

# Lois Physiques

---

## Chapitre 2 Les diodes

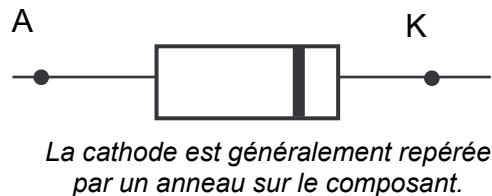
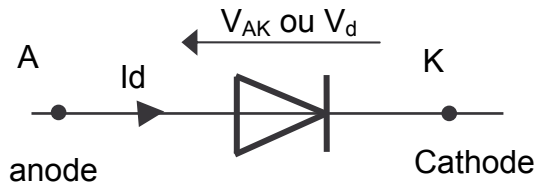
---

**G. MALEJACQ**

# LES DIODES

## I- PRESENTATION

### 1.1 Symbole



Une diode est un composant ne permettant la circulation du courant que dans un seul sens (l'équivalent d'une valve en pneumatique). On parle aussi de jonction PN. Elle est obtenue en définissant dans un semi-conducteur deux zones de dopage, l'une de type N où les porteurs de charges sont des électrons et l'autre de type P où se sont les "trous" qui transportent les charges électriques.

### 1.2 Terminologie

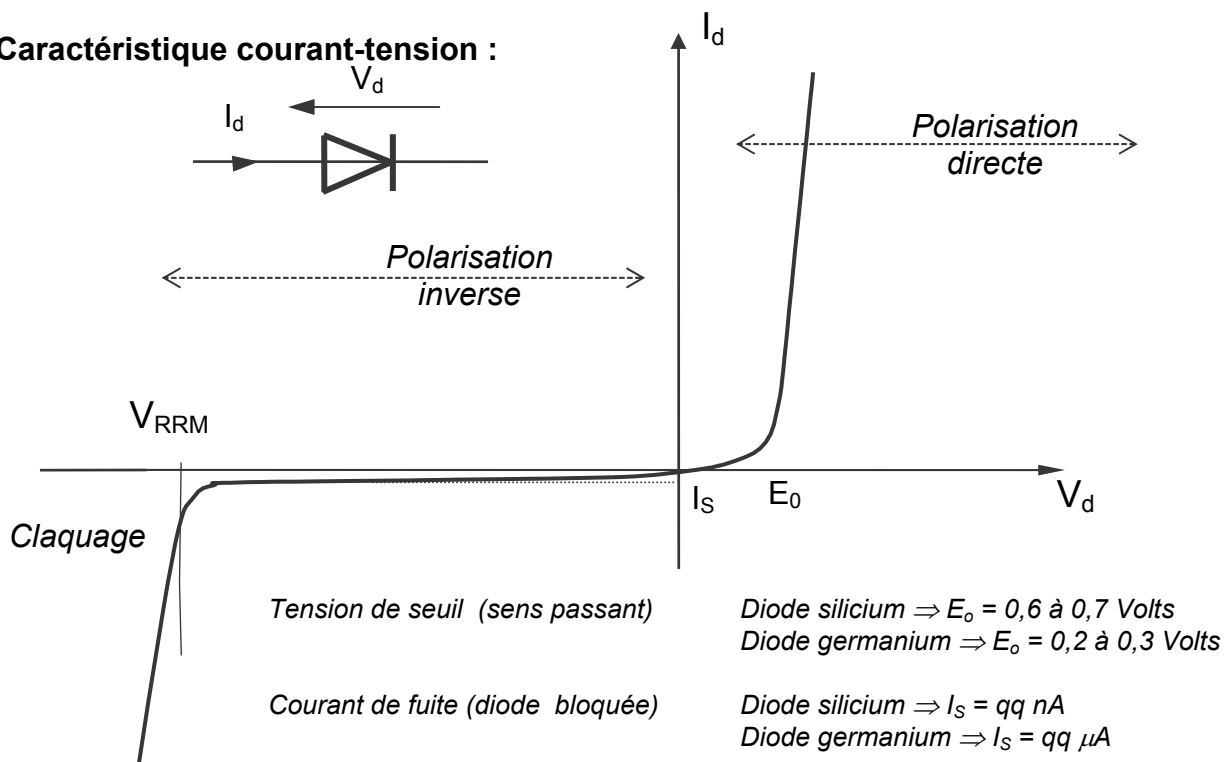
*Une diode peut être **passante***

La diode devient passante si la tension  $V_d$  est positive et si le courant  $I_d$  est positif. Dans ce cas, la tension  $V_d$  est à peu près égale à la tension de seuil et le courant traversant dépend uniquement du montage qui l'entoure.

*Ou être **bloquée***

La diode se bloque si la tension  $V_d$  est **négative** (ou nulle). Le courant la traversant est extrêmement faible (on le néglige très souvent). La tension à ses bornes est alors négative, sa valeur dépend des éléments du montage.

