

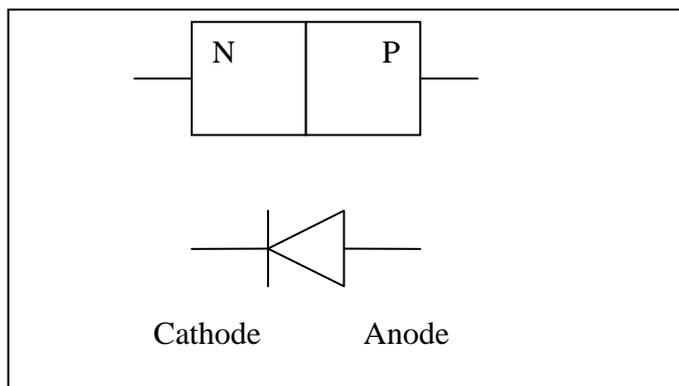
La diode à jonction

1. Les semi-conducteurs :	2
2. Constitution:	2
3. Fonctionnement – Caractéristiques	2
3.1. En l'absence de tension (champ) extérieur- diode à l'équilibre	2
3.2. En présence d'une tension extérieure	3
Résumé:	3
4. Modélisation	4
4.1. Diode à l'état bloqué :	4
4.2. Diode à l'état passant, polarisée en direct.	4
4.3. Résumé:	5
5. Caractéristiques constructeur – critères de choix	6
5.1. Valeurs limites de fonctionnement : Absolute maximum rating ou limiting values	6
5.2. Caractéristiques électriques : electrical characteristics	6
5.2.1. Caractéristiques statiques : DC characteristics	6
5.2.2. Caractéristiques dynamiques : AC characteristics	7
5.3. Critères de choix :	7
6. Méthode d'études des montages à diodes	8

1. Les semi-conducteurs :

Un matériau semi-conducteur, comme le silicium, est un mauvais conducteur d'électricité. Un semi-conducteur dopé est un semi-conducteur dans lequel on diffuse des impuretés pour réduire sa résistivité et par conséquent le rendre plus conducteur. Le caractère N ou P du dopage dépend de la nature des charges mises en œuvre dans le processus de conduction d'électricité.

2. Constitution:

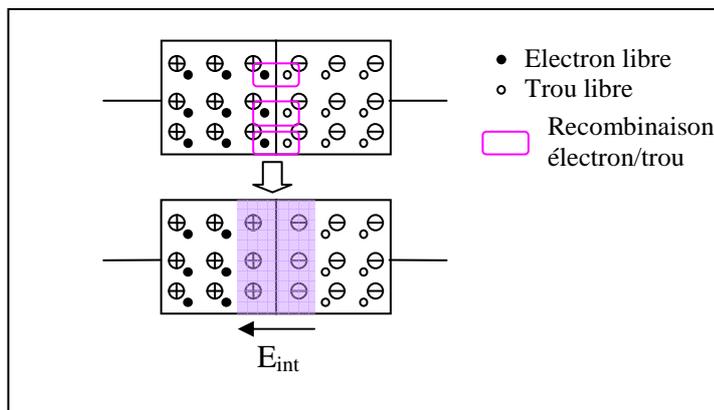


Une diode est réalisée par la jonction de deux semi-conducteurs, un dopé P (en manque d'électron, on parle de trous) et l'autre dopé N (en surplus d'électrons).

Un semi-conducteur dopé N est un semi-conducteur dans lequel les porteurs libres (porteurs susceptibles de se déplacer sous l'action d'un champ extérieur) sont des électrons. Dans le cas d'un semi-conducteur de type P, ce sont des trous.

3. Fonctionnement – Caractéristiques

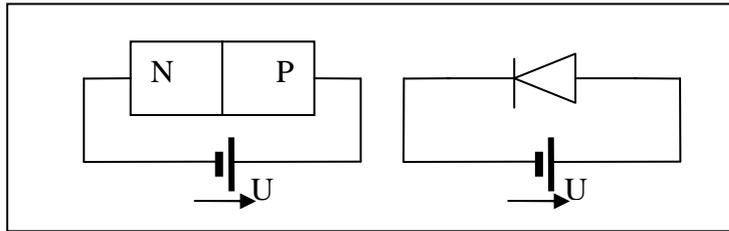
3.1. En l'absence de tension (champ) extérieur- diode à l'équilibre



Les électrons libres du côté N proches de la jonction se recombinent avec les trous du côté P jusqu'à création au niveau de la jonction d'une zone neutre, appelée zone de charge d'espace (Z_{CE}), que les différents porteurs libres ne peuvent franchir sans aide extérieure.

