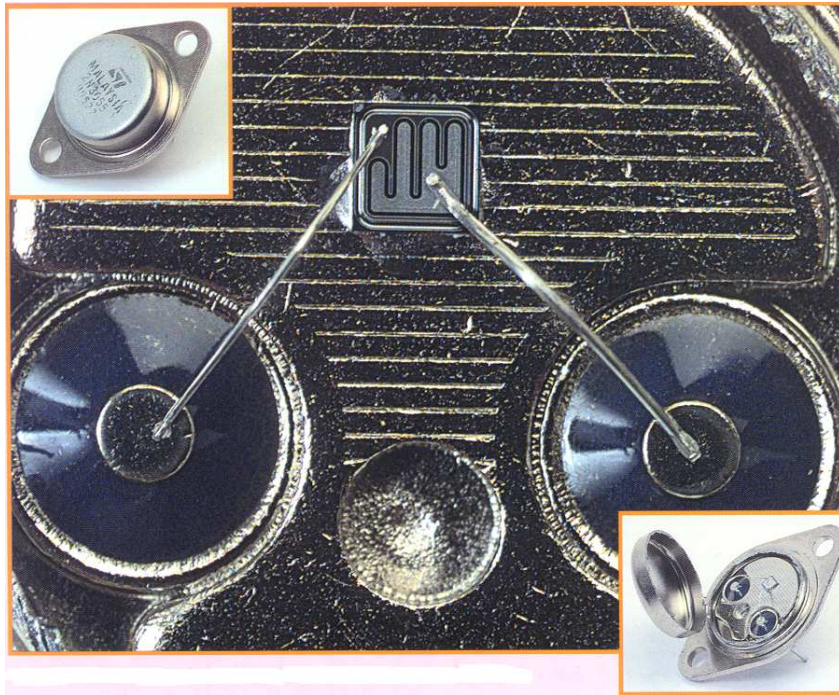


# Cours d'électronique

## LA THEORIE SUR L'ELECTRONIQUE

### LES COMPOSANTS DE BASE



### PARTIE N°4 :

### LE TRANSISTOR

## **TABLE DES MATIERES**

1.	Définition .....	2
2.	Les transistors bipolaires .....	2
2.1.	Constitution .....	2
2.2.	Principe de fonctionnement.....	3
2.3.	L'effet transistor .....	5
2.4.	Les caractéristiques statiques .....	5
2.4.1.	Caractéristique de transfert en courant.....	6
2.4.2.	Caractéristique de transfert en tension .....	6
2.4.3.	Caractéristiques en entrée.....	6
2.4.4.	Caractéristiques en sortie .....	7
2.4.5.	Influence de la température .....	7
2.5.	Détermination du fonctionnement d'un transistor bipolaire .....	8
2.5.1.	Circuit de base.....	8
2.5.2.	Circuit du collecteur .....	8
2.5.3.	Puissance consommée .....	8
2.6.	Résumer des formules .....	9
2.7.	Les modes de câblage d'un transistor .....	9
3.	Les transistors unipolaires .....	14
3.1.	Le transistor à effet de champ .....	14
3.1.1.	Constitution .....	14
3.1.2.	Principe de fonctionnement.....	15
4.	Comparaison des deux types de transistors.....	16
5.	Page technique.....	17
5.1.	Transistors bipolaires .....	17
5.2.	Transistors à effet de champ.....	17
6.	Montage d'utilisation .....	18

## 1. Définition

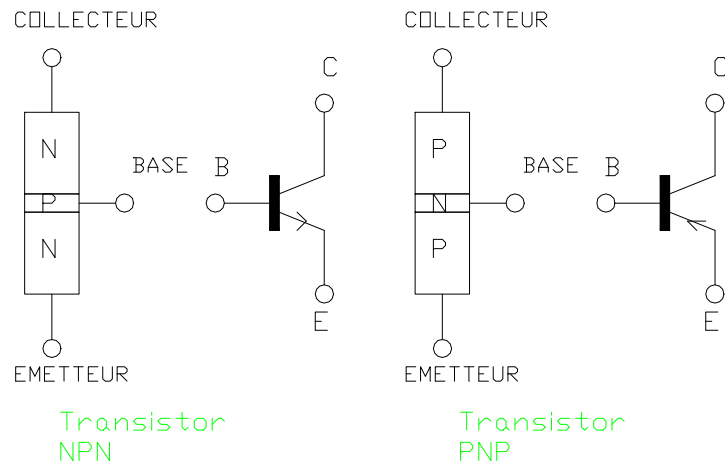
**Les transistors appartiennent à deux grandes familles ayant chacune leurs avantages et leur inconvénients.**

Il s'agit de la famille des transistors de type bipolaire, qui sont les plus anciens et encore les plus répandus, et la famille des transistors de type unipolaire ou à effet de champ.

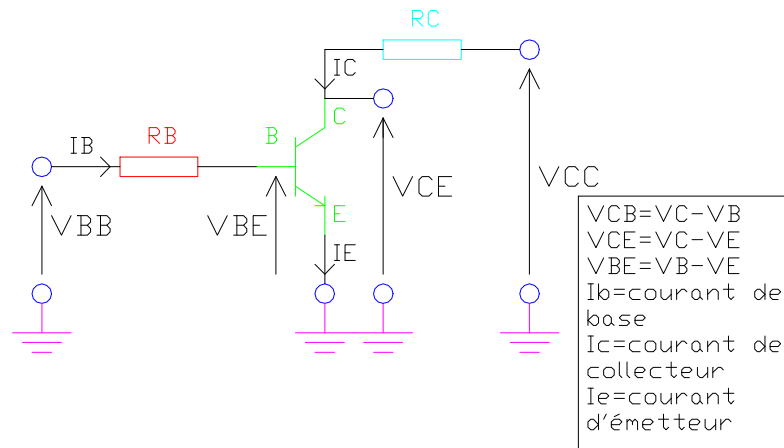
## 2. Les transistors bipolaires

### 2.1. Constitution

Le transistor est un élément électronique constitué à partir d'un cristal de silicium de façon à créer trois zones de conductibilité. On peut trouver des transistors ayant deux zones P et une zone N (PNP) ou des transistors ayant deux zones N et une zone P (NPN).



