

FICHE MATIERE

Unité d'enseignement : **Electronique 1**

ECUE n° 1 : **Electronique Générale**

Chapitre 1

La Diode à Jonction

Nombre d'heures/chapitre : 4h

Cours intégré

Système d'évaluation : **Continu**

OBJECTIFS DE L'ENSEIGNEMENT :

- Connaître les composants élémentaires de l'électronique et leurs applications dans les fonctions de base

CONTENU THEORIQUE :

Dans ce chapitre on s'intéresse à la base de fabrication et de fonctionnement d'une diode à jonction tout en caractérisant sa réponse pour différentes méthodes de polarisation.

De plus on détermine ses caractéristiques électriques de point de vue courant tension ou bien dynamique de point de vue résistance interne.

Enfin en détail ses schémas équivalents tout en illustrant tout ça avec des applications explicatives.

Chapitre 1

La Diode à Jonction**1. Introduction :**

Une diode est un dipôle passif non linéaire, polarisé dont le fonctionnement macroscopique est assimilable à celui d'un interrupteur commandé qui ne laisse passer le courant que dans un seul sens.



Figure I-1

2. La jonction PN :

Une jonction est la limite de séparation entre un semiconducteur de type N et un semiconducteur de type P.

2.2. Jonction PN non polarisée :

Au voisinage de la jonction, les électrons libres (porteurs majoritaires) de la zone N franchissent la jonction et diffusent vers les trous (porteurs majoritaires) de la zone P laissant en place des ions fixes (positif côté N, négatif côté P).

Cette diffusion des électrons et des trous donne naissance à un courant de majoritaires I_M appelé courant de diffusion. Ce phénomène va s'arrêter quand un champ électrique E_d , créée par les ions fixes sera suffisant pour s'opposer au mouvement des porteurs majoritaires. Il apparaît, alors, entre les semiconducteurs de type N et de type P, une différence de potentiel V_0 , appelée barrière de potentiel.

Celle-ci maintient les porteurs majoritaires dans leurs zones respectives, sauf pour ceux qui possèdent une énergie $W_0=eV_0$ nécessaire pour franchir la barrière. Le courant dû à ces porteurs est de la forme :

$$I_M = I_0 \exp\left(-\frac{eV_0}{KT}\right)$$

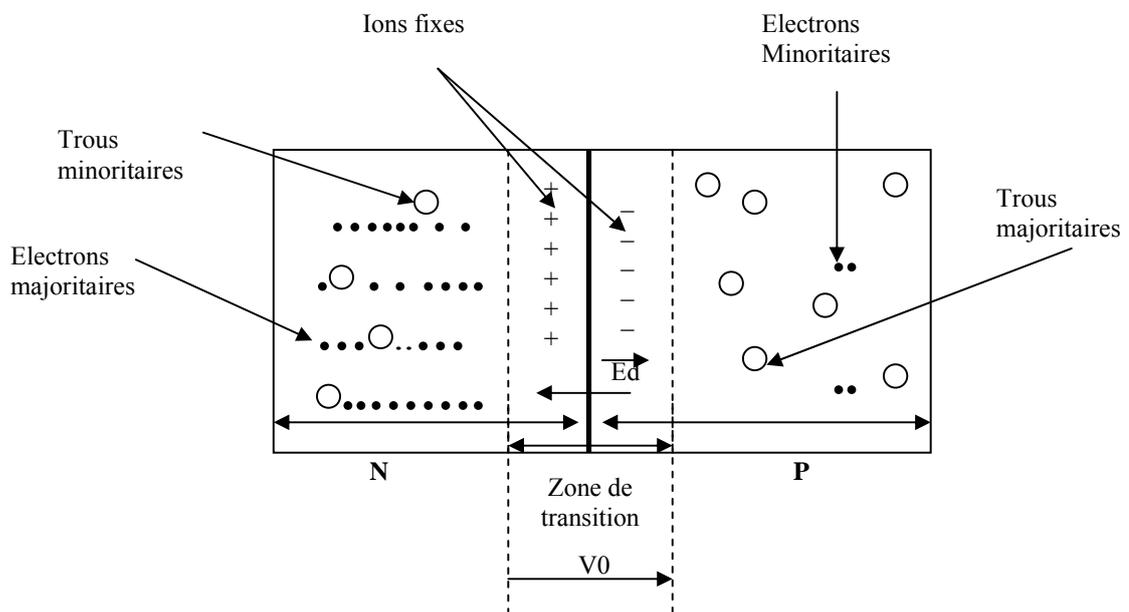


Figure I-2 Equilibre au niveau de la jonction

e : la charge de l'électron = $- 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

