

**Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche scientifique  
et de la technologie**

**Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Nabeul**

**Département : Génie Electrique**

---

Support de cours :

**ELECTRONIQUE GENERALE**

**Adel SAID**

Technologue à l'ISET de Nabeul

**Année universitaire 2013 / 2014**

# SOMMAIRE

	pages
<b>Chapitre 1 : Notions sur les semi-conducteurs</b>	<b>1</b>
1- Introduction	1
2- Les semi-conducteurs	1
3- Les semi-conducteurs purs ou intrinsèques	1
4- Les semi-conducteurs dopés ou extrinsèques	2
<b>Chapitre 2 : La diode à jonction</b>	<b>5</b>
1- Définition	5
2- Polarisation de la diode	5
3- Caractéristique statique courant-tension de la diode	5
4- Schémas équivalents de la diode	6
5- La diode Zener	7
<b>Chapitre 3 : Redressement, Filtrage et Stabilisation</b>	<b>8</b>
1- Redressement	8
2- Filtrage	10
3- Stabilisation	11
<b>Chapitre 4 : Le transistor bipolaire en régime statique</b>	<b>12</b>
1- Présentation du transistor	12
2- Effet transistor	12
3- Réseaux des caractéristiques d'un transistor monté en Emetteur commun	12
4- Polarisation du transistor	13

<b>Chapitre 5 : Le transistor bipolaire en régime dynamique</b>	<b>16</b>
1- Introduction	16
2- Schéma équivalent du transistor en régime dynamique	16
3- Amplificateur à transistor monté en Emetteur commun	17
4- Autres montages amplificateurs	18
<b>Chapitre 6 : Le transistor à effet de champ</b>	<b>19</b>
1- Transistor à effet de champ à jonction (J.FET)	19
2- Transistor à effet de champ à Grille isolée (MOS.FET)	20
3- Transistor à effet de champ en amplification	20
4- Le transistor à effet de champ en résistance commandée	21
<b>Chapitre 7 : Fonction commutation</b>	<b>22</b>
1- Définition	22
2- Diode en commutation	22
3- Transistor bipolaire en commutation	22
4- Exemples de réalisation de fonctions logiques	23
5- Utilisation du transistor dans la commutation de puissance	24
Bibliographie	25

## 1- Introduction

Pour comprendre le fonctionnement des composants électroniques, il faut tout d'abord étudier les semi-conducteurs matériaux qui ne sont ni conducteurs, ni isolants.

## 2- Les semi-conducteurs

- Ils se placent entre les conducteurs et les isolants.

- Ils possèdent une résistivité intermédiaire entre celle des conducteurs et celle des isolants :

Ils se comportent comme des **isolants** aux basses températures lorsque l'agitation thermique est faible et comme des **conducteurs** aux températures élevées.

- La résistivité d'un semi-conducteur diminue quand la température augmente.

## 3- Les semi-conducteurs purs ou intrinsèques

Lorsque le corps est parfaitement pur, il est qualifié d'intrinsèque.

Exemples : Silicium (Si), Germanium (Ge), Sélénium (Se)

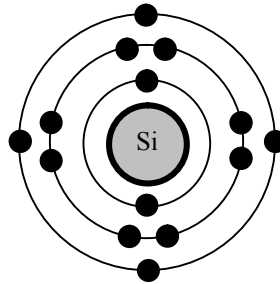


Figure 1 : Atome de Silicium

Le Silicium est un atome tétravalent : Il possède 4 électrons de valence qui vont se mettre en commun avec d'autres atomes de Silicium pour avoir la forme cristalline (Figure 2).

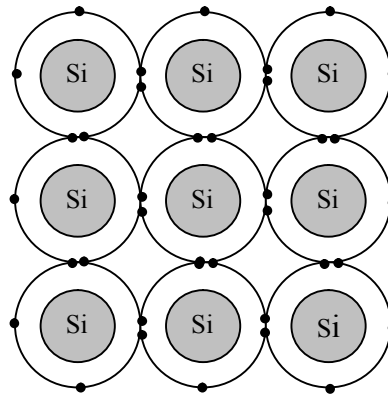


Figure 2 : Cristal de Silicium

A la température 0 K toutes les liaisons covalentes sont maintenues. C'est un bon isolant : pas d'électrons libres.

Lorsque la température du cristal augmente, certains électrons de valence quittent leurs places, certaines liaisons covalentes sont interrompues. On dit qu'il y a rupture de la liaison covalente et par conséquent :

- libération de certains électrons qui vont se déplacer librement  $\Rightarrow$  conduction du courant électrique.
- il reste une liaison rompue (un ion  $\text{Si}^+$ )  $\Rightarrow$  naissance d'une paire de charge : électron libre (charge négative) et trou (charge positive).

## 4- Les semi-conducteurs dopés ou extrinsèques

### 4-1- Dopage des semi-conducteurs

Le dopage est l'introduction dans un semi-conducteur intrinsèque de très faible quantité d'un corps étranger appelé **dopeur**.

Pour les semi-conducteurs usuels (Si, Ge), les dopeurs utilisés sont :

- soit **des éléments pentavalents** : ayant 5 électrons périphériques.

Exemples : l'Arsenic (As), l'Antimoine (Sb), le Phosphore (P),...

- soit **des éléments trivalents** : ayant 3 électrons périphériques.

Exemples : le Bore (B), le Gallium (Ga), l'Indium (In),...

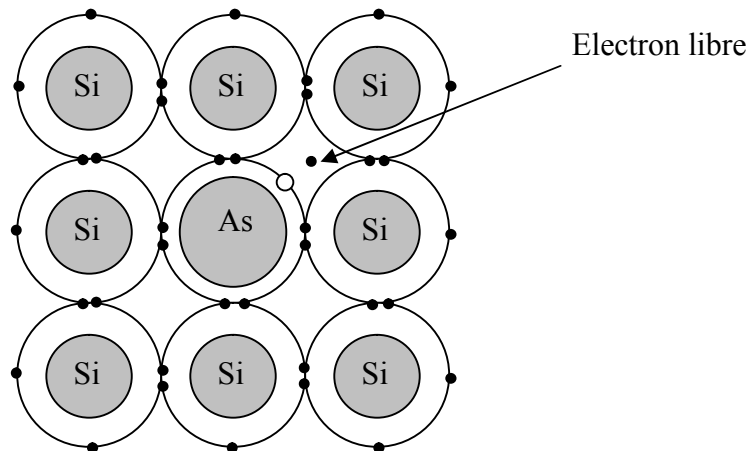
Ces dopeurs sont introduits très faible dose (de l'ordre de 1 atome du dopeur pour  $10^6$  atomes du semi-conducteur).

Après le dopage, le semi-conducteur n'est plus intrinsèque mais **extrinsèque**.

### 4-2- Semi-conducteur extrinsèque type N

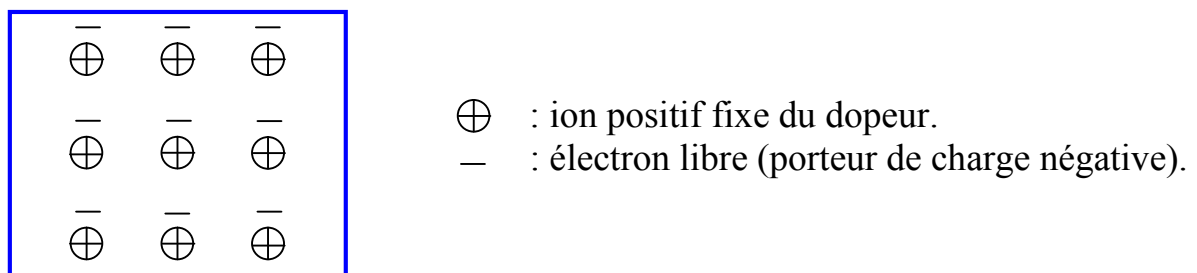
Le dopeur utilisé appartient à la famille des pentavalents (As, Sb, P, ...).

L'atome dopeur s'intègre dans le cristal de semi-conducteur, cependant, pour assurer les liaisons entre atomes voisins, 4 électrons sont nécessaires : le cinquième est donc en excès et n'a pas de place pour lui. On dit que le dopeur est un **donneur (N)** d'électrons (porteurs de charge Négative). Il faut noter que cet électron lorsqu'il quitte son atome, il laisse à sa place **un ion positif fixe** (Figure 3).



**Figure 3** : Un atome d'Arsenic incorporé dans le cristal de semi-conducteur

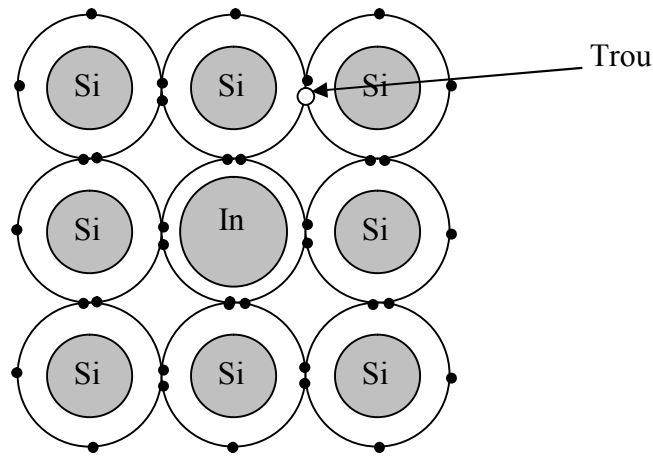
Représentation simplifiée d'un semi-conducteur type N :



### 4-3- Semi-conducteur extrinsèque type P

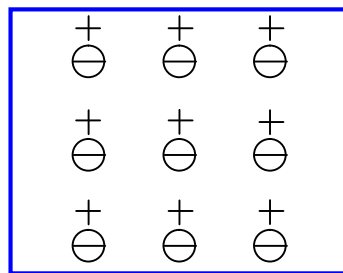
Le dopeur utilisé appartient à la famille des trivalents (B, Ga, In, ...).

L'atome dopeur s'intègre dans le cristal de semi-conducteur, cependant, pour assurer les liaisons entre atomes voisins, 4 électrons sont nécessaires alors que le dopeur ne porte que 3, il y a donc un trou disponible susceptible de recevoir un électron. Un électron d'un atome voisin peut occuper ce trou. L'atome du dopeur devient **un ion négatif fixe**. L'atome quitté aura un trou et une charge positive excédentaire. On dit que le dopeur est un **accepteur (P)** d'électrons. (Figure 4).



**Figure 4** : Un atome d'Indium incorporé dans le cristal de semi-conducteur

Représentation simplifiée d'un semi-conducteur type P:



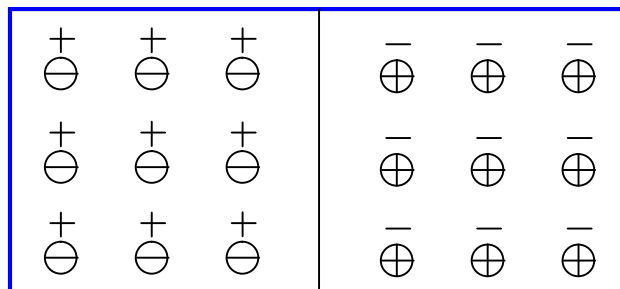
⊖ : ion négatif fixe du dopeur.