Je peux donc déduire en regard au illustration ci-dessus que le transistor est constitué de deux jonctions PN ayant des sens passants opposés. La zone centrale appelée « base », est comprise entre les deux jonctions. La zone « base » est mince et moins dopée que les deux autres. Les deux autres porteront le nom de « collecteur » et « d'émetteur ». La zone émetteur sera la plus dopée en regard à la zone collecteur. Noter que nous avons des conductibilités asymétriques, ce qui interdit l'interchangeabilité des électrodes.

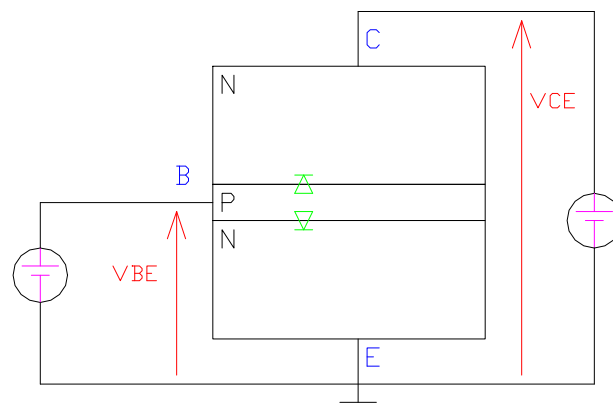


## 2.2. Principe de fonctionnement

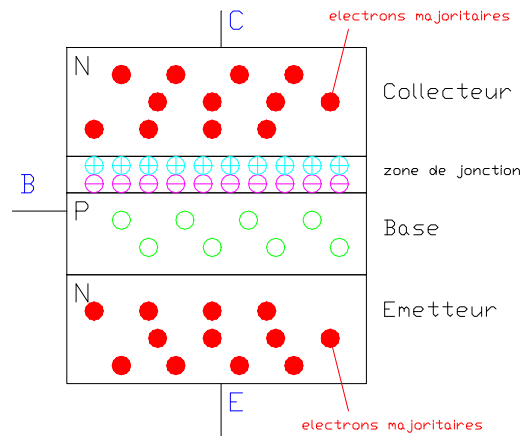
Le principe de fonctionnement va nous permettre de découvrir ce que l'on appelle la commutation ou encore le passage de l'état bloqué à l'état passant. Afin de permettre la conduction d'un transistor, plusieurs conditions devront être vérifiées. On appelle fonctionnement normal d'un transistor bipolaire celui pour lequel

- La jonction EB (émetteur – base) est polarisée en sens direct.
- La jonction CB (collecteur – base) est polarisée en sens inverse.

Nous analyserons le fonctionnement pour un transistor NPN polarisé comme l'illustre le schéma suivant.



Noter que l'on a représenté sur le dessin ci-dessus deux diodes qui pourraient symboliser le transistor celles-ci ayant un fonctionnement connu.



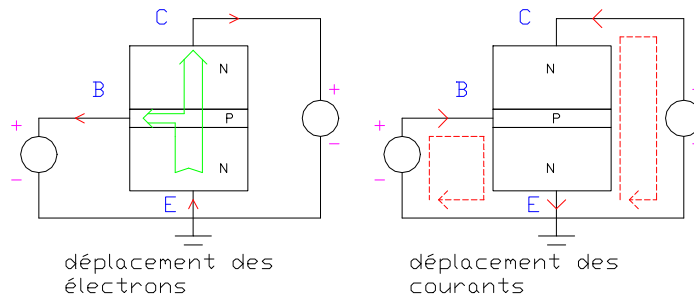
Lorsque la base est mise sous tension, la jonction EB est polarisée en direct et la barrière de potentiel est abaissée (voir la diode en sens passant). La traversée de cette jonction par les porteurs majoritaires (les électrons) est favorisée. Les électrons majoritaires de E (émetteur) diffusent à travers la jonction EB polarisée en sens direct. La borne négative de la source de tension peut, dès ce moment, injecter des électrons dans l'émetteur. Ceux-ci peuvent facilement traverser la barrière de potentiel de la jonction EB et arriver dans la zone de base. Je peux donc dire que bon nombre d'électrons traverseront la jonction EB et se retrouveront dans la zone P (base) où ils devraient se combiner avec les trous de cette zone. En réalité il n'en est rien, grâce à l'énergie et à la vitesse acquise par les électrons, jumelé à la faible épaisseur de cette zone P la plupart des électrons vont se retrouver au droit de la jonction BC. Dans leur trajet en zone B, nous pouvons encore dire que quelques électrons vont se recombiner avec les trous majoritaires de cette zone et donner ainsi le courant de base. Je peux donc conclure qu'une partie minimale des électrons de l'émetteur seront attirés par la polarisation positive de la base du transistor.

La jonction CB est polarisée en inverse et est donc le siège d'un champ  $E_D$  intense dirigé de C vers B. Les électrons qui vont donc venir à proximité de la zone de transition BC vont donc être repoussés dans la zone B. Partant sur le principe que durant leur traversé dans les zones E et B, certains électrons parviennent à emmagasiner suffisamment d'énergie que pour franchir cette barrière électrostatique, ils vont alors se retrouver dans la zone de transition, et modifier de par leur capture par l'un ou l'autre ion positif la valeur de la différence de potentiel de cette jonction avant de se retrouver dans la zone C. Comme le champ électrostatique est lié à cette différence de potentiel, je peux déduire que le champ aussi va diminuer. Si ce dernier diminue, je peux supposer qu'un électron ayant un petit peu moins d'énergie va à ce moment parvenir lui aussi à pénétrer dans la zone de transition et à son tour affaiblir cette dernière. On peut donc raisonnablement dire que de proche en proche, nous allons avoir ce que l'on appelle un effet d'avalanche qui aura pour effet d'effondrer la barrière de potentiel de la jonction BC et de rendre celle-ci passante. Les électrons en arrivant dans la zone C seront captés par la borne positive de la source de tension.

