AlloSchool

Physique et Chimie : Tronc Commun

Séance 22 (Le transistor bipolaire)

Professeur : Mr EL GOUFIFA Jihad

Sommaire

I- Présentation du transistor bipolaire

1-1/ Le dopage de semi-conducteur

1-2/ Définition du transistor bipolaire

1-3/ Représentation du transistor bipolaire

II- Fonctionnement du transistor NPN

2-1/ Polarisation du transistor NPN

2-2/ Caractéristiques $I_B = f(V_{BE})$ du transistor NPN

2-3/ Caractéristiques $I_C = f(V_{CE})$ du transistor NPN

2-4/ Le transistor considéré comme un quadripôle

III- Régimes de fonctionnement du transistor

3-1/ Transistor en régime de commutation

3-2/ Transistor en régime linéaire

3-3/ Récapitulatif

IV- Montages électroniques à transistor

4-1/ Détecteur de lumière

4-2/ Indicateur d'échauffement

V- Exercices

5-1/ Exercice 1

5-2/ Exercice 2

5-3/ Exercice 3

5-4/ Exercice 4

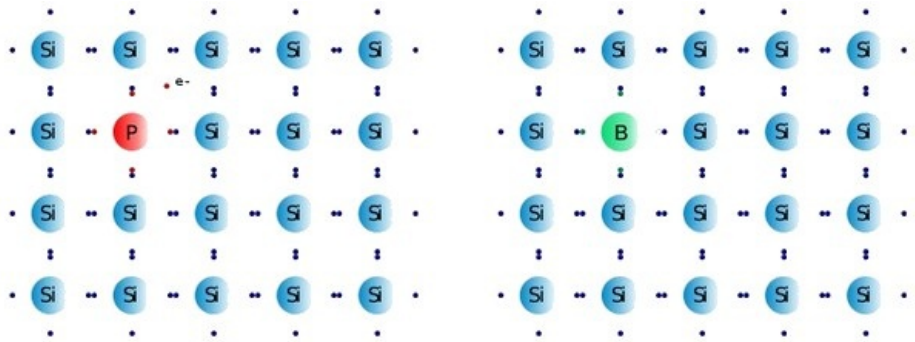
I- Présentation du transistor Bipolaire

1-1/ Le dopage de semi-conducteur

Dans le domaine des semi-conducteurs, le dopage est l'action d'ajouter des impuretés en petites quantités à une substance pure afin de modifier ses propriétés de conductivité.

Il existe deux types de dopage :

- Le dopage de type N, qui consiste à insérer des atomes de type donneur d'électrons afin d'obtenir une plus forte densité d'électrons libres, qui sont négativement chargés.
- le dopage de type P, qui consiste à insérer des atomes de type accepteur d'électrons afin d'obtenir une plus faible densité d'électrons libres, donc un excès de trous, considérés comme positivement chargés.



Dopage de type N Dopage de type P

I- Présentation du transistor bipolaire

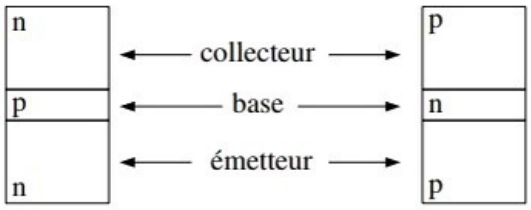
1-2/ Définition du transistor bipolaire

Le transistor bipolaire est créé en juxtaposant trois couches de semi-conducteur dopés N, P puis N pour le transistor NPN (courant dû à un flux d'électrons) ou dopés P, N puis P pour le transistor PNP (courant dû à un flux de trous).

Le niveau de dopage décroît d'un bout à l'autre de la structure.