En effet, au niveau de la jonction, il existe un champ électrique E_{int} qui s'oppose au franchissement de cette barrière.

3.2. En présence d'une tension extérieure



- **Cas ou $U > 0$:**

L'application d'une tension extérieure, se traduit par l'application d'un champ électrique extérieur E_{ext} qui s'oppose au champ E_{int} . Lorsque la tension U devient suffisamment élevée, le champ extérieur surpasse le champ intérieur et permet aux porteurs libres de franchir la zone de charge d'espace. Il y a alors circulation d'un **courant DIRECT I_F** de l'Anode vers la Cathode, la diode est dite **PASSANTE**.

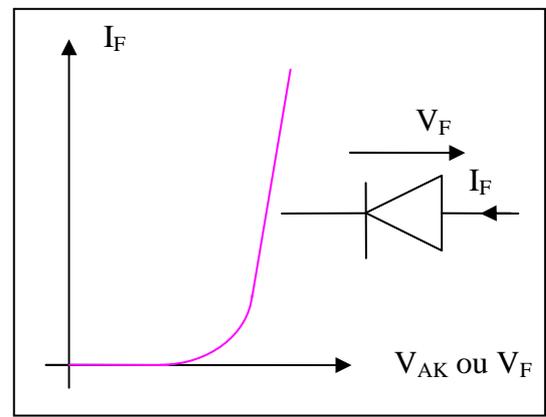
La loi qui régit le fonctionnement de la diode polarisée en directe est la suivante:

$$I_F = I_S \cdot \left(e^{\frac{V_F}{V_T}} - 1 \right)$$

Avec: I_S le courant de saturation qui dépend essentiellement du dopage des différents semi-conducteurs.

$$V_T = \frac{k \cdot T}{q} = 25mV \text{ à } 300^\circ K$$

k : constante de Boltzman, $k=1.38 \cdot 10^{-23} J/K$
 q : charge de l'électron : $q = 1.6 \cdot 10^{-19} C$.



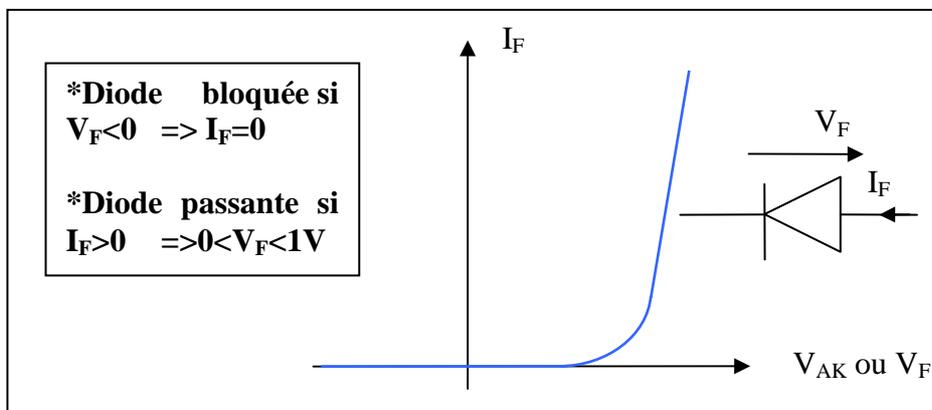
On remarque que le courant augmente très rapidement en fonction de la tension extérieure, c'est pourquoi dans la pratique, on place une résistance en série avec la diode pour le limiter.

- **Cas ou $U < 0$:**

Dans ces conditions, le champ extérieur s'ajoute au champ intérieur empêchant ainsi tout franchissement de la barrière de potentiel. Il n'y a aucune circulation de porteurs et par conséquent aucun courant dans la diode.

La diode est dite **BLOQUEE** et $I_F = 0$. La diode est alors équivalente à un **interrupteur ouvert**.