Dès ce moment, le courant va circuler librement dans le semi conducteur du collecteur vers l'émetteur. On peut donc considérer que ce sont les électrons provenant de UB qui lors de leur passage dans l'émetteur, entraînent les

électrons libres de ce dernier et les amènent jusqu'au collecteur. L'émetteur fait alors appel à la borne négative de UC pour compenser ces électrons qui constituent, en réalité, le courant de collecteur.

Illustrons le déplacement des électrons et du courant.



Je peux écrire que  $I_E = I_B + I_C$ .

### 2.3. L'effet transistor

Du fonctionnement ci-dessus je peux tirer que le courant sera plus faible au niveau de la base qu'au niveau du collecteur. Nous appelons ce phénomène « l'effet transistor ». Nous savons que la recombinaison des électrons dans la base est l'image du courant de base et que ce dernier est fonction des caractéristiques propres du transistor. Je peux donc dire que ce courant est constant dans une situation donnée. Dès lors je peux dire que le rapport  $I_B/I_E$  est aussi une constante et également de rapport  $I_B/I_C$ .

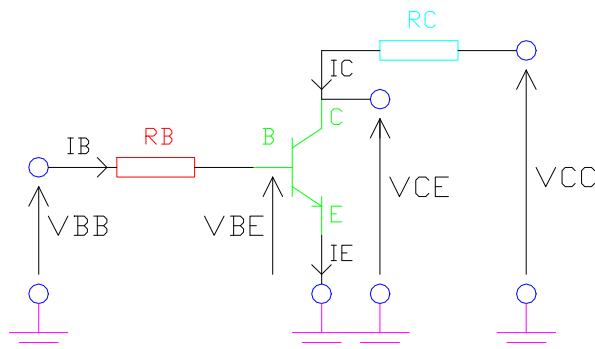
Nous appellerons le rapport inverse  $I_C/I_B$  le gain en courant ou l'amplification statique.  $\beta = \frac{I_C}{I_B}$ .

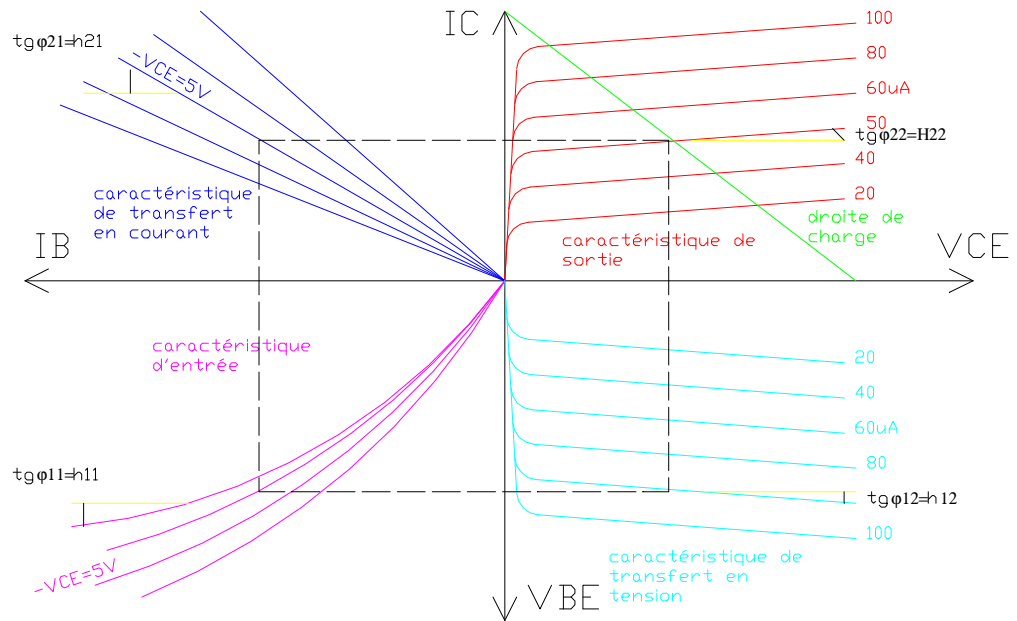
Cette relation nous dit qu'en injectant un courant  $I_B$  très faible dans la base, on peut « commander » un courant de collecteur  $I_C$  beaucoup plus intense.

### 2.4. Les caractéristiques statiques

Soit les grandeurs caractéristiques suivantes :

- Le courant de base  $I_B$
- Le courant de collecteur  $I_C$
- La tension base-émetteur  $V_{BE}$
- La tension collecteur-émetteur  $V_{CE}$





#### 2.4.1. Caractéristique de transfert en courant

Il s'agit de la courbe  $I_C = f(I_B)$ . Cette courbe est bien entendu une droite puisque nous avons démontré la proportionnalité entre  $I_B$  et  $I_C$ . Pour trouver ces courbes, nous maintiendrons la tension  $V_{CE}$  constante. Pour chaque valeur de  $V_{CE}$  nous aurons une droite. L'angle formé par ces droites en regard à l'axe des abscisses donnera la valeur de  $h_{21}$  qui représente le gain en courant.

#### 2.4.2. Caractéristique de transfert en tension

Il s'agit de la courbe  $V_{BE} = f(V_{CE})$ . Ces courbes ont bien entendu des allures proches des courbes de caractéristique de sortie. Pour trouver ces courbes, nous maintiendrons le courant  $I_B$  constant. Pour chaque valeur de  $I_B$  nous aurons une courbe. L'angle formé par ces droites en regard à l'axe des abscisses donnera la valeur de  $h_{12}$  qui représente l'amplification en tension.

#### 2.4.3. Caractéristiques en entrée

La tension  $V_{CE}$  est essentiellement supportée en inverse par la jonction CB et aura peu d'influence sur les caractéristiques d'entrée.

La tension  $V_{BE}$  est appliquée sur la jonction EB ; or le courant  $I_B$  est sensiblement proportionnel au courant  $I_E$  qui traverse cette jonction.

