

COURS D'ELECTRONIQUE ANALOGIQUE



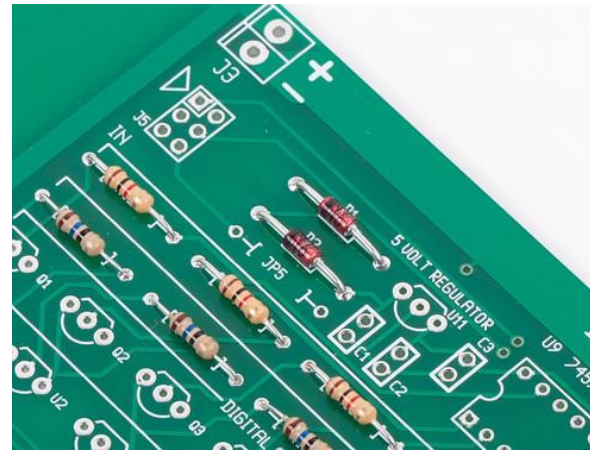


COURS D'ELECTRONIQUE ANALOGIQUE

Contenu du programme :

- ☐ Memento d'électricité générale
- ☐ Chapitre I : Eléments de la physique des semi-conducteurs
- ☐ Chapitre II : La jonction PN et Diodes à jonction PN
- ☐ **Chapitre III : Circuits à diodes**
- ☐ Chapitre IV : Transistor bipolaire

CIRCUITS A DIODES



CIRCUITS A DIODES

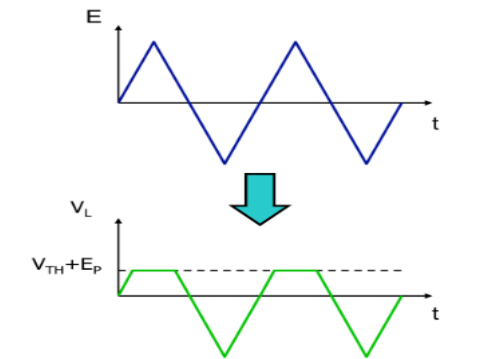
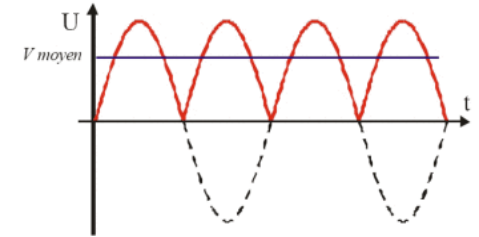


Introduction

La diode est un composant électronique très intéressant. On peut l'employer dans une grande variété d'applications :

- Les diodes sont surtout utilisées pour **redresser une tension**, c'est-à-dire pour convertir une grandeur alternative (successivement positive et négative) en une grandeur exclusivement positive. Cette fonction est notamment essentielle dans les alimentations électriques.
- Les diodes sont également utilisées pour limiter la tension sur d'autres composants, ou ce qu'on appelle "**écrêtage**". L'écrtage de tension peut par exemple servir à protéger d'autres composants de surtensions éventuelles ou encore à maintenir une tension constante à leurs bornes (**régulation de tension**).
- Une toute autre application des diodes, c'est l'émission d'un témoin lumineux. Les **diodes électroluminescentes** (LEDs) émettent de la lumière lorsqu'elles sont traversées par un courant.

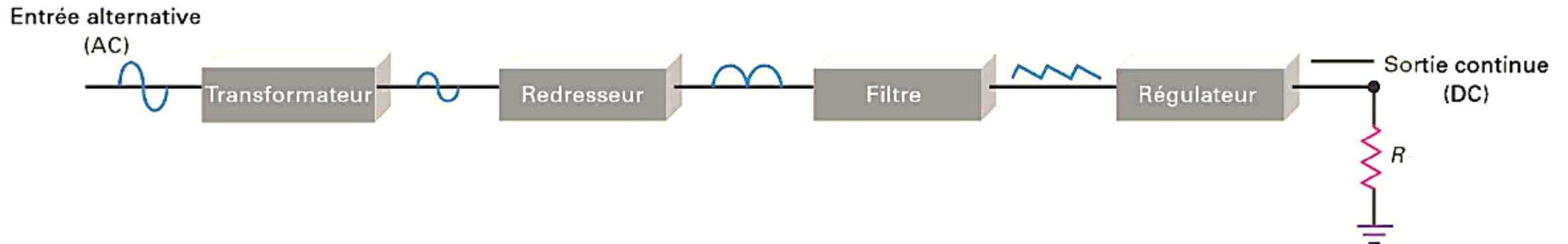
Il existe bien d'autres utilisations des diodes comme la détection d'une tension crête, la multiplication de tension, etc.





Introduction

Les systèmes électroniques, tels que les ordinateurs et les télévisions, sont très sensibles à l'alimentation électrique (surtout la tension) et nécessitent qu'elle soit continue pour qu'ils fonctionnent correctement. Il se trouve, par contre, que le réseau électrique fournit une tension alternative, alors il faut convertir cette tension alternative (AC) en une tension constante (DC), c'est le rôle joué par un circuit électronique qu'on appelle circuit d'alimentation (ou alimentation stabilisée). Il est basé principalement sur une fonction de redressement réalisée via des circuits à diodes, une fonction de filtrage puis la régulation.



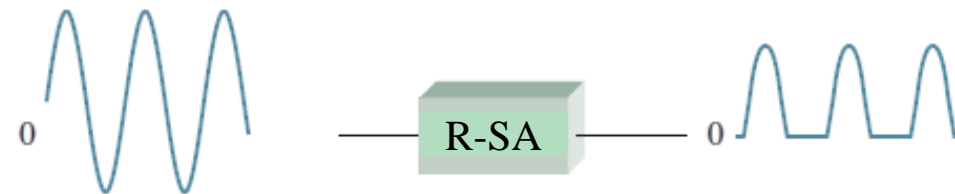


1. Redressement

Il consiste à transformer une tension alternative périodique en une tension unidirectionnelle à valeur moyenne non nulle, appelée tension redressée. Il existe deux types de redresseurs : mono-alternance (simple alternance) et bi-alternance (double alternance).

1.1. Redressement simple alternance ou mono-alternance

Un redresseur simple alternance est un redresseur ne faisant passer que les alternances positives et supprimant les alternances négatives d'une entrée sinusoïdale.



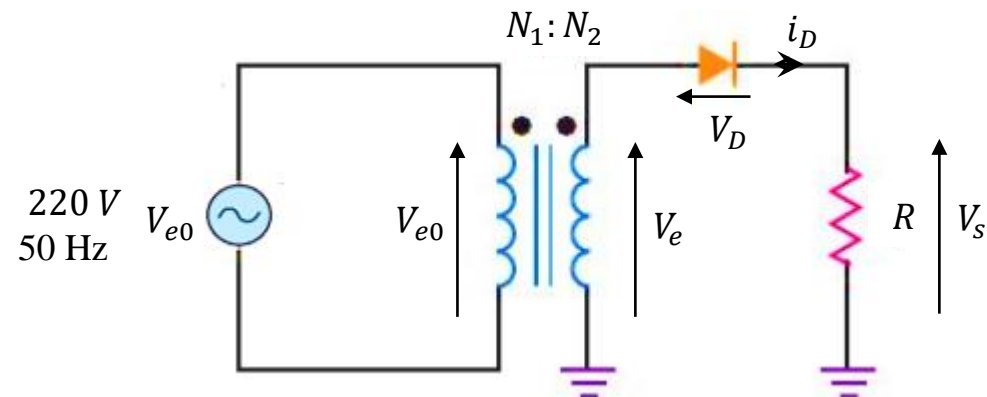
On suppose dans ce qui va suivre que les diodes sont caractérisées par une résistance directe r_d nulle.



➤ Montage et principe de fonctionnement

Une simple diode en série avec une charge R est alimentée par une tension sinusoïdale $V_e(t) = V_{e_c} \sin(\omega t)$ fournie par le secondaire d'un transformateur abaisseur pour abaisser la tension de 220 V à 12 V par exemple. Le transformateur est couramment utilisé dans ce type d'alimentation pour amener la valeur de la tension du secteur à des niveaux plus bas supportables par les diodes, transistors et autres composants électroniques. La relation entre la tension de sortie efficace (V_e) et la tension d'entrée efficace (V_{e0}) dans un transformateur est donnée par la formule : $\frac{V_e}{V_{e0}} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$, donc $V_e = \frac{N_2}{N_1} V_{e0}$.

N_1 et N_2 représentent le nombre de spires au primaire et au secondaire du transformateur, respectivement. I_1 et I_2 sont les courants primaire et secondaire, respectivement.

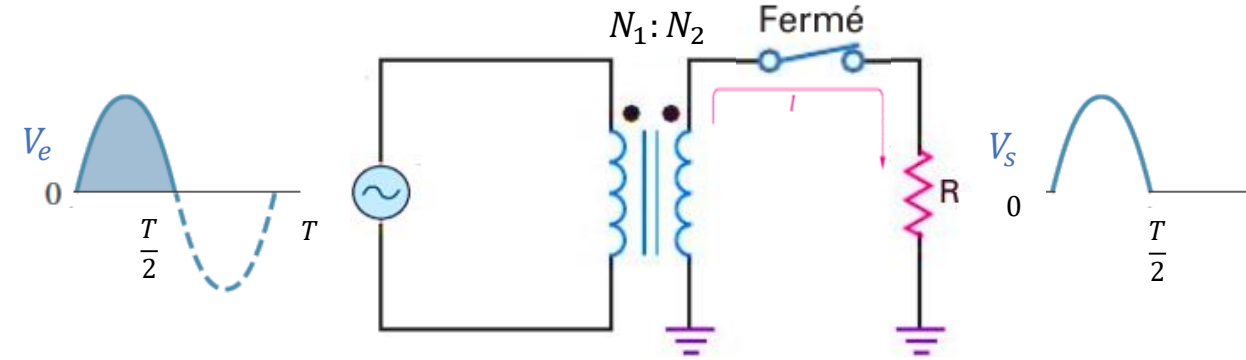


CIRCUITS A DIODES



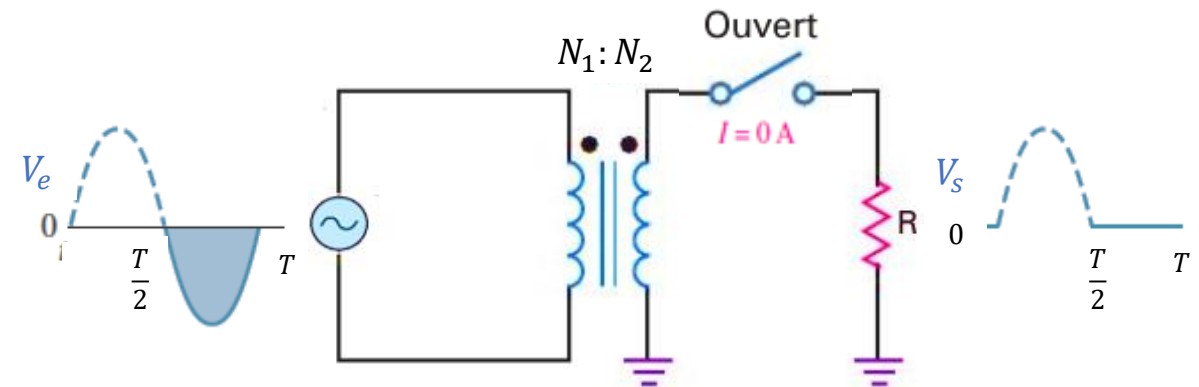
➤ Cas idéal

Lorsque la tension d'entrée est **positive** (alternance positive), la diode est polarisée en direct et conduit le courant à travers R. L'interrupteur équivalent à la diode est alors fermé et le courant produit une tension de sortie à travers la charge, qui a la même forme que le demi-cycle positif de la tension d'entrée.



$$V_s(t) = V_e(t) \text{ et } V_D(t) = 0 ; \text{ pour } t \in \left[0, \frac{T}{2}\right]$$

Lorsque la tension d'entrée devient **négative**, la diode est polarisée en inverse. Le courant à travers la résistance est nul, donc la tension de sortie est nulle.