### 1.3 Caractéristique courant-tension :



La courbe ci-dessous (à l'exception de la zone de claquage) répond à la formule suivante :

$$I_d = I_S \left( \exp \frac{qV_d}{mkT} - 1 \right) \quad \text{où} \quad \begin{cases} I_S \text{ est le courant inverse (de fuite)} \\ q \text{ la charge de l'électron} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ k \text{ constante de Boltzman} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \\ T \text{ température absolue (Kelvin)} \\ m \text{ est un coefficient d'ajustement.} \end{cases}$$

On constate en effet que lors d'une polarisation inverse nous avons :  $V_d < 0$  pour  $I_d \approx I_S$ .  
A l'état passant, le courant inverse  $I_S$  devient très faible devant  $I_d$ , il peut alors être négligé

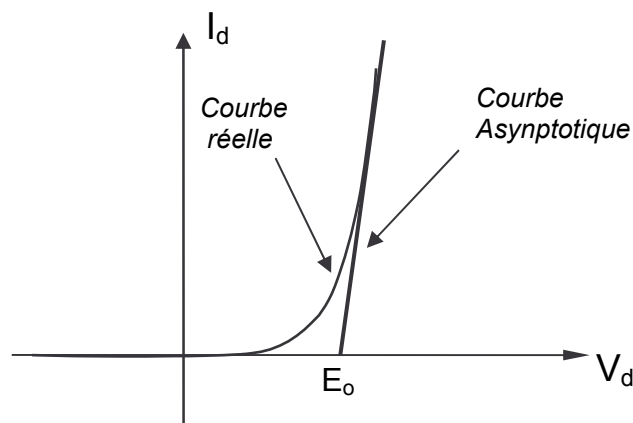
dans cette expression. On peut simplifier la formule à  $I_d = I_S \exp \frac{qV_d}{mkT}$

Cette expression sera mise en œuvre dans le cas où la diode est utilisée pour ses propriétés intrinsèques (zone exponentielle, évolution du comportement avec la température ...). Pour la plupart des analyses, il sera employé un modèle simplifié allégeant de beaucoup les calculs.

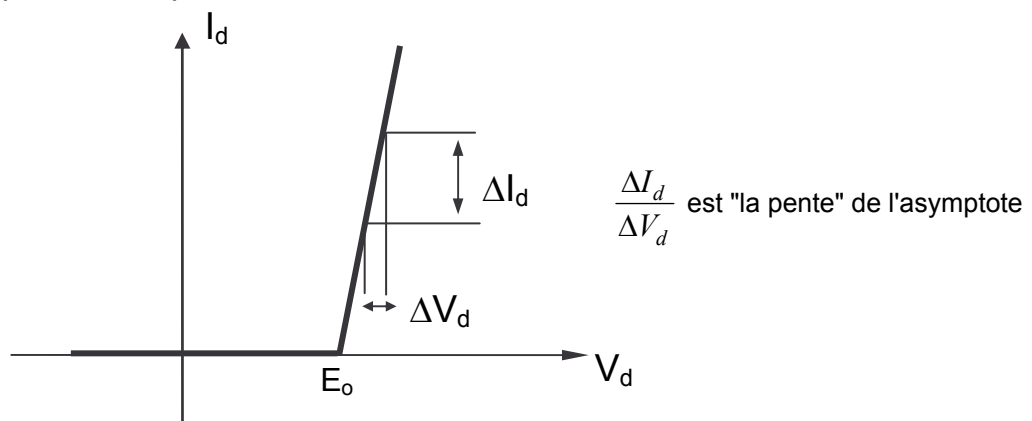
## II- Modélisation de la diode.

