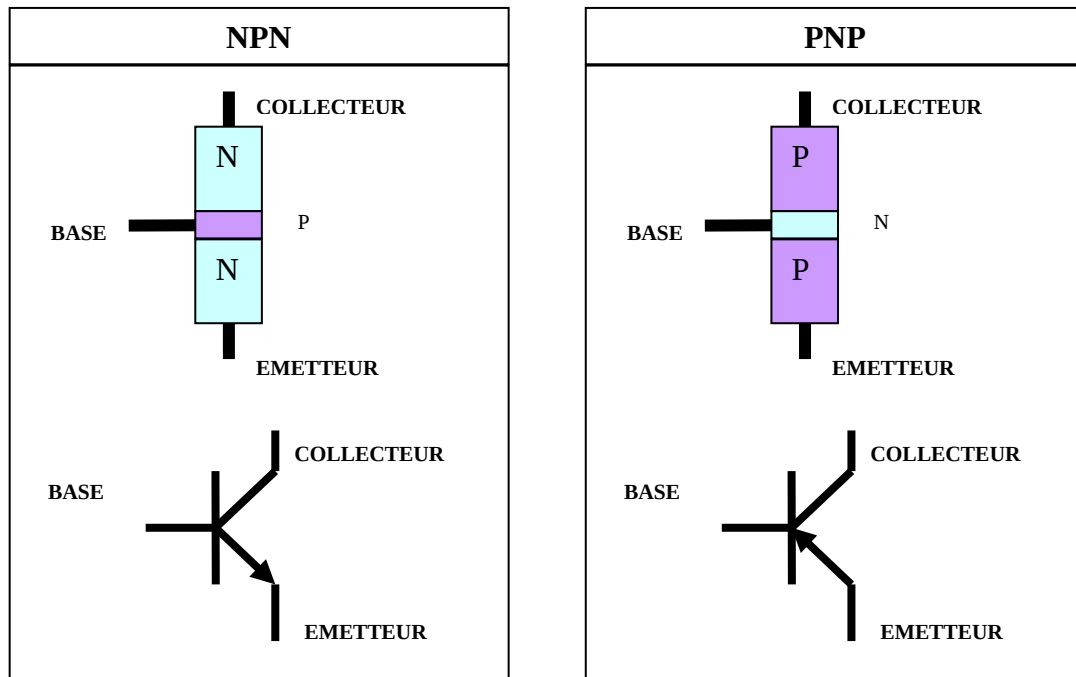


Le transistor bipolaire

Constitution- Symbole	2
1. Caractéristiques – Fonctionnement	2
1.1. Caractéristiques d'entrée $I_B=f(V_{BE})$	2
1.2. Caractéristiques de Transfert $I_C=f(I_B)$	3
Caractéristiques de sortie $I_C=f(V_{CE})$	4
1.4. Résumé – réseau de caractéristiques	5
2. Utilisation et mode de fonctionnement	6
2.1. Fonctionnement statique :	6
2.2. Fonctionnement Dynamique:	7
2.3. Modélisation du transistor bipolaire :	10
2.3.1. En régime de commutation :	10
2.3.2. En régime linéaire :	11
2.4. Caractéristiques constructeur - critères de choix	13
2.4.1. Limites d'emploi	13
2.4.2. Caractéristiques électriques :	14
2.4.2.1. Caractéristiques statiques	14
2.4.2.2. Caractéristiques dynamiques	14
2.4.3. Cahier des charges d'un transistor	15

Constitution- Symbole

Un transistor bipolaire est constitués de 2 jonctions PN et existe sous 2 polarités :



La géométrie du système (base mince) aboutit à l'effet transistor qui se traduit par un fort courant collecteur commandé par un faible courant de base (voir les caractéristiques de fonctionnement).

1. Caractéristiques – Fonctionnement

1.1. Caractéristiques d'entrée $I_B=f(V_{BE})$

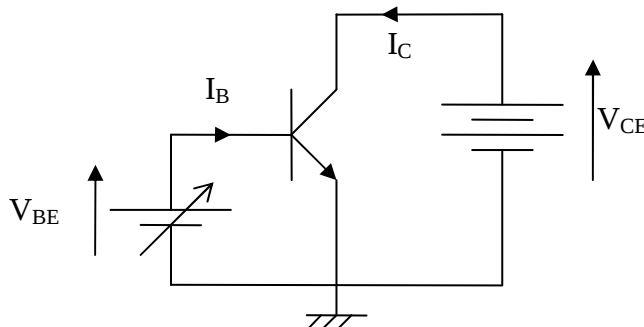
C'est la caractéristique qui relie les deux grandeurs d'entrée :

- Courant de base I_B
- Tension base émetteur et V_{BE}

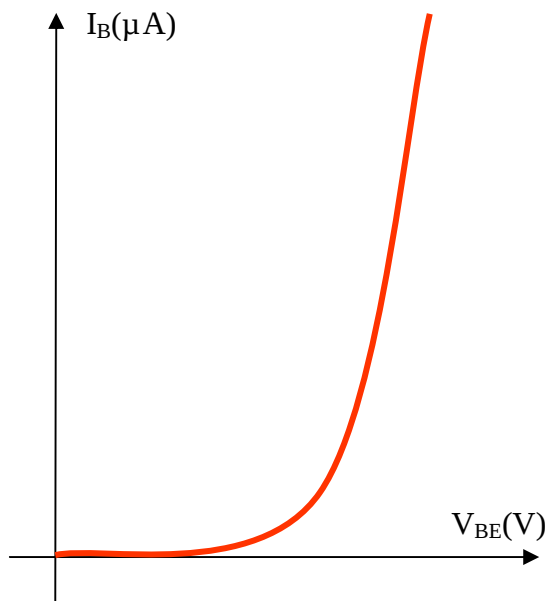
En observant la structure, on s'aperçoit qu'il s'agit d'une jonction PN. On retrouvera donc une caractéristique de transfert identique à celle d'une diode.

Le schéma de principe du tracé de la caractéristique $I_B=f(V_{BE})$ est le suivant.

On fait varier la tension V_{BE} puis on relève le courant de base correspondant.



Cette caractéristique est généralement donnée pour différentes valeurs de la tension V_{CE} , ce qui justifie la deuxième source de tension dans le montage.



On retrouve, comme prévue, l'allure de la caractéristique courant - tension d'une diode. N'existe un courant dans la base que pour $V_{BE} > 0$.