Résumé:

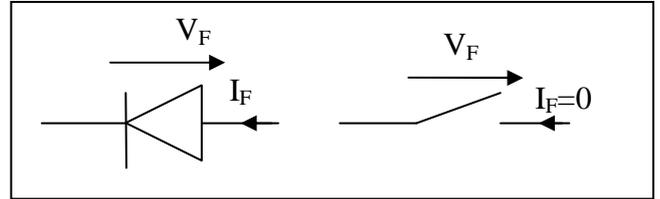


4. Modélisation

Rappel: Modéliser un composant, c'est lui associer un schéma électrique simple dans un mode de fonctionnement donné.

4.1. Diode à l'état bloqué :

Ce mode est obtenu pour une tension $V_{AK} < 0$ et se traduit par $I_F = 0$. La diode se comporte comme un interrupteur ouvert.



4.2. Diode à l'état passant, polarisée en direct.

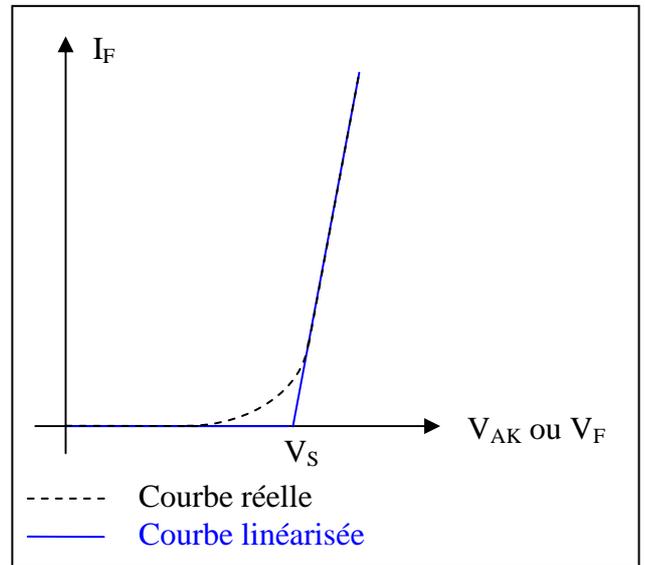
Rappel: La loi qui régit le fonctionnement de la diode polarisée en directe est la suivante:

$$I_F = I_S \cdot \left(e^{\frac{V_F}{V_T}} - 1 \right)$$

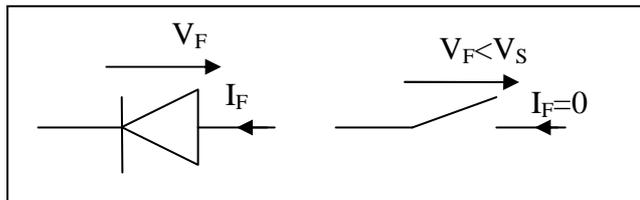
La modélisation de la diode à l'état passant découle de la linéarisation de cette caractéristique $I_F = f(V_F)$. En effet, en observant la caractéristique, on remarque que le courant croît rapidement et que la courbe devient quasiment linéaire au delà d'une certaine tension.

On trace alors la tangente à la caractéristique quand V_F tend vers 0, puis la tangente à la caractéristique quand I_F tend vers sa valeur maximale.

On distingue alors de zone de fonctionnement, donc deux modèles.



- **Zone 1:** $I_F = 0$ et $V_{AK} < V_S$: La diode est toujours considérée comme bloquée et donc assimilée à un circuit ouvert.



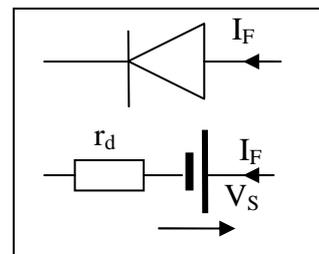
- **Zone 2:** $I_F > 0$, la diode est passante et la tension à ses bornes respecte l'équation :

$$V_F = r_d I_F + V_S$$

Où r_d est la résistance dynamique de la diode, $r_d = \frac{\Delta V_F}{\Delta I_F}$