### 2.1 Le modèle asymptotique.

On réalise ici une linéarisation par segment de la caractéristique réelle.



La caractéristique retenue pour ce modèle devient

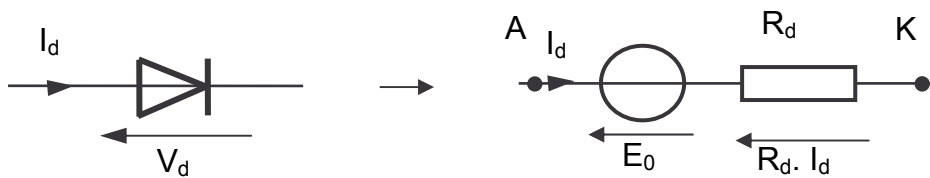


On appellera  $E_0$  la tension de seuil de la diode et le rapport  $R_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d}$  sa résistance interne.

Ces deux éléments nous permettent d'écrire lorsque  $I_d > 0$  (cas d'une diode passante) :

$$V_d = E_0 + R_d \cdot I_d$$

Il s'ensuit que le modèle électrique du composant équivalent à l'état passant est :

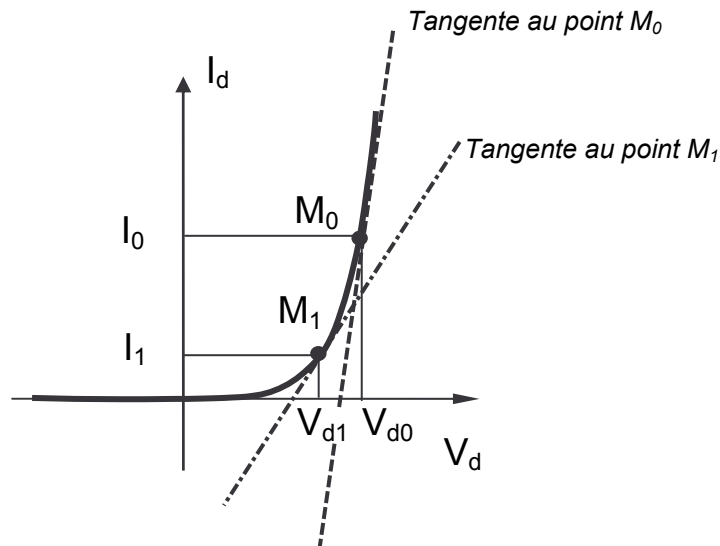


**Remarque concernant la résistance  $R_d$ .**

En dérivant l'expression  $I_d = I_s \left( \exp \frac{qV_d}{mkT} \right)$  en fonction de  $V_d$  on dispose de l'expression analytique de  $R_d$  pour un courant de polarisation  $I_d$ .

En effet,  $\frac{1}{R_d} = \frac{\Delta I_d}{\Delta V_d} = \frac{dI_d}{dV_d} = \frac{q}{mkT} I_s \left( \exp \frac{qV_d}{mkT} \right) = \frac{q}{mkT} I_d$  D'où  $R_d = \frac{mkT}{qI_d}$

La valeur de cette dérivée correspond au coefficient directeur de la tangente à la courbe au point  $M_0(I_0, V_{d0})$ . Il est évident que cette valeur dépend du point choisi sur la courbe. Dans la plus grande majorité des cas, celle-ci sera prise dans la zone linéaire de la caractéristique.