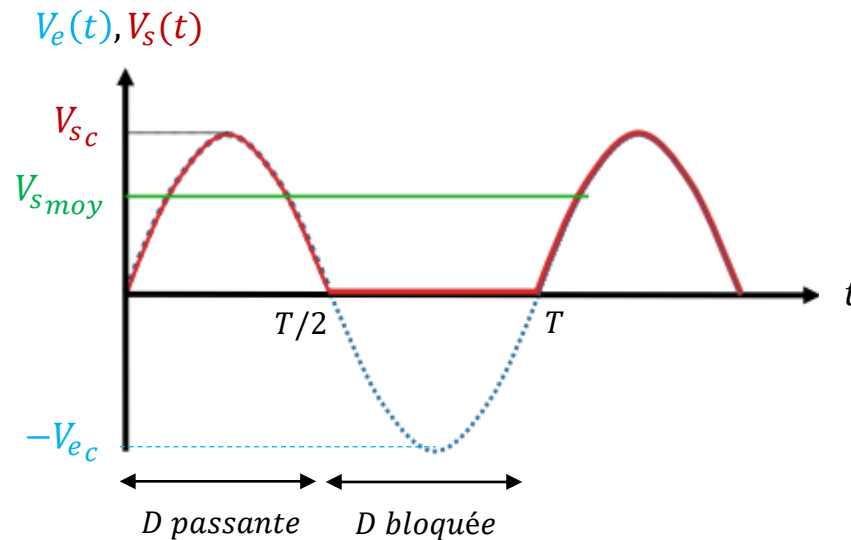


$$V_s(t) = 0 \text{ et } V_D(t) = V_e(t) ; \text{ pour } t \in \left[\frac{T}{2}, T\right]$$

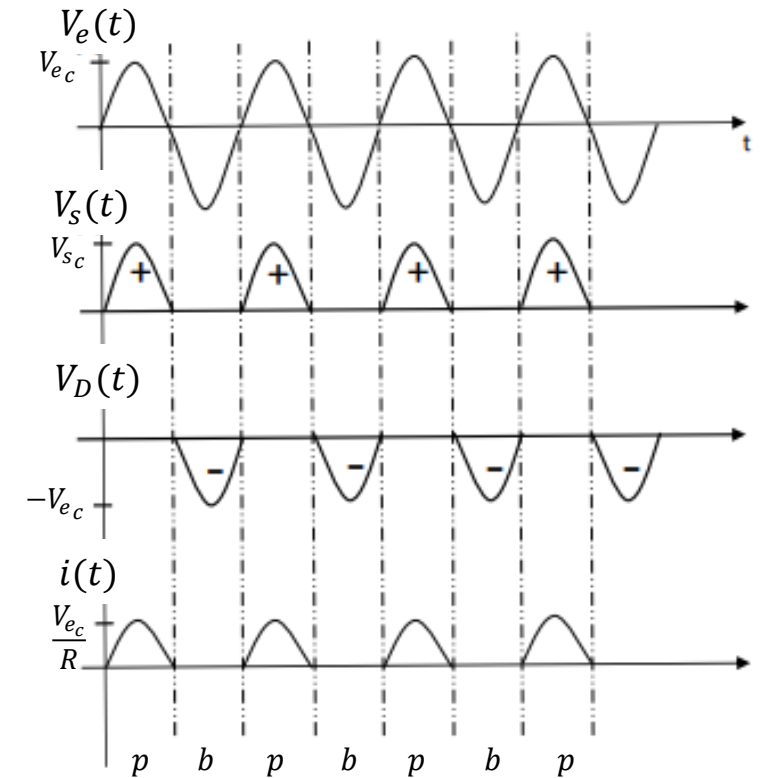
CIRCUITS A DIODES



Nous remarquons que seules les tensions positives apparaissent à travers la charge. De ce fait, le circuit **élimine les demi-cycles négatifs**. Il s'agit d'une tension continue pulsée.



Un signal simple alternance est une tension périodique qui croît jusqu'à un maximum, décroît jusqu'à zéro, et reste nulle pendant toute la demi-période négative. Ce n'est pas cette forme de tension qu'il faut en électronique, c'est une tension continue comme celle donnée par une pile. Pour cela, il faut filtrer la tension simple alternance, et cette fonction sera étudiée plus tard dans ce chapitre.



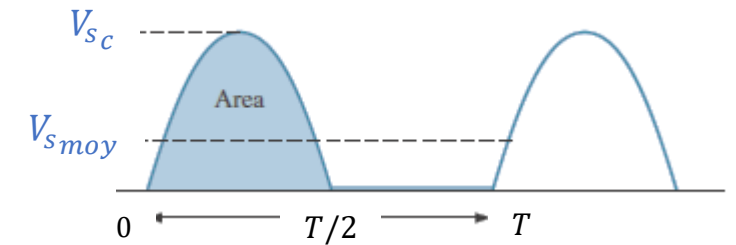


- Valeur moyenne et valeur efficace de la tension simple alternance

La valeur moyenne d'un signal, notée $V_{s_{moy}}$ (\bar{V}_s ou $\langle V_s \rangle$), correspond à la surface sous la courbe, répartie de manière uniforme sur la période du signal. C'est la moyenne des valeurs de tension mesurées pendant une période donnée. Sa valeur efficace correspond à la tension continue qui aurait, en moyenne, les mêmes effets sur le fonctionnement des récepteurs et les échanges d'énergie. Ces deux valeurs de la tension sont calculées, dans le cas d'un redressement simple alternance, avec les équations suivantes :

$$V_{s_{moy}} = \frac{V_{sc}}{\pi} = \frac{\hat{V}_s}{\pi} \quad ; \quad V_{seff} = \frac{\hat{V}_s}{2}$$

V_{sc} (notée également \hat{V}_s ou $V_{s_{max}}$) est la valeur crête de la tension de sortie redressée.

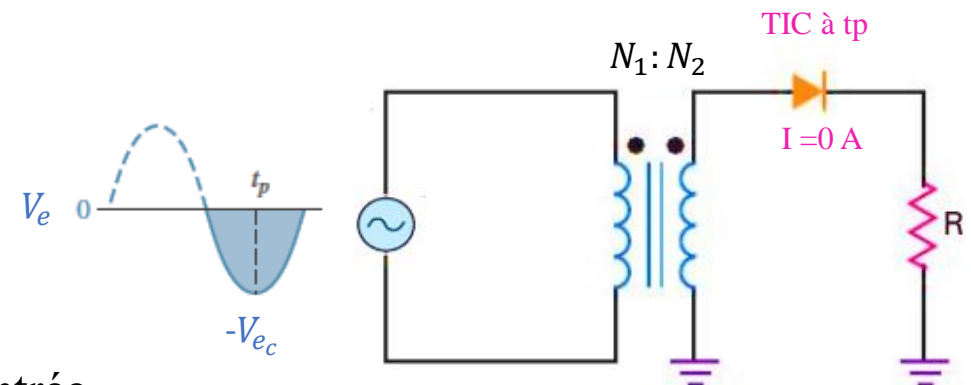


- Tension inverse crête

C'est la tension appliquée aux bornes de la diode en polarisation inverse. La TIC est égale à la valeur crête de la tension d'entrée, et la diode doit être capable de supporter cette tension inverse répétitive.

$$TIC = V_{ec}$$

- Fréquence du signal de sortie : $f_s = \frac{1}{T} = f_e$, T est la période du signal d'entrée.

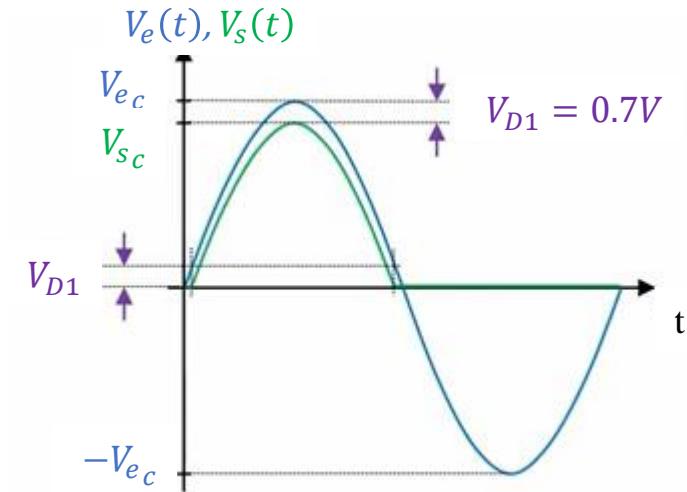
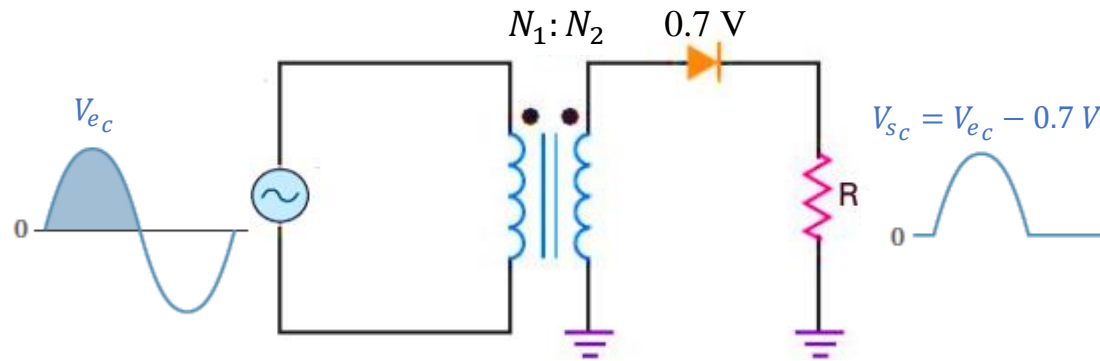




➤ Effet de la barrière de potentiel

Lorsque la barrière de potentiel est tenue en compte, on n'obtient pas un signal simple alternance parfait sur R. Quand la tension d'entrée est positive, elle doit surmonter la barrière de potentiel pour que la diode soit passante. Il en résulte une tension de sortie avec une valeur crête inférieure de 0.7 V à la valeur crête de la tension d'entrée.

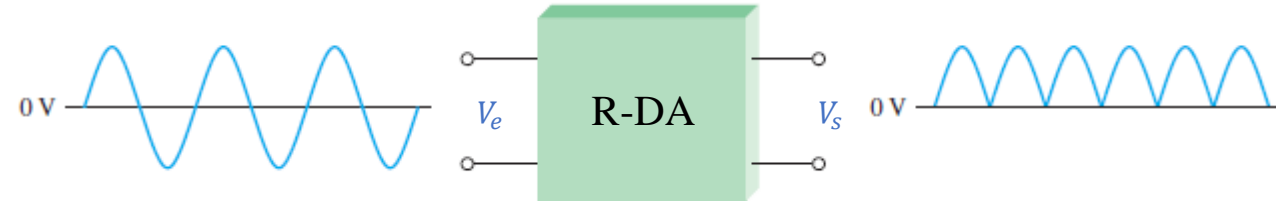
$$V_{s_c} = V_{e_c} - 0.7$$





1.2. Redressement double alternance

Le montage précédent présente l'inconvénient de ne laisser passer que la moitié du courant que peut délivrer le transformateur. Pour y remédier, au moins deux diodes sont utilisées dans le même montage afin d'obtenir les deux alternances. Il permet donc un courant dans la charge pendant tout le cycle d'entrée. Le résultat du redressement double alternance est une tension de sortie continue qui pulse chaque demi-cycle de l'entrée.