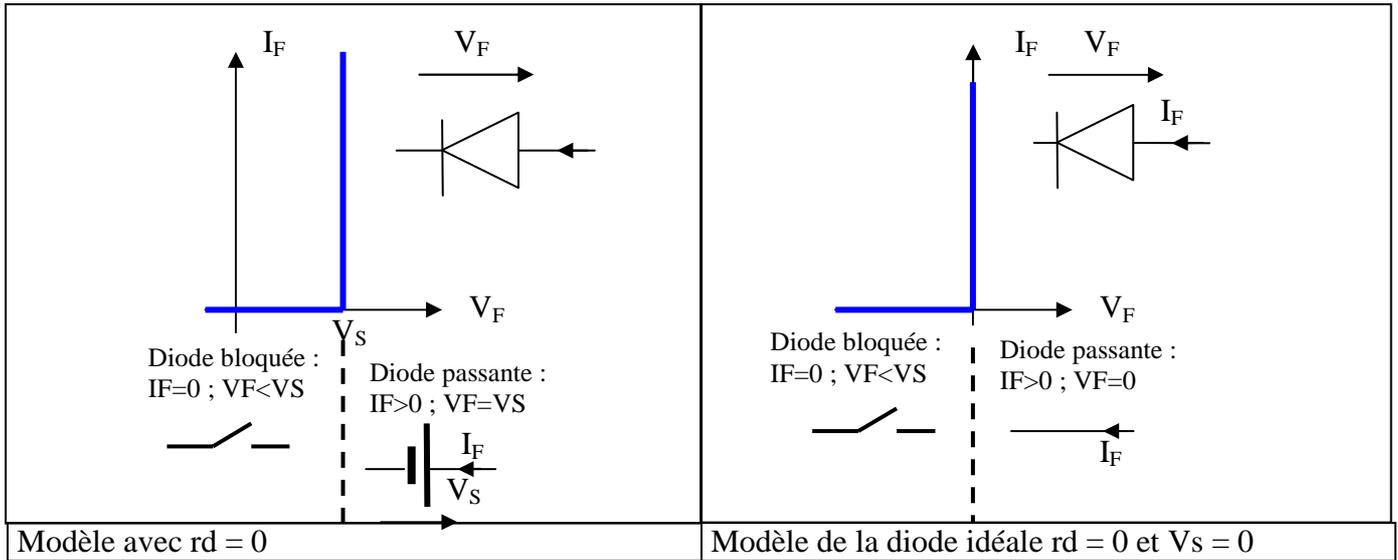
Et V_S la tension de seuil de la diode.

Le modèle de la diode à l'état passant est alors constitué d'un générateur de tension V_S en série avec une résistance r_d .



Fonctions et composants élémentaires de l'électronique

La résistance dynamique est de l'ordre de quelques ohms et la tension de seuil de l'ordre de 0.6V pour une diode de signal au silicium. Par conséquent, suivant les grandeurs des éléments (résistances et sources de tension) mise en œuvre dans le circuit électronique, on peut négliger l'un et/ou l'autre des paramètres, ce qui nous conduit aux modèles suivants :



4.3. Résumé:

5. Caractéristiques constructeur – critères de choix

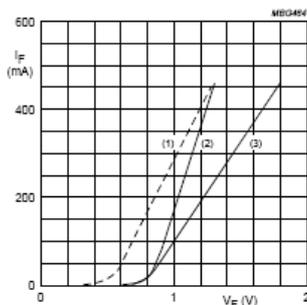
5.1. Valeurs limites de fonctionnement : Absolute maximum rating ou limiting values

Symbole	Signification	Description
IFM	Maximum Forward Current	courant direct maximum admissible en continu
IFRM	Repetitive Peak Forward current	Courant direct maximum en mode impulsionnel périodique. Cette caractéristique est généralement donnée pour différent cas (longueur de l'impulsion et période de répétition) ou accompagnée d'une courbe donnant la valeur de IFM en fonction du rapport cyclique.
IFSM	Non Repetitive Peak Forward current	Courant maximum admissible par la diode pendant un intervalle de temps donné. Cette caractéristique est généralement donnée pour différent cas (longueur de l'impulsion et période de répétition) ou accompagnée d'une courbe donnant la valeur de IFSM en fonction du rapport cyclique. On trouve parfois la dénomination de courant de court circuit (Surcharge current).
VRM	Maximum Reverse Voltage	Tension inverse maximum pouvant être appliquée aux bornes de la diode en continu.
VRRM	Maximum Repetitive Reverse Voltage	Comme pour IFRM mais concernant la tension inverse
Ptot	Total power dissipation	
Tstg	Storage temperature	Température de stockage
Tj	Junction temperature	Température de la jonction en court d'utilisation. Pour les diodes de puissance, l'utilisation de refroidisseur est possible.