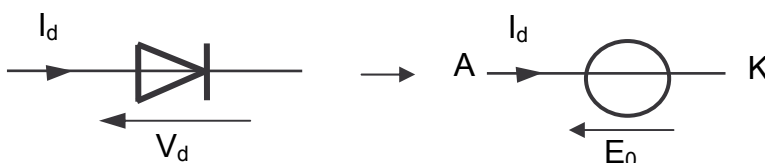
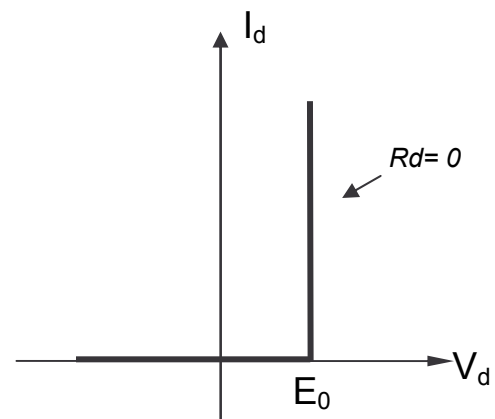


## 2.2 Le modèle à seuil parfait

En négligeant la résistance  $R_d$  on suppose donc que la tension  $V_d$  de la diode est uniquement égale à sa tension de seuil lorsqu'elle est passante.

On pose  $V_d = E_0$  quel que soit  $I_d > 0$

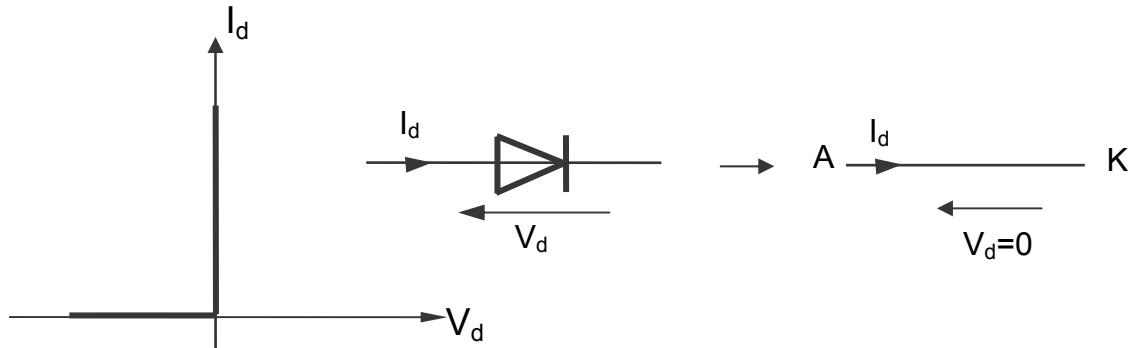
Le modèle électrique est alors :



## 2.3 Le modèle de la diode idéale.

En négligeant à la fois la résistance  $R_d$  et la tension de seuil  $E_0$  on suppose donc que la diode se comporte comme un conducteur parfait lorsqu'elle est passante.

Le modèle électrique est alors un simple court-circuit entre l'anode et la cathode.