+

## 5- Jonction P-N

### 5-1- Définition

L'union dans un même cristal d'un semi-conducteur type P et d'un semi-conducteur type N fait apparaître à la limite des zones P et N, une zone de transition appelée : Jonction P-N (Figure 5).



**Figure 5** : Jonction P-N

### 5-2- Jonction P-N non polarisée

Au niveau de la jonction P-N :

- les électrons libres de la partie N diffusent vers les trous disponibles de la partie P
- les trous disponibles de la partie P diffusent vers la partie N et piègent des électrons.

Il y a recombinaison électron-trou.

Les parties P et N étant initialement neutres, la diffusion des électrons et des trous a pour effet de charger **positivement** la partie N, **négativement** la partie P d'où la création d'un champ électrique interne. Ce champ repousse les porteurs majoritaires de chaque partie et arrête la diffusion (Figure 7).

Entre les deux parties P et N apparaît alors une d.d.p. appelée aussi **barrière de potentiel** de l'ordre de 0,7 V pour le Silicium, 0,3 V pour le Germanium.

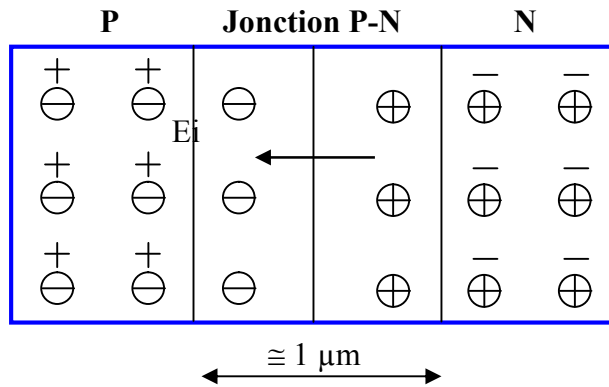


Figure 6 : Jonction P-N non polarisée à l'équilibre

### 7-3- Jonction P-N polarisée

#### 7-3-1- Polarisation en direct

Lorsqu'une tension positive est appliquée entre la partie P et la partie N ( $U_{PN} > 0$ ), la jonction P-N est polarisée en direct (Figure 7). Cela revient à superposer au champ interne  $E_i$ , un champ externe  $E$ , le champ résultant a pour effet de diminuer la hauteur de la barrière de potentiel et par conséquent, le nombre de porteurs majoritaires capables de franchir la jonction augmente.

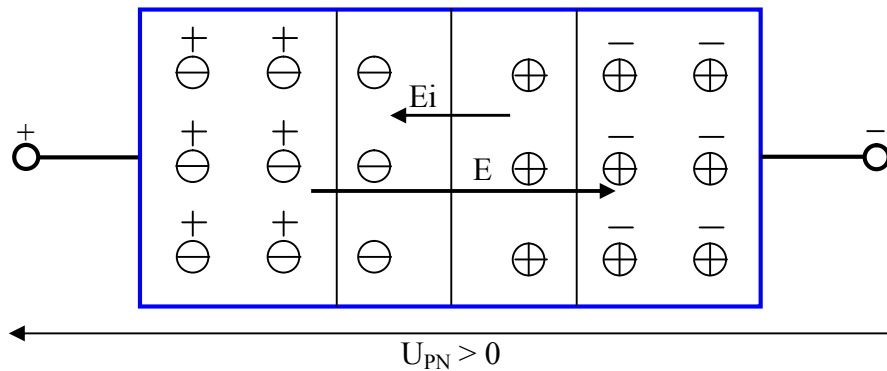


Figure 7: Jonction P-N polarisée en direct

A partir d'un certain seuil de tension  $U_0$  de l'ordre de 0,7 V pour le Silicium, les porteurs de charge peuvent franchir librement la jonction P-N, celle-ci devient **passante** et un courant direct s'établit.

#### 7-3-2- Polarisation en inverse

Lorsqu'une tension négative est appliquée entre la partie P et la partie N ( $U_{PN} < 0$ ), la jonction P-N est polarisée en inverse (Figure 8). Le champ résultant a pour effet d'empêcher la circulation des porteurs majoritaires. La jonction est **bloquée**. Le courant inverse est pratiquement nul.

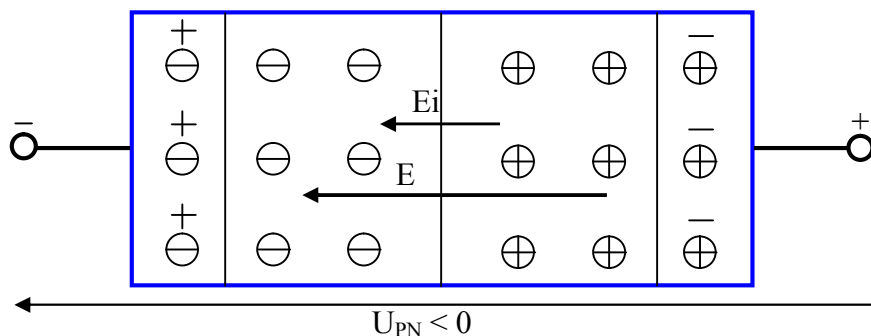


Figure 8: Jonction P-N polarisée en inverse

### 1- Définition

Une diode à jonction est un composant électronique constitué de deux électrodes : l'Anode (A) et la Cathode (K).

Symbole :

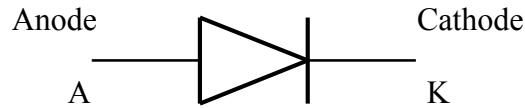
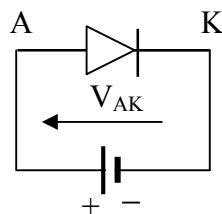


Figure 1 : Symbole d'une diode à jonction

### 2- Polarisation de la diode

#### 2-1- Polarisation directe



#### 2-2- Polarisation inverse

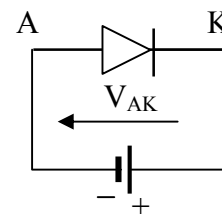


Figure 2 : Polarisations directe et inverse de la diode à jonction

**En polarisation directe**, la tension appliquée ( $V_{AK} > 0$ ) permet le passage d'un courant électrique de l'anode vers la cathode appelé courant direct.

**En polarisation inverse**, la tension appliquée ( $V_{AK} < 0$ ) empêche le passage du courant. Le courant inverse est pratiquement nul.

### 3- Caractéristique statique courant-tension de la diode

Cette caractéristique décrit l'évolution du courant traversant la diode en fonction de la tension à ses bornes en courant continu.

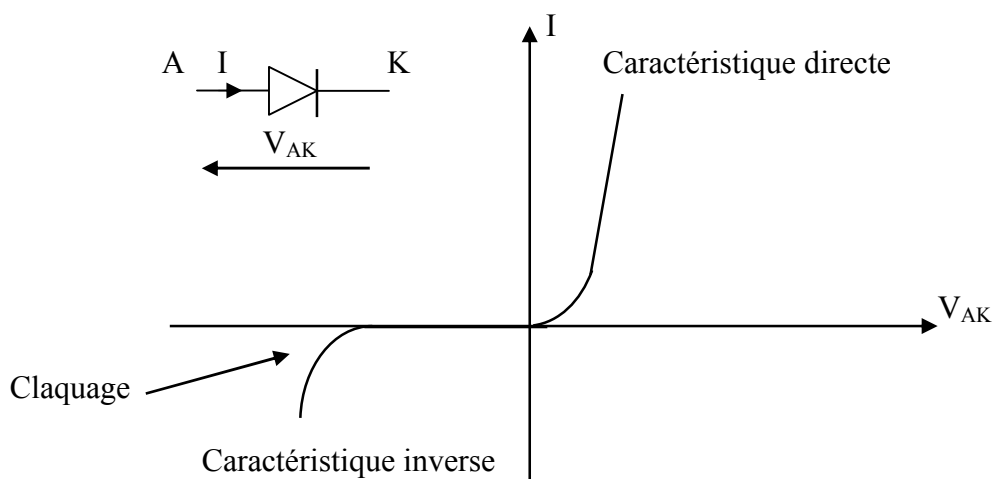


Figure 3 : Caractéristiques statiques courant-tension



## 4- Schémas équivalents de la diode

### 4-1- Caractéristique linéarisée de la diode

La caractéristique de la diode peut se rapprocher par deux portions de droites :

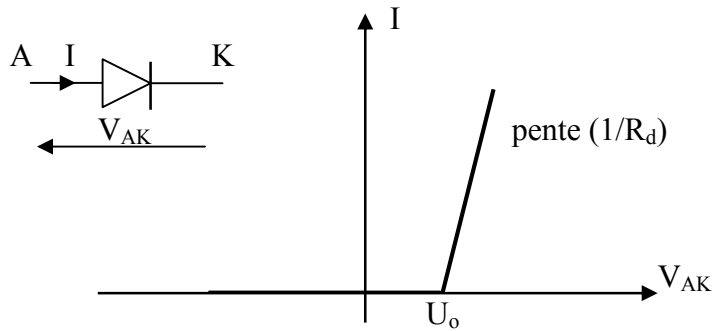


Figure 4 : Caractéristique linéarisée de la diode

$U_0$  et  $R_d$  : tension de seuil et résistance dynamique de la diode.

- **En polarisation directe** et pour  $I > 0$ , la diode est équivalente à un récepteur de f.c.é.m  $U_0$  et de résistance interne ( $R_d = \Delta V_{AK} / \Delta I$ ).

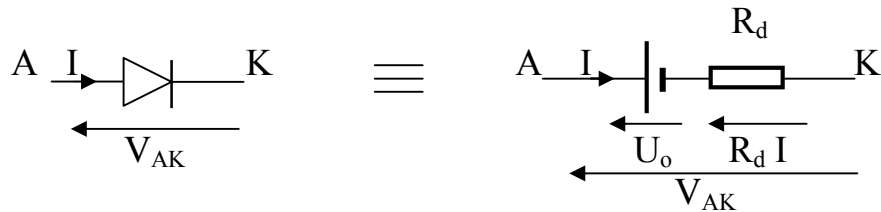


Figure 5 : Schéma équivalent de la diode polarisée en direct

- **En polarisation inverse** : pour  $V_{AK} < 0$ ,  $I = 0$ , la diode est équivalente à un interrupteur ouvert.

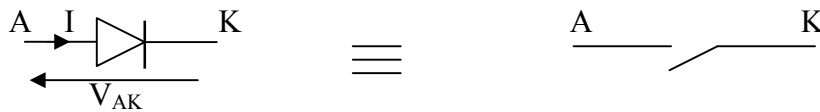


Figure 6 : Schéma équivalent de la diode polarisée en inverse

### 4-2- Caractéristique idéalisée de la diode

En polarisation directe : La diode est **passante** ( $I > 0$  et  $V_{AK} = 0$ ).