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{I_E}{\beta}$$

Je peux donc déduire que la caractéristique  $V_{BE} = f(I_B)$  est donc, à la constante  $\frac{1}{\beta}$  près, la même que celle de la jonction EB, c'est à dire  $V_{BE} = f(I_E)$ .

Elle a l'allure suivante et est souvent voisine de 0,7V.

L'angle formé par ces courbes en regard à l'axe des abscisses donnera la valeur de  $h_{11}$  qui représente l'impédance d'entrée.

#### 2.4.4. Caractéristiques en sortie

A chaque courant  $I_B$  correspond une caractéristique  $V_{CE} = f(I_C)$ .

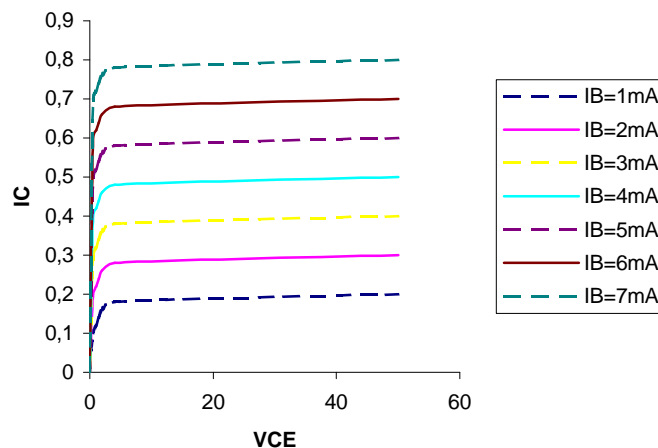
En pratique de par le fait que le gain n'est pas rigoureusement constant d'un composant à l'autre nous avons les courbes suivantes en lieu et place de droites horizontales.

L'angle formé par ces courbes en regard à l'axe des abscisses donnera la valeur de  $h_{22}$  qui représente l'admittance de sortie.

#### 2.4.5. Influence de la température

Si la température ambiante  $T_A$  varie, il en est de même pour la température  $T_j$  du cristal. Cette élévation de température se répercutant au droit des jonctions, nous pouvons constater une déformation des caractéristiques. Lorsque  $T_A$  augmente suffisamment, les caractéristiques subissent une translation vers le haut.

Les traits en pointillés montrent les courbes à une température  $T_A = 35^\circ\text{C}$  alors que les traits pleins donnent les courbes pour  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

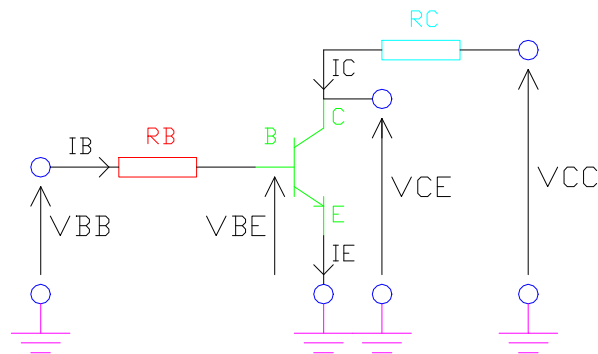


Ces courbes nous montrent que le courant de collecteur a pour expression complète  $I_C = \beta I_B + \beta I_0$  montrant le courant inverse de la jonction CB, du essentiellement aux trous de la zone de collecteur. Les porteurs minoritaires se multiplient lorsque  $T_j$  augmente si bien que le courant  $I_s$  (courant de saturation du au minoritaire) croît vite avec la température.

A température ambiante normale  $25^\circ\text{C}$ ,  $\beta I_0$  est négligeable devant  $I_C$ .



## 2.5. Détermination du fonctionnement d'un transistor bipolaire



### 2.5.1. Circuit de base

La loi d'ohm appliquée entre B et E donne  $V_{BE} = -R_B \cdot I_B + V_{BB}$

### 2.5.2. Circuit du collecteur

La loi d'ohm appliquée entre C et E donne  $V_{CE} = -R_C \cdot I_C + V_{CC}$  ou encore  $V_{CE} = -R_C \cdot \beta \cdot I_B + V_{CC}$ .

### 2.5.3. Puissance consommée

La puissance électrique totale P absorbée par le composant est la somme de deux termes :

$$P = V_{CE} \cdot I_C + V_{BE} \cdot I_B$$

Cette puissance se transforme en chaleur : comme la tension VCE est essentiellement supportée en inverse par la jonction CB, cette situation constitue le point chaud du transistor (on l'appelle Tj sa température). La chaleur qui apparaît dans le composant augmente Tj et cette valeur se fixe à une valeur telle que  $T_j - T_A = R_{TH} \cdot P$  avec  $R_{TH}$  ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$  ou  $^{\circ}\text{K}/\text{W}$ ) étant la résistance thermique de l'ensemble transistor + refroidisseur ( $R_{TH} = R_{J-B} + R_S + R_R$ ). Noter que Tj ne pourra pas dépasser la température donnée par le fabricant ( $\pm 200^{\circ}\text{C}$ ). Si tel devait être le cas, un refroidisseur devra être calculé et placé sur le composant.

Ex : soit un transistor BD139 pouvant dissiper 12,5W et dont  $R_{J-B} = 1,5^{\circ}\text{C}/\text{W}$ , sachant que la  $t_{amb} = 20^{\circ}\text{C}$  et que l'on ne veut pas dépasser  $75^{\circ}\text{C}$  pour la tj, calculer le refroidisseur à placer. (résistance thermique de la semelle en silicone :  $0,5^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )

$$R_{TH} = \frac{t_j - t_{amb}}{P} = \frac{75 - 20}{12,5} = 4,4^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

Une autre solution pour stabiliser un transistor au niveau thermique est de placer une résistance en série avec l'émetteur. Le but de cette résistance étant de maintenir la valeur de  $I_E$  constante, quelles que soient les variations de température.