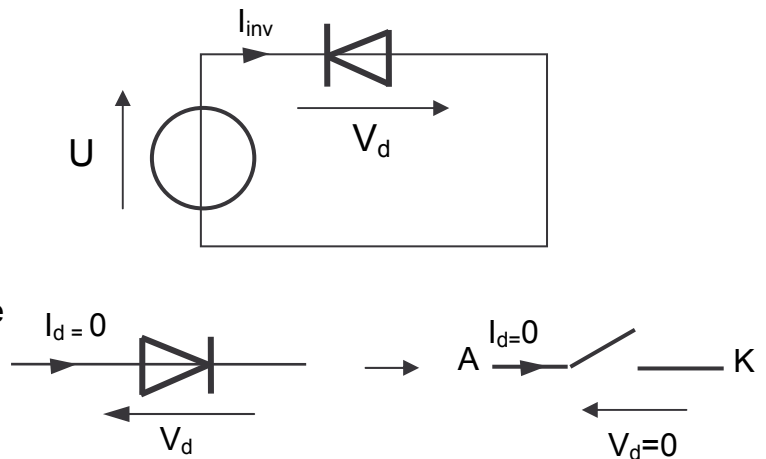


## 2.4 Le modèle électrique d'une diode bloquée.

Considérons le montage suivant :

On mesure  $V_d = -U$ ,  $I_{inv} = I_s = 10^{-8} \text{ A}$

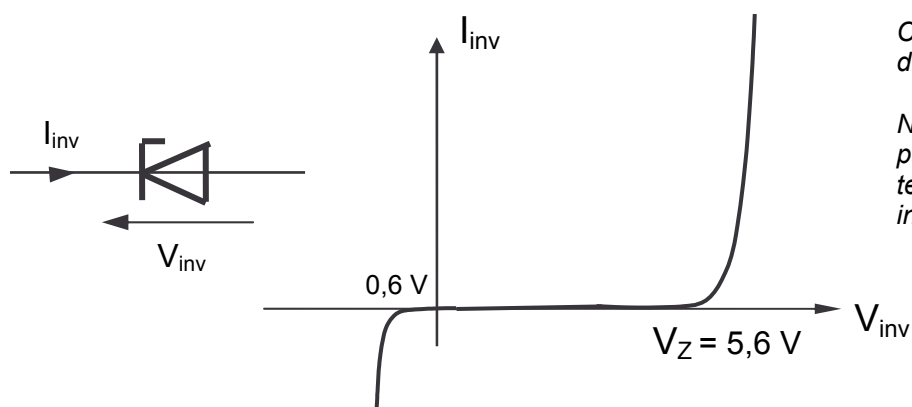
Le courant circulant dans la diode polarisée en inverse est égal au courant de saturation  $I_s$ . Celui-ci étant physiquement négligeable, on considère dans la plupart des cas que la diode se comporte comme un circuit ouvert.



## III – Cas particulier de la diode Zener.

### 3.1 Présentation et symbole.

La diode Zener est une diode qui présente une tension inverse (ou tension d'avalanche) de valeur déterminée. Cette valeur que nous pouvons choisir de 2,4V à plus de 100V est très stable, on l'utilise donc en guise de référence de tension dans les circuits électroniques.



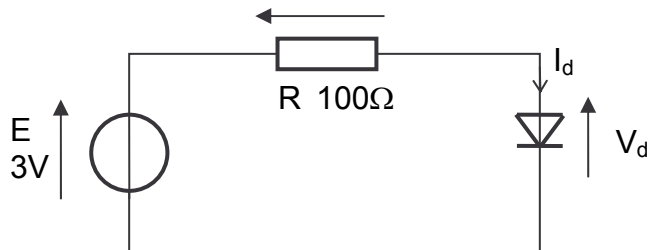
Caractéristique d'une diode zener de 5,6 V.

Notez qu'en cas de polarisation directe, la tension de seuil est inchangée.

## IV- Etude des montages.

### 4.1 Etude algébrique d'un circuit.

Considérons le modèle asymptotique de la diode dans ce circuit :



**On donne pour la diode :**  
 $E_0 = 0,6 \text{ V}$   
 $R_D = 5 \Omega$

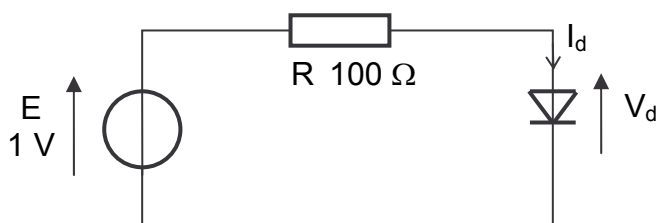
La loi des mailles donne :  $E = R I_d + V_d = R I_d + (E_0 + R_D I_d)$