En polarisation inverse : La diode est **bloquée** ( $I = 0$  et  $V_{AK} < 0$ ).

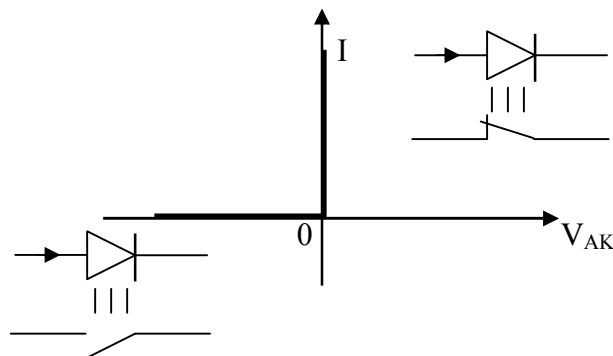


Figure 7 : Caractéristique idéalisée de la diode

## 5- La diode Zener

### 5-1- Définition

Une diode Zener est une diode spécialement conçue pour exploiter le claquage inverse. La tension de claquage est appelée **tension Zener**.

#### Symbole :

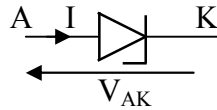


Figure 8 : Symbole de la diode Zener

### 5-2- Caractéristique statique courant-tension

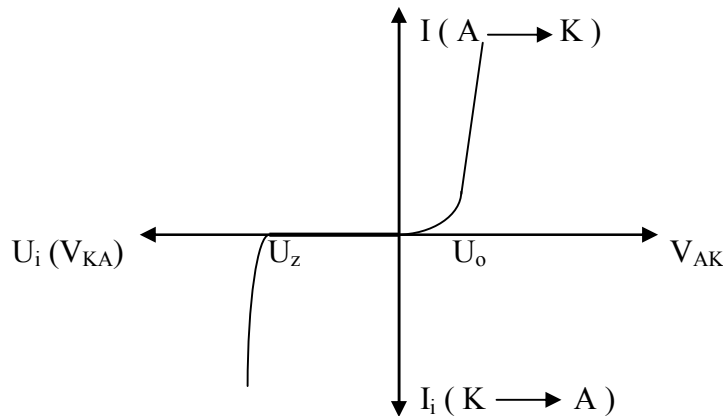


Figure 9 : Caractéristique courant-tension de la diode Zener

*En polarisation directe*, une diode Zener est équivalente à une diode normale.

*En polarisation inverse*, la diode conduit lorsque la tension inverse  $U_i$  devient supérieure à la tension Zener  $U_z$ . La caractéristique linéarisée conduit à l'équation :  $U_i = U_z + R_z I_i$  où  $R_z$  est la résistance dynamique inverse. Dans ce cas La diode Zener est équivalente au modèle suivant :

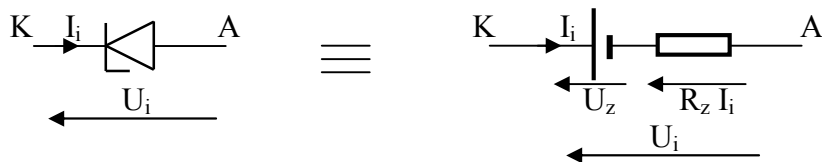


Figure 10 : Schéma équivalent à une diode Zener polarisée en inverse

#### Remarque:

Si la résistance dynamique  $R_z$  est négligée, la tension aux bornes de la diode lorsqu'elle conduit en inverse est constante quelque soit le courant qui la traverse. La diode Zener est **idéale**.

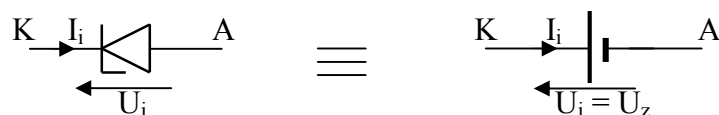


Figure 11 : Schéma équivalent d'une diode Zener idéale passant en inverse.

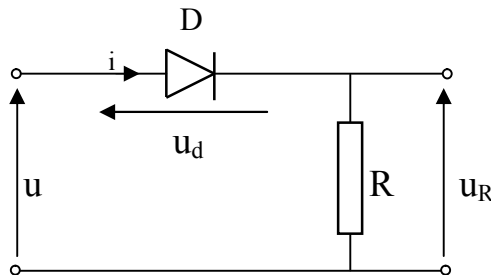
**1- Redressement**

**1-1- Définition**

Le redressement consiste à transformer une tension bidirectionnelle en une tension unidirectionnelle appelée tension redressée.

**1-2- Redressement simple alternance**

1-2-1 Schéma de montage :



avec :  $u = U_M \sin \omega t$   
 et  $\omega = 2\pi f$

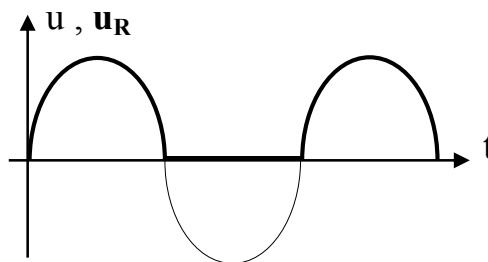
**Figure 1 :** Redresseur simple alternance

1-2-2 Principe de fonctionnement :

**Hypothèse :** On suppose que la diode est idéale.

Pendant l'alternance positive de la tension  $u$  ( $u > 0$ ), la diode  $D$  est polarisée en direct donc elle est passante ( $i > 0$  et  $u_d = 0$ ) donc  $u_R = u - u_d = u$

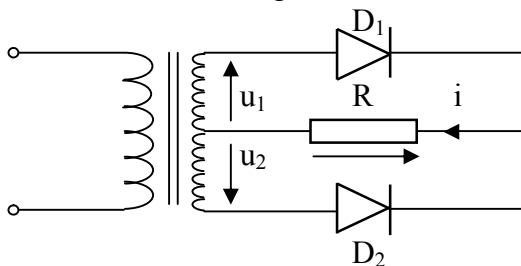
Pendant l'alternance négative de la tension  $u$  ( $u < 0$ ), la diode  $D$  est polarisée en inverse donc elle est bloquée ( $i = 0$  et  $u_d < 0$ ) donc  $u_R = 0$ .



**Figure 2 :** Allures des tensions  $u$  et  $u_R$

**1-3- Redressement double alternance à deux diodes et transformateur à point milieu**

1-3-1 Schéma de montage :



$u = u_1 - u_2 = U_M \sin \omega t$  avec  $\omega = 2\pi f$

$u_1 = \frac{u}{2}$  et  $u_2 = -\frac{u}{2}$

**Figure 3 :** Redresseur double alternance à deux diodes et transformateur à point milieu

### 1-3-2 Principe de fonctionnement:

**Hypothèse** : les diodes sont supposées idéales.

Pendant l'alternance positive de  $u$  :

- $u_1$  est positive,  $D_1$  conduit donc  $u_R = u_1 = \frac{u}{2}$

- $u_2$  est négative,  $D_2$  bloquée

Pendant l'alternance négative de  $u$  :

- $u_2$  est positive,  $D_2$  conduit donc  $u_R = u_2 = -\frac{u}{2}$

- $u_1$  est négative,  $D_1$  bloquée.

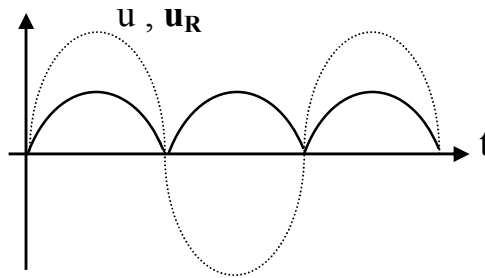


Figure 4 : Allures des tensions  $u$  et  $u_R$

## 1-4- Redressement double alternance à pont de Graetz

### 1-4-1 Schéma de montage :

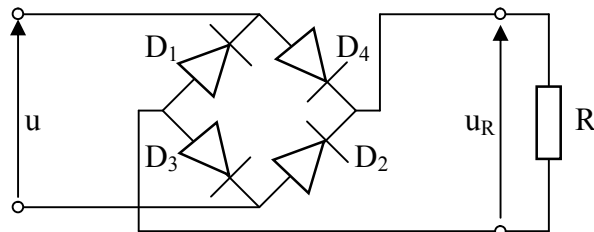


Figure 5 : Redresseur double alternance à pont de Graetz

### 1-4-2 Principe de fonctionnement:

**Hypothèse** : les diodes sont supposées idéales.

Pendant l'alternance positive de  $u$  :

- $D_1$  et  $D_3$  conduisent,  $D_2$  et  $D_4$  bloquées donc  $u_R = u$

Pendant l'alternance négative de  $u$

- $D_2$  et  $D_4$  conduisent,  $D_1$  et  $D_3$  bloquées donc  $u_R = -u$

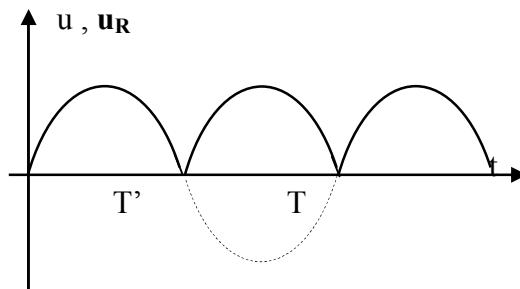


Figure 6: Allures des tensions  $u$  et  $u_R$

La période d'une tension redressée double alternance est  $T' = \frac{T}{2}$ .

## 2- Filtrage

### 2-1- Définition

Le filtrage d'une tension redressée consiste à réduire au maximum l'ondulation donc à avoir une tension aussi constante que possible. Cette fonction peut être réalisée par **un condensateur**.

### 2-2- Schéma de montage

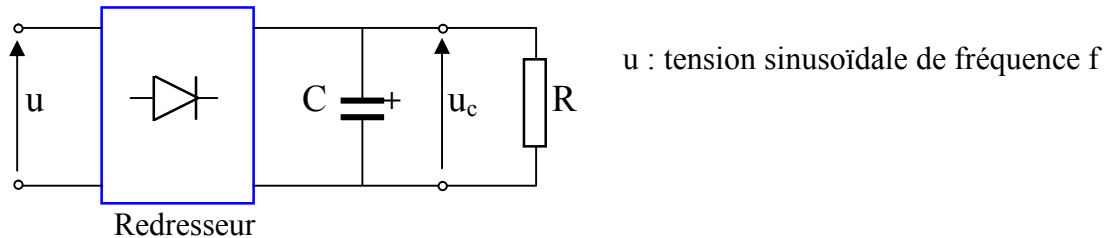


Figure 7: Filtrage d'une tension redressée

### 2-3- Principe de fonctionnement

Dès la première alternance, le condensateur C se charge puis, dès que la tension à ses bornes devient supérieure à la tension redressée, il se décharge à travers la résistance R.