K : constante de Boltzmann = $1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

T : température absolue, en $^{\circ}\text{K}$

V_0 : barrière de potentiel

Par contre, cette barrière de potentiel va favoriser le passage des porteurs minoritaires (les électrons côté P, les trous côté N) conduisant à un courant I_s très faible, appelé courant de saturation I_s . Ce courant ne dépend que du nombre des porteurs minoritaires se trouvant au voisinage de la jonction et indépendant de V_0 .

Les deux courants antagonistes (diffusion des majoritaires et conduction des minoritaires) s'équilibrent et leur somme est nulle en régime permanent et en absence de champ électrique extérieur.

$$I_M - I_s = 0$$

Et le courant de saturation s'écrit alors :

$$I_s = I_0 \exp\left(-\frac{eV_0}{KT}\right)$$

2.4. Polarisation directe :

Supposons que le potentiel du semiconducteur de type N restant constant, on relève, à l'aide d'une source d'énergie externe, le potentiel du semiconducteur de type P, la barrière de potentiel passe, alors, de V_0 à $V_0 - V_D$.

Le courant dû aux porteurs majoritaires devient :

$$I_0 \exp\left(-\frac{e(V_0 - V_D)}{KT}\right) = I_0 \exp\left(-\frac{eV_0}{KT}\right) \exp\left(\frac{eV_D}{KT}\right) = I_s \exp\left(\frac{eV_D}{KT}\right)$$

En tenant compte du courant inverse (courant des minoritaires) il circule dans la diode (de P vers N) un courant appelé courant direct :

$$I_D = I_s \left[\exp\left(\frac{eV_D}{KT}\right) - 1 \right] \approx I_s \exp\left(\frac{eV_D}{KT}\right)$$

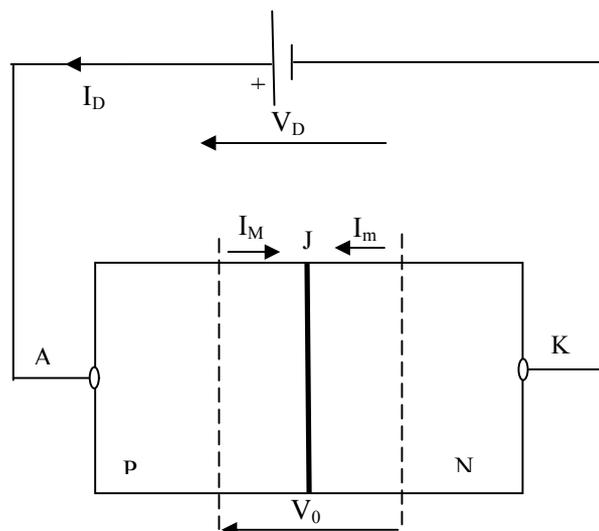


Figure I-3

2.5. Polarisation inverse :

Si on branche le générateur dans le sens inverse du cas précédant, on renforce le champ électrique interne, et on empêche le passage des porteurs majoritaires : les électrons libres sont repoussés dans la zone N et les trous dans la zone P ; on assure la séparation des charges (zone de déplétion ou de transition). La barrière de potentiel s'établit à $V_0 + V_D$. Il circule dans la diode (de N vers P) un courant I_i appelé courant inverse qui est dû aux porteurs minoritaires.