1.2. Caractéristiques de Transfert $I_C = f(I_B)$

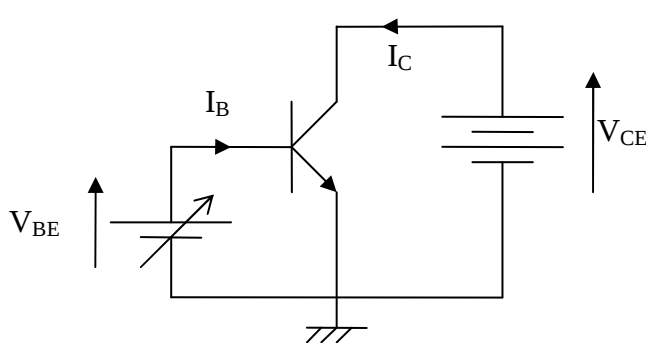
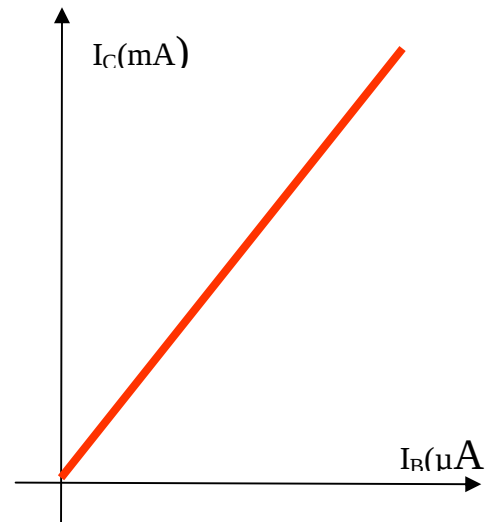


Schéma de principe de relevé de la Caractéristiques de Transfert $I_C = f(I_B)$



Cette caractéristique représente la fonction principale du transistor : l'amplification en courant. En effet, on remarque que la caractéristique de transfert est une droite, ce qui traduit une relation linéaire entre le courant de base et de collecteur. On note le coefficient de proportionnalité β , ce qui donne :

$$I_C = \beta I_B$$

1.3. Caractéristiques de sortie $I_C=f(V_{CE})$

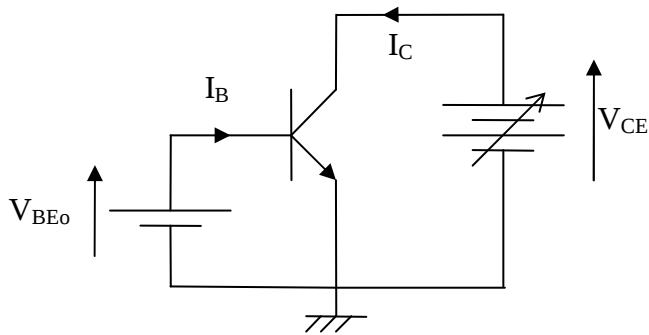


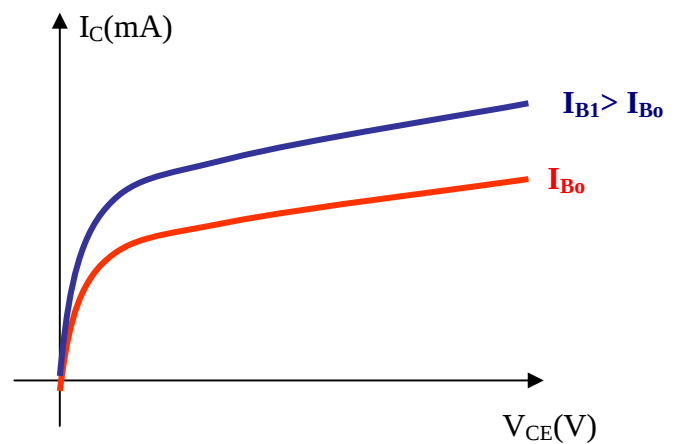
Schéma de principe de relevé de la
Caractéristiques de Transfert $I_C=f(V_{CE})$

Dans le schéma ci contre, on doit tout d'abord fixé un courant de base pour qu'il y ait existence d'un courant de collecteur. C'est le rôle de la source de tension V_{BE0} .

Dans un deuxième temps, on fait varier V_{CE} avec une source de tension réglable, puis pour chaque valeur de V_{CE} on relève le courant I_C correspondant.

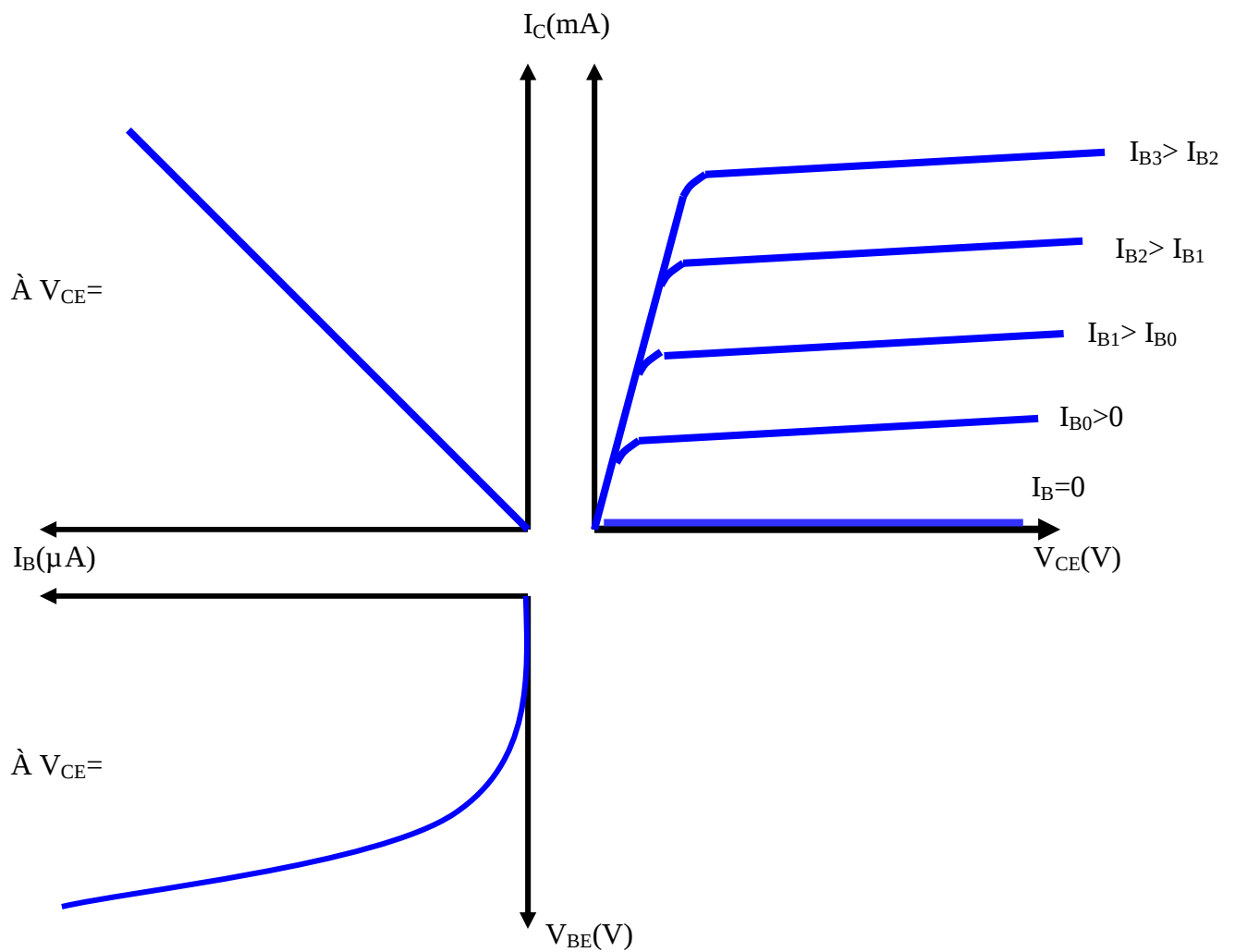
On retranscrit les mesure sur un graphe ce qui donne :

Sur cette caractéristique, on peut remarquer que le courant collecteur croît très rapidement pour se stabiliser autour de la valeur βI_{Bn} .