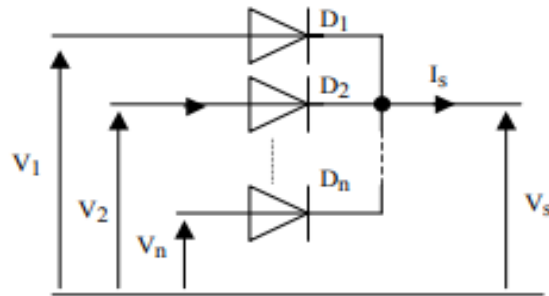
Il existe deux types de montages :

- Le montage avec transformateur à point milieu
- Le montage avec pont de Graëtz

➤ Notion de commutateurs à diodes

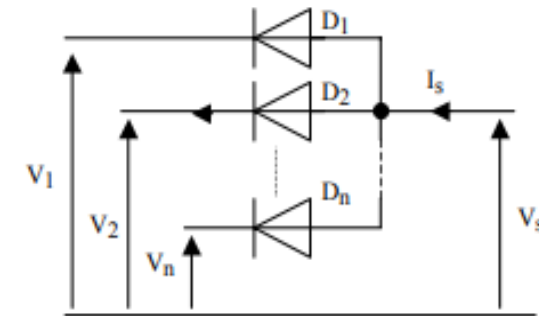
Dans les montages redresseurs, on trouve souvent des assemblages de diodes reliées entre elles par leur cathode ou par leur anode. La connaissance des règles de fonctionnement de ces assemblages est utile pour l'étude des ponts redresseurs.

Un assemblage de n diodes reliées par leur cathode est dit association de diodes à cathode commune ou commutateur plus positif.



Si $i_s(t) > 0$, à chaque instant, la diode conductrice est celle dont le potentiel d'anode est le plus élevé.

Un assemblage de n diodes reliées par leur anode est dit association de diodes à anode commune ou commutateur plus négatif.



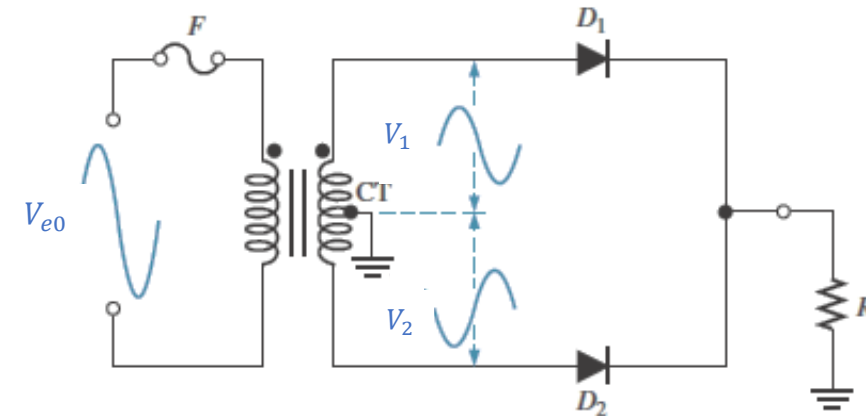
Si $i_s(t) > 0$, à chaque instant, la diode conductrice est celle dont le potentiel de cathode est le plus faible.



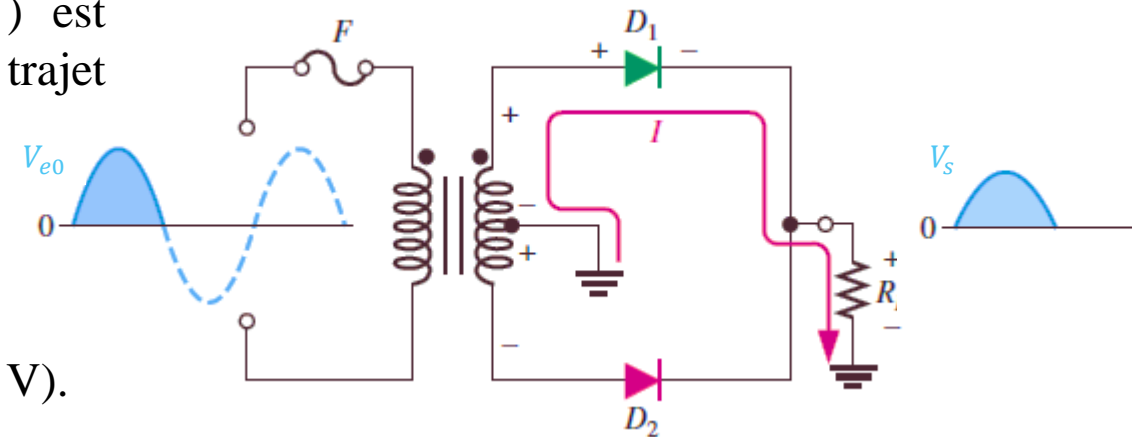
1.2.1. Redressement double alternance avec transformateur à point milieu

➤ Montage et principe de fonctionnement

Ce redresseur utilise deux diodes connectées au secondaire d'un transformateur à point milieu. Le transformateur avec deux enroulements secondaires est branché de manière à ce qu'ils délivrent des tensions en opposition de phase ($V_1(t)$ et $V_2(t)$). La moitié de la tension secondaire $\frac{V_e}{2}$ apparaît donc entre la prise centrale et chaque extrémité du secondaire.



Quand la tension d'entrée est **positive**, la diode supérieure (D_1) est polarisée en direct et celle inférieure (D_2) est polarisée en inverse. Le trajet du courant traversant R est indiqué sur la figure ci-contre.



Pour $t \in \left[0, \frac{T}{2}\right]$:

$V_{sc} = V_{1c} = \frac{V_{ec}}{2}$, dans le cas de diodes idéales.

$V_{sc} = V_{1c} - 0.7 = \frac{V_{ec}}{2} - 0.7$, dans le cas de diodes parfaites ($V_D = 0.7 \text{ V}$).

CIRCUITS A DIODES



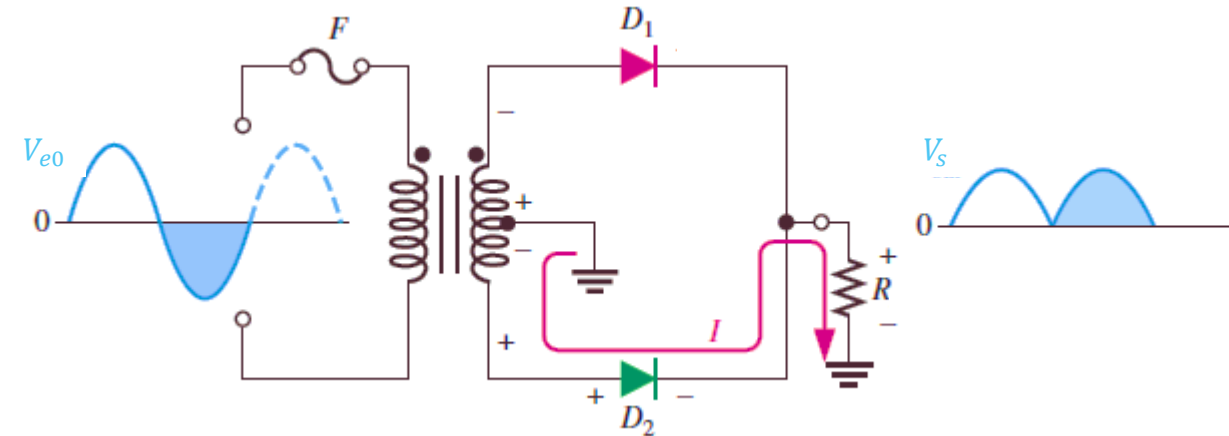
Lorsque la tension d'entrée est **négative**, les polarités de tension sur le secondaire sont inversées. Ceci inverse la polarisation des diodes. Dans ce cas, la diode supérieure est polarisée en inverse et celle inférieure est polarisée en direct. Le courant traverse la charge comme indiqué sur la figure ci-contre.

Pour $t \in \left[\frac{T}{2}, T\right]$:

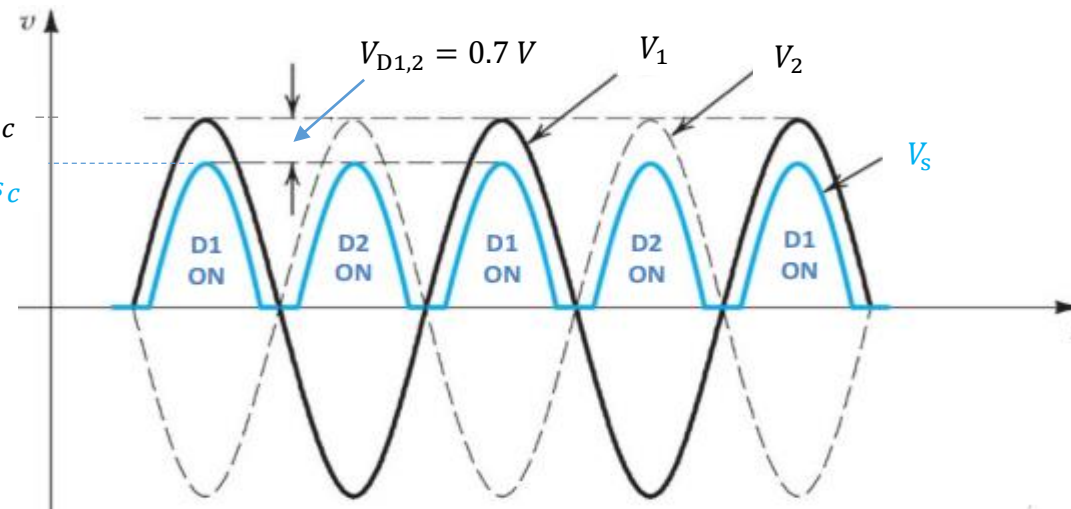
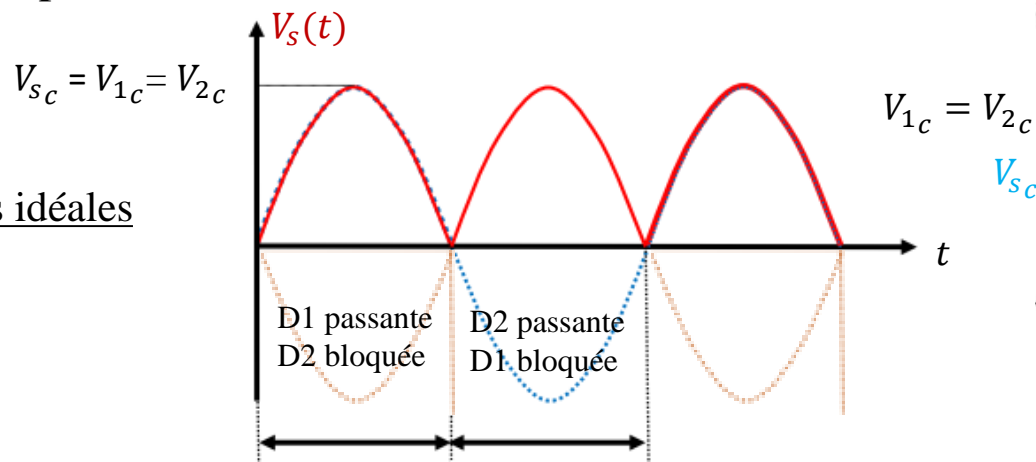
$V_{s_c} = V_{2_c} = \frac{V_{e_c}}{2}$, dans le cas de diodes idéales.

$V_{s_c} = V_{2_c} - 0.7 = \frac{V_{e_c}}{2} - 0.7$, dans le cas de diodes parfaites ($V_D = 0.7 \text{ V}$).

Nous remarquons que **seules les tensions positives apparaissent à travers la charge**. La tension de sortie développée est une tension positive continue redressée en double alternance.



Diodes idéales



Diodes parfaites



- Valeur moyenne et valeur efficace de la tension double alternance

Le nombre d'alternances positives obtenues par un redresseur double alternance est **le double** de celui obtenu par un redresseur simple alternance. Par conséquent, la valeur moyenne et la valeur efficace dans ce cas sont données par :

$$V_{s_{moy}} = \frac{2 V_{sc}}{\pi} \quad ; \quad V_{s_{eff}} = \frac{V_{sc}}{\sqrt{2}}$$

V_{sc} est la valeur crête de la tension de sortie redressée.

