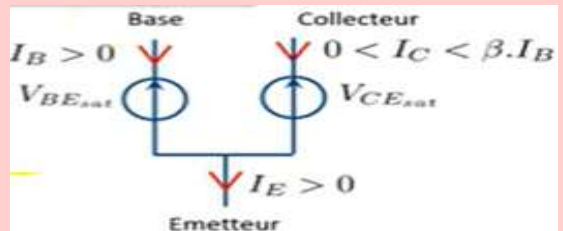
- **Mode bloqué/saturé (mode commutation) :** le transistor fonctionne soit avec un courant base (I_B) nul, soit avec un courant base important

- ✓ $I_B = 0$: transistor **bloqué**, et donc $I_C = 0$ (interrupteur ouvert)

- ✓ Si I_B est très grand, le transistor est **saturé** (court-circuit).

Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Transistor NPN → Modes de fonctionnement

Mode de fonctionnement	Jonction B-E	Jonction B-C	caractéristiques	Configuration émetteur commun
Fonctionnement linéaire (Actif)	Passante	Bloquée	$I_C = \beta \cdot I_B$ $V_{CE} > 1V$ $V_{BE} = 0,7V$	
Bloqué	Bloquée	Bloquée	$I_B = I_C = I_E = 0$ $V_{BE} < V_{BEsat} = 0,7V$	
Saturé	Passante	Passante	$I_C = I_{CSat} < \beta \cdot I_B$ $V_{CE} = V_{CEsat} = 0,2 \text{ à } 0,4V$ On prend toujours $V_{CE} = 0V$ $V_{BE} = V_{BESat} = 0,6 - 0,7V$	

Transistor bipolaire à jonction (BJT)

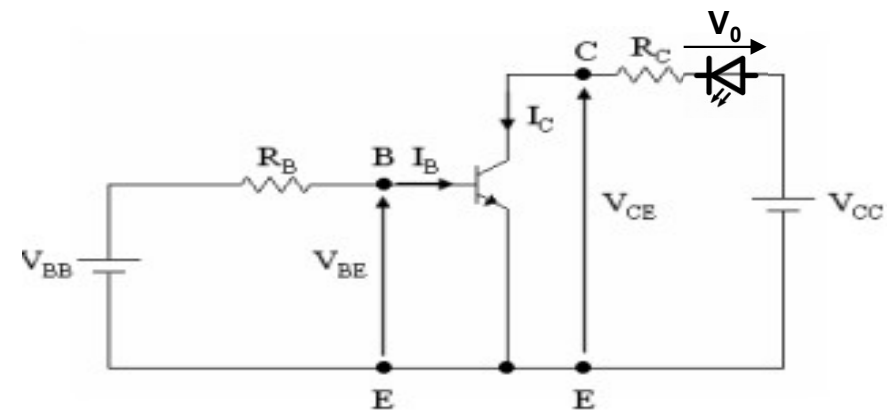
Transistor NPN → Modes de fonctionnement

Exercice : état d'un transistor commandant une LED

$V_{CC}=5V$, $\beta=150$, $R_B=22K$, $R_C=330\Omega$

La diode D a une tension seuil $V_0=1,9V$

Rechercher l'état du transistor pour $V_{BB}=0V$ et $V_{BB}=5V$.



Transistor bipolaire à jonction (BJT)

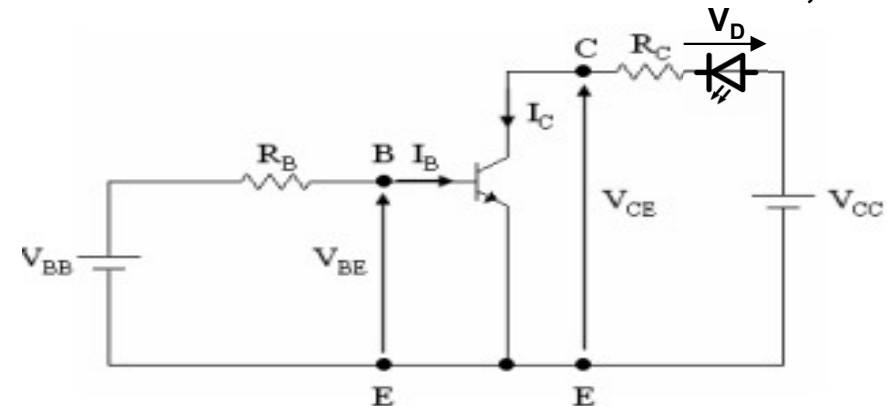
Transistor NPN → Modes de fonctionnement

Exercice : état d'un transistor commandant une LED

$V_{CC}=5V$, $\beta=150$, $R_B=22K$, $R_C=330\Omega$
La diode D a une tension seuil $V_0=1,9V$

Pour $V_{BB}=0V$:

- De façon évidente : $I_B=0$ et donc $I_C=0$
- Pas de courant dans la diode → $V_D=0V$
- Branche de sortie : $V_{CE} = V_{CC} - V_D - R_C \times I_C$
$$V_{CE} = V_{CC} > 0$$
- Branche d'entrée : $V_{BE} = 0 < V_{BESat}$
- On a vérifié les hypothèses du mode bloqué pour $V_{BB}=0V$
⇒ Le transistor est bien **bloqué**



Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Transistor NPN → Modes de fonctionnement

Exercice : état d'un transistor commandant une LED

$V_{CC}=5V$, $\beta=150$, $R_B=22K$, $R_C=330\Omega$
La diode D a une tension seuil $V_0=1,9V$

Pour $V_{BB}=5V$:

- Pour la maille d'entrée :

$$V_{BB} - V_{BESat} - R_B \times I_B = 0$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BESat}}{R_B} = \frac{5 - 0,7}{22000} = 0,2mA$$

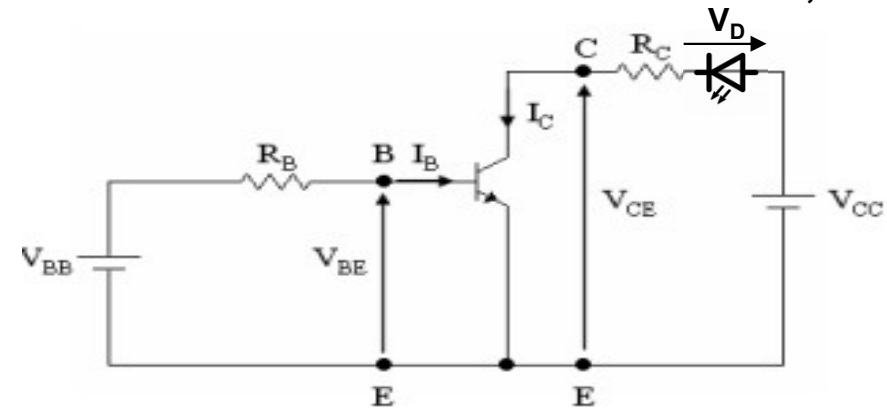
- Branche de sortie :

$$V_{CC} - V_{CESat} - V_D - R_C \times I_C = 0$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - 0 - V_D}{R_C} = \frac{5 - 1,9}{330} = 9,39mA$$