1.4. Résumé – réseau de caractéristiques

On retrouve dans beaucoup de d'ouvrage une représentation synthétique de ces différentes courbes, communément appelé « réseau de caractéristique du transistor bipolaire ».



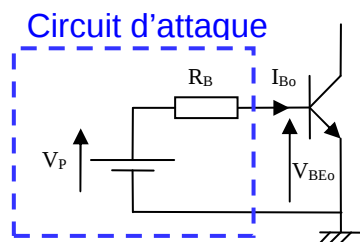
2. Utilisation et mode de fonctionnement

2.1. Fonctionnement statique :

On parle de fonctionnement statique quand toutes les grandeurs (courants et tensions) sont des grandeurs continues, c'est-à-dire qui ne varient pas dans le temps.

On les notera en MAJUSCULE.

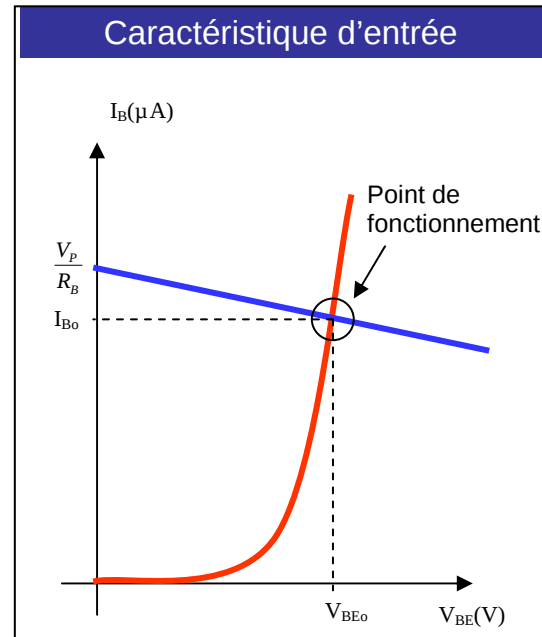
Le point de fonctionnement est imposé par le **circuit d'attaque**.



On peut le déterminer graphiquement en traçant la **droite d'attaque**, d'équation:

$$I_B = -\frac{1}{R_B} V_{BE} + \frac{V_P}{R_B}$$

Généralement, V_P est connue et il faut choisir R_B pour fixer I_{B0} .

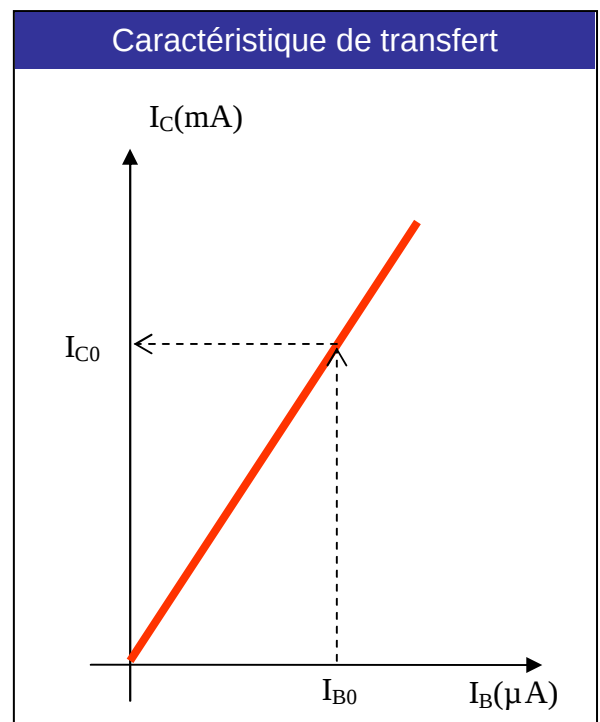
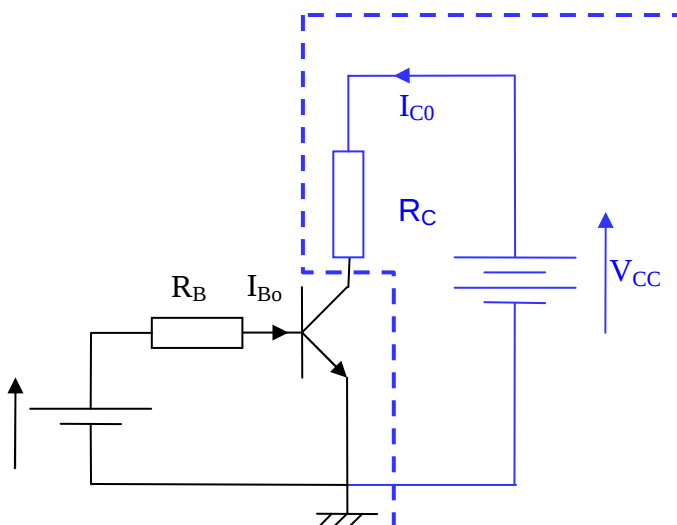


I_{B0} étant fixé, on peut en déduire la valeur de I_{C0} par :

$$I_{C0} = \beta I_{B0},$$

Ou graphiquement par l'exploitation de la caractéristique de transfert du transistor.

Or cela est vrai si on autorise le passage d'un courant collecteur, c'est à dire si il existe un circuit de charge.

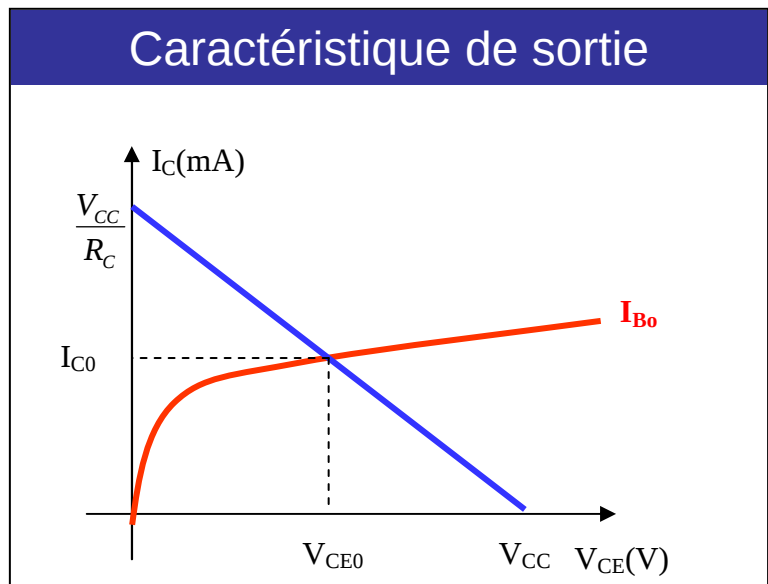


La valeur de V_{CE0} est fixée par V_{CC} et R_C , et peut être déterminée graphiquement en traçant la droite de charge d'équation:

$$I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$

La droite de charge passe forcément par I_{C0} .