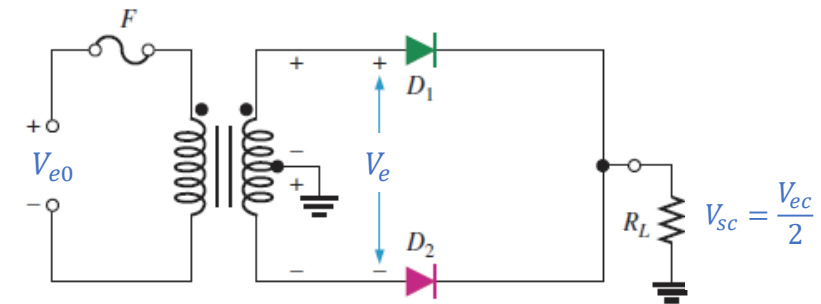
- Tension inverse crête

Chaque diode du redresseur est alternativement polarisée en direct et en inverse.

La tension inverse maximale que doit supporter chaque diode est la valeur crête de la tension totale du secondaire.

$$TIC = 2V_{1c} = 2V_{2c} = V_{ec}$$

- Fréquence du signal de sortie : $f_s = \frac{1}{\frac{T}{2}} = 2 \left(\frac{1}{T} \right) = 2f_e$



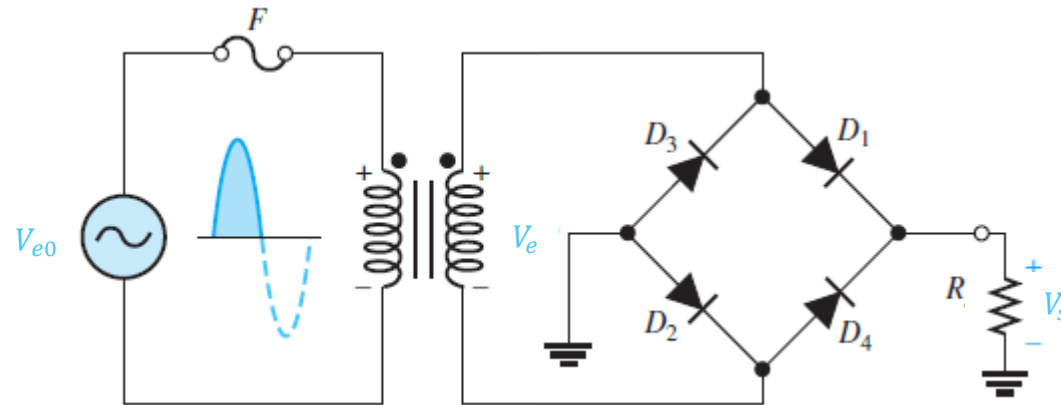


1.2.2. Redressement par pont de Graëtz

Un autre montage permettant de retrouver le même résultat que le redresseur avec transformateur à point milieu. Ce montage est le plus utilisé du fait qu'il ne nécessite pas de transformateur à point milieu (plus délicat à réaliser et plus cher) et du fait aussi que le transformateur simple est moins encombrant qu'un transformateur à point milieu et ce pour une même puissance de sortie.

➤ Montage et principe de fonctionnement

Quatre diodes sont connectées à une source de tension alternative et à une résistance de charge R .



CIRCUITS A DIODES

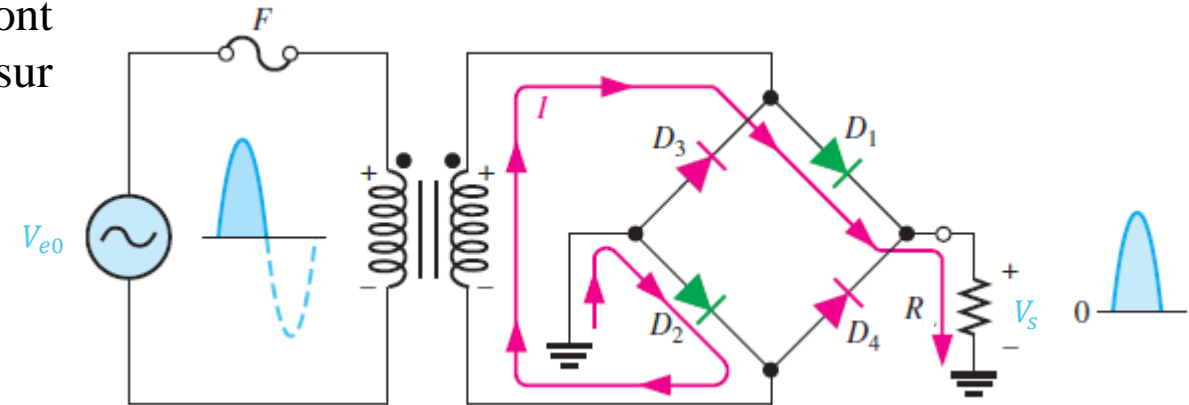


Quand la tension d'entrée est positive, les diodes D_1 et D_2 sont polarisées en direct et conduisent le courant dans le sens indiqué sur la figure. Une tension est donc développée à travers la résistance. Durant cette alternance, D_3 et D_4 sont polarisées en inverse.

Pour $t \in \left[0, \frac{T}{2}\right]$,

$V_{sc} = V_{ec}$, pour les diodes idéales.

$V_{sc} = V_{ec} - 1.4$, pour les diodes parfaites.



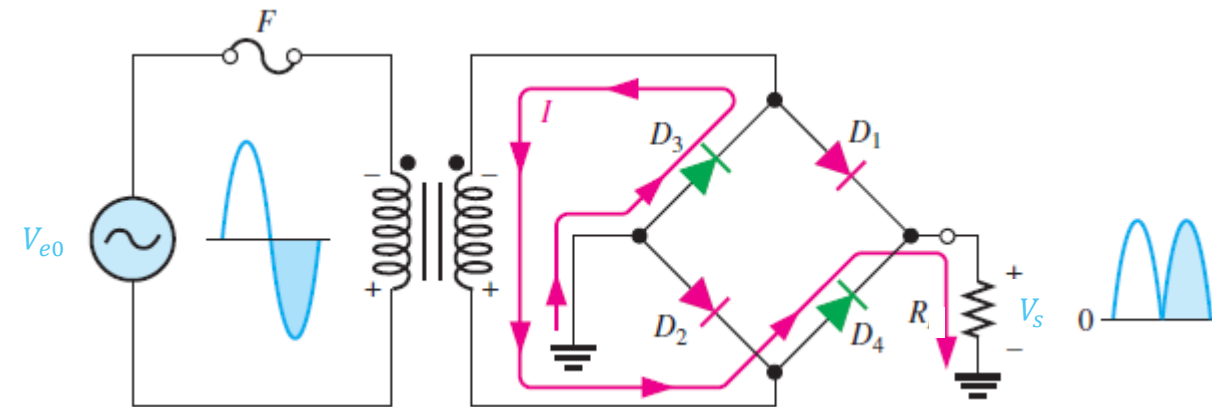
Quand la tension d'entrée est négative, les diodes D_3 et D_4 sont polarisées en direct tandis que D_1 et D_2 sont bloquées.

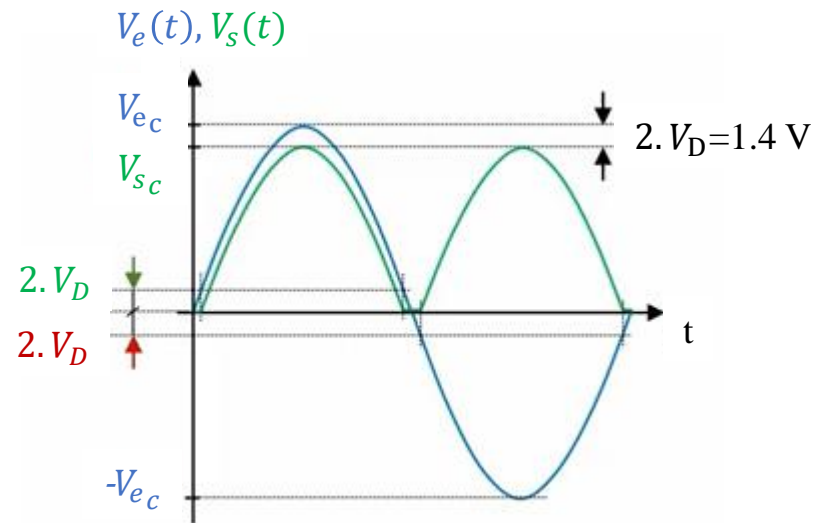
Une tension de sortie redressée à deux alternances apparait sur R à la suite de cette action.

Pour $t \in \left[\frac{T}{2}, T\right]$,

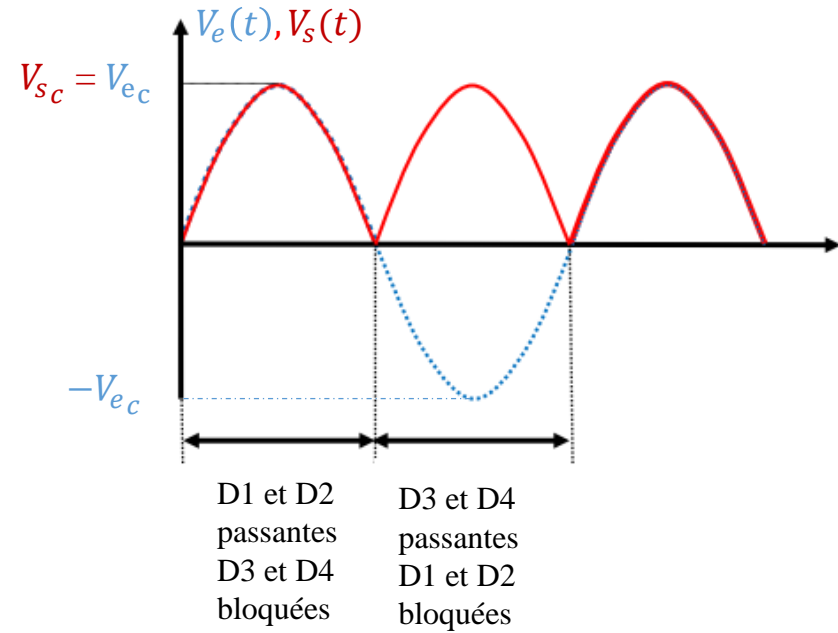
$V_{sc} = V_{ec}$, pour les diodes idéales.

$V_{sc} = V_{ec} - 1.4$, pour les diodes parfaites.