$$I_i = I_s \left[1 - \exp\left(-\frac{eV_D}{KT}\right) \right] \approx I_s$$

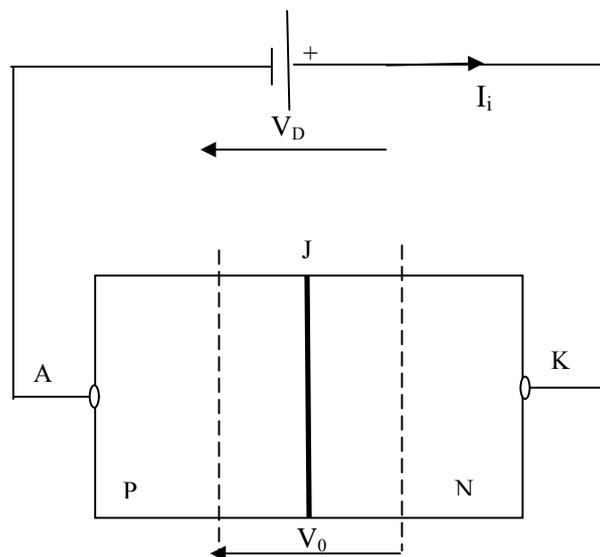


Figure I-4

2.4. Effet de la température :

Pour V_D positif, la diode à un coefficient de température négatif égal à -2mV/K . Pour V_D négatif, le courant de saturation I_s varie très rapidement avec la température. IL est plus important pour le germanium que pour le silicium, et croît plus vite, ce qui devient rapidement gênant. Dans le silicium, ce courant double tous les 6°C .

3. Caractéristiques électriques :

3.1. Caractéristique courant / tension :

On a vu précédemment que le courant était négligeable pour une tension $V_D = V_P - V_N$ négative (ceci est vrai jusqu'à une tension V_C dite tension de claquage). Au-dessus d'un certain seuil V_0 , le courant direct croît très rapidement avec V_D .

Le seuil V_0 (barrière de potentiel) dépend du semiconducteur intrinsèque de base utilisé. Il est d'environ 0.2 V pour le germanium et 0.6 V pour le silicium. La caractéristique est représentée à la figure I-5.

- Caractéristique directe ($V_D > 0$) $I_D = I_M = I_s [\exp(\frac{V_D}{V_T})]$ avec $V_T = \frac{KT}{e}$

pour $t = 27\text{ }^\circ\text{C}$, $T = 300\text{ }^\circ\text{K}$, $\frac{e}{KT} = \frac{1.59 \cdot 10^{-19}}{1.38 \cdot 10^{-23} \times 300} \approx 39$ soit, $V_T \approx 26\text{ mV}$

- Caractéristique inverse ($V_D < 0$). Phénomène de claquage : $I_D = -I_s$

Quand la tension appliquée dépasse la valeur spécifiée par le fabricant, le courant décroît très rapidement. S'il n'est pas limité par des éléments externes, il y a destruction rapide de la diode.

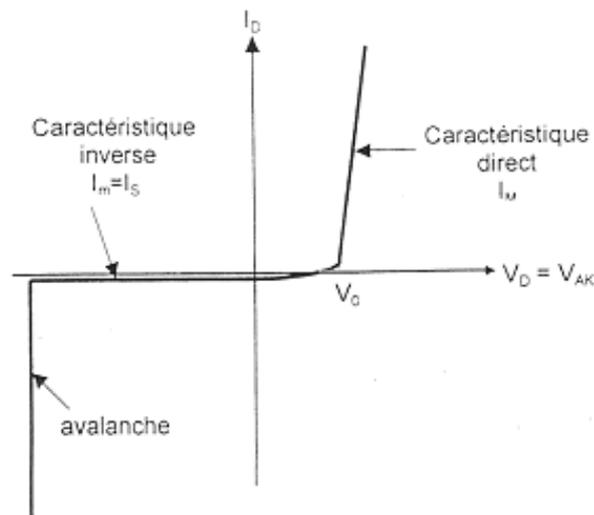


Figure I-5

3.2. Résistance différentielle (ou dynamique) :

La résistance dynamique étant l'inverse de la pente en un point de fonctionnement de la caractéristique. C'est la résistance dynamique au point de fonctionnement (V_d , I_d). Elle est fonction du courant de polarisation I_d au point étudié.