En pratique, V_{CC} est généralement connue, on choisit alors R_C pour fixer I_{C0} et V_{CE0} .



En résumé :

On retiendra que :

- V_P et R_B fixe le courant I_{B0} .
- V_{CC} et R_C fixe la tension V_{CE0} .

C'est ce qu'on appelle POLARISER le transistor.

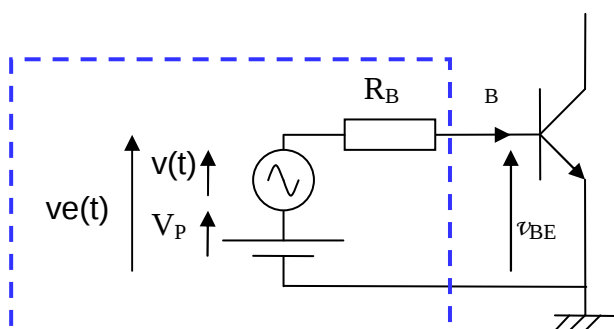
2.2. Fonctionnement Dynamique:

On parle de fonctionnement dynamique quand toutes les grandeurs (courants et tensions) sont des **grandeurs variables dans le temps**.

On les notera en MINUSCULE.

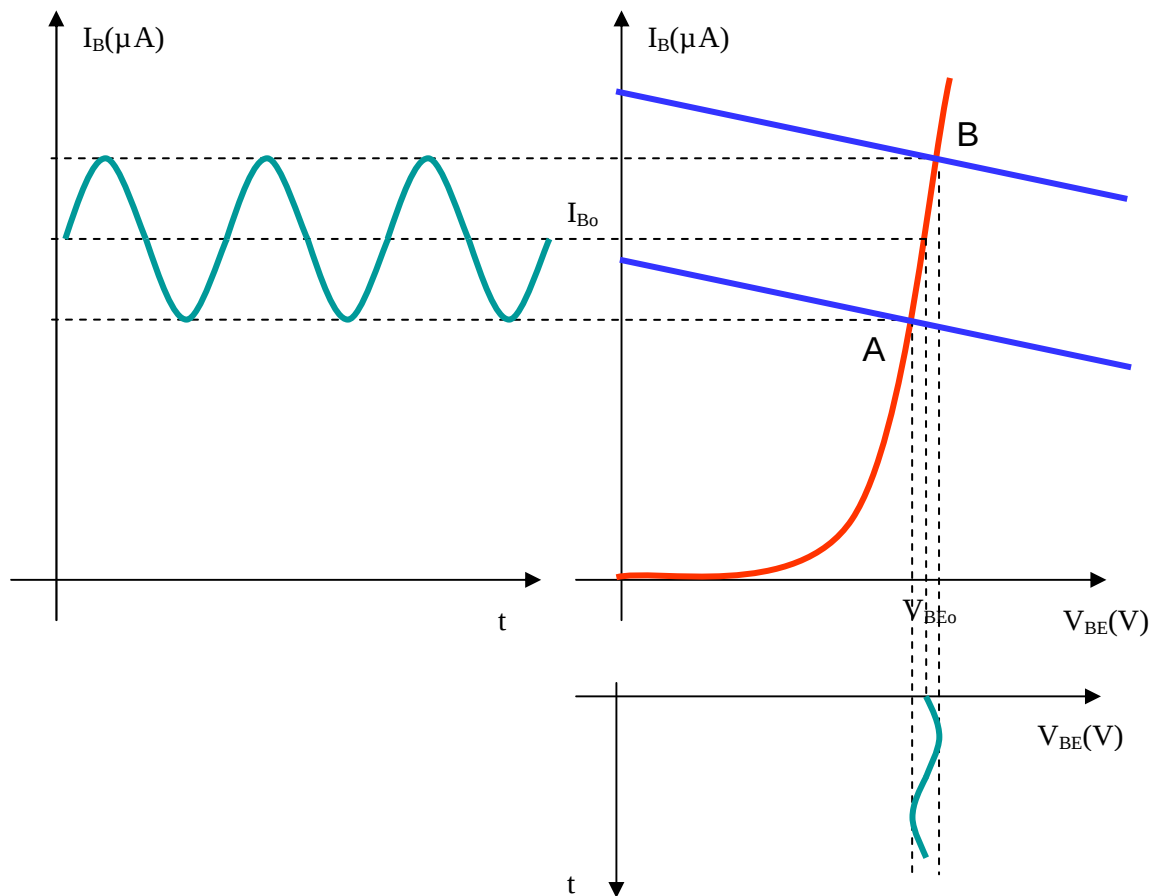
Généralement l'étude se fait en régime sinusoïdal, autour du point de polarisation, c'est-à-dire pour :