Diodes parfaites



Diodes idéales



- Valeur moyenne et valeur efficace de la tension double alternance

Comme pour le redresseur avec transformateur à point milieu, la tension moyenne et la tension efficace sont données par :

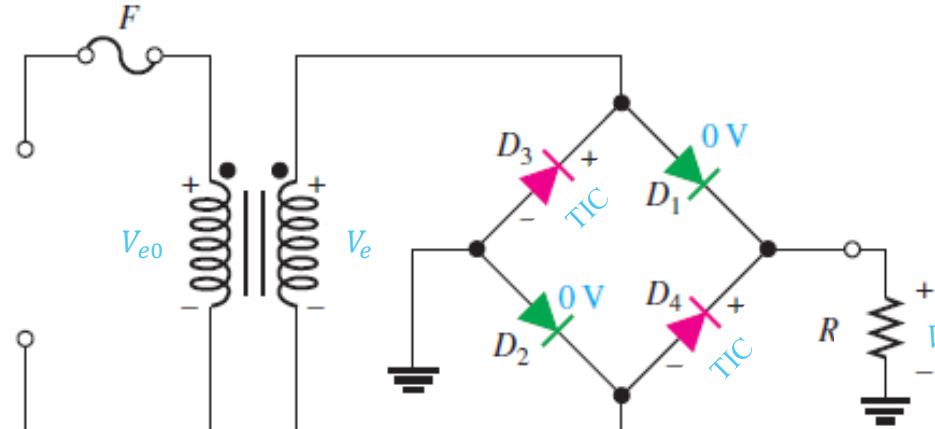
$$V_{s_{moy}} = \frac{2 V_{sc}}{\pi} \quad ; \quad V_{s_{eff}} = \frac{V_{sc}}{\sqrt{2}}$$

- Tension inverse crête

Quand D_1 et D_2 sont polarisées en direct, D_3 et D_4 sont polarisées en inverse. Dans ce cas, la tension inverse que doit supporter chaque diode polarisée en inverse correspond à la tension secondaire crête.

$$TIC = V_{ec}$$

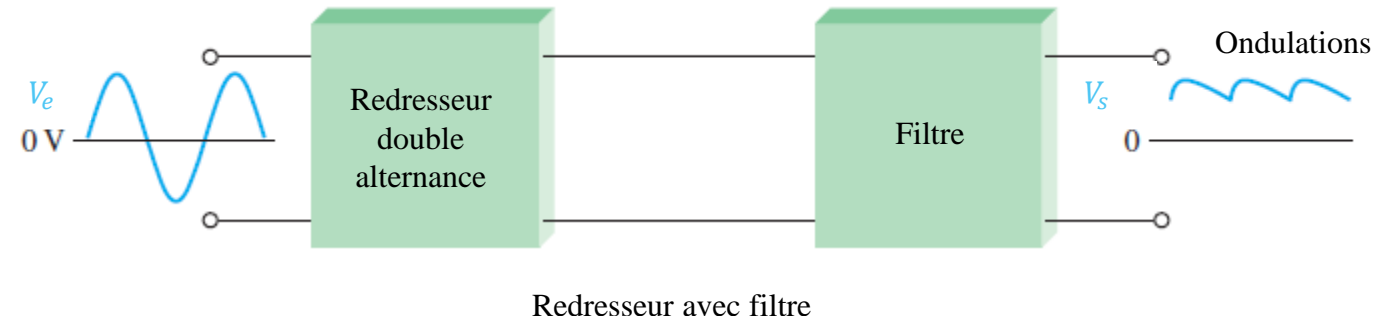
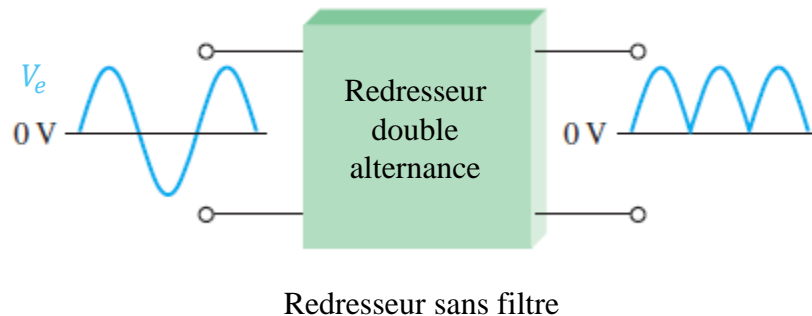
- Fréquence du signal de sortie : $f_s = 2f_e$





2. Filtrage

Après redressement, l'amplitude du signal reste trop grande pour pouvoir être utilisée par les appareils électroniques. Afin de minimiser cette tension, le filtrage est d'une grande nécessité. Un filtre d'alimentation réduit considérablement les fluctuations de la tension de sortie d'un redresseur mono-alternance ou double alternance et il produit une tension continue. Le filtrage est nécessaire car les circuits électroniques nécessitent une source constante de tension et de courant continu pour fournir de l'énergie et une polarisation pour un fonctionnement correct. Le filtrage est effectué en utilisant des condensateurs.





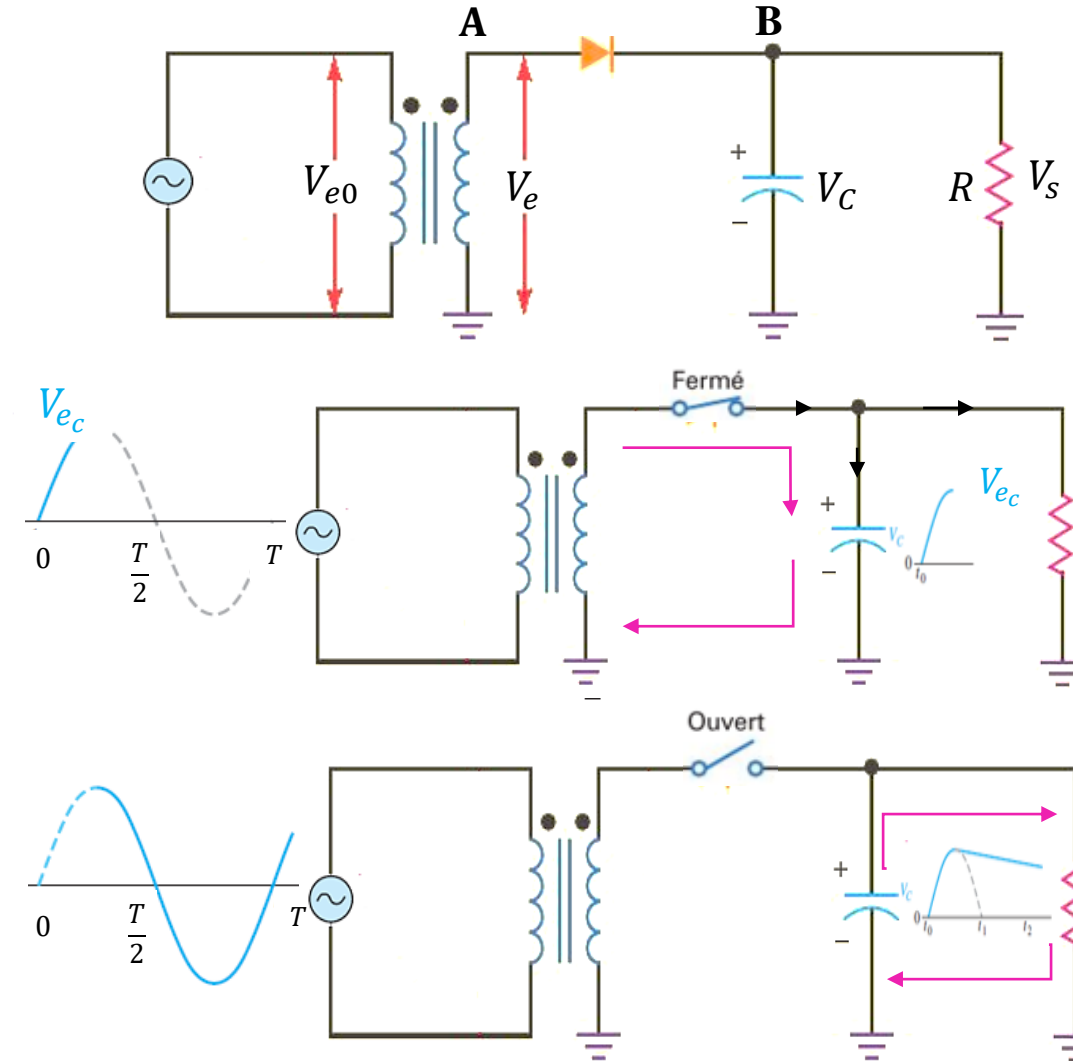
2.1. Filtrage pour un redresseur simple alternance

➤ Montage et principe de fonctionnement

Les montages précédents fournissent des tensions redressées, mais non constantes. Pour obtenir une tension constante, il suffit de mettre un gros condensateur en parallèle avec la charge. Le condensateur jouera le rôle d'un réservoir de charge. Il rentre dans un cycle de charge-décharge.

Cycle de charge : quand la tension d'entrée V_e (potentiel d'anode de la diode) est supérieure à la tension V_c du condensateur (potentiel de la cathode), la diode conduit. Dans ce cas, la charge est alimentée et le condensateur (supposé initialement déchargé) se charge jusqu'à atteindre son maximum.

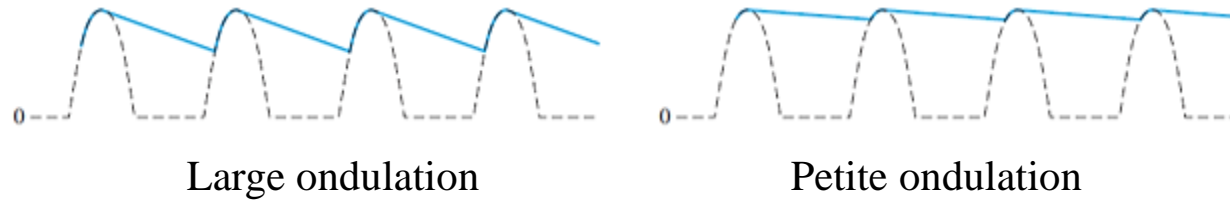
Cycle de décharge : quand la tension d'entrée V_e est inférieure à V_c , la diode devient bloquée ($V_A < V_B$). L'ensemble condensateur-résistance forme une boucle isolée de la tension d'entrée. Dans cette situation, le condensateur se comporte comme un générateur et se décharge dans R.





➤ Choix du condensateur

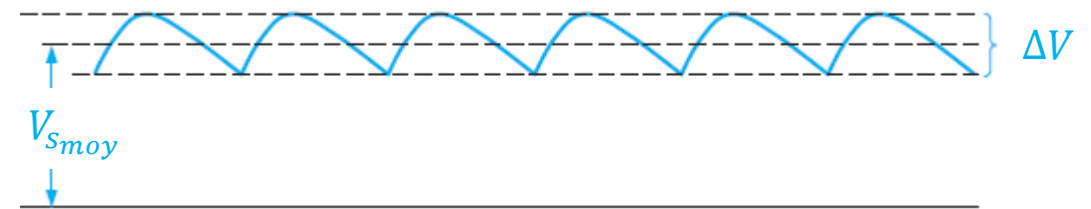
Le condensateur se charge rapidement au début du cycle et se décharge lentement, comme illustré ci-dessous :



La variation de la tension de sortie due à la charge et à la décharge du condensateur est dite **tension d'ondulation**. Plus l'ondulation est petite, plus on obtient un bon filtrage. Afin d'évaluer l'efficacité et l'opération du filtrage, nous calculons le facteur d'ondulation r . Il est défini comme le rapport entre la tension d'ondulation ($\Delta V = V_{s_{c-c}}$) et la valeur moyenne de la tension de sortie du filtre ($V_{s_{moy}}$). L'expression du facteur d'ondulation est : $r = \frac{\Delta V}{V_{s_{moy}}}$

Le taux d'ondulation est donc : $\tau(\%) = r \times 100 = \frac{\Delta V}{V_{s_{moy}}} \times 100$

Avec : $\Delta V = \frac{V_{s_c}}{R f C}$ et $V_{s_{moy}} = V_{s_c} - \frac{\Delta V}{2} = V_{s_c} \left(1 - \frac{1}{2R f C}\right)$

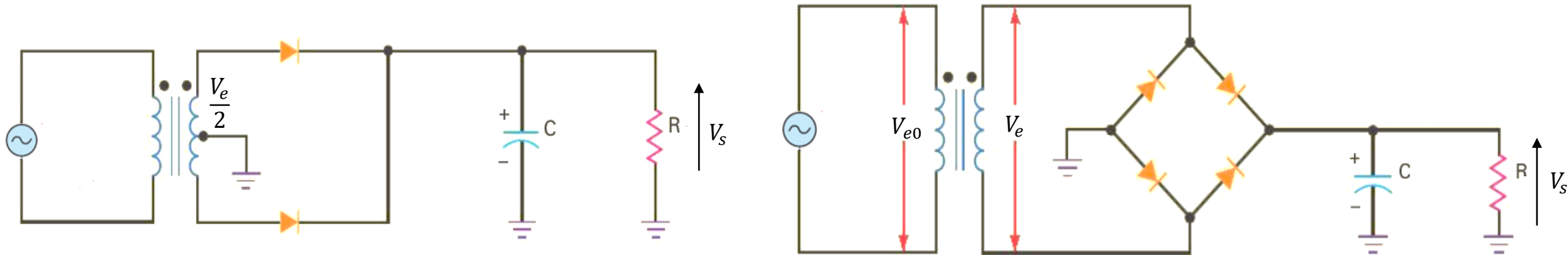


La capacité du condensateur est : $C = \frac{V_{s_c}}{f \cdot R \cdot \Delta V} = \frac{I_{s_c}}{f \Delta V} \cdot I_{s_c}$ ou I_{\max} est le courant maximal de décharge du condensateur.