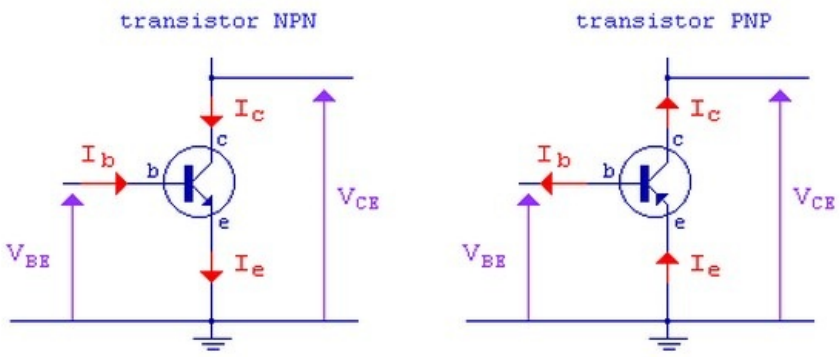
Par construction, les jonctions base - émetteur et base - collecteur ne sont pas identiques. Le transistor ne fonctionne pas de manière symétrique :

- Le collecteur et l'émetteur ont des dopages très différents.
- L'émetteur est beaucoup plus dopé que la base.
- La base est plus mince.
- La flèche qui repère l'émetteur indique le sens passant de la jonction base - émetteur.



1-3/ Représentation du transistor bipolaire

L'émetteur est repéré par la flèche qui symbolise le sens réel du courant.



II- Fonctionnement du transistor NPN

2-1/ Polarisation du transistor NPN

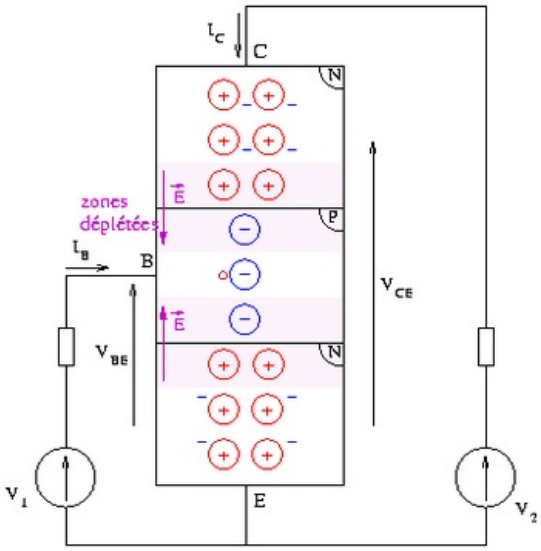
$0 < V_1 < V_{seuil}$ de la jonction PN

La jonction BE est polarisée en direct, mais n'est pas passante$\Rightarrow I_B = 0$

Il faut $V_2 > V_1$ pour polariser correctement le transistor.

$\Rightarrow$la jonction BC est polarisée en inverse,

$\Rightarrow I_C = courant\ inverse = I_{CE_0} \approx 0$



$V_1 > V_{seuil}$ de la jonction PN

La jonction BE est passante$\Rightarrow I_B > 0$ et $V_{BE} \approx 0,6V$.

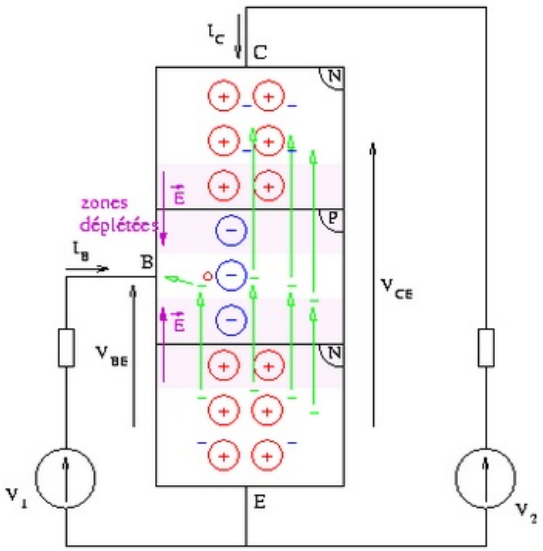
Ce courant est constitué d'un flux d'électrons allant de l'émetteur vers la base.

Les électrons arrivant dans la base peuvent rester libres longtemps avant d'être piégés.

La base étant fine, ils arrivent à la 2ème jonction et passent dans le collecteur.

La majorité des électrons injectés par l'émetteur traversent la base et se retrouvent dans le collecteur.

Il en résulte un courant positif I_C de valeur bien supérieure à I_B.