$$v_e(t) = V_P + v(t), \text{ avec : } v(t) = V \cdot \sin(2\pi f t)$$

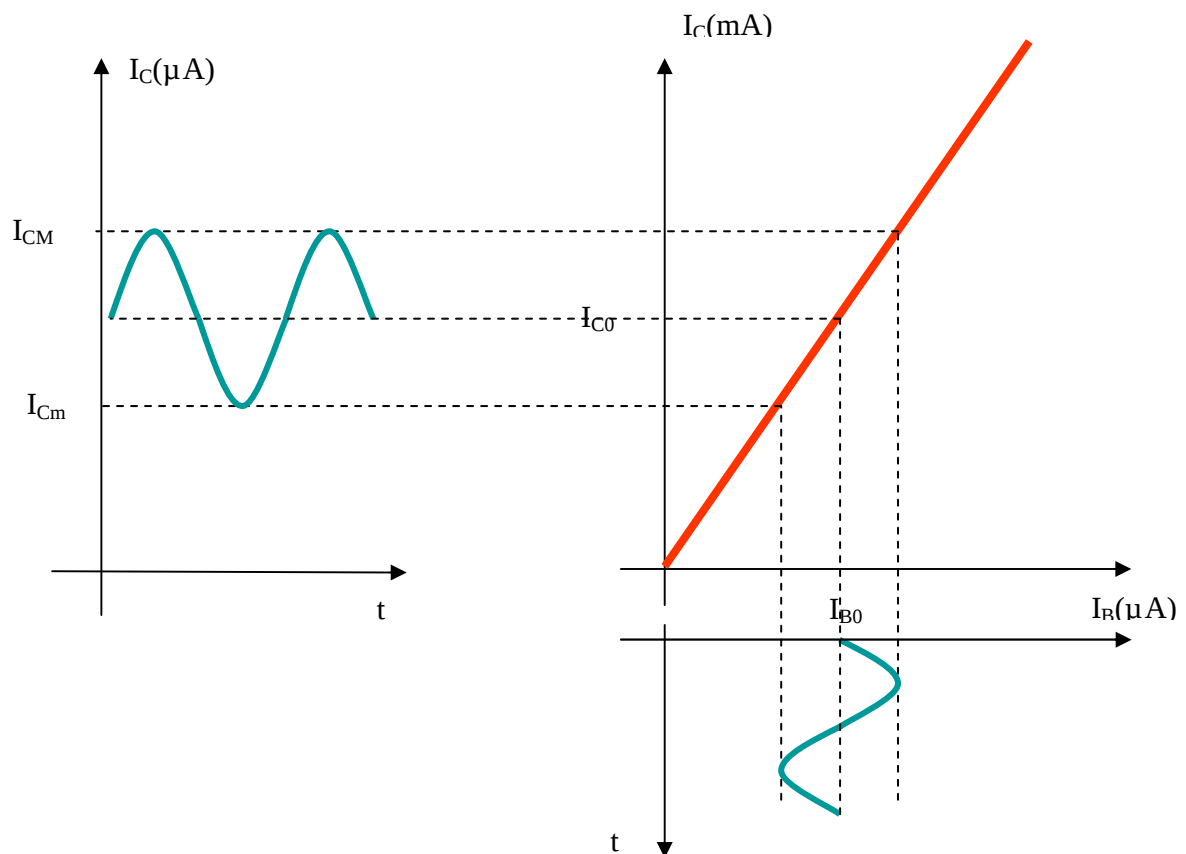


Circuit
d'attaque

Lorsque $v(t)$ varie de $-V$ à $+V$, $v_e(t)$ varie de $V_P - V$ à $V_P + V$. La droite d'attaque se déplace alors dans le plan (I_B, V_{BE}) et le point de fonctionnement se déplace entre les points A et B au rythme (à la fréquence) de $v(t)$. Le signal variable $v(t)$ conduit à une variation de V_{BE} et I_B entre les points A et B (voir figure page suivante).



L'exploitation de la caractéristique de transfert permet de la même façon de déterminer les variations du courant I_C autour de I_{C0} .



D'après le schéma, lorsque I_C varie, la tension aux bornes de la résistance de polarisation R_C varie également et par conséquent la tension V_{CE} aussi.

Graphiquement, la variation de i_B autour de I_{B0} se traduit par le balayage de toutes les caractéristiques de sortie (translation) correspondant aux différentes valeurs de i_B parcourues.

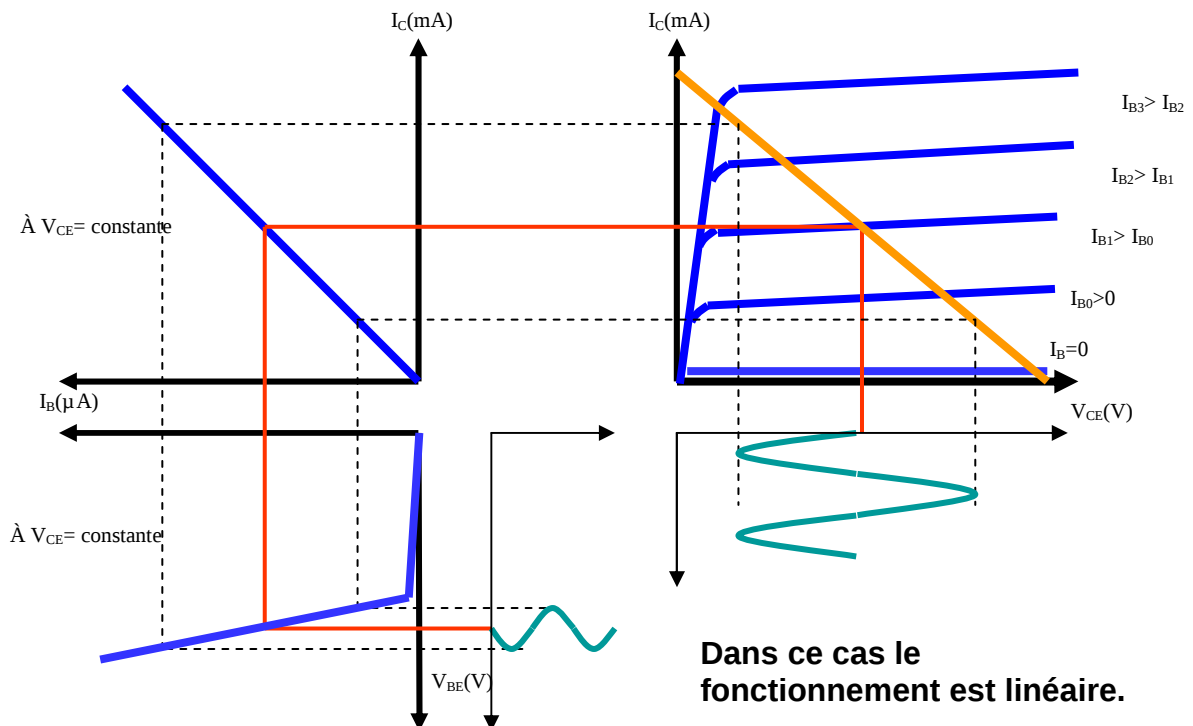
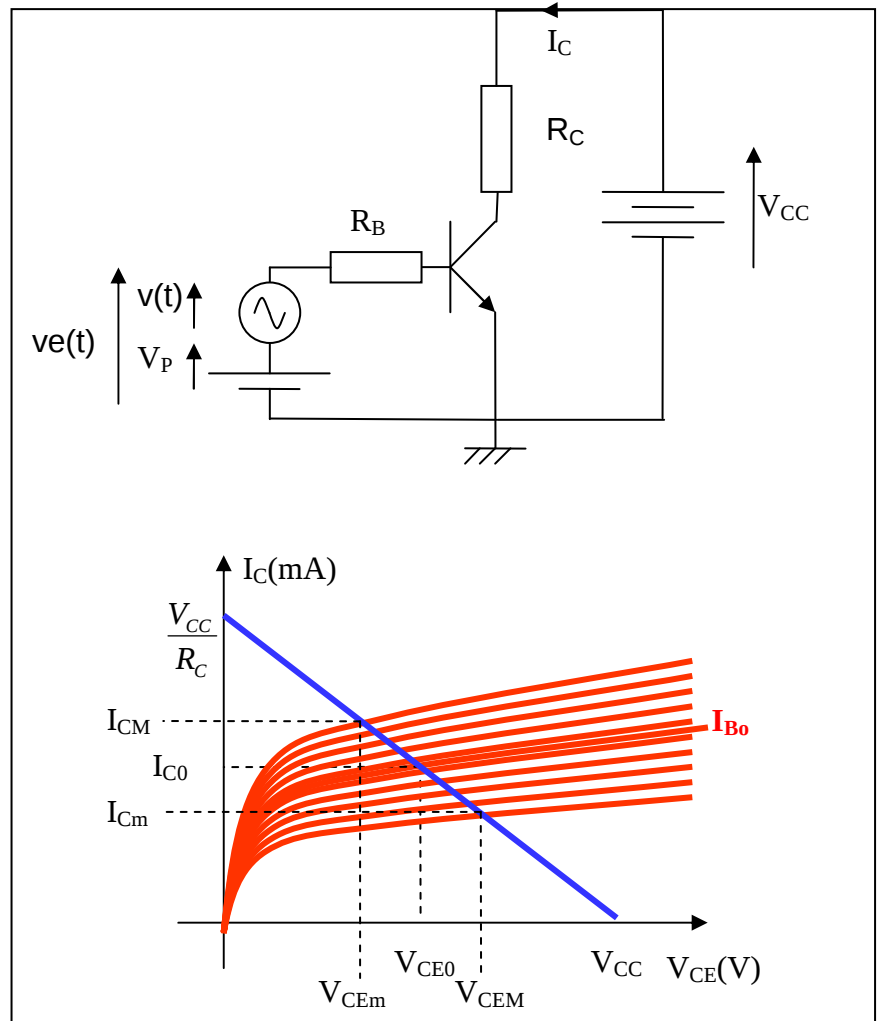
On retrouve alors les mêmes variations de I_C entre I_{CM} et I_{Cm} qu'avec la caractéristique de transfert.