En effet, si nous avons élévation de température au niveau de la jonction BE, nous allons avoir une diminution de la résistance interne du transistor car l'apport de chaleur est un apport d'énergie qui facilite le déplacement des porteurs majoritaires. Cette diminution de la résistance interne entraîne une augmentation du courant de collecteur et donc une augmentation de  $I_B$  et de  $I_E$ . Or si  $I_E$  augmente, la chute de tension dans  $R_E$  va augmenter de même en ce qui concerne la chute de tension aux bornes de  $R_B$  qui augmente aussi. Comme  $V_{CC}$  et  $V_{BB}$  ont une valeur fixe, cela signifie que  $V_{BE}$  et  $V_{CE}$  doivent diminuer. Comme les courbes nous montrent que si  $V_{BE}$  diminue  $I_B$  doit diminuer nous montrons ainsi que  $I_C$  va aussi diminuer. Notre résistance va donc bien stabiliser le transistor puisque si nécessaire il va limiter le courant de collecteur.

## 2.6. Résumer des formules

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

$V_{BE} = 0,7V$  pour un transistor au silicium.

$V_{CE}$  est très faible (quelques volts)

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

$$I_E = I_C + I_B$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

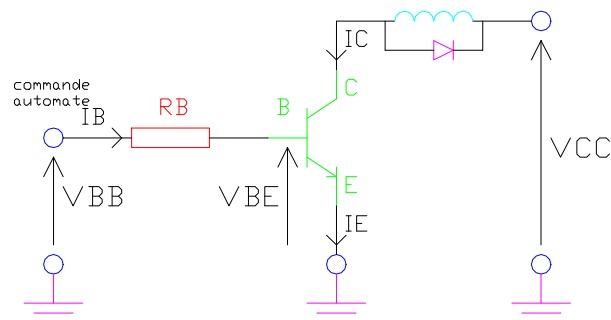
Puissance dissipée par le transistor est  $P = V_{CE} \cdot I_C$

## 2.7. Les modes de câblage d'un transistor

### Si $V_{BB}$ et $V_{CC}$ sont différents

1° commande d'un relais

Soit un automate permettant un courant de sortie sur l'une de ces bornes de 15mA sous 5VDC. Cette sortie doit commander un relais sous 5VDC consommant 400mW.



$$R_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{I_B} = \frac{5 - 0,7}{15 \cdot 10^{-3}} = 287 \Omega \quad \text{nous choisirons une résistance de } 300 \text{ ohms}$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{5 - 0,7}{300} = 14,3 \text{ mA}$$

puissance dissipée par la résistance :  $P_{RB} = R_B \cdot I_B^2 = 300 \cdot (14,3 \cdot 10^{-3})^2 = 0,061 \text{ W}$   
Nous retiendrons une résistance de 300ohms / 0,25W

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{P_{charge}}{I_B \cdot V_{CC}} = \frac{0,4}{14,3 \cdot 10^{-3} \cdot 5} = 5,59$$

Nous retiendrons un transistor de type NPN de référence BC 547.

**Si VBB est inexistant, VCC est la seule source**

2° Soit un transistor monté en émetteur commun et possédant les caractéristiques suivantes :  $\beta = 200$ ,  $I_C = 1 \text{ mA}$ ,  $R_C = 4,7 \text{ Kohms}$ ,  $V_{CC} = 12 \text{ VDC}$ ,  $V_{CE} = 6 \text{ V}$

Calculer :

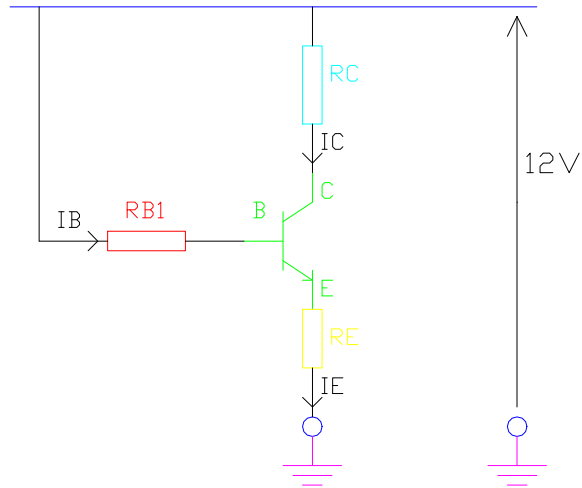
- $R_E$
- $R_{B1}$  si cette dernière est disposée entre  $V_{CC}$  et la base.
- $R_{B2}$  si cette dernière est disposée entre le collecteur et la base.
- $R_1$  et  $R_2$  qui constituent un pont diviseur de tension tel que  $I_1 = 5 \cdot I_B$ .
- $R_3$  si cette dernière est placée entre la base et le collecteur et, si on garde  $R_2$  ainsi que les valeurs de  $I_B$  et  $I_2$  du point précédent.

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{0,001}{200} = 0,000005 \text{ A} = 5 \mu\text{A}$$

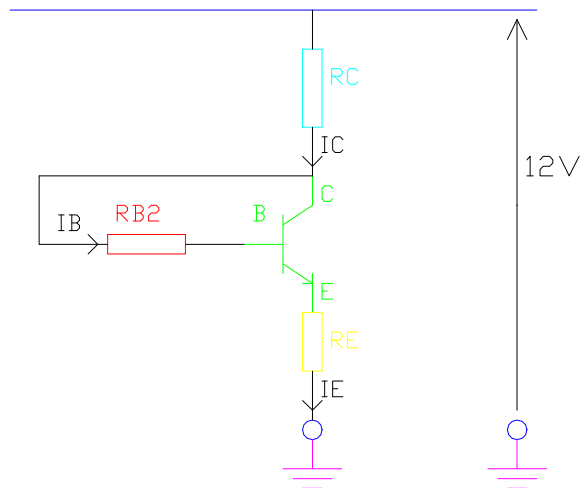
$$R_E = \frac{V_{EM}}{I_E} = \frac{V_{CC} - V_{RC} - V_{CE}}{I_C + I_B} = \frac{V_{CC} - (R_C \cdot I_C) - V_{CE}}{I_C + I_B} = \frac{12 - (4700 \cdot 0,001) - 6}{0,001 + 5 \cdot 10^{-6}} = 1293 \Omega$$