Le courant circulant dans la diode est :  $I_d = \frac{E - E_0}{R + R_D} = 22,9 \text{ mA}$

La tension à ses bornes est :  $V_d = E_0 + R I_d = 0,71 \text{ V}$

### 4.2 Etude graphique d'un circuit.

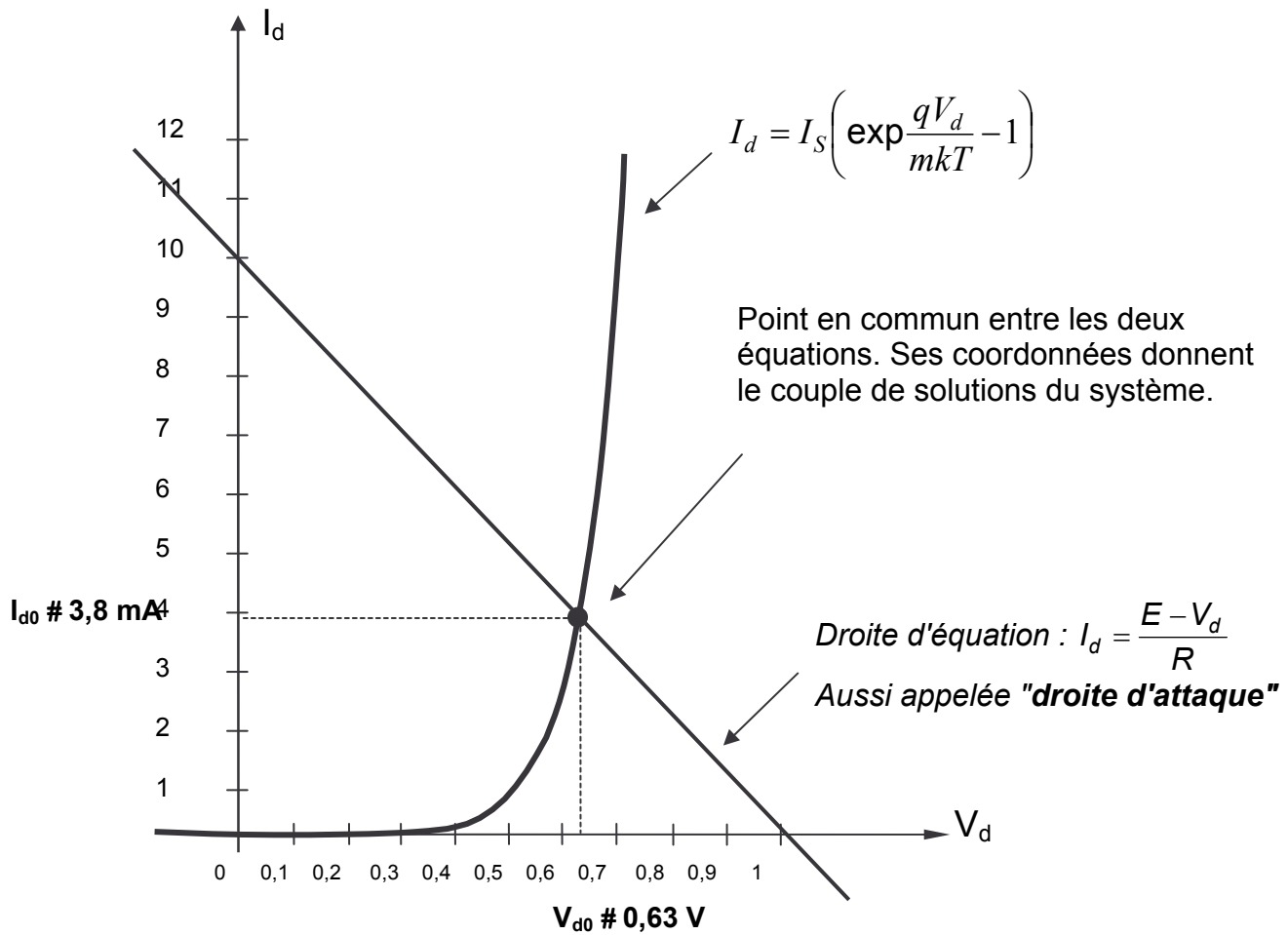
Reprenons le même montage mais avec une source de tension E proche de celle de la tension seuil de la diode.