On retrouve également la variation de la tension V_{CE} entre:

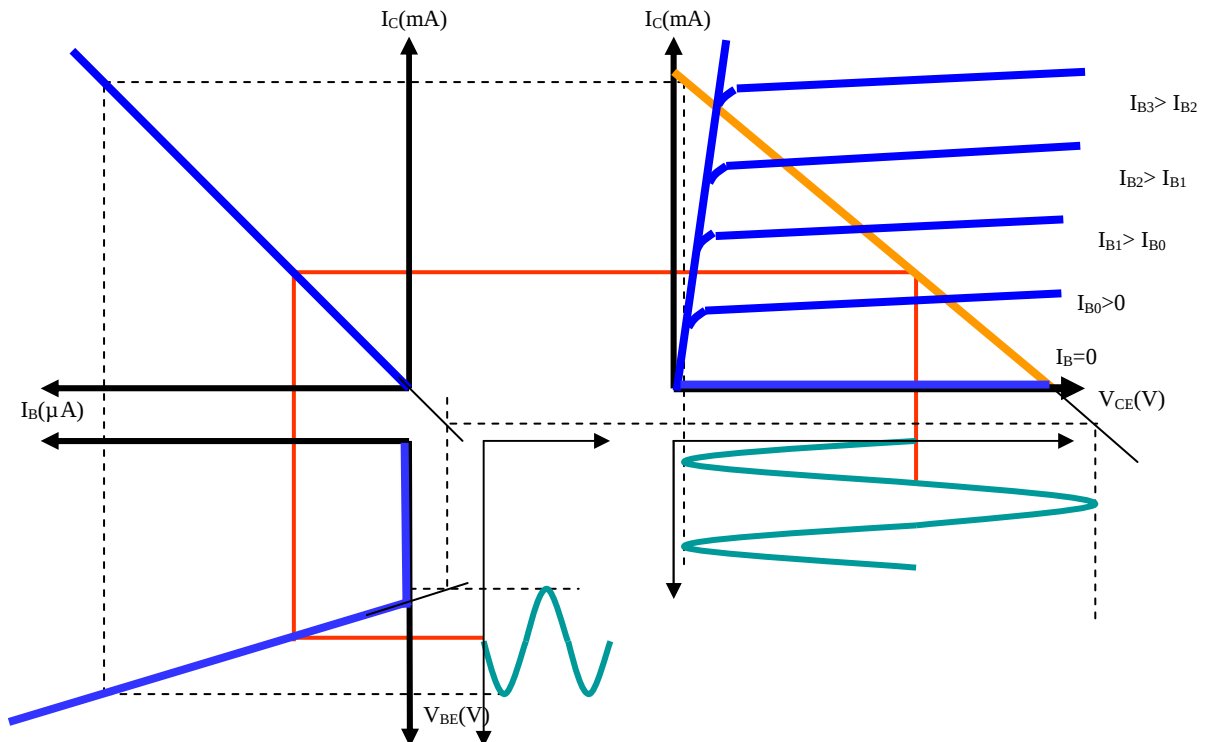
$$V_{CEm} = V_{CC} - R_C I_{CM}$$

$$V_{CEM} = V_{CC} - R_C I_{Cm}$$

L'ensemble des raisonnements précédents peut être résumé dans le réseaux de caractéristiques du transistor, en partant d'une variation de V_{BE} et en passant d'une caractéristique à l'autre.



Mais que se passe t'il si on augmente l'amplitude de la variation de V_{BE} ?



Si on trace les signaux théoriques, en prolongeant les courbes du transistor, on s'aperçoit que le point de fonctionnement du montage sort des caractéristiques en deux points qui correspondent :

Au blocage du transistor : $I_B=0$ et $V_{CE}=V_{CC}$.

A la saturation du transistor : $I_C = V_{CC}/R_C$ et $V_{CE}= V_{CEsat}=0$.

2.3. Modélisation du transistor bipolaire :

2.3.1. En régime de commutation :

Au blocage, on a:

$I_B = 0$ et $I_C = 0$ quelque soit V_{CE} . Le transistor est donc équivalent à un interrupteur ouvert entre collecteur et émetteur.



A la Saturation, on a:

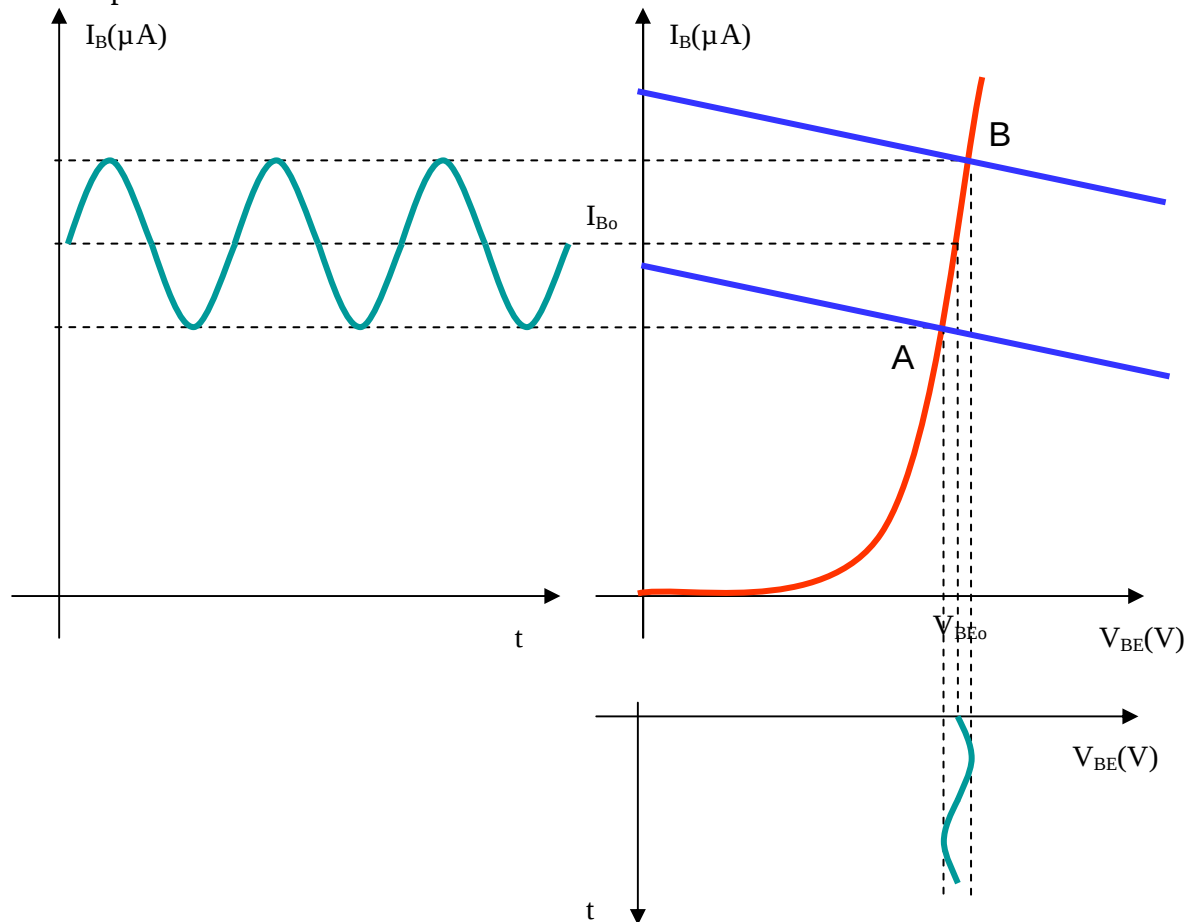
$I_C = I_{CSAT} < \beta I_B$ et $V_{CE} = V_{CESAT} \neq 0$. Le transistor est donc équivalent à un circuit fermé entre collecteur et émetteur.