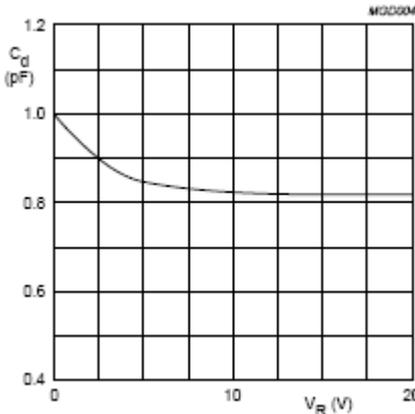
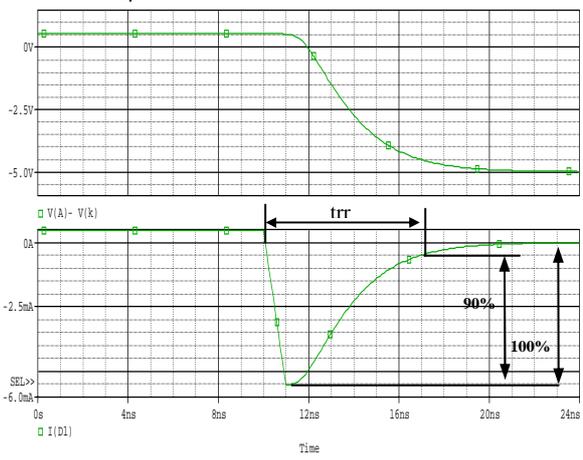
5.2. Caractéristiques électriques : electrical characteristics

5.2.1. Caractéristiques statiques : DC characteristics

Symbole	Signification	Description
VF	Forward Voltage (1) $T_j = 175\text{ }^\circ\text{C}$; typical values. (2) $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$; typical values.	Tension directe existant aux bornes de la diode lorsque celle-ci est parcourue par un courant. Comme cette tension est considérée comme un défaut, elle est généralement donnée en valeur max pour un courant donné. Cette caractéristique est généralement accompagnée d'une courbe $I_F=f(V_F)$ pour différentes température. D'après la théorie des semi-conducteurs, la tension diminue de 2 mV par degré celsius pour une diode au silicium.
IR	Reverse current.	Une diode à l'état bloquée n'est pas parfaite et il existe un courant inverse de très faible valeur. C'est la valeur de ce courant qui est donné pour une tension inverse VR donnée. Ce courant inverse est également très dépendant de la température.



5.2.2. Caractéristiques dynamiques : AC characteristics

Symbole	Signification	Description
Cd	Diode capacitance 	Capacité de la diode en polarisation inverse. Cette capacité est un défaut et donc donnée en valeur maximum. Elle varie avec la tension inverse appliquée à la diode. La figure ci-contre provient de la documentation d'une diode 1N4148. Pour certaines applications, ce défaut devient une performance et les diodes sont alors conçues pour augmenter l'intervalle de variation de Cd, ce sont les diodes VARICAP .
Trr, Qs	Reverse Recovry Time, Reverse recovery charge 	Temps de recouvrement inverse. Ce temps correspond au temps que met la diode pour passer de l'état passant à l'état bloqué. En effet, pendant l'état passant, il y a accumulation de charge de part et d'autre de la jonction. Le temps t _{rr} correspond au temps nécessaire pour restituer cette charge et se retrouver dans l'état bloqué. La charge de recouvrement correspond à l'intégrale sous la courbe I _F (t) pendant le temps t _{rr} .
Vfr	Forward recovery voltage	