nous retiendrons une résistance de 1,3Kohms

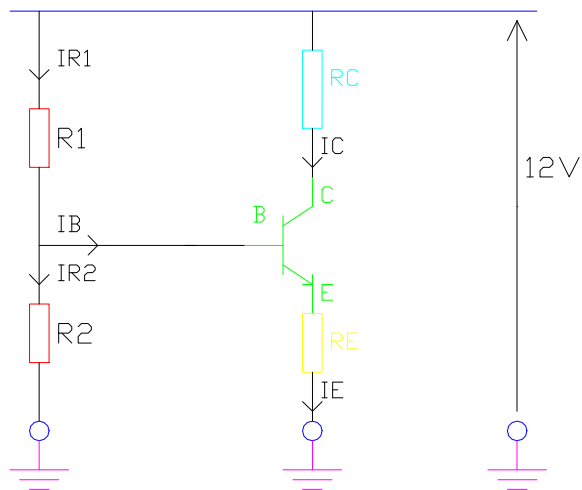
$$I_E = \frac{V_{EM}}{R_E} = \frac{V_{CC} - (R_C \cdot I_C) - V_{CE}}{R_E} = \frac{12 - (4700 \cdot 0,001) - 6}{1300} = 0,001 \text{ A} = 1 \text{ mA}$$



$$R_{B1} = \frac{V_{CC} - V_{RE} - V_{BE}}{I_B} = \frac{V_{CC} - (R_E \cdot I_E) - V_{BE}}{I_B} = \frac{12 - (1300 \cdot 0,001) - 0,7}{5 \cdot 10^{-6}} = 2000000 \Omega = 2 M\Omega$$



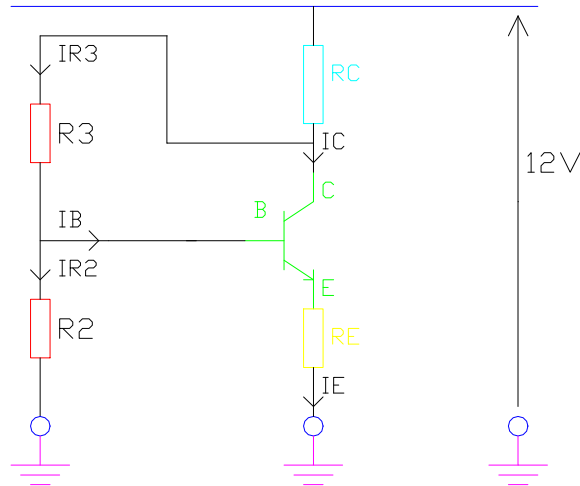
$$R_{B2} = \frac{V_{CE} - V_{BE}}{I_B} = \frac{6 - 0,7}{5 \cdot 10^{-6}} = 1060000 \Omega = 1,06 M\Omega$$



Si  $I_1 = 5 \cdot I_B$ , cela veut dire que si la base dévie un courant égale à  $I_B$ , le solde va traverser la résistance  $R_2$  donc  $I_2 = 4 \cdot I_B$ .

$$R_2 = \frac{V_{RE} + V_{BE}}{I_{R2}} = \frac{(R_E \times I_E) + V_{BE}}{I_{R2}} = \frac{(1300 \times 0,001) + 0,7}{4 \times 5 \times 10^{-6}} = 100000 \Omega = 100 K\Omega$$

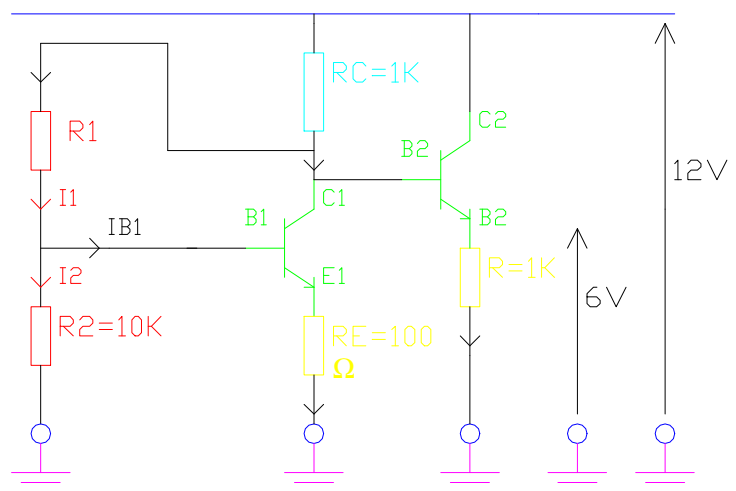
$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{R2}}{I_{R1}} = \frac{V_{CC} - (R_2 \times I_{R2})}{I_{R1}} = \frac{12 - (100000 \times 4 \times 5 \times 10^{-6})}{5 \times 5 \times 10^{-6}} = 400000 \Omega = 400 K\Omega$$



$$R_3 = \frac{V_{CE} - V_{BE}}{I_{R3}} = \frac{6 - 0,7}{5,5 \cdot 10^{-6}} = 212000 \Omega = 212 K\Omega$$

3° Soit les gains des transistors T1 et T2 sont respectivement  $B_1 = 200$  et  $B_2 = 100$  ; de plus on sait que ce sont des transistor au silicium et que le point de fonctionnement du montage a été choisi de manière telle que  $U_{E2M} = 6V$  alors que la tension d'alimentation du montage est  $U_{AM} = 12VDC$ .