2.2. Filtrage pour un redresseur double alternance

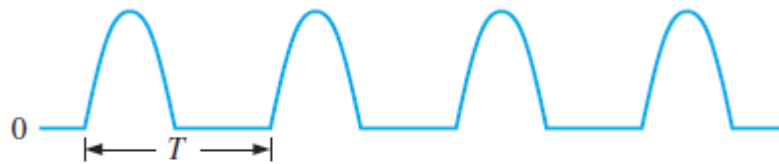
Le principe de fonctionnement reste le même que précédemment. Puisque la fréquence de la tension de sortie d'un redresseur double alternance **est le double** de celle d'un redresseur simple alternance, l'opération du filtrage pour un RDA devient simple et le **condensateur est deux fois plus petit**.



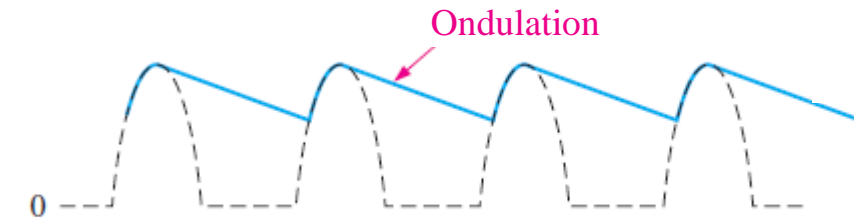


Pour un redressement double alternance, la fréquence de sortie est deux fois plus grande que la fréquence d'entrée et la tension d'ondulation est deux fois plus petite.

Pour une charge donnée, plus la capacité du filtrage est grande, plus le filtrage est efficace. Et pour un condensateur donné, moins la charge appelle le courant (R est grande), plus le filtrage est efficace.



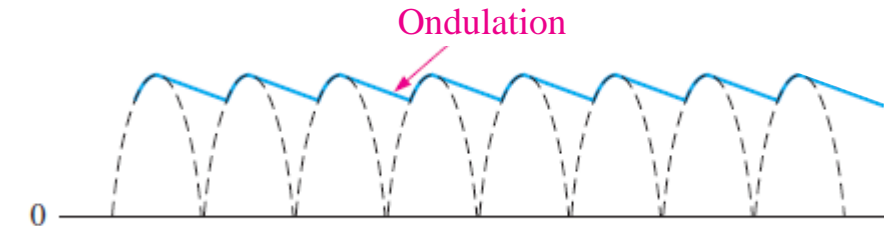
Tension de sortie d'un RSA



Filtrage de la tension de sortie d'un RSA



Tension de sortie d'un RDA



Filtrage de la tension de sortie d'un RDA

L'expression de la tension d'ondulation est : $\Delta V = \frac{V_{sc}}{2 R f C} = \frac{I_{sc}}{2 f C}$, donc $C = \frac{V_{sc}}{2 f R \Delta V}$

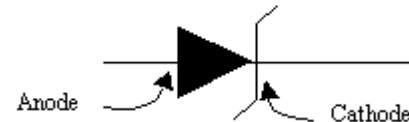


3. Stabilisation

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

3.1. Diode Zener

Les diodes petit signal et les diodes de redressement ne fonctionnent jamais volontairement dans la zone de claquage car c'est dangereux pour elles. Une diode Zener est différente, c'est une diode au silicium que le constructeur a optimisée pour opérer dans la zone de claquage. Elle conduit le courant dans les deux sens. La diode Zener est l'ossature des régulateurs de tension : circuits qui maintiennent la tension sur la charge presque constante en dépit des variations du secteur et de la résistance de charge. Pour les diodes Zener, la ligne ressemble à un Z comme « Zener ».



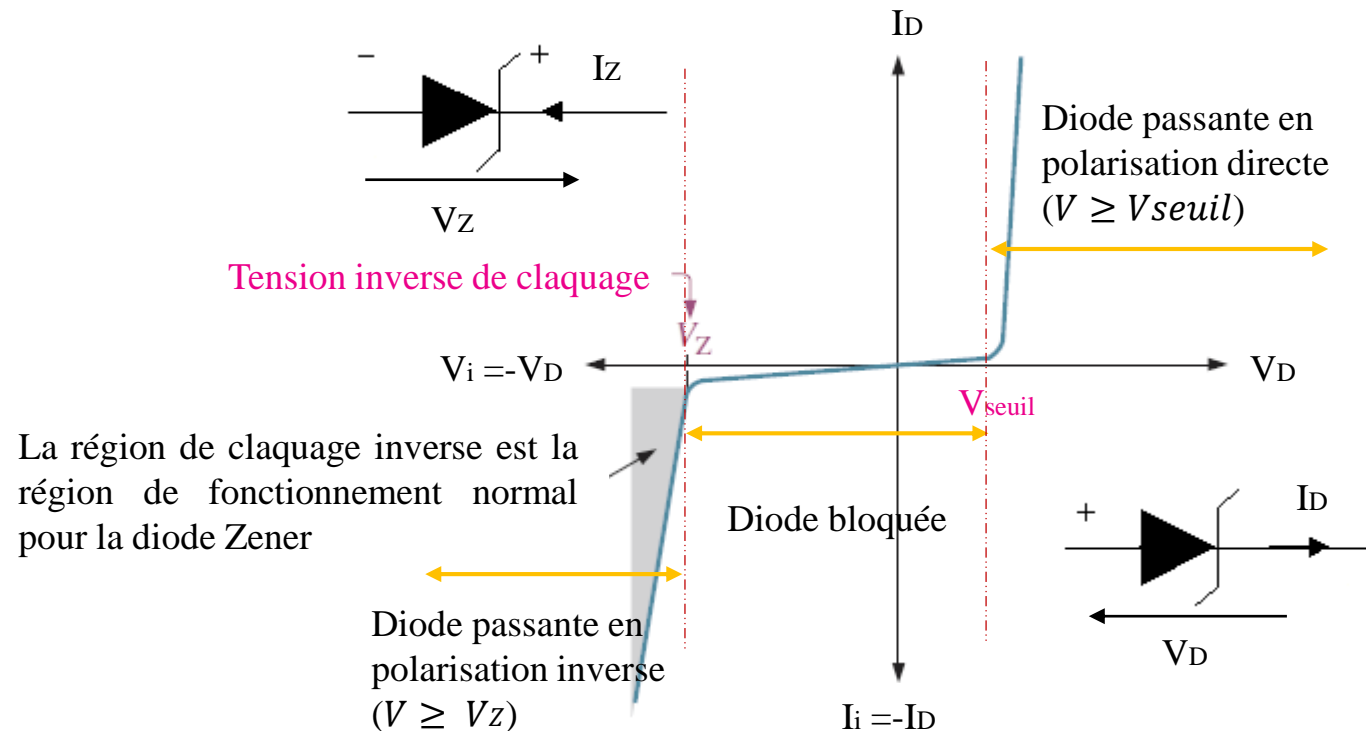
En variant le dopage, les constructeurs peuvent réaliser des tensions inverses de claquage différentes. Ces diodes peuvent fonctionner dans les trois régions : directe, inverse et de claquage.



3.2. Caractéristique d'une diode Zener

En direct, la diode Zener se comporte comme une diode standard (fait passer le courant si la tension est supérieure à V_{seuil}). En inverse, elle est conçue à produire une tension déterminée sans sa destruction. Elle ne fait passer le courant que si la tension dépasse la tension Zener V_Z .

La tension inverse est augmentée, le courant inverse (I_Z) reste extrêmement faible jusqu'au « genou » de la courbe. A ce point, la tension de Zener (V_Z) reste essentiellement constante bien qu'elle augmente légèrement comme le courant Zener, I_Z , augmente.

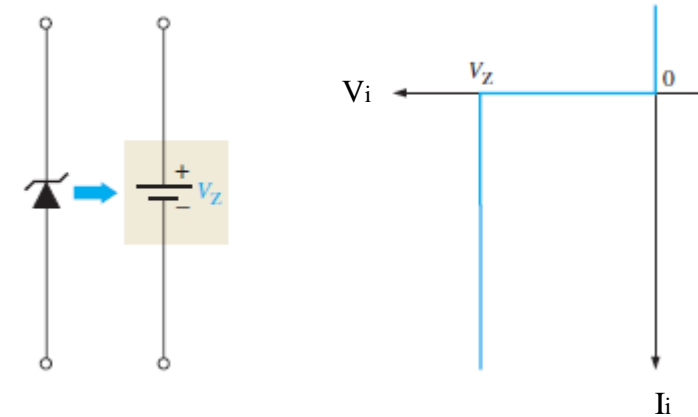




3.3. Modèles d'une diode Zener

➤ 1^{ère} approximation de la diode Zener

En inverse, la diode Zener a une chute de tension égale à la tension Zener (V_Z). Dans cette approximation, elle est représentée par un générateur V_Z (la diode ne génère pas une tension).

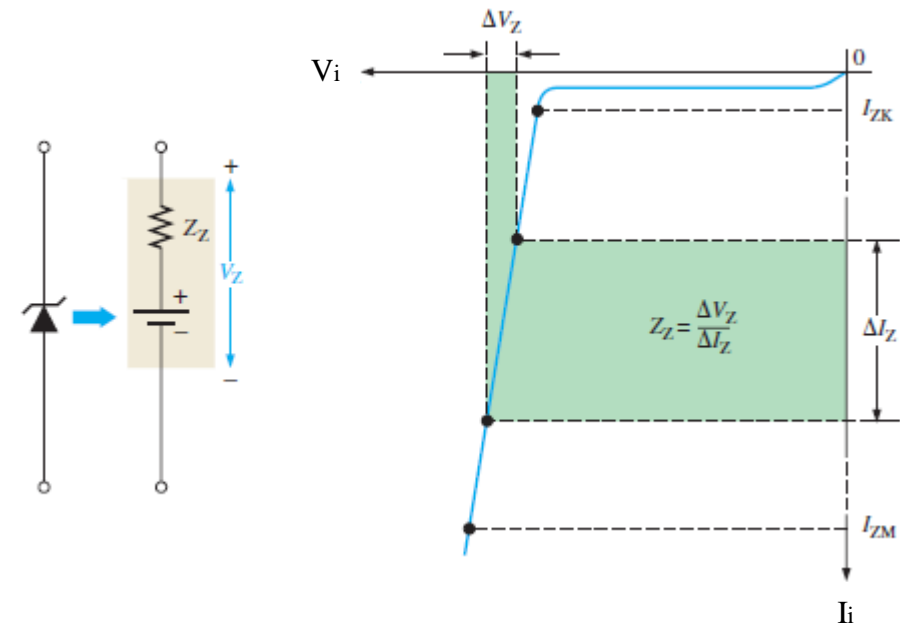


➤ 2^{ème} approximation de la diode Zener

Dans cette approximation, la résistance Zener est tenue en compte. Cette résistance est égale à l'inverse de la pente de la caractéristique dans la région de claquage. Autrement dit, plus la courbe est verticale, plus la résistance Zener est faible.

$$R_Z = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z}$$

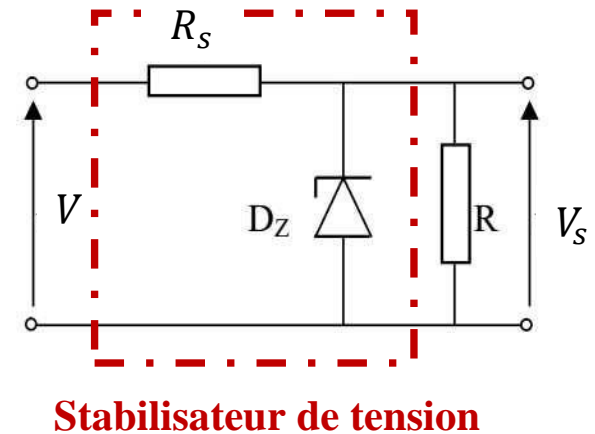
Les paramètres de la courbe de la diode Zener sont définis comme suit : V_Z = tension de claquage Zener (V), I_{ZM} = courant maximum Zener (A) et I_{ZK} = courant de coude Zener (A).