La figure I-6 donne la valeur de r_d en fonction de la tension de la diode : les variations sont très importantes :

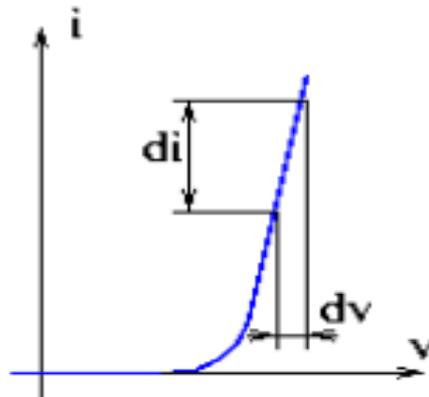


Figure I-6

On peut la déduire par dérivation de la relation suivante :

$$i = I_s \left[\exp \left(\frac{e V_D}{KT} \right) - 1 \right] ; \frac{1}{r} = \frac{di}{dv} = \frac{e}{KT} I_s \exp \left(\frac{e V_D}{KT} \right) . \text{ Donc } r = \frac{dv}{di} = \frac{KT}{e I_s} \exp \left(-\frac{e V_D}{KT} \right)$$

4 Schéma équivalent :

Plusieurs schémas équivalents simplifiés sont proposés pour la représentation de la diode.

4.1. Diode idéale :

Dans ce cas, on néglige la tension de seuil et la résistance interne de la diode. La caractéristique est alors celle de la figure I-7.

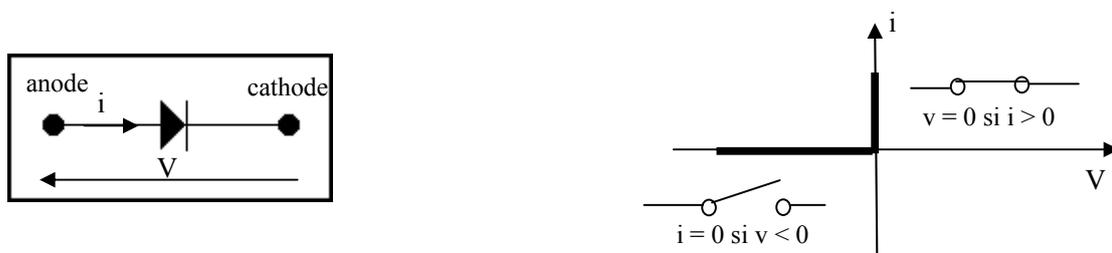


Figure I-7

4.2. Diode avec seuil :

On peut continuer à négliger la résistance interne, mais tenir compte du seuil de la diode. La caractéristique devient :



Figure I-8

Ce schéma est le plus utilisé pour les calculs :

- * Si la diode est polarisée en directe : $v = V_0$
- * Si la diode est polarisée en inverse ($v < V_0$) : $i = 0$.

4.3. Diode avec seuil et résistance :

Ici, on prend en compte de la résistance de la diode. Ceci peut être utile si on utilise la diode en petits signaux alternatifs et qu'on a besoin de sa résistance dynamique.

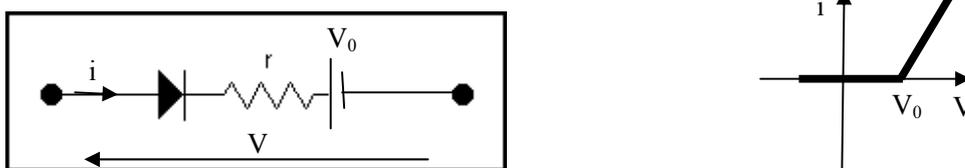


Figure I-9

Remarque : Dans ce cas, on considère que la résistance dynamique est constante. Ce qui n'est vrai que si la variation du signal alternatif est très petite autour du point de polarisation en continu.