2.3.2. En régime linéaire :

On cherche à modéliser le plus simplement possible le fonctionnement du transistor pour de faibles variations de i_B , v_{BE} , i_C et v_{CE} .

Si on reprend le fonctionnement de l'entrée du transistor :



On remarque que le rapport entre les variations de i_B et v_{BE} correspond à la pente de la caractéristique autour du point de polarisation.

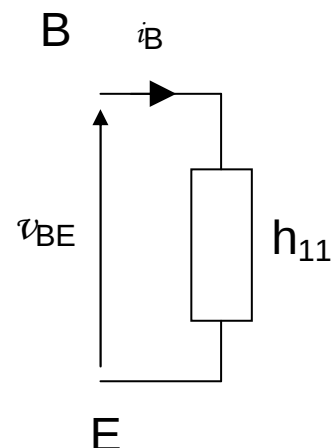
On peut alors écrire :

$$i_B = \left. \frac{\partial I_B}{\partial V_{BE}} \right|_{M_0} \cdot v_{BE}$$

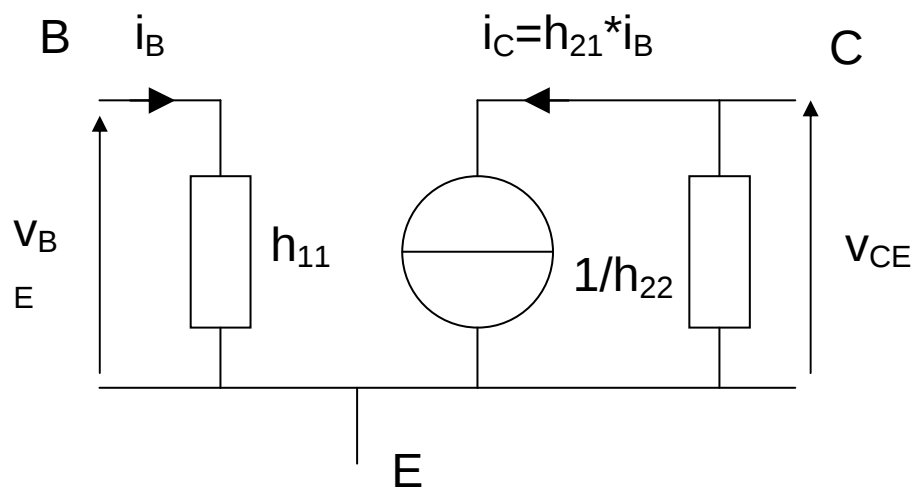
Ce qui correspond à l'inverse d'une résistance. En pratique, on note plutôt :

$$v_{BE} = \frac{1}{\left. \frac{\partial I_B}{\partial V_{BE}} \right|_{M_0}} \cdot i_B \Rightarrow v_{BE} = h_{11} \cdot i_B$$

Où h_{11} représente la résistance d'entrée dynamique du transistor. On a alors le schéma équivalent suivant :



Un raisonnement identiques sur les autres caractéristiques nous amène au schéma équivalent complet :



Où :

$$h_{11} = \left. \frac{\partial V_{BE}}{\partial I_B} \right|_{M_0} \Rightarrow \text{pente de la caractéristique d'entrée autour du point de polarisation}$$

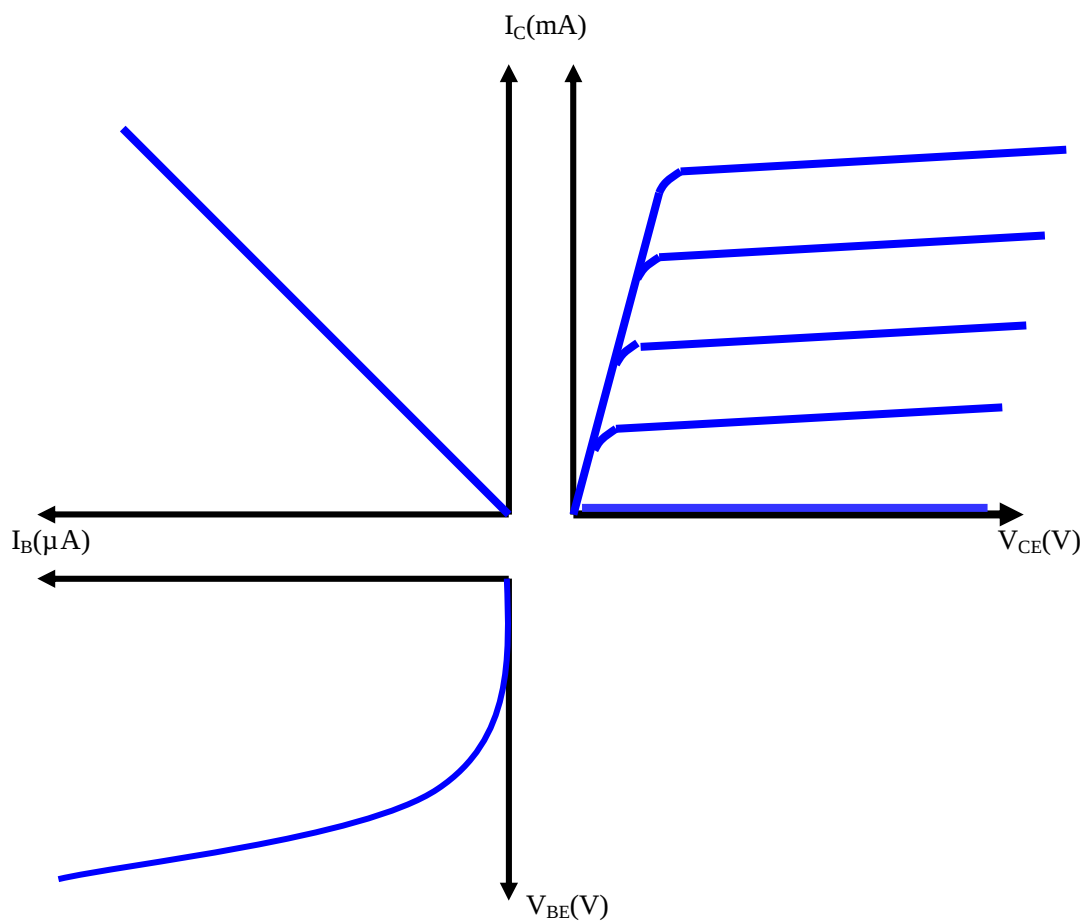
$$h_{21} = \left. \frac{\partial I_C}{\partial I_B} \right|_{M_0} \Rightarrow \text{pente de la caractéristique de transfert autour du point de polarisation}$$