Allures de la tension  $u_c$  pour un redresseur double alternance

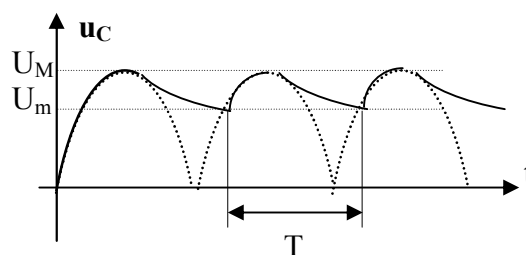


Figure 8: Allure de la tension filtrée  $u_c$

### 2-4- Taux d'ondulation

C'est le rapport :

$$\theta = \frac{\Delta U_c}{U_{c \text{ moy}}} \quad \text{avec}$$

$\Delta U_c$  : ondulation de la tension filtrée  $u_c$   
 $2\Delta U_c = U_M - U_m$ : ondulation crête à crête  
 $U_{c \text{ moy}}$  : tension filtrée moyenne.

Pour les faibles ondulations :

$$U_{c \text{ moy}} \cong \frac{U_M + U_m}{2}$$

### 2-5- Détermination de la capacité de filtrage

Pendant la charge du condensateur, la tension filtrée passe de  $U_m$  à  $U_M$  donc :  $Q = C (U_M - U_m)$ . Cette charge va être restituée à la résistance R pendant le temps de décharge  $t_d$  soit  $Q = I_{\text{moy}} t_d$  avec

$$I_{\text{moy}} = \frac{U_{c \text{ moy}}}{R} \quad \text{D'où:} \quad C = \frac{I_{\text{moy}} t_d}{U_M - U_m} = \frac{U_{c \text{ moy}} t_d}{2 \Delta U_c R}$$

Si on néglige le temps de charge devant le temps de décharge, alors  $t_d \cong T$ . On peut écrire donc :

$$C = \frac{U_{c \text{ moy}} T}{2 \Delta U_c R \theta}$$

La période T de la tension filtrée est égale à :

- $1/f$  : pour un redresseur simple alternance,
- $1/2f$  : pour un redresseur double alternance.

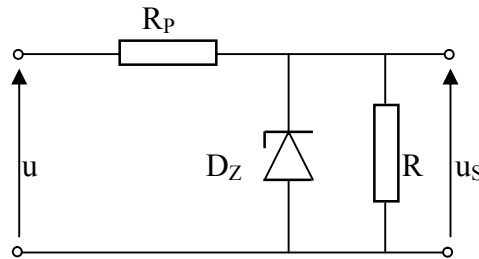
## 3- Stabilisation

### 3-1- Définition

La stabilisation d'une tension ondulée consiste à obtenir une tension pratiquement constante. Cette fonction peut être réalisée par une diode Zener.

### 3-2- Stabilisation par diode Zener

#### 3-2-1 Schéma de montage



$u$  : tension ondulée

$R_p$  : résistance de polarisation de la diode Zener.

Figure 9: Montage Stabilisateur de tension par diode Zener

#### 3-2-2 Principe de fonctionnement

- On suppose que la résistance  $R$  déconnectée et que la résistance  $R_Z$  de la diode Zener est négligée ( $R_Z = 0$ ),

Si  $u > U_Z$  alors  $u_s = U_Z$

Si  $u < U_Z$  alors  $u_s = u$ .

Il faut donc que  $u > U_Z$  pour que la tension de sortie soit constante (stabilisée).

- A résistance  $R$  non déconnectée et à résistance  $R_Z$  non négligée,

Lorsque  $u$  est suffisamment supérieure à  $U_Z$ , le schéma équivalent du montage est le suivant :

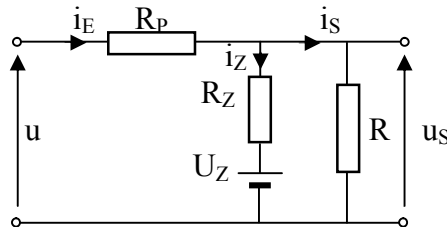


Figure 10: Montage Stabilisateur de tension par diode Zener

Les équations:  $u = R_p i_E + u_s$ ,  $i_E = i_Z + i_S$  avec  $i_Z = \frac{u_s - U_Z}{R_Z}$  et  $i_S = \frac{u_s}{R}$  mènent à :

$$u_s = \frac{1}{1 + R_p \left( \frac{1}{R_Z} + \frac{1}{R} \right)} u + \frac{\frac{R_p}{R_Z}}{1 + R_p \left( \frac{1}{R_Z} + \frac{1}{R} \right)} U_Z$$

On définit le coefficient de régulation  $K = \frac{\Delta u_s}{\Delta u}$  à  $i_S$  constant

Donc :

$$K = \frac{1}{1 + R_p \left( \frac{1}{R_Z} + \frac{1}{R} \right)} u \quad \text{et} \quad K \approx \frac{R_Z}{R_Z + R_p} \quad \text{Si } R_Z \ll R$$

La résistance interne du stabilisateur est  $\rho = - \frac{\Delta u_s}{\Delta i_S}$  à  $u$  constante

$$\rho = R_Z // R_p = \frac{R_Z \cdot R_p}{R_Z + R_p}$$

## 1- Présentation du transistor

### 1-1- Définition

Le transistor est un composant électronique composé de 3 électrodes :  
Le Collecteur ( C ), l'Emetteur ( E ) et la Base ( B ).

### 1-2- Symboles

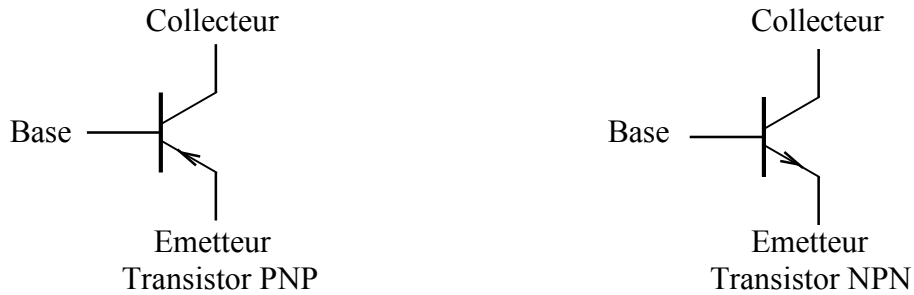


Figure 2: Symboles des transistors PNP et NPN

### 1-3- Equations

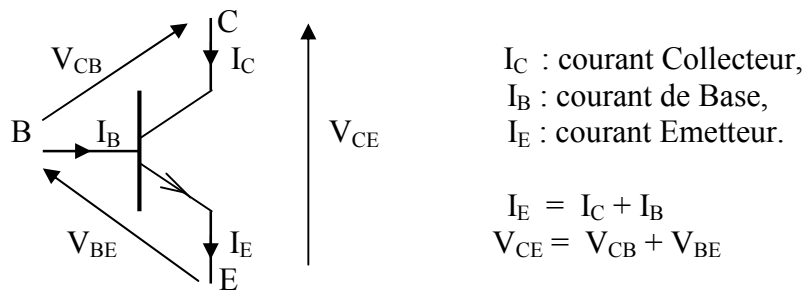


Figure 3: Transistor NPN et ses grandeurs électriques

## 2- Effet transistor

C'est le fait de véhiculer un fort courant collecteur à partir d'un faible courant de base ( $I_C \gg I_B$ ).

On définit l'amplification statique en courant :

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

## 3- Réseaux des caractéristiques statiques d'un transistor monté en Emetteur commun

Soit le schéma du transistor et de ses grandeurs électriques principales.

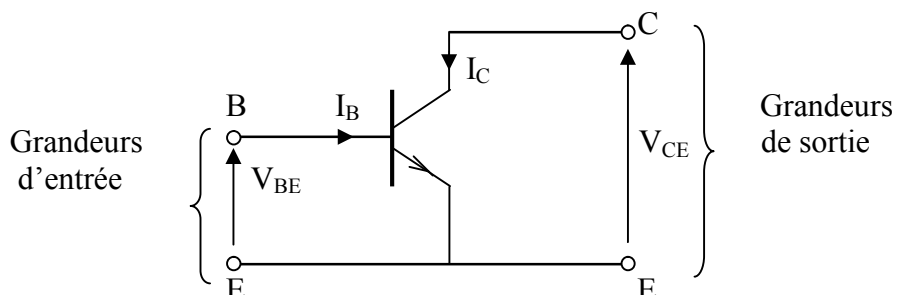


Figure 4: Schéma du transistor et de ses grandeurs électriques principales

En fonction des grandeurs électriques principales du transistor, on peut établir les caractéristiques statiques suivantes :

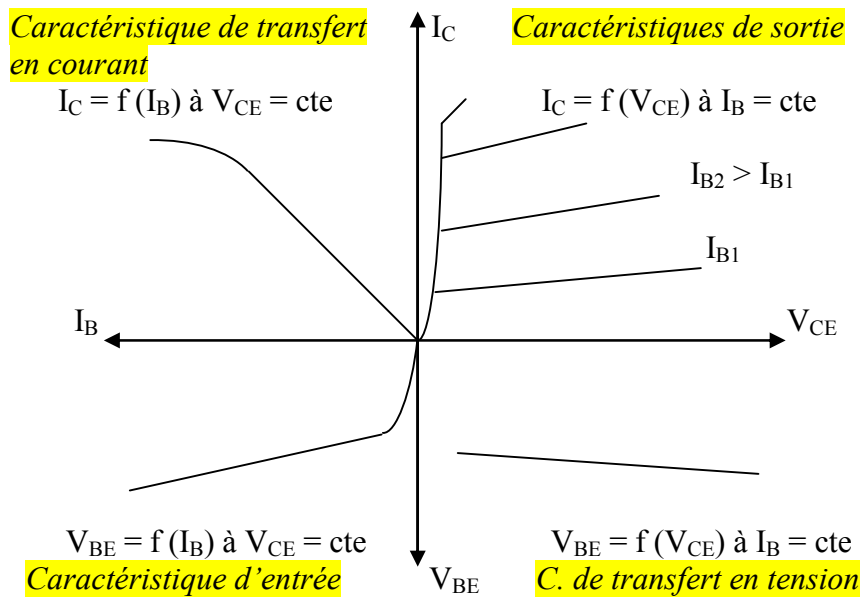


Figure 5: Caractéristiques statiques du transistor

## 5-Polarisation du transistor

### 5-1- Définition

La polarisation consiste à définir le point de fonctionnement statique (point de repos) du transistor caractérisé par les valeurs  $V_{BE0}$ ,  $I_{B0}$ ,  $I_{C0}$  et  $V_{CE0}$ .