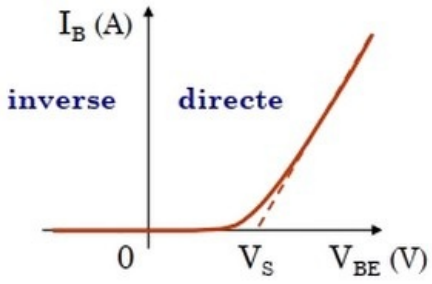


2-2/ Caractéristiques $I_B = f(V_{BE})$ du transistor NPN

Pour débloquer (rendre passant) le transistor NPN, il faut que la jonction base-émetteur soit polarisée en direct avec une tension supérieure à la tension de seuil VS de cette diode : $V_{BE} > V_S$.

La caractéristique $I_B = f(V_{BE})$ est celle de la diode base-émetteur en ne considérant que le courant de trou.

Ici le courant de trous est bien plus faible que le courant d'électrons.



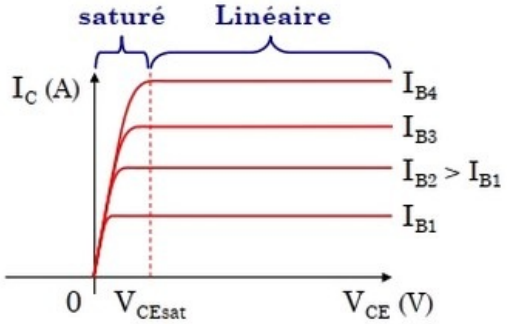
2-3/ Caractéristiques $I_C = f(V_{CE})$ du transistor NPN

Si la jonction BC est polarisée en inverse, alors le courant d'électrons peut traverser cette jonction.

Dans ce cas le courant I_C est indépendant de V_{CE} : régime linéaire ($I_C = \beta . I_B$)

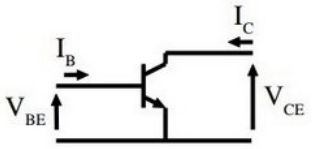
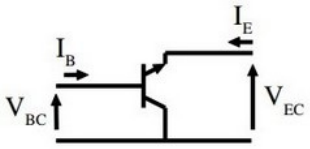
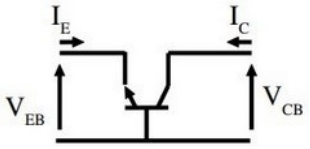
Si $V_{CE} = 0$, alors aucun courant ne circule entre l'émetteur et le collecteur.

Le basculement entre ces deux fonctionnements se produit à la tension V_{CEsat} (sat pour saturation) : le courant I_C n'est pas proportionnel à I_B.



2-4/ Le transistor considéré comme un quadripôle

Le transistor ayant trois électrodes, l'une d'elles sera commune à l'entrée et à la sortie. Il en résulte trois montages principaux :

Montage	Émetteur commun	Collecteur commun	Base commune
Entrée	Base	Base	Émetteur
Sortie	Collecteur	Émetteur	Collecteur
Schéma			

III- Régimes de fonctionnement du transistor

3-1/ Transistor en régime de commutation

Région de blocage

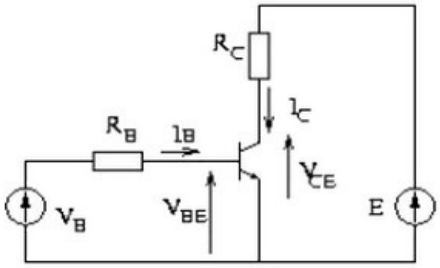
Pour $V_B = 0$, $V_{BE} = 0$ et $I_B = 0 \Rightarrow I_C = \beta I_B = 0$

La jonction CB est polarisée en inverse.

Il existe donc un faible courant de fuite I_{CEo}.

En pratique ce courant est négligé et on considère le transistor comme un circuit ouvert.

On dit que le transistor est bloqué.