Calculer les courants de collecteur  $I_{C1}$  et  $I_{C2}$  ainsi que la valeur de  $R_1$ .



$$IE2 = \frac{VE2M}{R} = \frac{6}{1000} = 0,006A$$

$$\beta2 = \frac{IC2}{IB2} \rightarrow IC2 = \beta2 \cdot IB2$$

$$IE2 = IC2 + IB2 = (\beta2 \cdot IB2) + IB2 = IB2 \cdot (\beta2 + 1) \rightarrow IB2 = \frac{IE2}{\beta2 + 1} = \frac{0,006}{100 + 1} = 59,4 \cdot 10^{-6} A$$

$$URC = VE2M - 0,7 = 6 - 0,7 = 5,3V$$

$$IRC1 = \frac{URC}{RC} = \frac{5,3}{1000} = 0,0053A$$

$$IC1 = IRC1 - IB2 = 0,0053 - 59,4 \cdot 10^{-6} = 5,24 \cdot 10^{-3} A$$

$$IB1 = \frac{IC1}{\beta1} = \frac{5,24 \cdot 10^{-3}}{200} = 26,203 \cdot 10^{-6} A$$

$$IE1 = IC1 + IB1 = 5,24 \cdot 10^{-3} + 26,203 \cdot 10^{-6} = 5,2668 \cdot 10^{-3} A$$

$$VRE1 = IE1 \cdot RE = 5,2668 \cdot 10^{-3} \cdot 100 = 0,52668V$$

$$VR2 = VRE1 + VBE1 = 0,52668 + 0,7 = 1,22668V$$

$$IR2 = \frac{VR2}{R2} = \frac{1,22668}{10000} = 0,122668 \cdot 10^{-3} A$$

$$VR1 = VAM - VR2 = 12 - 1,22668 = 10,77332V$$

$$IR1 = IB1 + IR2 = 0,122668 \cdot 10^{-3} + 26,203 \cdot 10^{-6} = 148,871 \cdot 10^{-6} A$$

$$R1 = \frac{VR1}{IR1} = \frac{10,77332}{148,871 \cdot 10^{-6}} = 72366,845 \Omega$$

### 3. Les transistors unipolaires

Il existe deux types de transistors unipolaires

- les transistors à effet de champ (T.E.C.) à jonctions
- les transistors M.O.S. (Métal Oxyde Semi-conducteur)

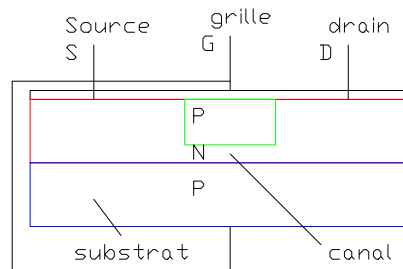
**Nous limiterons notre étude au premier type.**

#### 3.1. Le transistor à effet de champ

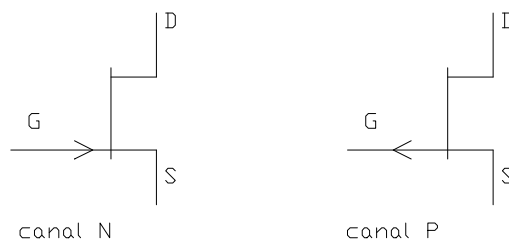
##### 3.1.1. Constitution

Un tel composant repose sur un support (un substrat) de silicium dopé (par exemple de type P) dont l'épaisseur est de quelques dixième de millimètre. Sur ce support ont été diffusées une couche N relativement peu dopée et puis dans cette couche N une zone de type P ayant la forme d'un parallélépipède et que l'on appelle grille.

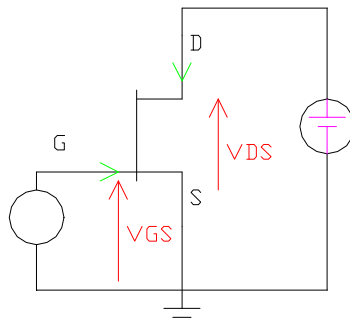
La zone N est en contact avec deux électrodes métalliques situées de part et d'autre de la grille, l'une appelée drain et l'autre source. La région de semi-conducteur située entre le substrat et la grille est extrêmement mince et est appelé le canal.



Son symbole est le suivant :

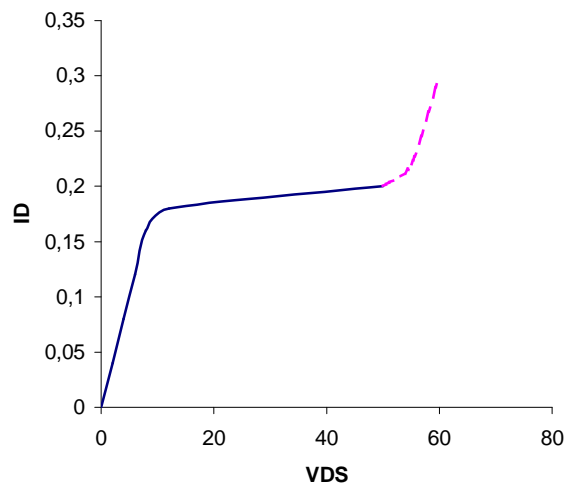


### 3.1.2. Principe de fonctionnement



L'allure de la caractéristique VDS en fonction de ID est la suivante :

$$ID = f(VDS)$$



1° La grille G est reliée à la source S :  $VGS = 0$ .

Lorsque  $VDS > 0$  (en d'autre terme, lorsque VD est plus positif que VS), les électrons majoritaires du substrat N se déplacent de S vers D, c'est à dire vers des potentiels croissants : il en résulte dans le lit draine un courant  $ID$  positif. Tant que  $VDS$  reste faible le canal représenté sur le dessin par un étranglement entre S et D offre une résistance constante (elle ne dépend que de la longueur, de la section et du dopage du canal) ;  $ID$  est alors proportionnel à  $VDS$  ; c'est le régime résistif.

Lorsque  $VDS$  augmente positivement, le potentiel en chaque point du canal devient de plus en plus positif . Les jonctions grille-canal et substrat-canal, polarisée en inverse, supportent une tension de plus en plus grande ; les zones de transition, sous l'action d'un champ électrostatique croissant, s'élargissent. Comme une telle zone, dépourvue de porteurs mobiles, n'est pas conductrice les électrons qui constituent le courant  $ID$  ne peuvent passer de S en D qu'à travers une section utile de plus en plus réduite : la résistance du canal croît avec  $VDS$ .