- Pour vérifier si le modèle est saturé, il faut $0 < I_C < \beta \cdot I_B$,

$$0 < I_C = 9,39mA < \beta \cdot I_B = 150 * 0,2mA = 30mA \Rightarrow \text{Le transistor est bien saturé}$$



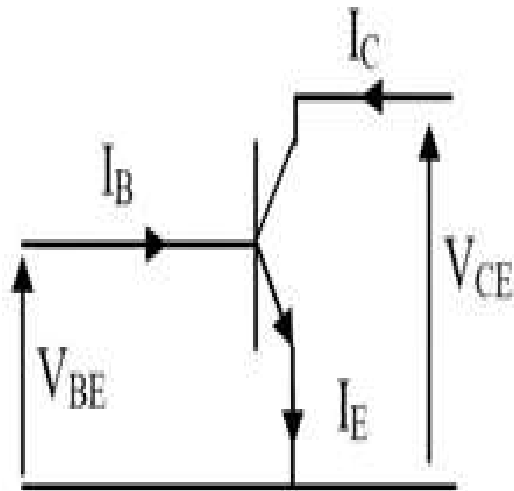
Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Transistor NPN → Montage de base

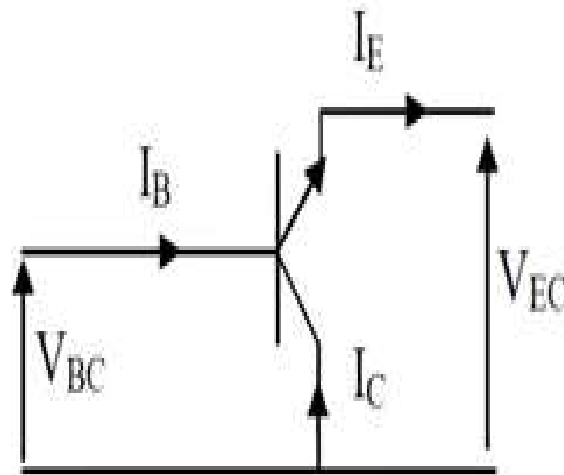
- Le transistor considéré comme un **quadripôle**. Quand on branche un transistor, on s'arrange pour qu'il y ait une patte commune à l'entrée et à la sortie du montage, il y a différents circuits de base constitué de transistors :
 - ✓ **Montage EC** : Entrée sur la base et Sortie sur le collecteur
 - ✓ **Montage CC** : Entrée sur la base et Sortie sur l'Emetteur
 - ✓ **Montage BC** : Entrée sur l'Emetteur et Sortie sur le Collecteur

Transistor bipolaire à jonction (BJT)

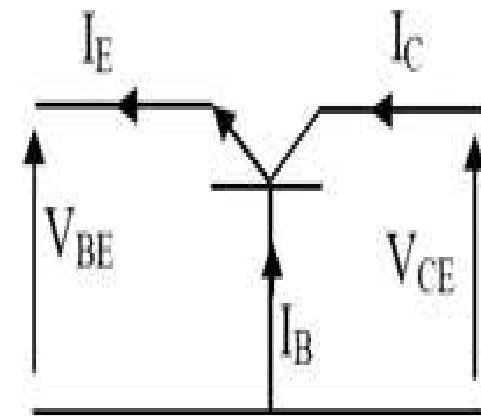
Transistor NPN → Montage de base



Montage Emetteur commun (EC)



Montage collecteur commun (CC)



Montage base commun (BC)

Transistor bipolaire à jonction (BJT)

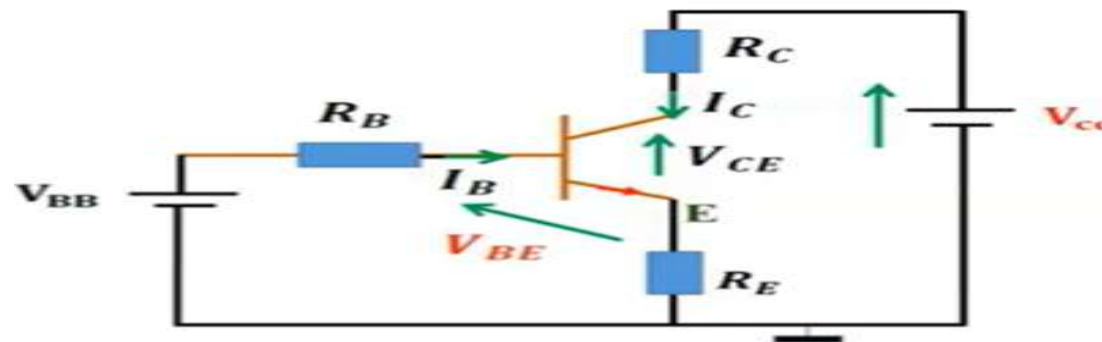
Transistor NPN → Réseaux des caractéristiques

- Les caractéristiques sont les courbes qui représentent les relations entre les courants et les tensions du transistor.
- Elles permettent de délimiter les régions de fonctionnement du transistor de déterminer le point de fonctionnement optimal et les paramètres du transistor.
- Déterminer l'état de fonctionnement d'un transistor bipolaire nécessite la connaissance de six variables :
 - 3 courants : I_B , I_C , I_E
 - 3 tensions : V_{BE} , V_{CE} , V_{CB}

Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Transistor NPN → Réseaux des caractéristiques

- Le montage le plus utilisé dans la pratique est le montage à « **émetteur commun** » :



- Les conditions de fonctionnement normal du transistor sont tel que :
 - ✓ $V_{BE} > 0$: Jonction B-E polarisée en direct.
 - ✓ $V_{BC} < 0$: Jonction B-C polarisée en inverse.

Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Transistor NPN → Réseaux des caractéristiques

□ Tracer de 3 réseaux de caractéristiques

1. Caractéristique d'entrée (jonction Base-Emetteur)

$$I_B = f(V_{BE}) \text{ dans le plan } (V_{BE}, I_B)$$

2. Plusieurs caractéristiques à $I_B = cte$ dans le plan (V_{CE}, I_C)

$$\textbf{Caractéristiques de sortie } I_C = f(V_{CE}) I_B = cte$$

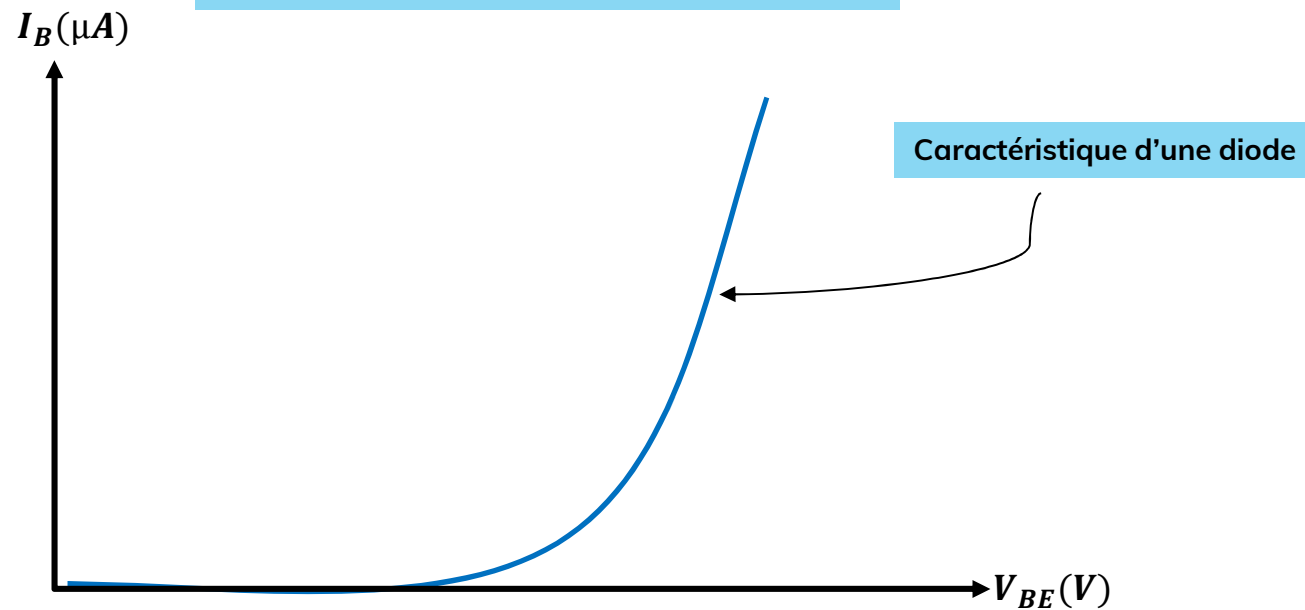
3. Plusieurs caractéristiques à $V_{CE} = cte$ dans le plan (I_B, I_C)

$$\textbf{Caractéristiques de transfert } I_C = f(I_B)_{V_{CE} = cte}$$

Transistor bipolaire à jonction (BJT)

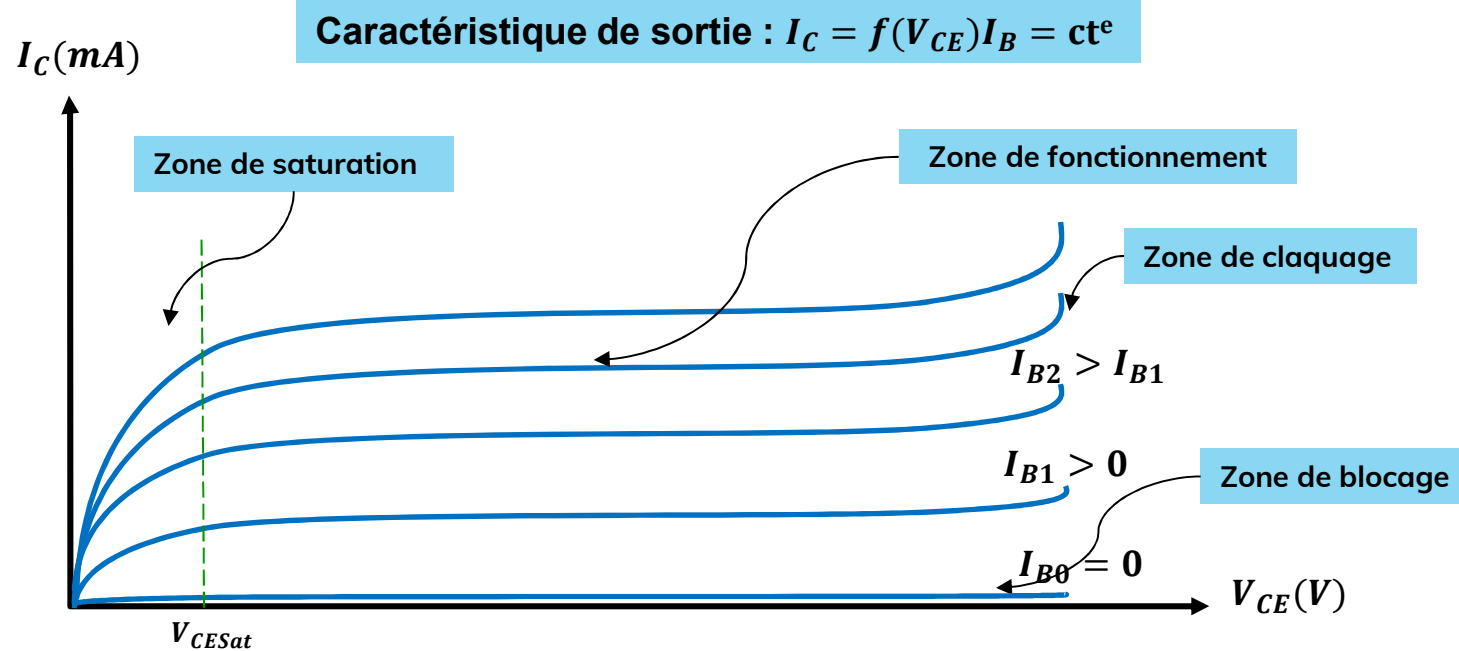
Transistor NPN → Réseaux des caractéristiques

Caractéristique d'entrée : $I_B = f(V_{BE})$



Transistor bipolaire à jonction (BJT)