3.4. Stabilisation par diode Zener

Un régulateur de tension est un dispositif qui permet de **stabiliser la tension à une valeur fixe** et qui est nécessaire pour alimenter les systèmes électroniques qui ont besoin d'une tension ne présentant aucune fluctuation. Les diodes Zener sont idéales pour réguler les tensions, puisqu'elles fonctionnent dans la zone de claquage et maintiennent la tension presque constante. Elles sont évidemment choisies de sorte que V_Z soit égale à la tension de sortie désirée. Le circuit de stabilisation par diode Zener est représenté dans la figure ci-contre :



Une résistance série R_s est toujours utilisée pour limiter le courant en dessous de la valeur maximale admissible ; sinon, la diode Zener est détruite, comme tout composant dissipant trop de puissance.

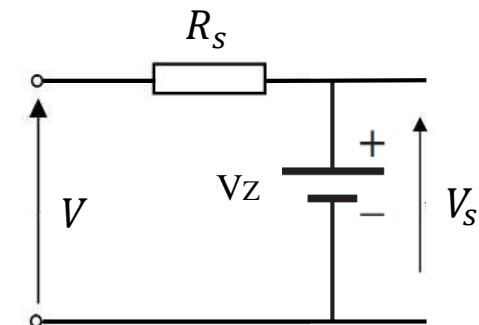
Supposons que la charge R est déconnectée et la résistance de Zener R_z est négligée.

Si $V \geq V_Z$ alors $V_s = V_Z$

Si $V < V_Z$ alors $V_s = V$.

Alors, pour pouvoir stabiliser la tension de sortie par diode Zener, il faut que :

- $V \geq V_Z$
- le courant dans la diode Zener I_z ne tombe jamais au-dessous de I_{ZK} .
- le courant dans la diode Zener I_z ne dépasse pas I_{ZM} .

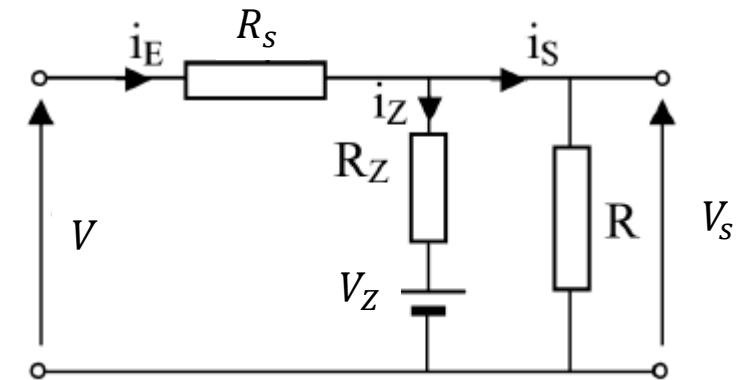




Supposons que la charge R est connectée et la résistance de Zener R_Z est prise en compte.

Si $V \geq V_Z$

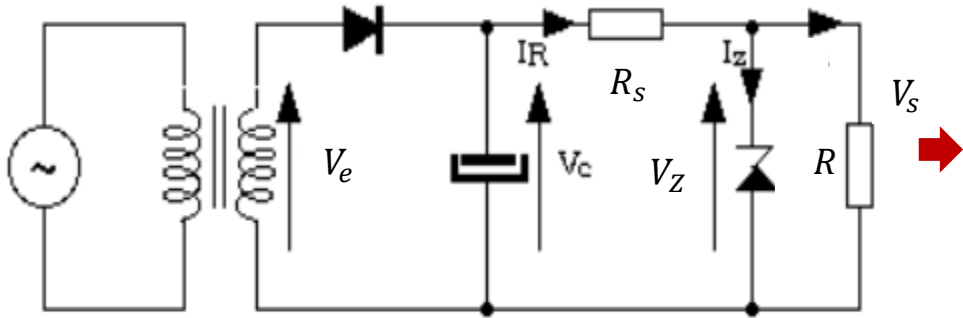
$$V_s = \frac{1}{1 + R_s(\frac{1}{R_Z} + \frac{1}{R})} V + \frac{\frac{R_s}{R_Z}}{1 + R_s(\frac{1}{R_Z} + \frac{1}{R})} V_Z$$



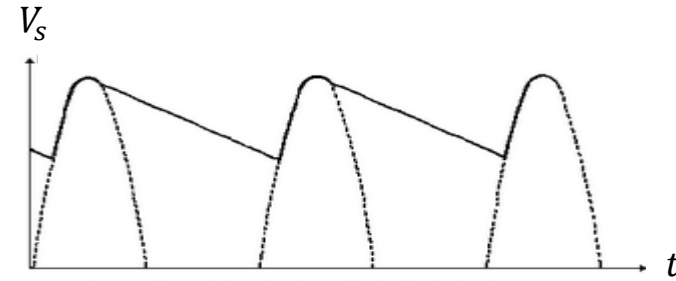
Alors, pour pouvoir stabiliser la tension de sortie par diode Zener, il faut que :

- $V \geq V_Z$
- le courant dans la diode Zener I_Z ne tombe jamais au-dessous de I_{ZK} (la stabilisation n'est pas possible si I_Z est inférieur au courant minimal I_{ZK}).
- le courant dans la diode Zener I_Z ne dépasse pas I_{ZM} (au-delà de l'intensité maximale supportée par la diode, la diode Zener peut être détériorée).

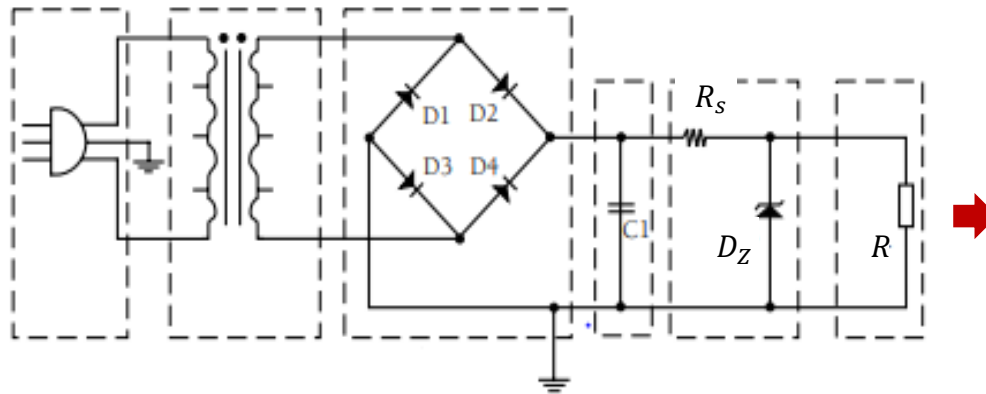
CIRCUITS A DIODES



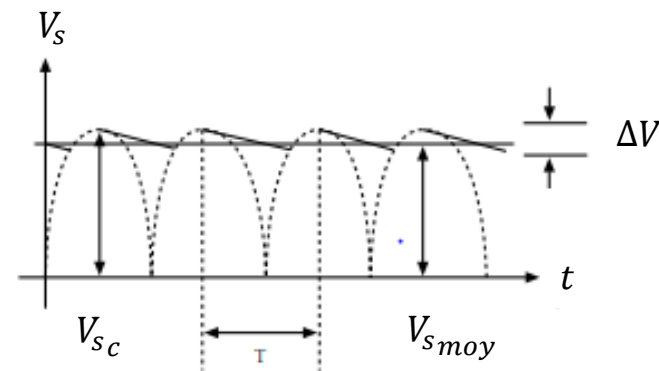
Montage de redressement simple alternance



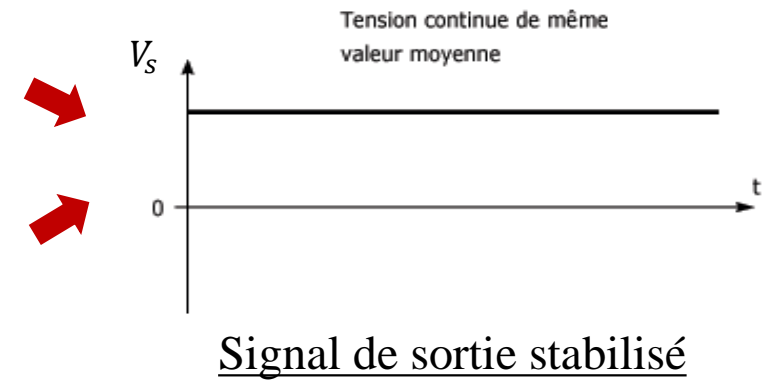
Signal de sortie redressé et filtré



Montage de redressement double alternance



Signal de sortie redressé et filtré





4. Diodes particulières

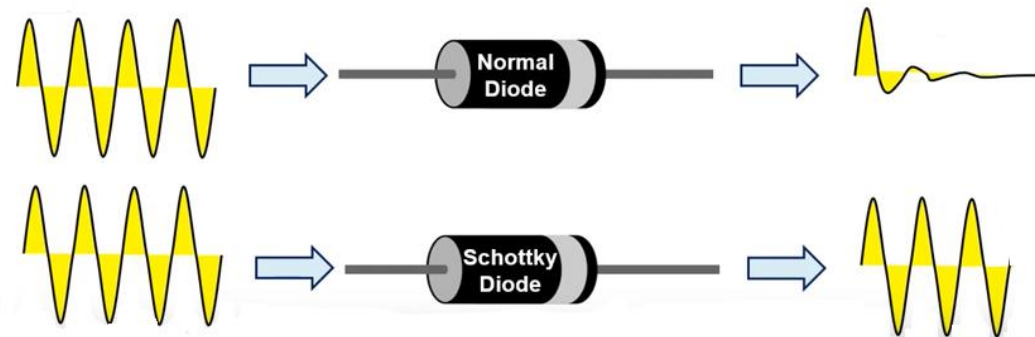
En modifiant certains paramètres (concentrations en impuretés, géométrie de la jonction, etc), on obtient des composants diversifiés utilisables dans de nombreux domaines, comme :

<u>Redressement</u> <ul style="list-style-type: none">○ Diodes de redressement classiques.	<u>Protection et stabilisation</u> <ul style="list-style-type: none">○ Diodes stabilisatrices de tension (diodes Zener)○ Diodes de protection○ Diodes de référence, etc.
<u>Electronique rapide</u> <ul style="list-style-type: none">○ Diodes tunnel○ Diodes PIN○ Diodes Schottky○ Diodes varicap○ Diodes Gunn, etc.	<u>Optoélectronique</u> <ul style="list-style-type: none">○ Diodes électroluminescentes LED○ Photodiodes○ Diodes laser○ Photopiles○ Etc.



➤ Diode Schottky

Autour de 50-60 Hz, le redressement de la tension se fait grâce à une diode standard sans problème. Mais, une fois que la fréquence est plus grande (5 kHz par exemple), la diode standard commence à se détériorer et ne peut pas répondre rapidement aux alternances négatives (elle n'est plus capable de se bloquer assez rapidement pour produire un signal simple alternance bien défini), ce qui produit des alternances indésirables vers les alternances négatives. Le problème est éliminé lorsqu'on utilise une diode Schottky.

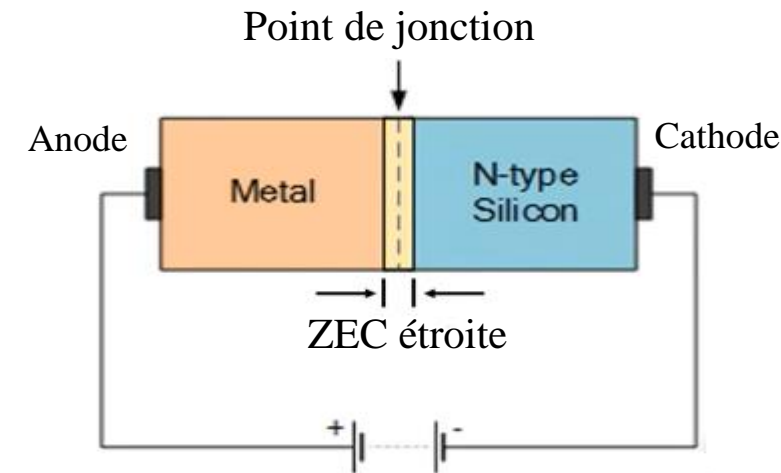




➤ Diode Schottky

Afin de permettre un fonctionnement à des fréquences plus élevées, la diode standard a été modifiée. La jonction PN a été remplacée par une jonction métal-semi-conducteur, comme l'or-silicium. Elle possède une tension de seuil plus faible que celle d'une diode ordinaire ($\approx 0.3V$). Elle commute très rapidement les signaux et peut conduire un fort courant (utilisée en HF).