La résolution algébrique vu précédemment n'est valable que si le composant est polarisé dans sa zone linéaire. Pour découvrir les valeurs exactes du couple  $(i_d, v_d)$ , nous sommes amenés à résoudre le système de deux équations suivant :

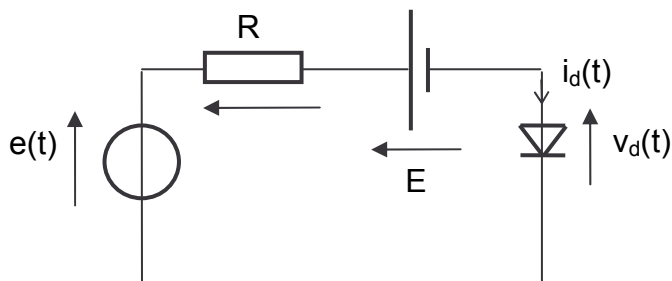
$$\begin{aligned} \text{Diode} \rightarrow I_d &= I_S \left( \exp \frac{qV_d}{mkT} - 1 \right) \\ \text{Circuit "attaquant" la diode} \rightarrow E &= R I_d + V_d \end{aligned} \quad \text{Soit} \quad \begin{cases} I_d = I_S \left( \exp \frac{qV_d}{mkT} - 1 \right) \\ I_d = \frac{E - V_d}{R} \end{cases}$$

On se propose de résoudre graphiquement le système en superposant les courbes de chacune des équations. Cette méthode est également très intéressante pour une polarisation de composants difficilement modélisables.



#### 4.3 Recherche de chronogrammes.

Le montage suivant présente une association série entre une diode, une résistance, une source de tension continue et d'une source de tension variable. On va s'intéresser à l'évolution des grandeurs électriques lorsque  $e(t)$  évolue.



- $E = 3 \text{ V}$
- $R = 100 \Omega$
- Diode :  $R_d = 0 \Omega$  ;  $E_0 = 0,6 \text{ V}$
- $e(t)$  est un signal périodique évoluant alternativement de  $-5$  à  $+5 \text{ V}$ .

Recherchons la condition sur  $e(t)$  pour que la diode soit passante.

La diode est passante si le courant circule dans le sens repéré sur le schéma, donc si la valeur algébrique de  $i_d(t)$  est positive lorsque  $v_d(t) = E_0$ .

La loi des mailles donne :  $e(t) - R i_d(t) - E - v_d(t) = 0$ , on en déduit  $i_d(t) = \frac{e(t) - E - v_d(t)}{R}$

$i_d(t) > 0$  si  $e(t) > E + v_d(t)$ . Comme  $v_d(t) = E_0$  on en conclut que la diode est passante pour toutes les tensions  $e(t)$  supérieures à 3,6 V.

**1<sup>er</sup> cas :**  $e(t) > 3,6 \text{ V}$  la diode est passante :  $V_d(t) = 0,6 \text{ V}$  ;  $i_d(t) = \frac{e(t) - E - E_0}{R}$

**2<sup>ème</sup> cas :**  $e(t) < 3,6 \text{ V}$  la diode est bloquée :  $i_d(t) = 0$  ;  $v_d(t) = e(t) - E$

On en déduit les chronogrammes suivants :