Il existe différents procédés de polarisation

### 5-2- Polarisation par deux sources de tension

#### 5-2-1 Schéma de montage

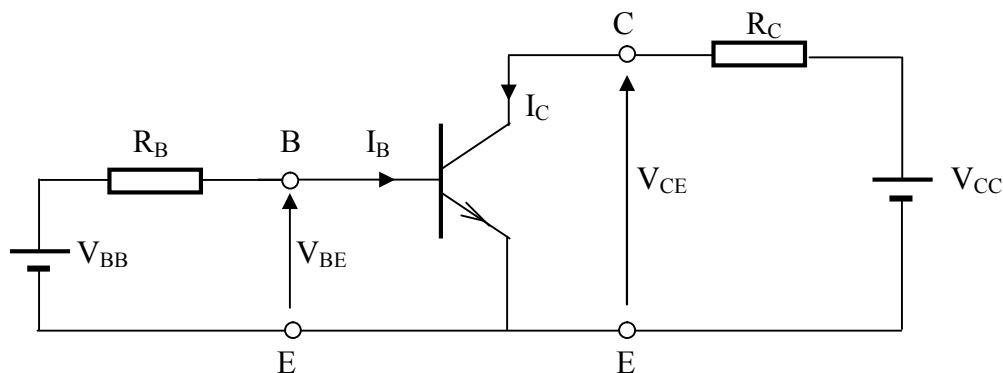


Figure 6: Polarisation du transistor par deux sources de tension

#### 5-2-2 Droite d'attaque statique

C'est l'équation définie par:  $V_{BE} = V_{BB} - R_B I_B$

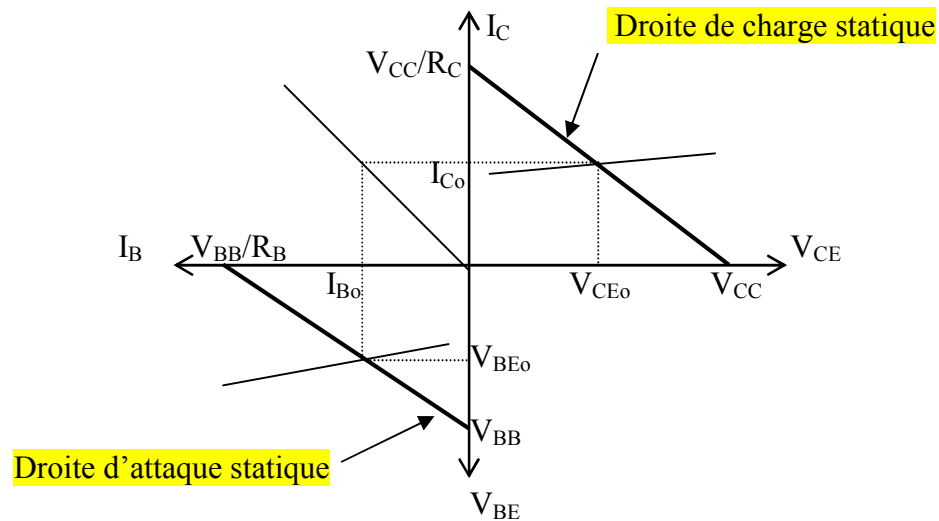
L'intersection de cette droite avec la caractéristique d'entrée du transistor donne le point  $(I_{B0}, V_{BE0})$ .

#### 5-2-3 Droite de charge statique

C'est l'équation définie par:  $I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}$



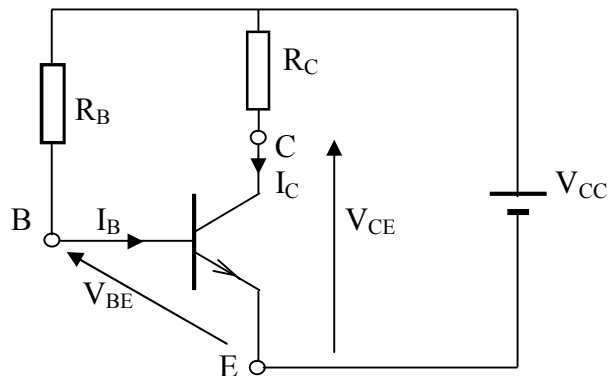
L'intersection de cette droite avec la caractéristique de sortie du transistor donne le point ( $V_{CE0}$ ,  $I_{C0}$ ).



**Figure 7:** Détermination du point de fonctionnement statique

### 5-3- Polarisation directe par résistance de base

#### 5-3-1 Schéma de montage



**Figure 8:** Polarisation directe par résistance de base

#### 5-3-2 Droite d'attaque statique

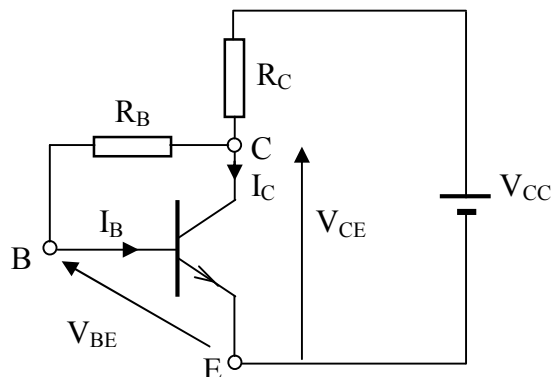
C'est l'équation définie par:  $V_{BE} = V_{CC} - R_B I_B$

#### 5-3-3 Droite de charge statique

C'est l'équation définie par:  $I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}$

### 5-4- Polarisation par résistance entre base et collecteur

#### 5-4-1 Schéma de montage



**Figure 9:** Polarisation par résistance entre base et collecteur

#### 5-4-2 Droite d'attaque statique

Dans ce cas de polarisation,  $V_{BE} = V_{CE} - R_B I_B$  et  $V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$   
avec  $I_C = \beta I_B$ , il vient :  $V_{BE} = V_{CC} - (R_B + \beta R_C) I_B$  : c'est l'équation de la droite d'attaque statique.

#### 5-4-3 Droite de charge statique

C'est l'équation définie par:  $I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}$  si on néglige  $I_B$  devant  $I_C$ .

### 5-5 Polarisation par pont de résistances de base

#### 5-5-1 Schéma de montage

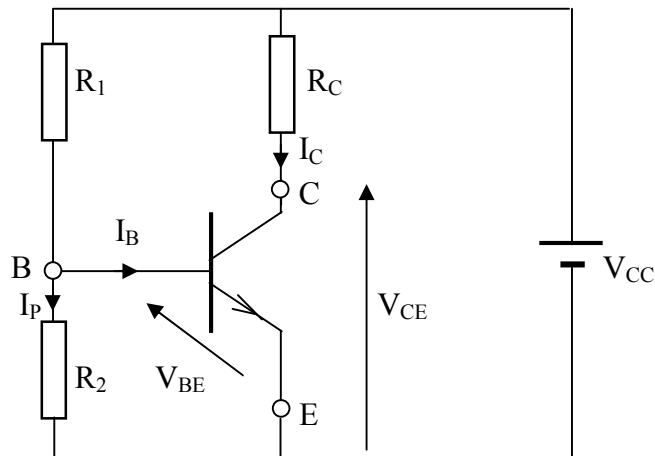


Figure 10: Polarisation par pont de résistances de base

#### 5-5-2 Droite d'attaque statique

Dans ce cas de polarisation, on peut écrire:

$$I_P + I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_1} \text{ avec } I_P = \frac{V_{BE}}{R_2}$$

D'où l'équation de la droite d'attaque statique :

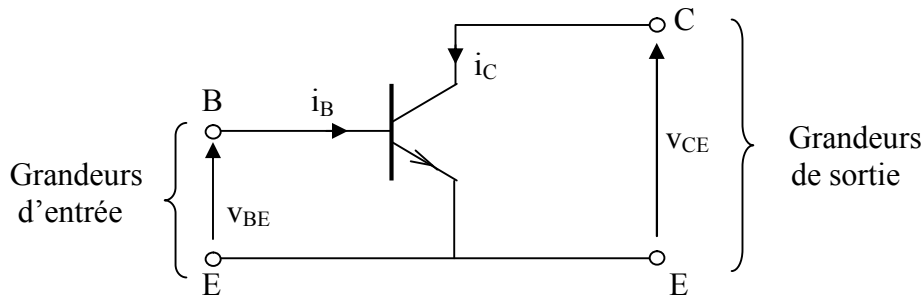
$$V_{BE} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{CC} - \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot I_B$$

#### 5-5-3 Droite de charge statique

C'est l'équation définie par:  $I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}$ .

**1- Introduction**

En régime dynamique, les grandeurs d'entrée et de sortie résultent de la superposition de grandeurs continues ou statiques ( $V_{BE0}$ ,  $I_{B0}$ ,  $I_{C0}$  et  $V_{CE0}$ ) et de grandeurs alternatives qui sont l'effet de source alternative.



**Figure 1:** Le transistor et ses grandeurs dynamiques principales

Grandeur variable = Grandeur continue + Grandeur alternative

**Exemples :**

$$\begin{aligned} V_{BE} &= V_{BE0} + v_{be} \\ i_C &= I_{C0} + i_c \end{aligned}$$

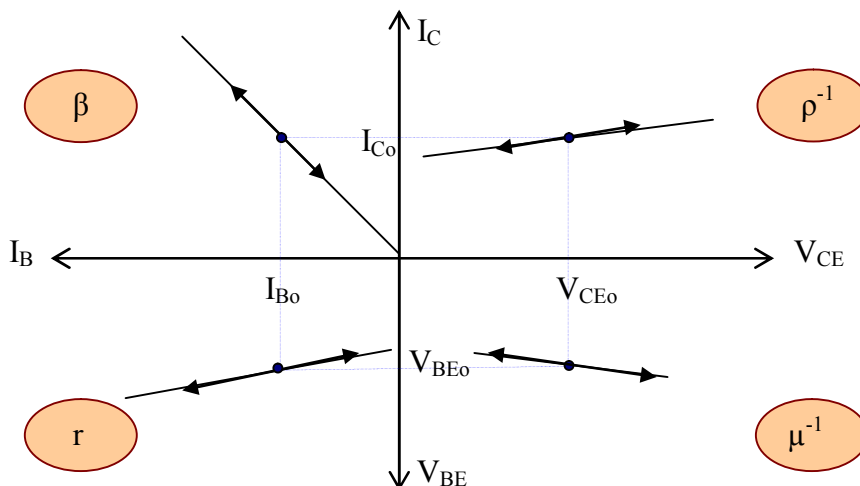
**2- Schéma équivalent du transistor en régime dynamique petits signaux**

Le point de repos étant défini par les valeurs  $V_{BE0}$ ,  $I_{B0}$ ,  $I_{C0}$  et  $V_{CE0}$  qui correspondent à 4 points fixes sur le réseau des caractéristiques statiques.