$$\frac{1}{h_{22}} = \left. \frac{\partial V_{CE}}{\partial I_C} \right|_{M_0} \Rightarrow \text{pente de la caractéristique de sortie autour du point de polarisation}$$

2.4. Caractéristiques constructeurs - critères de choix

2.4.1. Limites d'emploi

Nom	Description
I_{CM}	Courant collecteur maximum admissible.
V_{CEoM}	Tension collecteur-émetteur maximale admissible à l'état bloqué.
V_{BEoM}	Tension émetteur base maximale admissible à l'état bloqué.
P_{tot}	Puissance maximale consommée par le transistor. $P_{tot} = V_{CEM} * I_{CM}$
T_J	Température maximum de la jonction en fonctionnement. Fortement lié à la puissance consommée par le transistor.



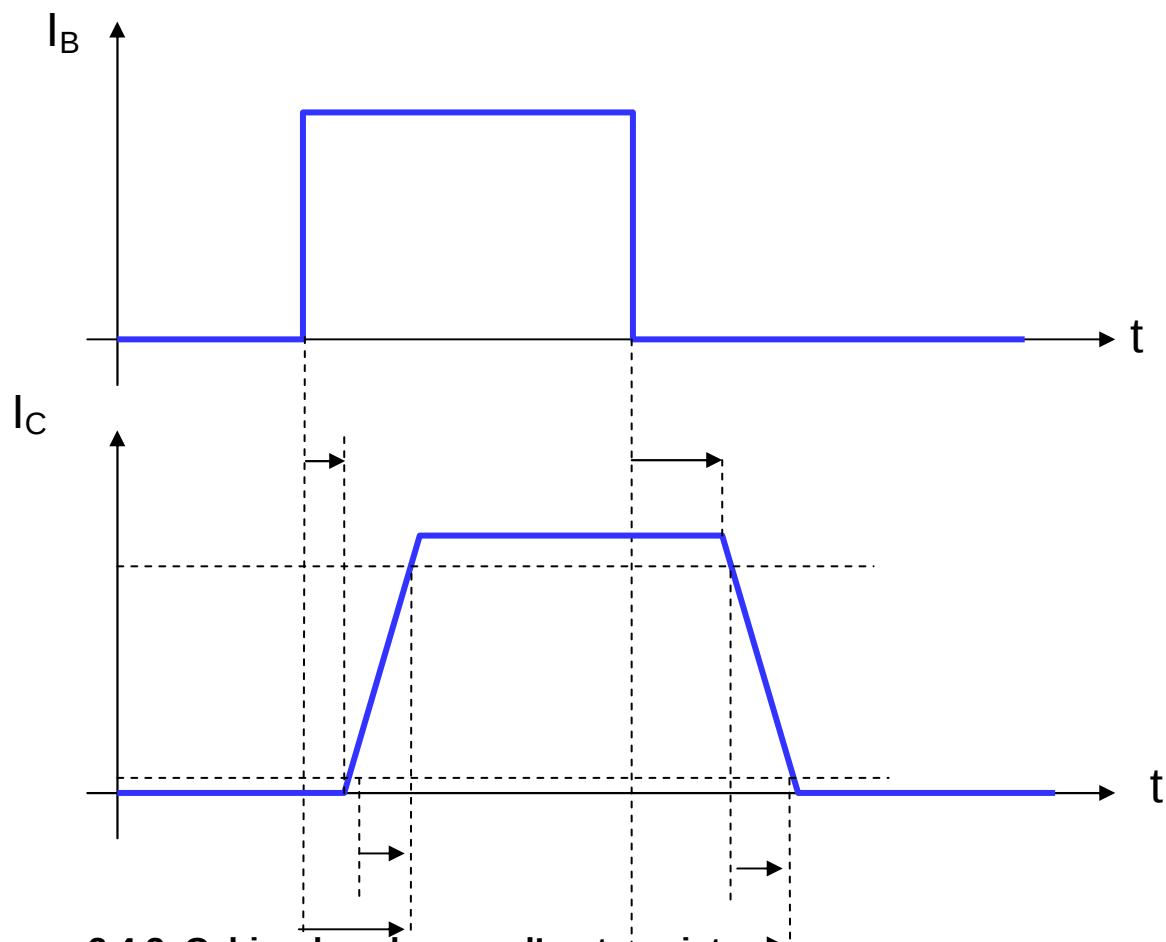
2.4.2. Caractéristiques électriques :

2.4.2.1. Caractéristiques statiques

Nom	Description
V_{CEsat}	Tension collecteur-émetteur minimale existant quand le transistor est saturé.
V_{BEsat}	Tension base-émetteur minimale existant quand le transistor est saturé.
I_{EB0}	Courant résiduel maximum parcourant la jonction base émetteur à l'état bloqué.
I_{CB0}	Courant résiduel maximum parcourant la jonction collecteur base à l'état bloqué. Ce courant varie énormément avec la température.
h_{FE}	Gain en courant (β) du transistor en régime linéaire.

2.4.2.2. Caractéristiques dynamiques

C_{BCo}		Capacité parasite entre la base et le collecteur (de l'ordre de 10pF). A prendre en compte en HF.
f_T	Transition frequency	Fréquence de transition. Le gain en courant chute en fonction de la fréquence. On note f_T la fréquence pour laquelle $b=1$.
t_d	Delay time	temps de retard entre l'application d'un courant I_b et le début de variation de I_C .
t_r	Rise time	temps de montée du courant I_C .
t_{on}	Switch on time	temps de saturation du transistor.
t_{off}	Switch off time	Switch off time: temps de blocage du transistor.



2.4.3. Cahier des charges d'un transistor

	Commutation	Linéaire
Limites d'emploi	I_{CM} V_{CEoM} V_{BEoM} T_J P_{tot}	I_{CM} V_{CEM} V_{BE0M} T_J P_{tot}
Performances	t_{on} t_{off}	h_{21} f_T
Défauts et dérives	V_{CEsat} I_{CB0} C_{BCo}	$h_{21}=f(I_C)$ $V_{BE}=f(T^\circ)$ C_{BCo} en HF