L'application la plus importante des diodes Schottky se trouve dans les ordinateurs. Leur rapidité est proportionnelle à la vitesse à laquelle leurs diodes commutent. Elle est également utilisée dans le domaine de radiofréquence, dans la démodulation et dans les redresseurs qui nécessitent une vitesse de commutation élevée afin de répondre à ces changements rapides.

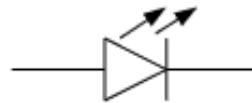




➤ Diode électroluminescente (LED)

La structure d'une LED (ou DEL) est identique à celle d'une diode normale. Le symbole de la LED est comme celui d'une diode standard avec l'ajout de deux flèches qui représentent la lumière émise.

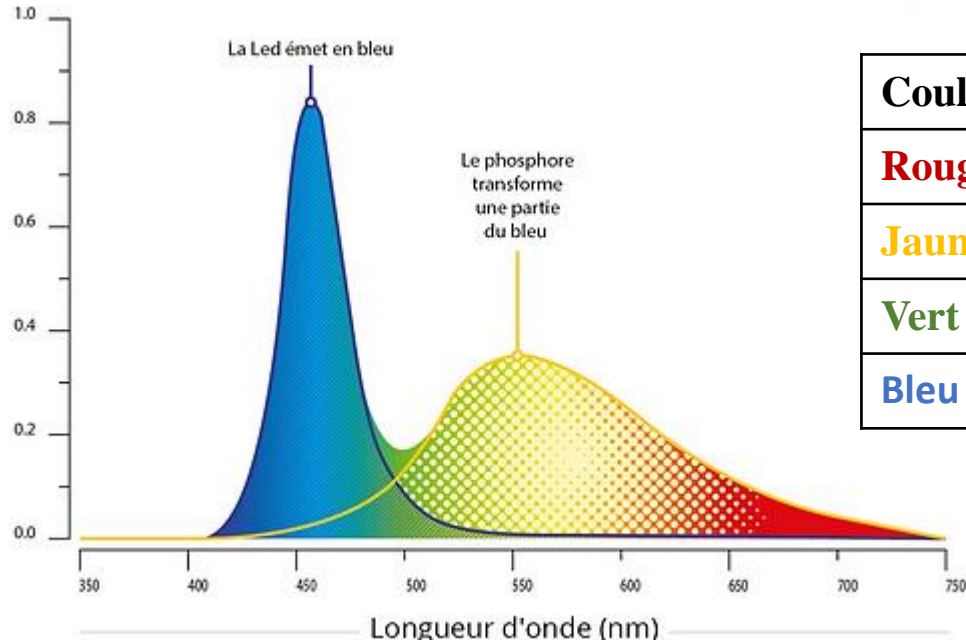
Les électrons libres traversant la jonction se recombinent avec les trous. Lors de cette recombinaison, ils perdent de l'énergie. Dans les autres diodes, cette énergie est dissipée en chaleur, mais dans les diodes électroluminescentes, elle est transformée en radiation lumineuse. Ceci est dû au choix du semi-conducteur (le silicium et le germanium ne sont pas utilisés car ils produisent de la chaleur et non de la lumière). La LED peut contenir de l'arséniure de gallium (GaAs), du phosphate d'arséniure (GaAsP) de gallium ou du phosphate de gallium (GaP). Elle possède une faible valeur de tension inverse.





➤ Diode électroluminescente

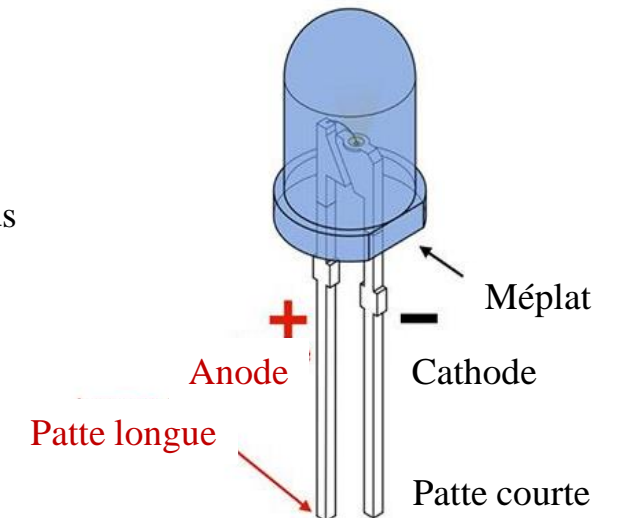
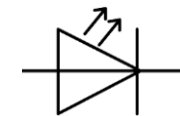
Selon les éléments de dopage (gallium, arsenic, phosphore, etc.), les diodes émettent du rouge, du vert, du jaune, de l'orange, du bleu ou de l'infrarouge (invisible). Les longueurs d'onde des LEDs sont : bleue à 460 nm, verte 540 nm, jaune 590 nm, rouge 660 nm et infrarouge 940 nm. La diode LED présente des avantages par rapport à une lampe à incandescence; basse tension (1 à 2 V), rapidité de commutation (quelques ns) et durée de vie (> 20 ans).



Couleur (λ (Å))	Tension seuil
Rouge	~ 1.6 V
Jaune	~ 2 V
Vert	~ 2.1 V
Bleu	~ 4.5 V



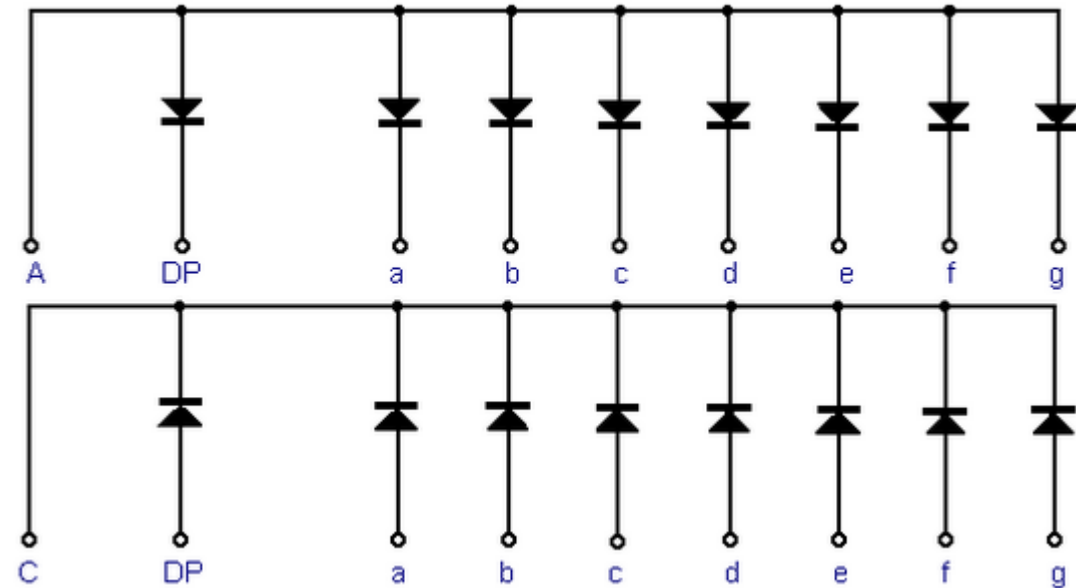
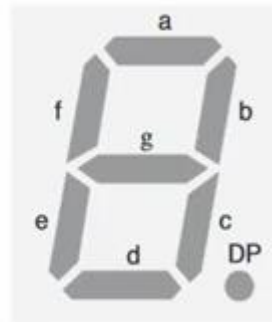
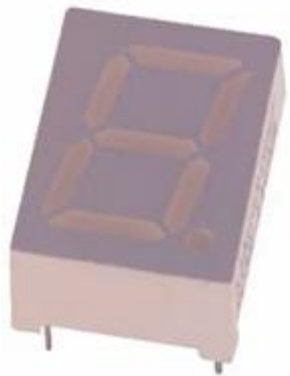
Modèles standards





➤ Diode électroluminescente

Les afficheurs à sept segments sont des afficheurs à LEDs très répandus qui permettent d'afficher des valeurs alphanumériques. On les trouve dans beaucoup d'appareils ou dispositifs électroniques industriels, d'instrumentation, de mesure ou grand public. Il s'agit d'un ensemble de 7 LEDs définies de « a » à « g » selon une répartition standard (chaque LED doit être connectée à une résistance série) et un point décimal (DP).





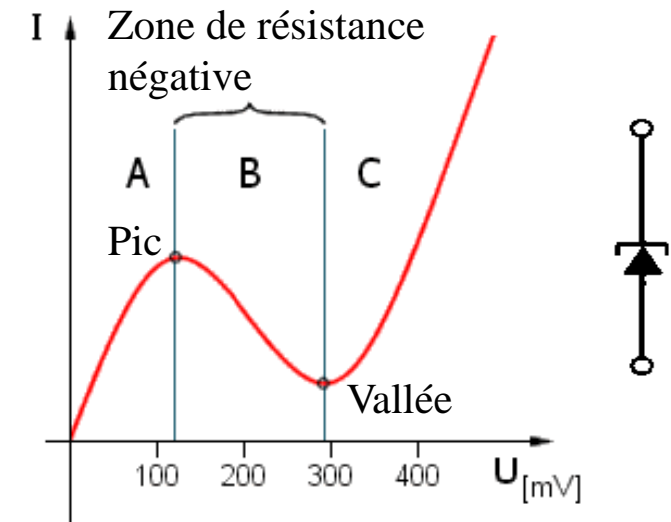
➤ Diode Tunnel

Une jonction classique utilise des semi-conducteurs faiblement dopés, ce qui donne une zone de déplétion assez large. La conduction dans une diode formée par une telle jonction PN se produit seulement quand la polarisation directe atteint un seuil déterminé permettant de vaincre le potentiel électrostatique de la barrière. Dans une **diode tunnel**, les matériaux de la jonction sont fortement dopés. Ce fort dopage produit une très mince zone de déplétion et le claquage inverse se produit à 0 V. En outre, les dopages très importants distordent la caractéristique. À cause de cela, la diode tunnel a une courbe $I = f(V)$ très inhabituelle comme on peut le constater dans la figure ci-contre.

Trois zones différentes sont distinguées :

- **Zone A** : le courant en polarisation directe augmente à partir d'une tension nulle jusqu'à un pic (I_p) pour une tension relativement faible.
- **Zone B** : elle présente une résistance négative utile pour des circuits hautes fréquences dits oscillateurs. Le courant dans cette zone diminue, même si la tension augmente, jusqu'à un minimum relatif appelé vallée (I_v).
- **Zone C** : le courant recommence à augmenter si la polarisation augmente (on peut assimiler la diode tunnel à une diode ordinaire).

En utilisant une polarisation directe entre le pic et la vallée, la diode peut devenir un oscillateur ou un amplificateur dans une grande variété de fréquences et d'applications.





➤ Diode Varicap

La diode à capacité variable (aussi appelée varactor ou varicap) est largement utilisée dans les récepteurs FM, télévision, et autres équipements de communication à cause de son utilité dans l'accord électronique.

En polarisation inverse, la diode varicap présente une capacité variable qui décroît avec la tension continue qui lui est appliquée, ce qui nous permet de l'utiliser comme un condensateur variable commandé en tension.



La diode varicap est utilisée dans de nombreuses applications radiofréquence. Elle sert notamment à réaliser des oscillateurs à fréquence variable (VCO).