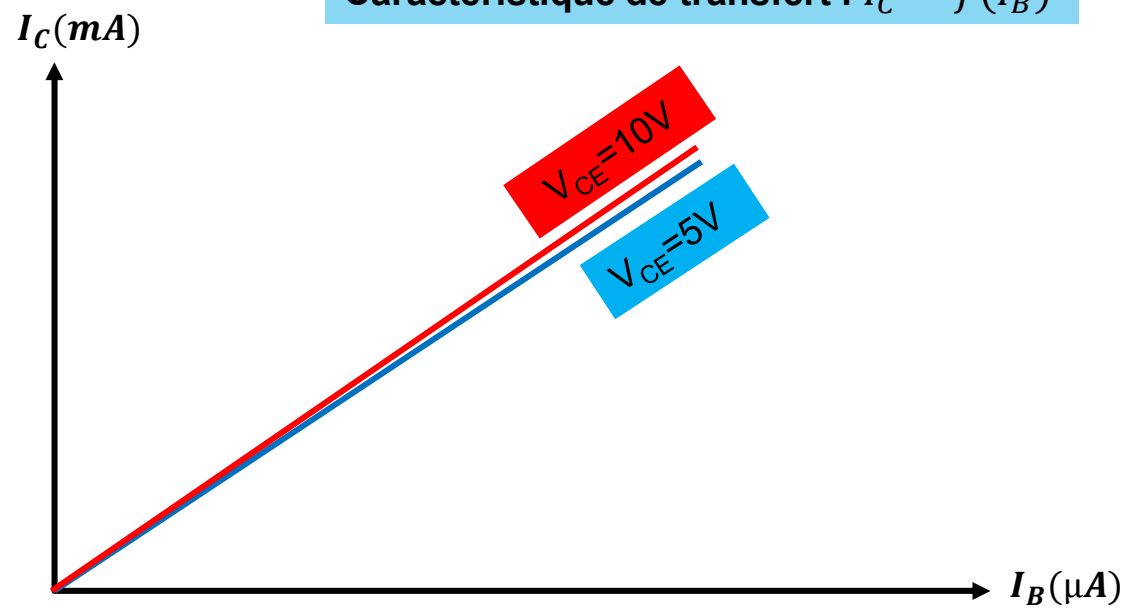
Transistor NPN → Réseaux des caractéristiques



Transistor bipolaire à jonction (BJT)

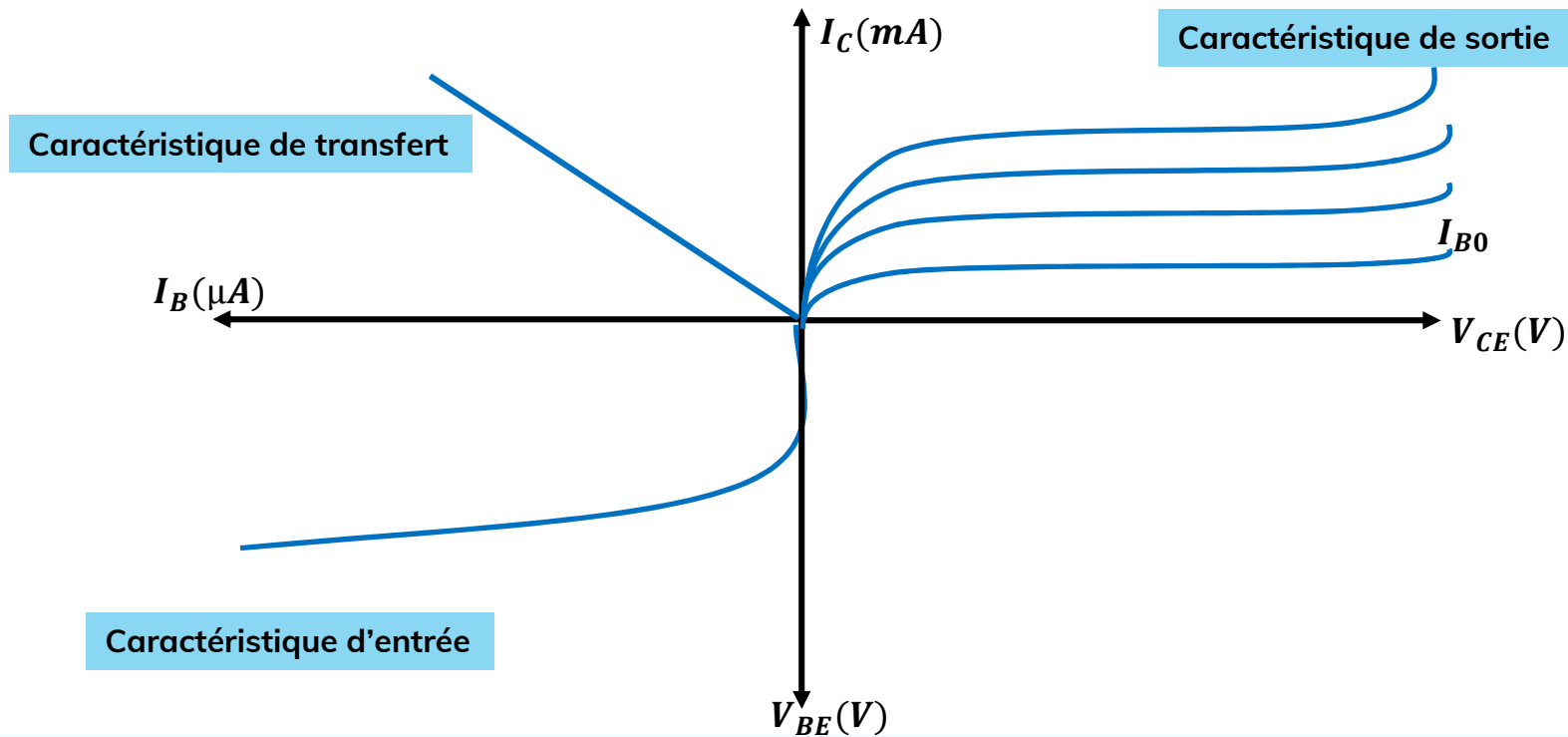
Transistor NPN → Réseaux des caractéristiques