5. Point de fonctionnement :

Considérons le circuit de la figure I-10. La caractéristique $I = f(V)$ d'une diode réelle étant non linéaire, le point de fonctionnement peut être déterminé graphiquement. En traçant sur un même graphique la droite de charge statique définie par l'équation :

$$I = \frac{E - V}{R}$$

Le point de fonctionnement de la diode, défini par (I_M, V_M) est l'intersection des deux courbes (figure I-11)

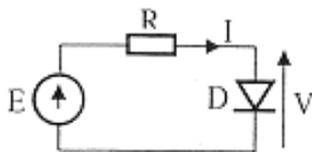


Figure I-10

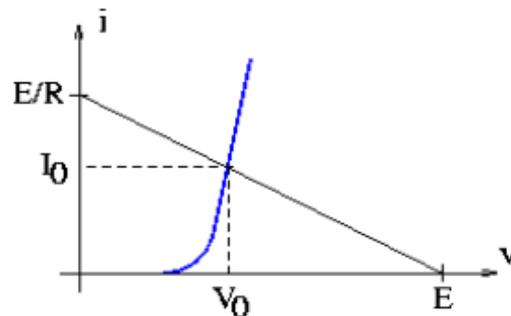


Figure I-11

Si la caractéristique de la diode est linéaire, le point de fonctionnement peut être déterminé analytiquement. Les coordonnées du point de fonctionnement (V_M, I_M) seront déterminées, dans ce cas, comme suit :

D'une part on a $V_M = V_0 + r I_M$ (caractéristique de la diode) et d'autre part $V_M = E - R I_M$ (loi des mailles), d'où :

$$I_M = \frac{E - V_0}{R + r} \quad \text{et} \quad V_M = \frac{E \cdot r + V_0 R}{R + r}$$

6. Application :

Soit le circuit à diode suivant : Figure I-12.

Avec $I_s = 10^{-11} A$, $e = -1.6 \cdot 10^{-19} C$, $K = 1.38 \cdot 10^{-23} K$ et $T = 179 C$

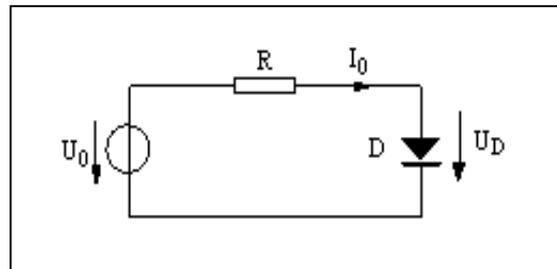


Figure I-12

On veut imposer un courant $I_0 = 1 \text{ mA}$ à partir d'une source $U_0 = 2 \text{ V}$.

1/En utilisant le modèle exponentiel de la diode, calculez

- a) la chute de tension aux bornes de la diode
- b) la résistance R nécessaire pour imposer le courant I_0
- c) la résistance dynamique de la diode au point de fonctionnement

2/ En utilisant le modèle simplifié de la diode ($U_D = U_j = 0.7 \text{ V}$), calculez le courant I_0 en prenant la même résistance que celle trouvée précédemment.

Corrigé :

I/ a) De l'équation de la diode $I = I_s (\exp(\frac{eU_D}{KT}) - 1) \approx I_s \exp(\frac{eU_D}{KT})$ on obtient

$$U_D = \frac{KT}{e} \ln\left(\frac{I_D}{I_s}\right) \text{ d'où } U_D = 0.72 \text{ V}$$

b) Comme $U_D = U_0 - RI_0$, on obtient pour R :

$$R = \frac{U_0 - U_D}{I_0} = \frac{U_0 - \frac{KT}{e} \ln\left(\frac{I_D}{I_s}\right)}{I_0}$$

$$R = 1.28 \text{ k}\Omega$$

c) Résistance dynamique : $r_d = \frac{KT}{eI_0}$; $r_d = 39 \Omega$

- 1.2 Avec le modèle simplifié de la diode, $U_d = 0.7V$

$$\Rightarrow I_0 = \frac{U_o - 0.7}{R} = 1.016 \text{ mA.}$$

soit une différence de 1.6% au résultat donné par le modèle exponentiel.