Région de saturation

Pour $V_B > V_{seuil}$ de la jonction PN, on a :

$$V_B = R_B I_B + V_{BE} \Rightarrow I_B = \frac{V_B - V_{BE}}{R_B}$$

Lorsque $V_B >> V_{BE}$, on peut négliger V_{BE}, d'où :

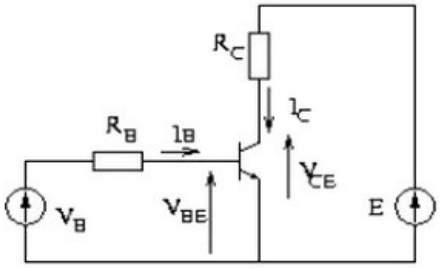
$$I_B = \frac{V_B}{R_B} \Rightarrow I_C = \beta I_B = \beta \frac{V_B}{R_B} = \frac{E - V_{CE}}{R_C}$$

Si $R_B \searrow \Rightarrow I_B \nearrow \Rightarrow I_C \nearrow \Rightarrow V_{CE} \searrow$

Lorsque $V_{CE} = 0 \Rightarrow I_C = \frac{E}{R_C} = I_{C_{max}}$

Si $R_B \searrow$encore, $I_C = I_{C_{max}}$ mais $I_B = \frac{V_B}{R_B} > \frac{I_{C_{max}}}{\beta}$, donc la relation $I_C = \beta I_B$ n'est plus vérifiée.

Le transistor est saturé : $V_{CE} = V_{CEsat} = 0,2 \grave{a} 0,4V$ et $I_C \approx \frac{E}{R_C}$



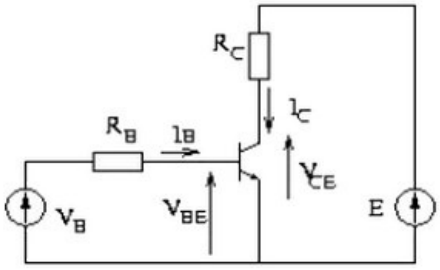
3-2/ Transistor en régime linéaire

En régime linéaire, le courant collecteur est proportionnel au courant base : $I_C = \beta I_B$

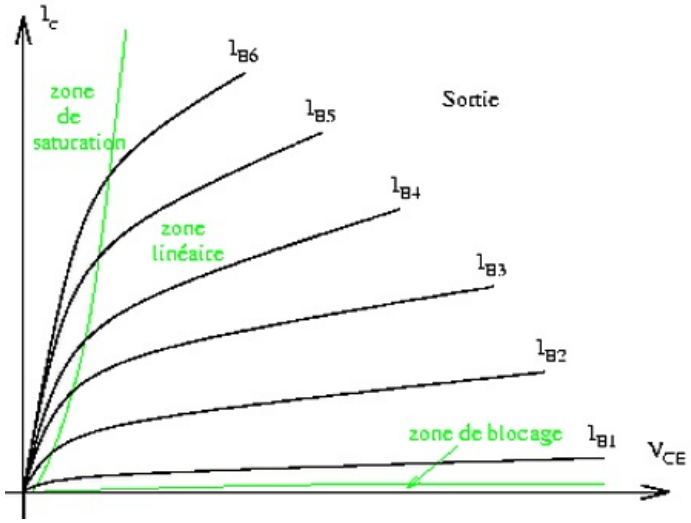
La tension base-émetteur est supérieure ou égale à la tension de seuil.

On reste dans le régime linéaire tant que la tension collecteur-émetteur est supérieure à la tension de saturation.

Le transistor est considéré comme une source de courant I_C commandée par le courant I_B.



3-3/ Récapitulatif



IV- Montages électroniques à transistor

4-1/ Détecteur de lumière

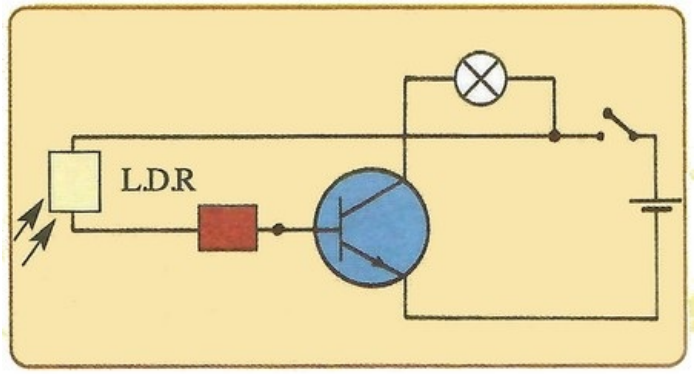
La photorésistance (LDR) est un dipôle dont la résistance diminue lorsque l'intensité lumineuse reçue augmente.

Dans l'obscurité, sa résistance est très grande (quelques mégaohms), le courant de base I_B qui la traverse a une intensité beaucoup trop faible, car $U_{BE} < U_S = 0,6V$, ce qui rend le transistor bloqué, et la lampe L ne s'allume pas.