Lorsque les petites variations alternatives autour du point de repos sont respectivement  $v_{be}$ ,  $i_b$ ,  $i_c$  et  $v_{ce}$ ; on peut écrire :

$$\begin{cases} v_{be} = h_{11e} i_b + h_{12e} v_{ce} \\ i_c = h_{21e} i_b + h_{22e} v_{ce} \end{cases}$$

Les  $h_{ij}$  sont appelés paramètres hybrides du transistor monté en émetteur commun. Ces paramètres sont déterminés graphiquement sur le réseau des caractéristiques du transistor autour du point de repos.



**Figure 2:** Détermination des paramètres hybrides du transistor

- \*  $h_{11e} = r = (\Delta v_{BE} / \Delta i_B)$  :  $r$  est la résistance d'entrée du transistor.
- \*  $h_{12e} = \mu = (\Delta v_{BE} / \Delta v_{CE})$  :  $\mu^{-1}$  est l'amplification en tension du transistor.
- \*  $h_{21e} = \beta = (\Delta i_C / \Delta i_B)$  :  $\beta$  représente l'amplification en courant du transistor
- \*  $h_{22e} = \rho^{-1} = (\Delta i_C / \Delta v_{CE})$  :  $\rho$  représente la résistance de sortie du transistor.

Connaissant ces paramètres, on peut tracer le schéma équivalent du transistor en régime dynamique petits signaux basses fréquences.

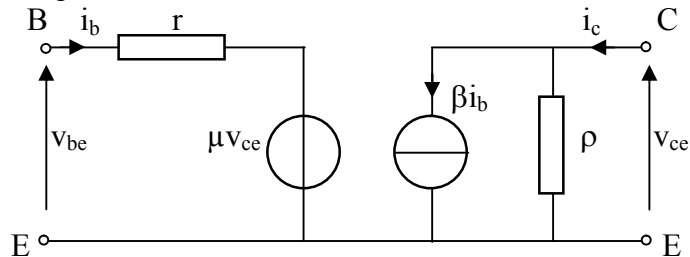


Figure 3: Schéma équivalent du transistor en régime dynamique petits signaux

**Remarque :**

En pratique  $\mu$  est de très faible valeur donc la source de tension  $\mu v_{ce}$  est souvent négligée.

### 3- Amplificateur à transistor monté en Emetteur commun

#### 3-1- Schéma du montage

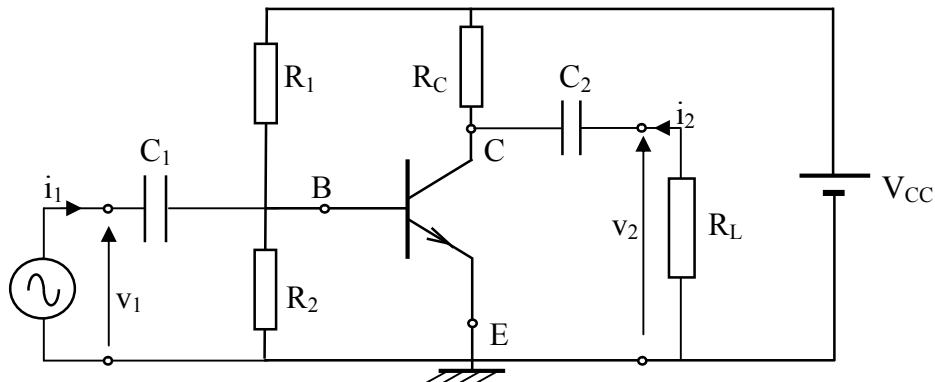


Figure 4: Amplificateur à transistor monté en émetteur commun

$C_1$  et  $C_2$  sont des condensateurs de liaison. Ils se comportent comme des courts-circuits aux fréquences des signaux à amplifier.

#### 3-2- Schéma équivalent du montage en régime dynamique petits signaux

On remplace le transistor par son schéma équivalent et on suppose court-circuitée la source de tension continue  $V_{cc}$ , on obtient ainsi :

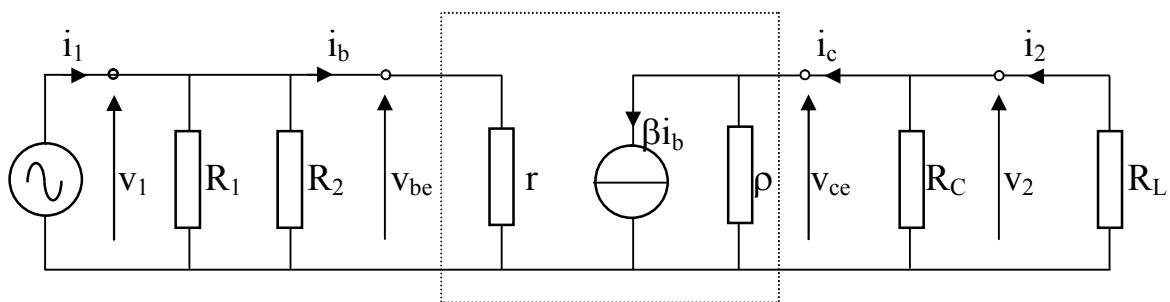


Figure 5: Schéma équivalent du montage amplificateur EC en régime dynamique

### 3-3- Paramètres caractéristiques du montage amplificateur

Résistance d'entrée :  $R_e = v_1/i_1 = R_B/r$  avec  $R_B = R_1//R_2$

Résistance de sortie:  $R_s = v_2/i_2 = R_C // \rho$

Amplification en tension:  $A_v = v_2/v_1 = - \beta R_{eq}/r$  avec  $R_{eq} = R_L//R_C// \rho$ .

Amplification en courant:  $A_i = i_2/i_1 = -(v_2/R_L) / (v_1/R_e) = -A_v R_e/R_L$ .

## 4- Autres montages amplificateurs

### 4-1 Amplificateur émetteur commun à charge répartie (Résistance émetteur non découplée)

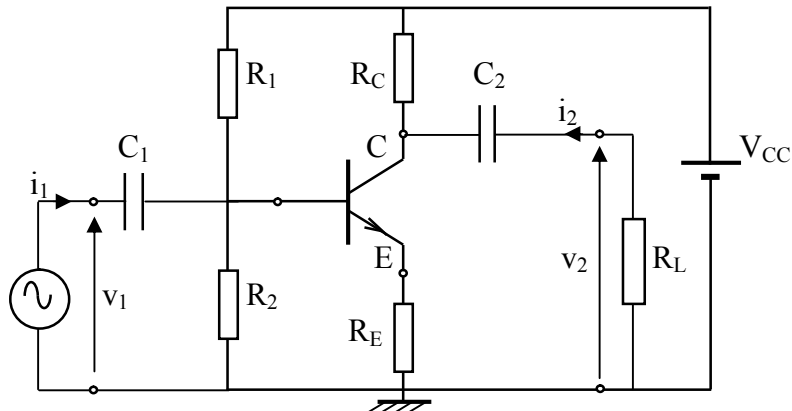


Figure 6: Amplificateur émetteur commun à résistance émetteur non découplée

### 4-2 Amplificateur à transistor monté en collecteur commun

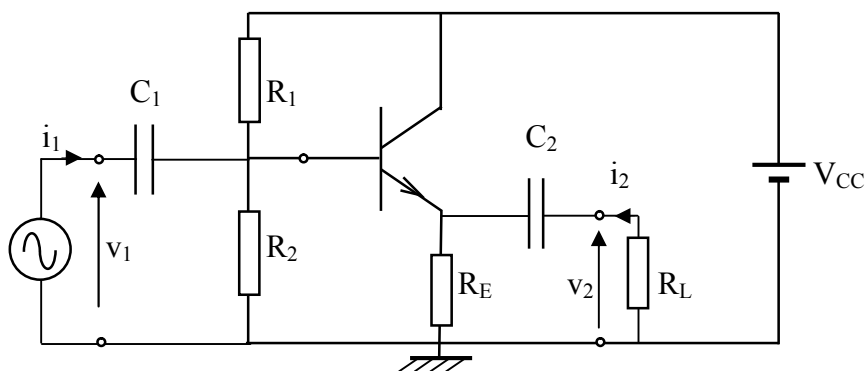


Figure 7: Amplificateur à transistor monté en collecteur commun

### 4-3 Amplificateur à transistor monté en Base commune

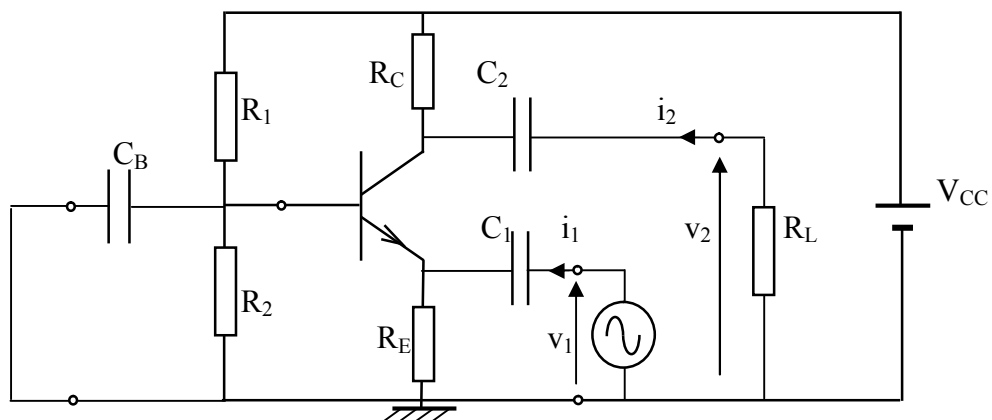


Figure 8: Amplificateur à transistor monté en base commune

**1- Transistor à effet de champ à jonction (J.FET)**

**1-1- Définition**

Le J.FET est un composant électronique à semi-conducteurs. Il possède trois électrodes : le Drain (**D**), la Grille (**G**) et la Source (**S**).

**1-2- Symboles**

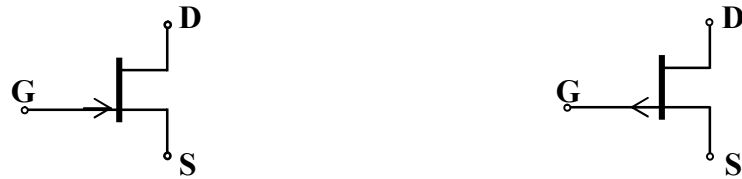


Figure 1 : J.FET canal N

J.FET canal P

**1-3- Polarisation**

Le J.FET canal N doit être alimenté de façon à ce que la tension Grille-Source soit négative ( $V_{GS} < 0$ ) et la tension Drain-Source soit positive ( $V_{DS} > 0$ ).

Le J.FET est commandé par la tension  $V_{GS}$  (le courant  $I_G$  étant nul).