Au-delà d'une certaine valeur de VDS l'augmentation de cette tension est compensée par l'accroissement de la résistance du canal et ID n'augmente presque plus, c'est le régime de pincement.

2° G est à un potentiel négatif par rapport à S :  $V_{GS} < 0$ .

Lorsque VDS est faible, la section utile du canal est déjà limitée par VGS mais n'est guère influencée par VDS. Le transistor se comporte comme une résistance dont la valeur augmente si la tension VGS devient de plus en plus négative.

Lorsque VDS croît, la section du canal diminue progressivement et l'on passe au régime de pincement (ID est sensiblement constant) ; mais ce régime est atteint pour un courant ID d'autant plus faible que la tension VGS est plus négative.

Pour une certaine valeur négative VB de VGS la section utile du canal est nulle même lorsque  $V_{DS}=0$  :  $I_D=0$  quel que soit VDS ; la tension VB est appelée tension de blocage (ou de pincement) ; elle est, en valeur absolue, de l'ordre de quelque volts.

#### 4. Comparaison des deux types de transistors

Caractéristiques	Transistor bipolaire	Transistor T.E.C.
Le courant d'entrée	Faible mais non négligeable	Négligeable
Les porteurs assurant le courant de sortie	Les minoritaires de la base dans un bipolaire	Les majoritaires du canal dans un T.E.C.
Le courant de sortie est Commandé par	Le courant IB	La tension d'entrée VGS

Les TEC présentent les avantages suivants :

- Résistance d'entrée élevée (puisque IG est négligeable)
- Faible influence de la température
- Fabrication plus simple

Les TEC présentent les inconvénients suivants :

- Leur performances aux fréquences élevées sont moins bonne
- Leur puissance reste limitée

Les TEC sont utilisés comme étage d'entrée dans les amplificateurs afin de leur assurer une résistance d'entrée élevée.

Les transistors bipolaires sont utilisés sous forme intégrée dans les circuits logiques dits TTL et dans les amplificateurs comme les « amplificateurs opérationnels ». Sous forme discrète pour réaliser soit des interfaces soit dans des montages mettant en œuvre des puissances relativement élevées.

## 5. Page technique

### 5.1. Transistors bipolaires

$P_{tot}$  : puissance totale dissipée

$V_{CEO}$  : tension continue collecteur émetteur avec  $I_B=0$  et  $I_C$  spécifié

$I_C$  : courant collecteur (continu)

$H_{21E}$  : ( $\beta$ ) valeur statistique du rapport de transfert direct du courant, émetteur commun

$V_{CE sat}$  : tension de saturation collecteur émetteur avec  $I_C$  et  $I_B$  spécifiés

Types	$P_{tot}$ mW	$V_{CEO}$ V	$I_C$ mA	$H_{21}$		$I_C$ mA	$V_{CE}$ V	$V_{CE sat}$ V	$I_C$ mA
				Min	Max				
2N 1711 NPN	800	50		100	300	150		1	150
2N 2219 NPN	800	30	800	100	300	150		1,5	150
2N 2222 NPN	500	40	800	100	300	500	10	0,4	500
2N 2905 PNP	600	-40	-600	100	300	-150	-10	-0,4	-150
BC 547	500	50	200	75	900				
BF 336	800	185	100						
	W	V	A			A	V	V	A
2N 3055 NPN	117	60	15	20	70	4	4	1,1	4
BDX 18 PNP	117	100	-15	20	70	-4	-4	-1,1	-4
TIP 31 NPN	40	40	3	25		1		1,2	3
TIP 32 PNP	40	40	-3	25		-1		-1,2	-3

### 5.2. Transistors à effet de champ

$V_{(BR)GSS}$  : tension de claquage grille source avec  $V_{DS} = 0$  et  $I_G$  spécifié

$I_{GSS}$  : courant de fuite total de grille avec  $V_{DS}=0$  et  $V_{GS}$  spécifié

$V_{DSS}$  : tension de drain, la grille étant court-circuitée à la source

$I_{DSS}$  : courant de drain pour  $V_{GS}=0$  et  $V_{DS}=0$

$I_D$  : courant (continu) de drain

$V_{Gsoff}$  : ( $V_B$ ) tension grille source de blocage

$Y_{21S}$  : admittance de transfert, sortie en court circuit, en source commune est souvent notée  $g$ , s'exprime en mA/V, et mesure la pente de la caractéristique de transfert

$R_{Dson}$  : résistance de drain source à l'état passage en continu

Types	Canal	$V_{BRGSS}$ V	$I_{GSS}$ nA	$I_{DSS}$		$Y_{21S}$		$V_{Gsoff}$		$R_{Dson}$ $\Omega$
				Min mA	Max mA	Min mS	Max mS	Min V	max V	
2N 4416	N	-30	0,1	5	15	4,5	7,5		-6	
2N 3966	N	-50	0,1	2				-4	-6	250
2N 4091	N	-40	0,2	30				-5	-10	30

## 6. Montage d'utilisation

Les montages possibles du transistor sont :

- le montage en base commune
- le montage en émetteur commun
- le montage en collecteur commun

Le montage en base commune :

- faible impédance d'entrée (100 ohms)
- grande impédance de sortie (1Mohm)
- pas d'amplification en courant
- grande amplification en tension
- gain moyen en puissance
- pas d'inversion de phase

Le montage en émetteur commun :

- moyenne impédance d'entrée (1 Kohm)
- moyenne impédance de sortie (10 à 30 Kohms)
- amplification en courant élevée ( $10 \leq \beta \leq 100$ )
- gain élevé en puissance
- inversion de phase

Le montage en collecteur commun :

- impédance d'entrée élevée (200Kohms)
- faible impédance de sortie (200 ohms)
- amplification en courant élevée ( $\gamma = \beta + 1$ )
- pas d'amplification en tension
- faible gain en puissance
- pas d'inversion de phase