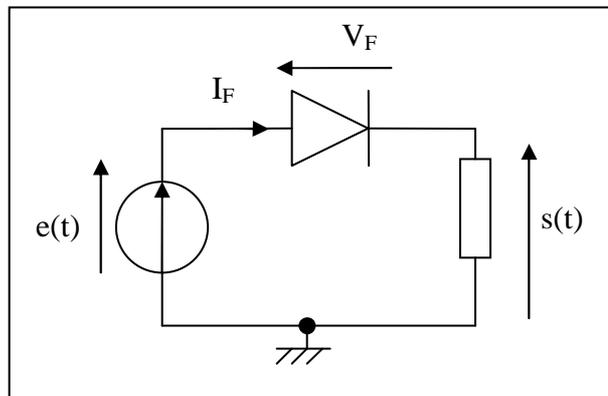
5.3. Critères de choix :

Pour établir les critères de choix d'une diode, il faut donc étudier le montage dans lequel elle intervient afin de dimensionner les valeurs des courants et tensions maximum auxquels elle sera soumise. Vous pourrez alors dresser le cahier des charges de la diode nécessaire à votre application.

6. Méthode d'études des montages à diodes

La difficulté dans l'étude des montages comportant des diodes est de connaître l'état de celles-ci. Même si le résultat peut parfois être intuitif, le raisonnement suivant permet de vérifier dans tous les cas l'état des diodes.

Pour exposer la méthode, nous allons étudier le montage redresseur mono alternance. Pour cela, nous



voulons connaître le fonctionnement du montage. Pour cela nous tracerons les chronogrammes des signaux $e(t)$ et $s(t)$, puis nous tracerons la caractéristique de transfert de cette fonction.

Nous tracerons par la même occasion les chronogrammes de la tension V_F aux bornes de la diode et du courant I_F la traversant. Nous pourrions ainsi connaître les valeurs max mises en jeu et dresser le cahier des charges de la diode.

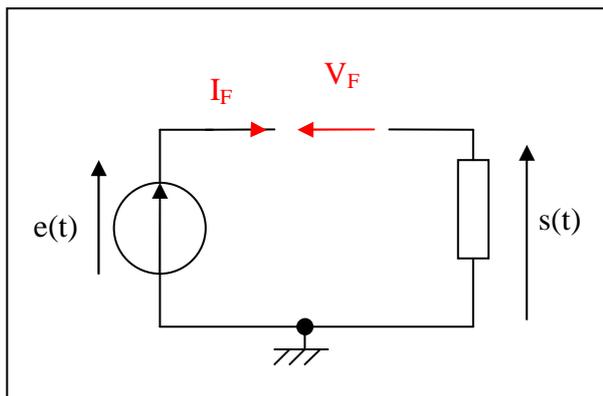
$E(t)$ est un signal sinusoïdal d'amplitude 22 V et fréquence 50hz. La charge est équivalente à une résistance de 1k Ω .

Poser une hypothèse sur l'état des diodes.

Nous supposons la diode bloquée (hypothèse généralement la plus simple à étudiée).

Redessiner le schéma étudié en remplaçant les diodes par le schéma équivalent correspondant à l'hypothèse de départ en faisant apparaître clairement le courant I_F et la tension V_F .

Le blocage est obtenu pour $I_F=0$ et $V_F < V_S$. La diode à l'état bloqué est équivalente à un circuit ouvert. Nous obtenons le montage ci-contre.



Calculer V_F et I_F et vérifier si l'hypothèse est vérifiée.

Si c'est le cas, la (ou les) diode(s) est (sont) bien dans l'état prévu. Sinon elle(s) est (sont) dans l'autre état et il faut recommencer l'étude avec la bonne hypothèse.

En appliquant la loi des mailles au circuit, on montre aisément que :

$$V_F = e(t) - s(t).$$

Dans le cadre de notre hypothèse, le courant dans la diode est nul, par conséquent il n'y a aucun courant dans la charge non plus. Et de ce fait, $s(t) = 0$ et il vient : $V_F = e(t)$.

L'hypothèse est donc vérifiée tant que $e(t) < V_S$ tension de seuil de la diode.

Dans le cas où $e(t) > V_S$, la diode est donc passante et le schéma équivalent du montage est le suivant.