**1-4- Caractéristiques statiques (J.FET canal N)**

Du fait que le courant Grille  $I_G = 0$ , les caractéristiques du J.FET se limiteront :

$I_D = f(V_{GS})$  à  $V_{DS} = \text{constante}$  : **Caractéristique de commande.**

$I_D = f(V_{DS})$  à  $V_{GS} = \text{constante}$  : **Caractéristique de sortie.**

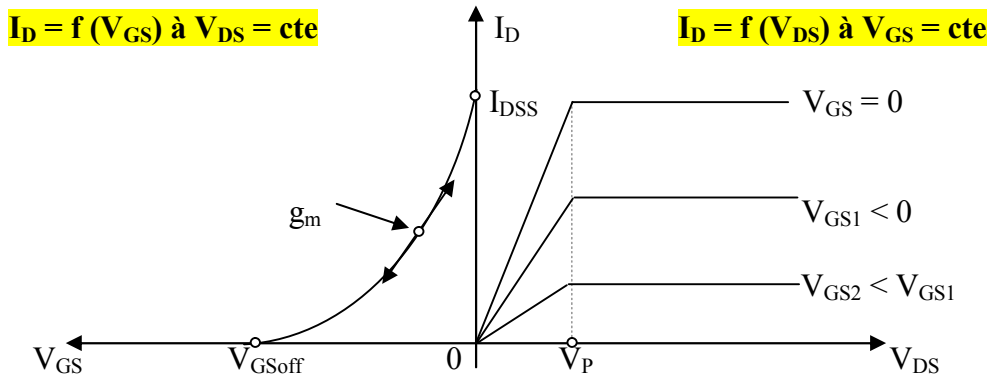


Figure 2 : Caractéristiques statiques du J.FET canal N

$V_{GSoff}$ : tension de blocage.

$I_{DSS}$ : courant drain de saturation maximale (à  $V_{GS} = 0$ ).

$V_P$ : tension de pincement.

$g_m$ : pente en un point de la caractéristique  $I_D = f(V_{GS})$ .

On distingue deux zones utiles définissant deux régimes de fonctionnement :

**Pour  $V_{DS} < V_P$**  : zone ohmique, le J.FET se comporte comme une résistance dépendant de  $V_{GS}$ .

**Pour  $V_{DS} > V_P$**  : zone de saturation, dans laquelle le courant  $I_D$  est pratiquement constant.

**1-5- Equations**

- Approximation parabolique de  $I_D = f(V_{GS})$  à  $V_{DS} = \text{cte}$  :

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GSoff}}\right)^2$$

$V_{GSoff}$  et  $I_{DSS}$  sont données par le constructeur.

- Résistance différentielle :  $R_{DS} = (\Delta V_{DS} / \Delta I_D)$  à  $V_{GS} = \text{cte}$ .
- Transconductance :  $g_m = (\Delta I_D / \Delta V_{GS})$  à  $V_{DS} = \text{cte}$  :

On démontre que  $g_m = g_{m0} (1 - V_{GS} / V_{GSoff}) = g_{m0} (I_D / I_{DSS})^{1/2}$ .

## 2- Transistor à effet de champ à Grille isolée (MOS.FET)

### 2-1- Définition

Le MOS.FET est un transistor à effet de champ dont la grille est isolée du semi-conducteur par une couche isolante (Silice :  $\text{SiO}_2$ ).

### 2-2- Symboles

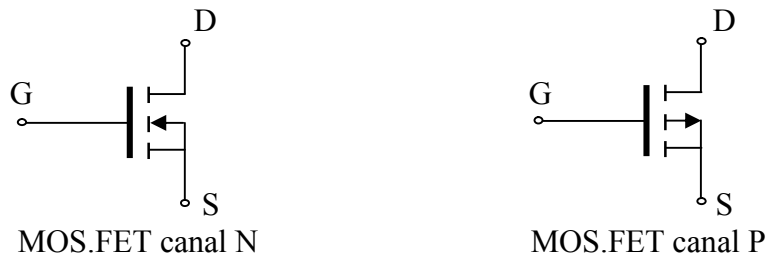


Figure 3 : MOS.FET à enrichissement

### 2-3- Caractéristiques statiques

Du fait que le courant Grille  $I_G = 0$ , les caractéristiques du J.FET se limiteront :

$I_D = f(V_{GS})$  à  $V_{DS} = \text{constante}$  : *Caractéristique de commande.*

$I_D = f(V_{DS})$  à  $V_{GS} = \text{constante}$  : *Caractéristique de sortie.*

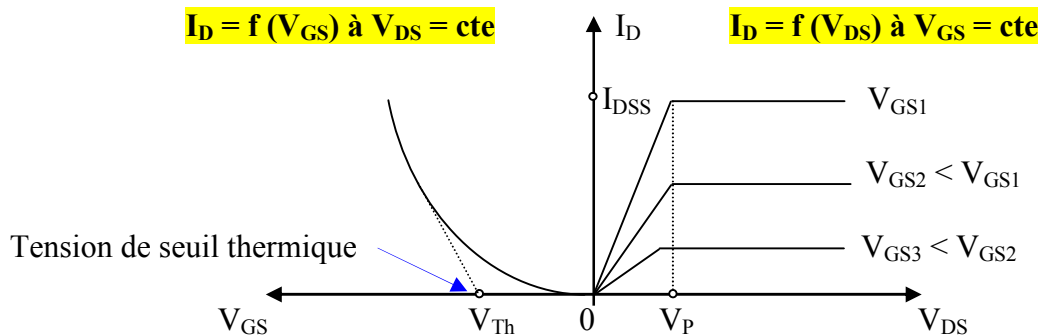


Figure 4 : Caractéristiques statiques du J.FET

## 3- Le transistor à effet de champ en amplification

### 3-1 Schéma équivalent du J.FET en régime dynamique

En régime dynamique petits signaux, on peut écrire :  $i_d = v_{ds} / r_{ds} + g_m v_{gs}$

D'où l'on en déduit le schéma équivalent du J.FET en source commune :

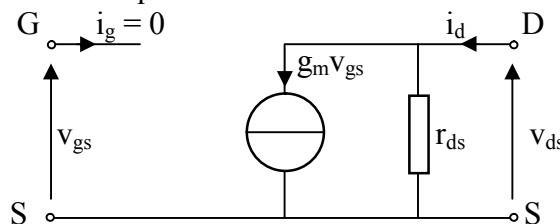
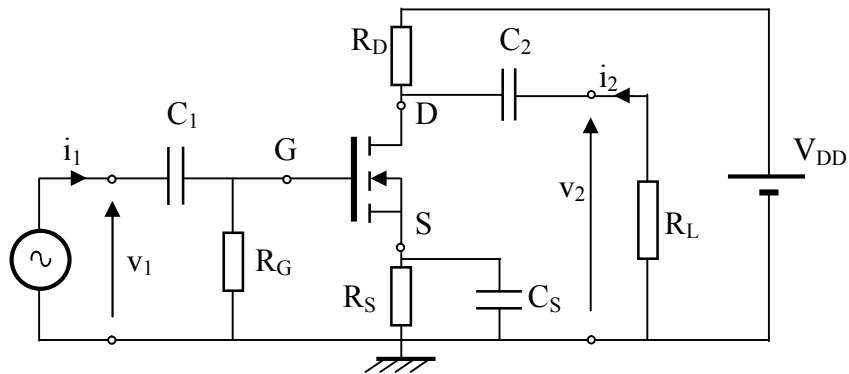


Figure 5 : Schéma équivalent du J.FET

### 3-2 Montage amplificateur Source-commune

Soit le montage amplificateur suivant :



$C_1$  et  $C_2$  sont deux condensateurs de liaison et  $C_S$  est un condensateur de découplage.

Figure 6 : Montage amplificateur source commune

### 3-3 Schéma équivalent du montage amplificateur Source-commune

On remplace le transistor par son schéma équivalent et on suppose court-circuité la source de tension continue  $V_{CC}$ , on obtient ainsi :

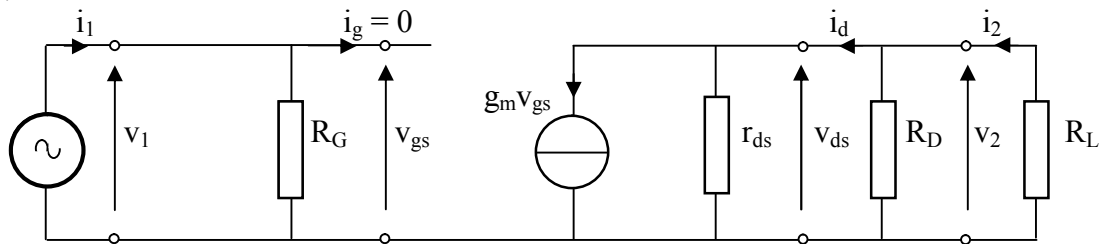


Figure 7 : Schéma équivalent du montage amplificateur source commune

### 3-4 Paramètres caractéristiques du montage amplificateur

- Résistance d'entrée :  $R_e = v_1/i_1 = R_G$  (résistance très élevée).
- Résistance de sortie :  $R_s = v_2/i_2 = R_D // r_{ds}$
- Amplification en tension:  $A_v = v_2/v_1 = -g_m v_{gs} R_{eq} / v_{gs} = -g_m R_{eq}$  avec  $R_{eq} = R_L // R_D // r_{ds}$ .
- Amplification en courant:  $A_i = i_2/i_1 = -(v_2/R_L) / (v_1/R_e) = -A_v R_e/R_L$ .

## 4- Le transistor à effet de champ en résistance commandée

Pour des tensions  $V_{DS}$  inférieures à la tension de pincement, le J.FET se comporte comme une résistance dont la valeur dépend de  $V_{GS}$ .

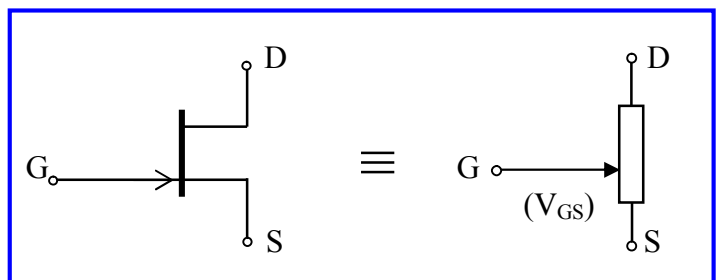
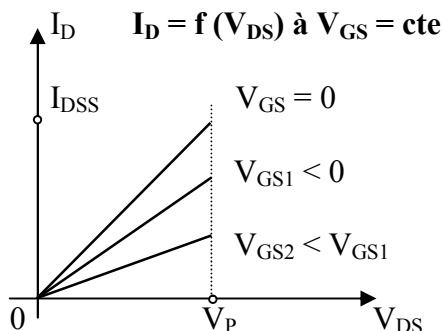


Figure 8 : Fonctionnement du JFET en résistance commandée



### 1- Définition

La fonction commutation consiste à établir ou interrompre brusquement l'intensité du courant dans un circuit électrique.

En électronique, cette fonction peut être réalisée par des composants pouvant avoir deux états distincts : l'un passant, l'autre bloqué.

Exemples: Transistor bipolaire, MOS.FET, ...

### 2- Diode en commutation

Lorsque la diode fonctionne en commutation, elle est soit passante soit bloquée.