Lorsqu'on expose la photorésistance à la lumière, sa résistance diminue (devient de l'ordre de quelques centaines d'ohms), le courant I_B augmente, le transistor devient passant, le courant I_C atteint alors une intensité suffisante pour allumer la lampe L.

Dans ce montage, le transistor fonctionne selon la loi de "tout ou rien", puisqu'il passe de l'état de blocage à l'état de saturation.

Ce dispositif peut être utilisé comme système d'alarme, il suffit de remplacer la lampe L par une sirène.



4-2/ Indicateur d'échauffement

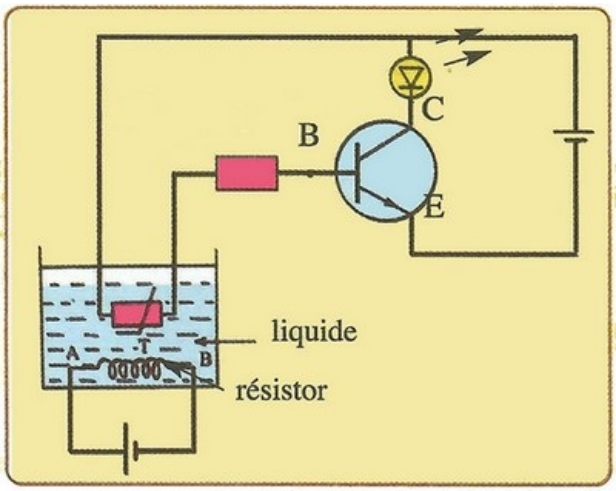
L'indicateur d'échauffement utilise une résistance thermique de type CTN (thermistance à coefficient de température négatif).

À température normale du liquide, la résistance thermique présente une grande résistance. Le courant I_B du circuit de base est presque nul, ce qui bloque le transistor et la lampe ne s'allume
pas.

Quand la température du liquide augmente, la résistance de la CTN diminue et le courant I_B passe dans le circuit de base rendant le transistor passant, ce qui allume la LED, indiquant que la température du liquide a atteint la valeur voulue.

Ce montage électronique s'utilise :

- Pour détecter le réchauffement excessif du circuit de refroidissement d'une voiture.
- Pour détecter le réchauffement de l'huile de lubrification d'un moteur thermique.
- Dans le système d'alarme d'incendie.



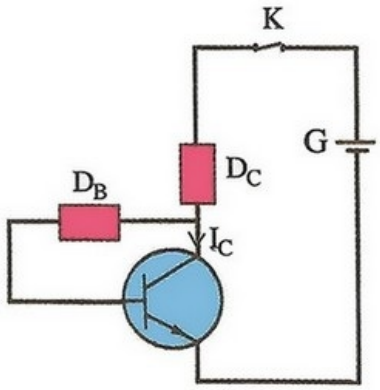
V- Exercices

5-1/ Exercice 1

Le montage suivant comporte :

- Un transistor NPN de gain statique $\beta = 200$.
- Un générateur G de f.e.m $E = 15V$ et de résistance interne négligeable.
- Un conducteur ohmique D_C de résistance $R_C = 1k\Omega$ et un autre conducteur ohmique D_B.
- Un interrupteur K.

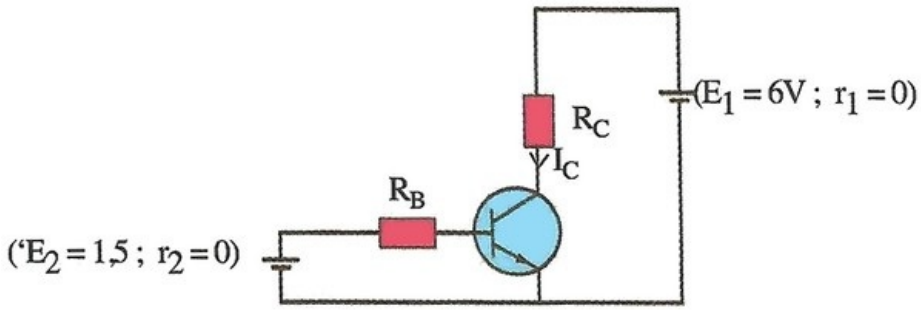
On ferme l'interrupteur K, la tension $U_{CE} = 7,9V$:



1. Trouver l'expression, de l'intensité I_E de l'émetteur en fonction du courant collecteur I_C et de β.
2. En appliquant la loi d'additivité des tensions dans le circuit collecteur, calculer I_E.
3. En déduire I_C et I_B.