Caractéristique de transfert : $I_C = f(I_B)$



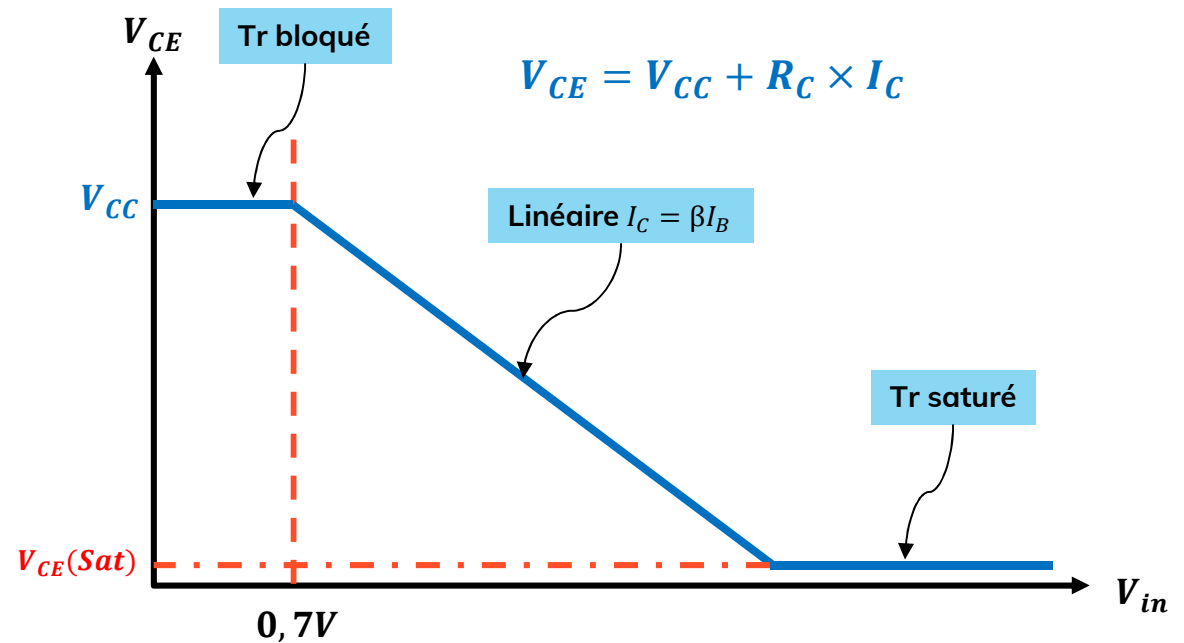
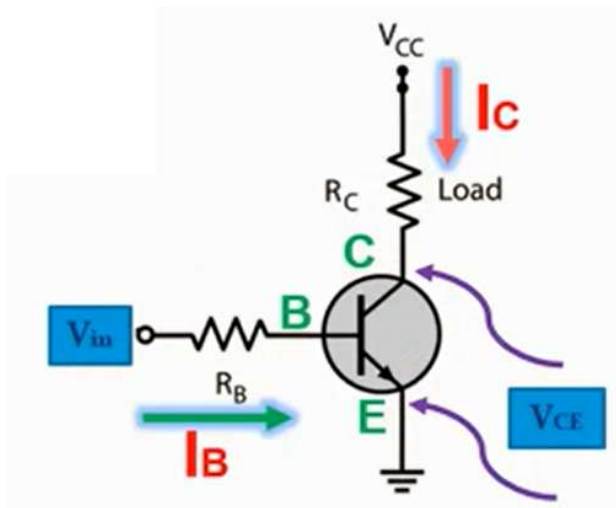
Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Transistor NPN → Réseaux des caractéristiques



Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Transistor NPN → Réseaux des caractéristiques



Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Transistor NPN → Etude du circuit amplificateur

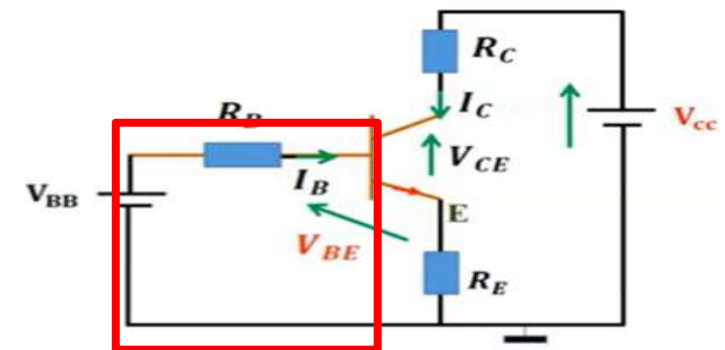
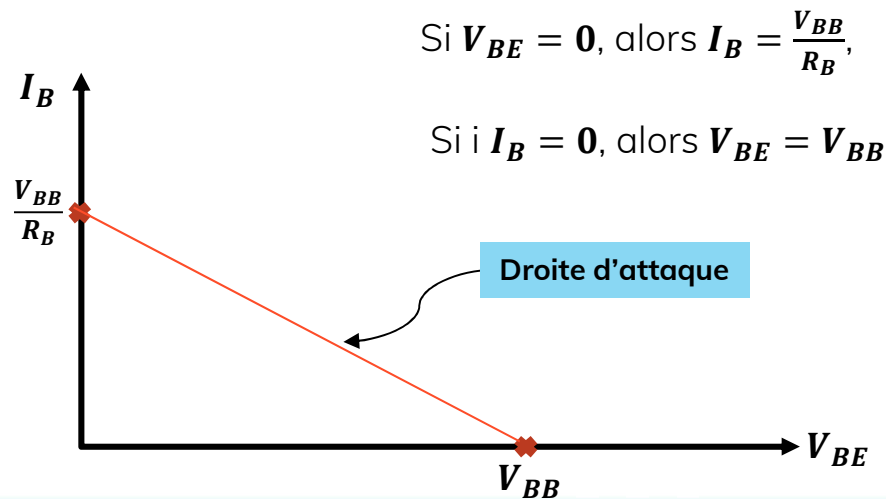
- **Etude en régime statique** : polarisation du transistor, droite de charge statique, droite de charge dynamique et calcul du point de fonctionnement
- **Etude en régime dynamique** : Calcul du gain en tension, gain en courant, impédance d'entrée, impédance de sortie

Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Etude en régime statique

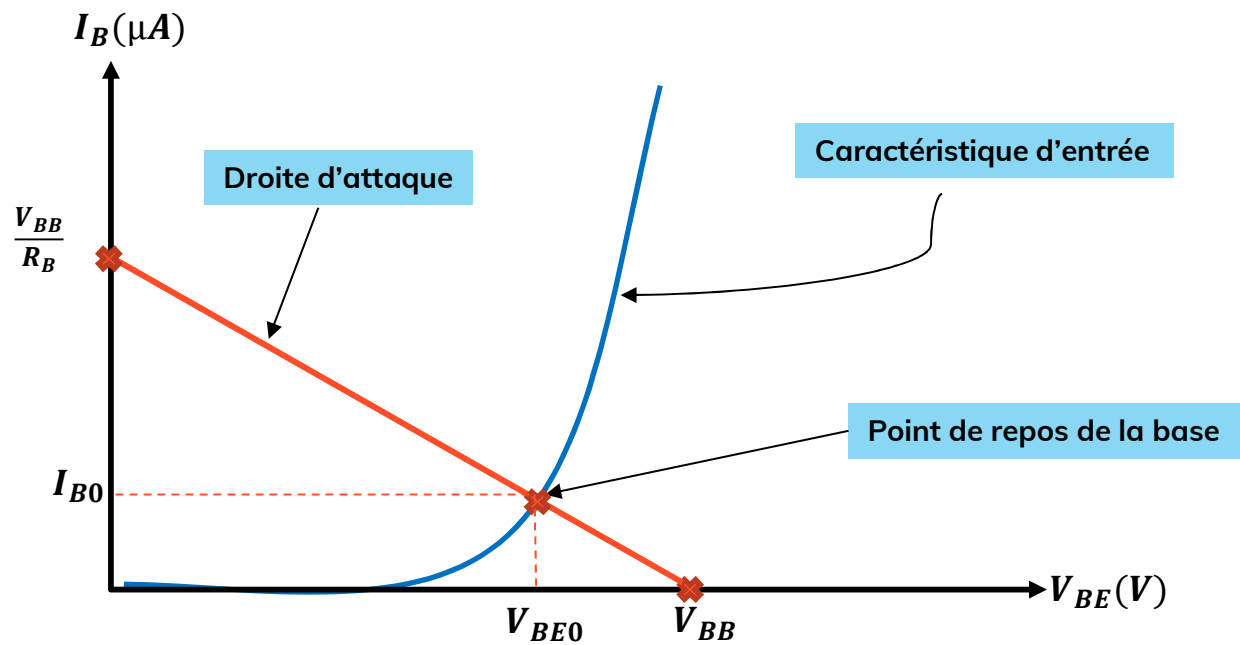
- Droite d'attaque statique $I_B = f(V_{BE})$:

D'après la loi des mailles appliquée à la maille encadrée : $V_{BB} = R_B \times I_B + V_{BE} \Rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$



Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Etude en régime statique

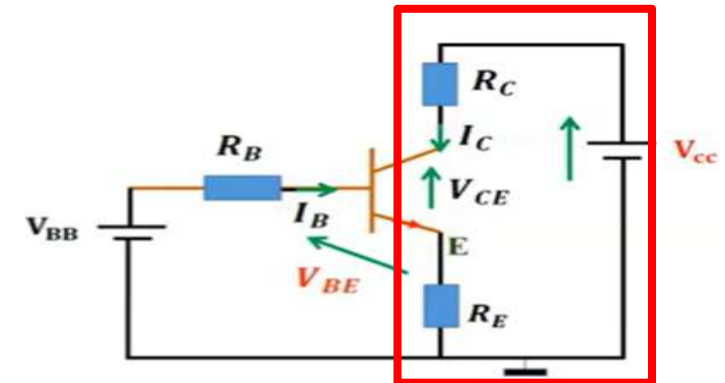
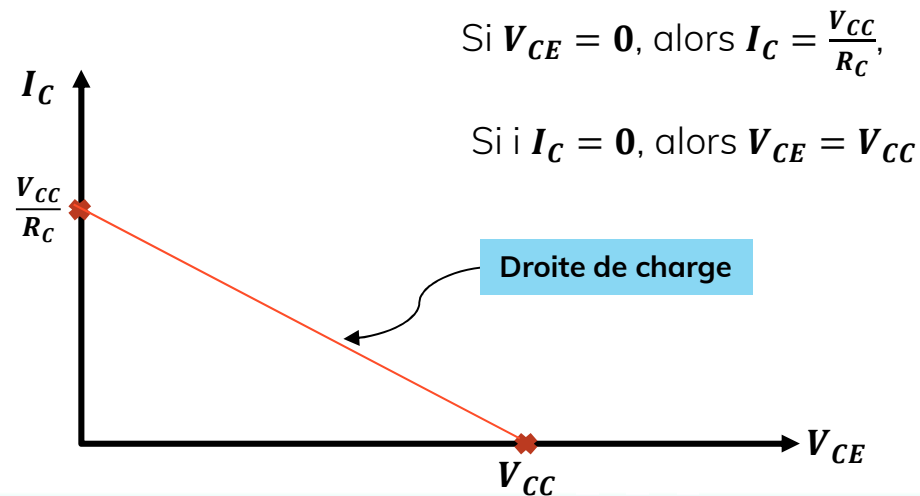


Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Etude en régime statique

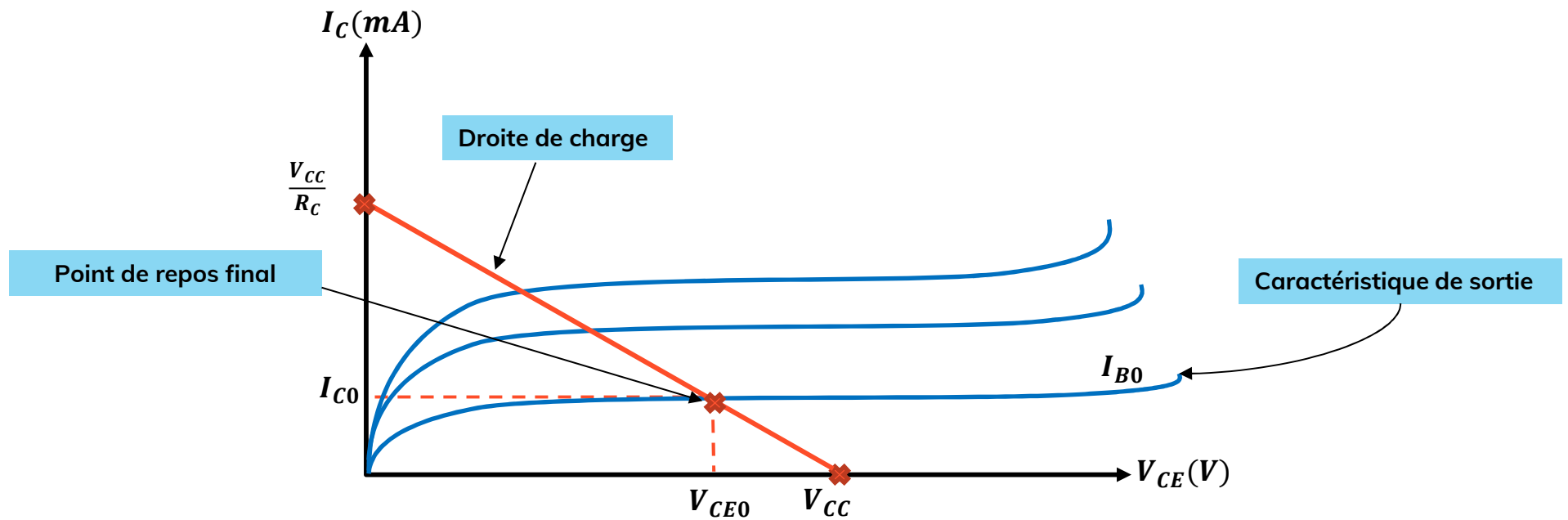
- Droite de charge statique $I_C = f(V_{CE})$:

D'après la loi des mailles appliquée à la maille encadrée : $V_{CC} = R_C \times I_C + V_{CE} \Rightarrow I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}$



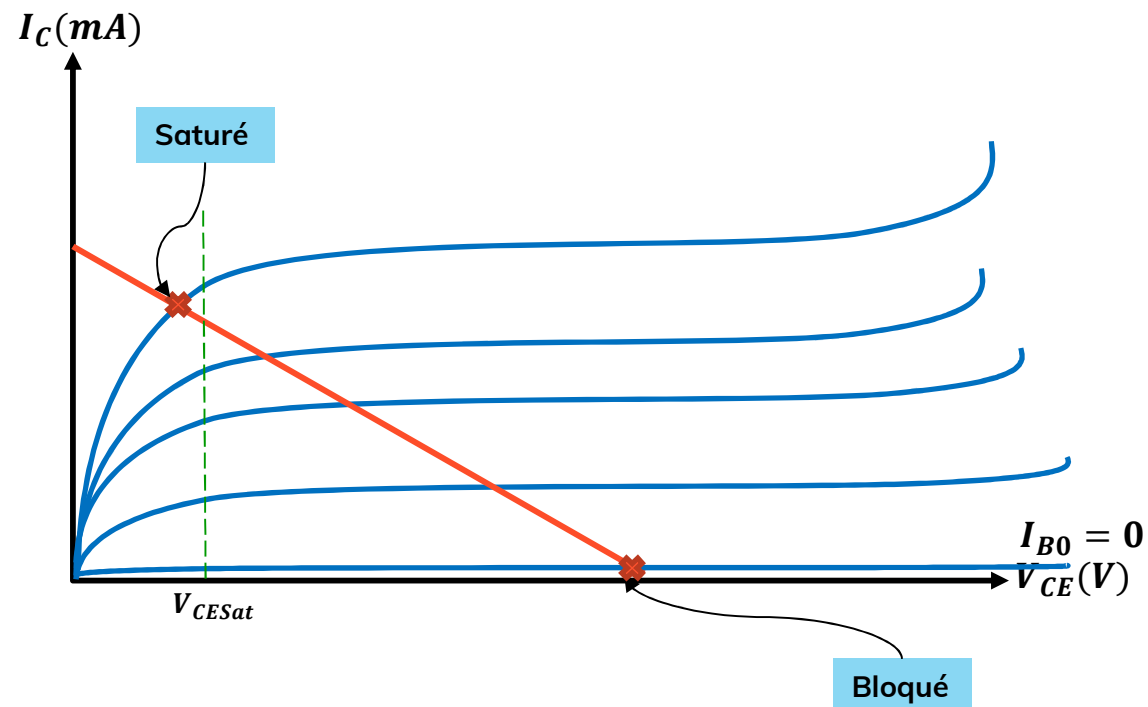
Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Etude en régime statique



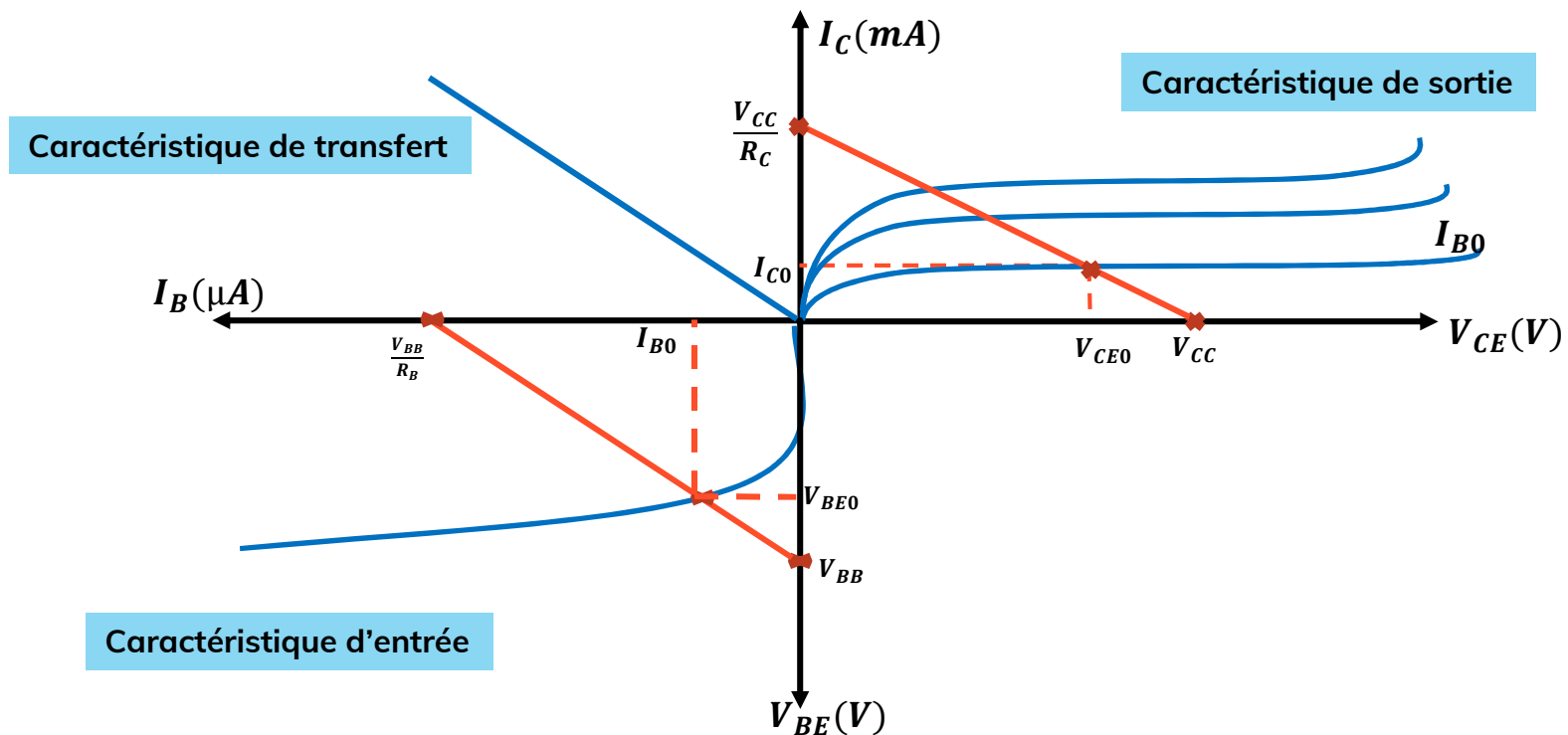
Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Etude en régime statique



Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Etude en régime statique



Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Etude en régime statique

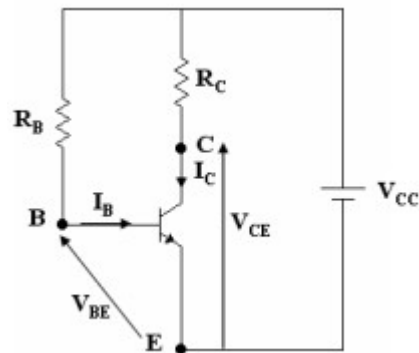
Polarisation

- Polariser un transistor c'est le faire conduire à l'aide d'une alimentation continue et par ajout d'éléments externes actifs ou passifs (résistances, inductances, diodes), dans le but d'imposer le point de fonctionnement.
- Les montages de polarisation d'un transistor bipolaire sont diverses comme :
 - Polarisation par résistance de base.
 - Polarisation par réaction d'émetteur.
 - Polarisation par réaction de collecteur.
 - Polarisation par pont diviseur de tension

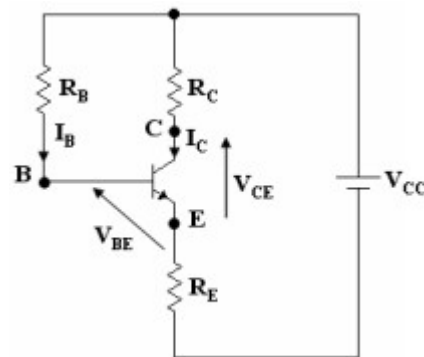
Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Etude en régime statique

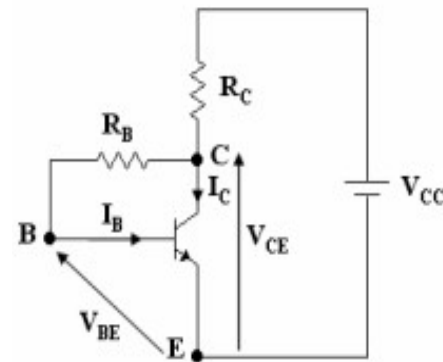
Polarisation



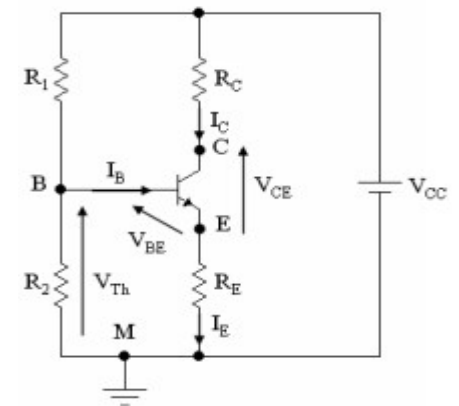
Polarisation
par résistance
de base



Polarisation
par réaction
d'émetteur



Polarisation
par réaction
de collecteur

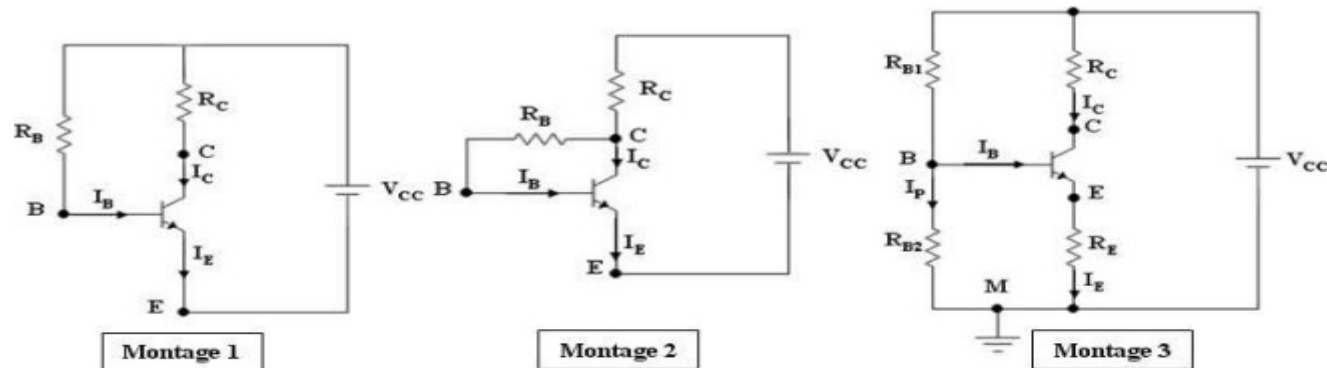


Polarisation
par diviseur
de tension

Transistor bipolaire à jonction (BJT)

Etude en régime statique

Exercice Un transistor NPN au silicium est utilisé dans les trois montages suivants :



1. Donner les noms des méthodes de polarisation exprimées par ses montages.
2. Calculer les éléments nécessaires de polarisation.

Pour chacun des montages, le point de polarisation doit être le suivant : $V_{CE0}=5$ V, $I_{C0}=1$ mA, $V_{CC}=10$ V, $\beta=100$ et $V_{BE0}=0,7$ V. Pour le montage 3, on prendra $I_p=100$ μ A et $R_E=1$ k Ω .