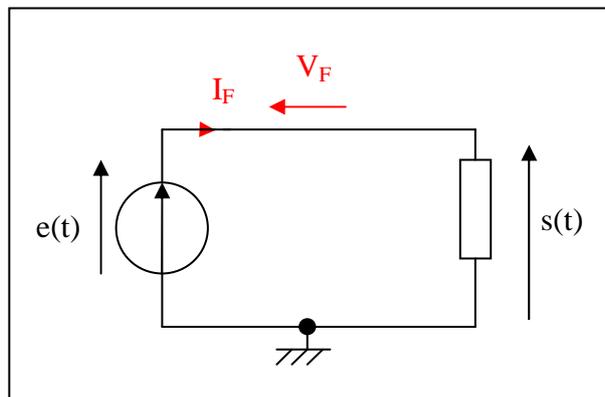
Dans celui-ci, nous prenons le modèle d'une diode idéale, ce qui revient à négliger r_d (quelques ohms) devant 1 k Ω et V_S , inférieur à 1v, devant 22 V.

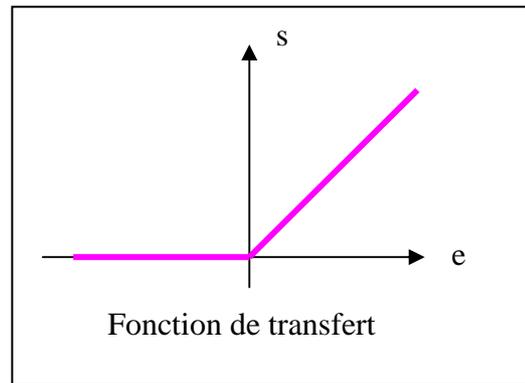
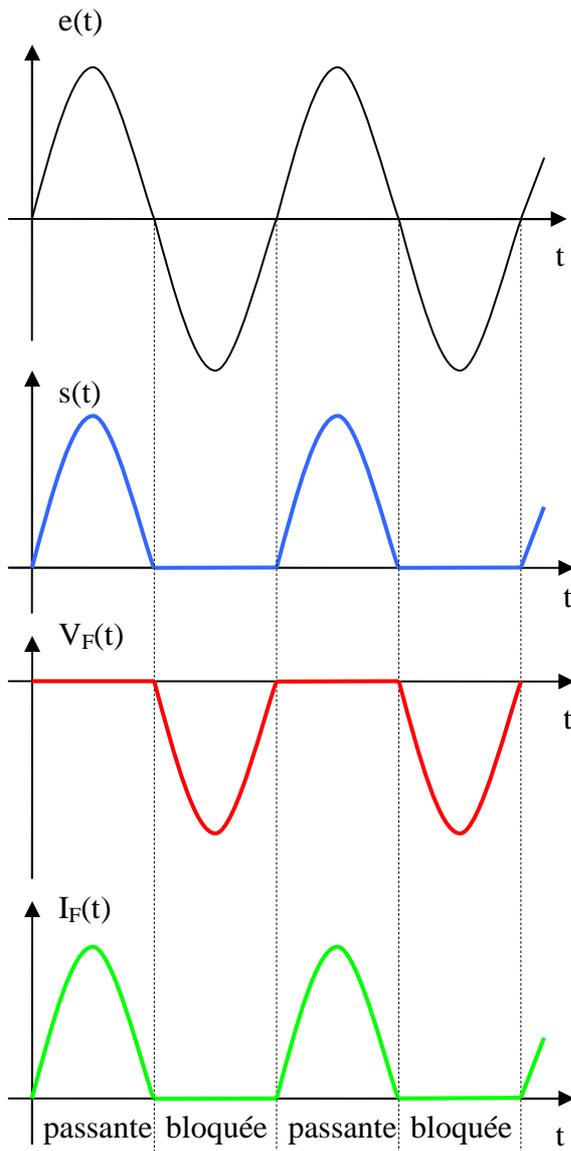
On remarque tout de suite que :

$$E(t) = s(t)$$

$$I_F = e(t)/R.$$

On résume tout cela sur les chronogrammes suivants :





A partir de ces chronogrammes, on peut établir le cahier des charges de la diode, à savoir :

Il faut choisir une diode tel que :

Valeurs limites :

$I_{FM} > 22\text{mA}$

$V_{RM} > 22\text{V}$

Caractéristiques électriques :

$V_F < 1\text{V}$ pour $I_F = 20\text{mA}$.

Une diode de type 1N4148, diode d'usage général est suffisante pour cette application.