5-2/ Exercice 2

On considère le montage électronique suivant :



1. Trouver les valeurs des résistances R_B et R_C pour que le transistor fonctionne selon les conditions suivantes :

$$I_C = 180mA \; ; \; I_B = 1,5mA \; ; \; U_{CE} = 4,2V \; ; \; U_{BE} = 0,6V$$

2. Calculer le coefficient d'amplification statique β.

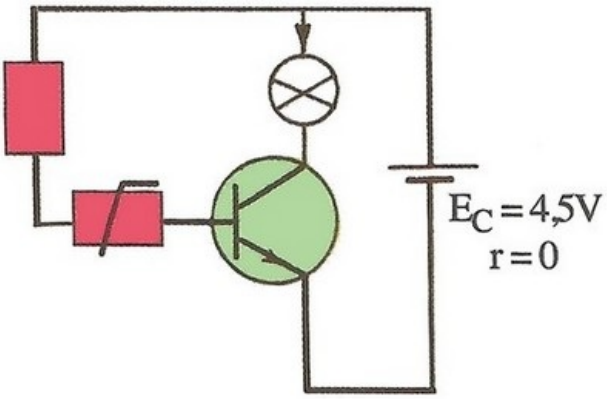
5-3/ Exercice 3

On réalise la chaîne électronique de la figure suivante, qui comporte :

- Un transistor NPN de gain statique $\beta = 100$ et $U_{BE} = 0,7V$ en régime linéaire.

- Un générateur G de f.e.m $E = 4,5V$ et de résistance interne négligeable.

- Un conducteur ohmique de résistance $R = 1500\Omega$.
- Une thermistance (CTN) de résistance :
  - $R_A = 100\Omega$ quand la température est $T_1 = 10^\circ C$.
  - $R_B = 200\Omega$ quand la température est $T_2 = 80^\circ C$.
- Une lampe qui s'allume lorsque le courant.qui la traverse dépasse $0,2A$.



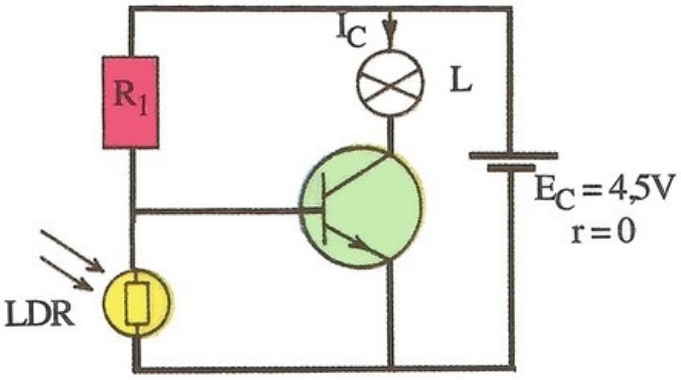
1. Montrer que le courant de base I_B a pour expression :
$$I_B = \beta\left(\frac{E-U_{BE}}{R+R_B}\right)$$
2. Calculer I_C aux températures T_1 et T_2.
3. Que peut-on en déduire ?
4. Proposer une utilisation pratique de ce montage.

5-4/ Exercice 4

Dans le montage suivant, le transistor a un coefficient d'amplification statique $\beta = 200$ et $U_{BE} = 0,7V$ lors de son fonctionnement en régime linéaire.

Le dispositif de commande est une photorésistance dont la résistance R varie de $1M\Omega$ à l'obscurité, à la valeur de 500Ω quand elle est exposée à la lumière intense.

Le dispositif d'utilisation est une lampe qui nécessite un courant de $200mA$ pour s'allumer :



1. Pour quelle valeur de R_1 le transistor est bloqué ? Quand on expose la LDR à la lumière intense ?
2. Montrer que la lampe L s'allume lorsqu'on plonge la LDR dans l'obscurité.
3. Quelles sont les utilisations pratiques possibles de cette chaîne électronique ?