Dans le montage ci-après, la diode D est alimentée par un générateur délivrant un signal carré (basculant entre les deux valeurs 0 et +E ), elle fonctionne donc en commutation.

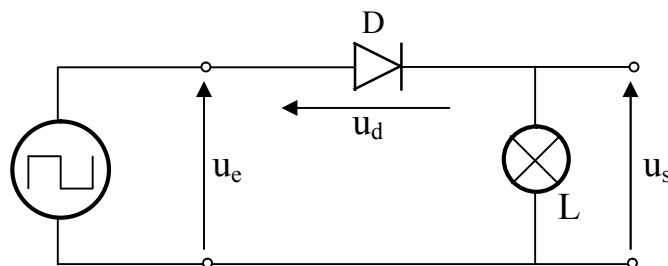


Figure 1: Diode fonctionnant en commutation

### 3- Transistor bipolaire en commutation

#### 3-1 Introduction

Soit le montage suivant :

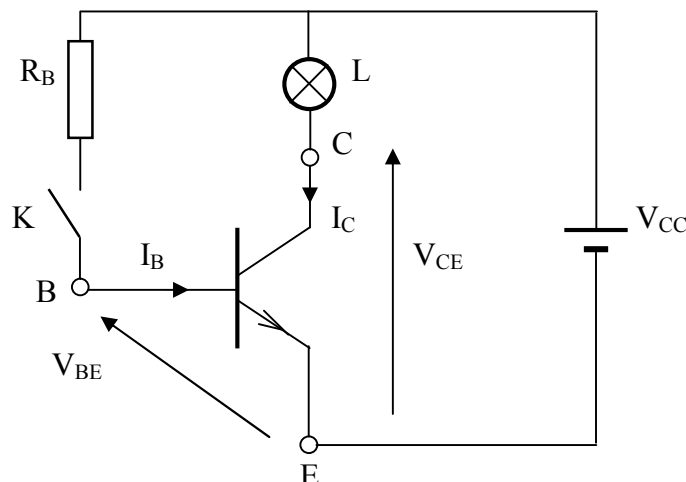


Figure 2: Transistor fonctionnant en commutation

L'état de la lampe L dépend de l'état du transistor (bloqué ou saturé); donc de l'état de l'interrupteur K.

- Si K est ouvert :  $I_B = 0$  donc L éteinte.
- Si K est fermé :  $I_B \neq 0$  donc L allumée.

Le transistor joue le rôle d'un interrupteur *ouvert* lorsqu'il est **bloqué**, d'un interrupteur *fermé* lorsqu'il est **saturé**.

### 3-2 Interprétation

Les points de fonctionnement du transistor sont choisis dans les zones de blocage et de saturation.

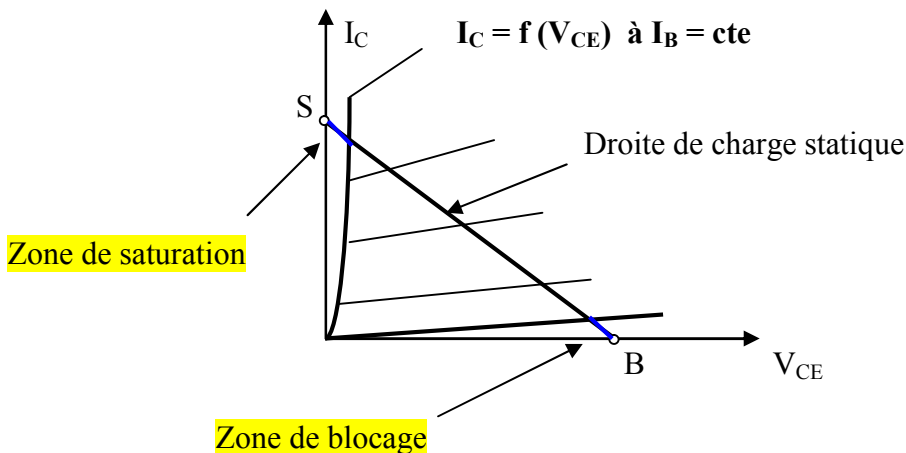


Figure 3: Zones de fonctionnement en commutation

- Dans la zone de saturation :  $V_{CE} = V_{CE\text{ sat}} \approx 0$  et  $I_C = I_{C\text{ sat}} = I_{C\text{ max}}$ . **Le transistor est dit saturé.**
  - Dans la zone de blocage :  $V_{CE} \approx V_{CC}$  et  $I_C \approx 0$ . **Le transistor est dit bloqué.**
- Lorsque le transistor fonctionne en commutation parfaite son point de fonctionnement est :
- Soit en S, le transistor est **parfaitement saturé** :  $V_{CE} = 0$  et  $I_C = I_{C\text{ sat}} \neq 0$ .  
Le transistor est équivalent à un interrupteur fermé (figure 4).
  - Soit en B, le transistor est **parfaitement bloqué** :  $V_{CE} = V_{CC} \neq 0$  et  $I_C = 0$ .  
Le transistor est équivalent à un interrupteur ouvert (figure 5).

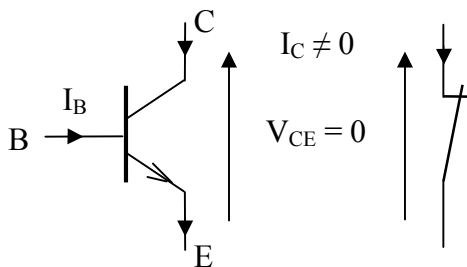


Figure 4 : Transistor saturé

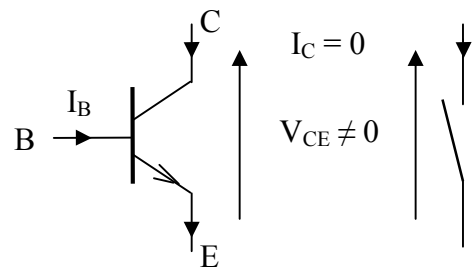
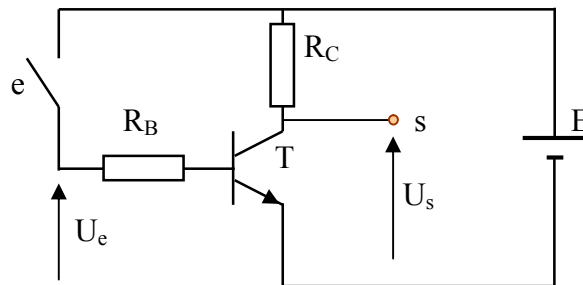


Figure 5 : Transistor bloqué

## 4- Exemples de réalisation de fonctions logiques

### 4-1- Fonction logique .....

#### a- Schéma de principe



L'état du transistor (passant ou bloqué) dépend de l'état de l'interrupteur e (**fermé** '1 logique' ou **ouvert** '0 logique').

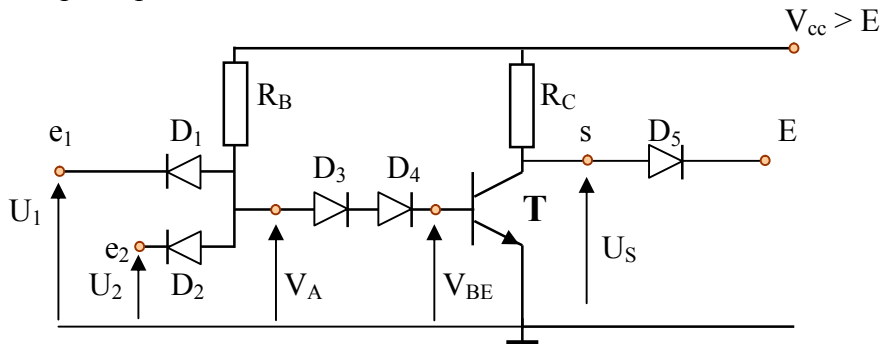
b- Table de fonctionnement

Tension d'entrée $U_e$	Valeur logique d'entrée e	Tension de sortie $U_s$	Valeur logique de sortie s	Etat du transistor T
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....

c- Equation logique :  $s = \dots\dots\dots$

**4-2- Fonction logique .....**

a- Schéma de principe



Les diodes  $D_i$  sont identiques et ont pour tension de seuil 0,7 V.  
Le transistor T fonctionne en commutation. Sa tension  $V_{BE} = 0,7$  V lorsqu'il est saturé.  
 $R_C$  et  $R_B$  sont choisies de façon que  $V_{CEsat} = 0$  V.

b- Table de fonctionnement

et

Table de vérité

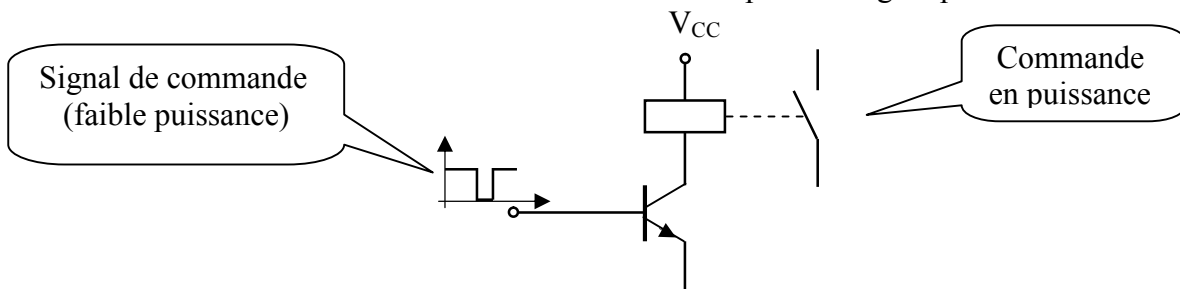
$U_1$	$U_2$	$V_A$	$U_S$
0	0	.....	.....
0	E	.....	.....
E	0	.....	.....
E	E	.....	.....

$e_1$	$e_2$	S
0	0	.....
0	1	.....
1	0	.....
1	1	.....

c- Equation logique :  $S = \dots\dots\dots$

**5- Utilisation du transistor dans la commutation de puissance**

Le transistor fonctionne en commutation et son état dépend du signal présent coté Base.



## BIBLIOGRAPHIE

- [1] S. Cœurdacier, Electronique : Tome 1 : *Les composants discrets non linéaires*  
Edition : Dunod 1979
- [2] F. Manneville et J. Esquieu, Electronique : *Théorie du signal et composants*  
Edition : Dunod 1989
- [3] J M. Fouchet et A. Perez-Mas, *Electronique pratique*  
Edition : Dunod 1996
- [4] A. P. Malvino, *Principes d'électronique*  
Edition : Ediscience international 1997
- [5] F. Milsant, Cours d'électronique : *Composants électroniques*  
Edition : Eyrolles, 1992
- [6] T. L. Floyd, Electronique : *Composants et systèmes d'application*  
Edition : Reynald Goulet Inc., 1999
- [7] C. Cimelli, R. Bourgeron, *Guide du technicien en électronique*  
Edition : Hachette technique, 1995

