

Chapitre 4

DIODES et CIRCUITS A DIODES

Une **diode** est constituée **d'une seule**
jonction PN.

C'est un composant qui utilise **les**
propriétés de la jonction PN.

Ces propriétés sont: (Voir chapitre 3)

- a. Une jonction PN conduit très bien en polarisation directe et très mal en polarisation inverse.**
- b. Dans la zone de rupture, U varie très peu en fonction de I .**

c. La capacité de transition dépend de la tension inverse appliquée: C_t diminue quand la tension inverse augmente.

d. En polarisation directe, il y a recombinaison permanente près de la jonction.

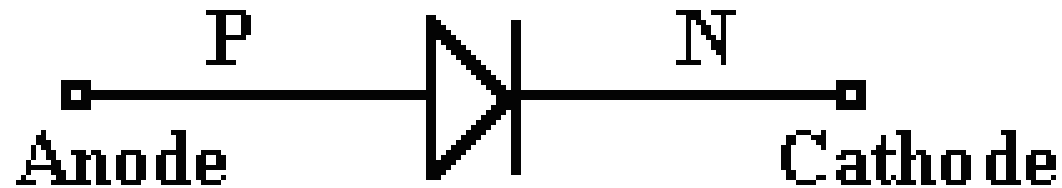
e. Le nombre de porteurs minoritaires dans la zone de déplétion augmente en excitant les atomes de cette zone.

4.1 Différents types de diodes:

- ✓ Diode de redressement: propriété (a)
- ✓ Diode de commutation : propriété (a)
- ✓ Diode zener: propriété (b)
- ✓ Diode à capacité variable: propriété (c)
- ✓ Diode électroluminescente: propriété (d)
- ✓ Photodiode: propriété (e)
- ✓ Diode de Schottky:
- ✓ Diode Tunnel (ou d'Esaki):

4.1.1 Diode de redressement:

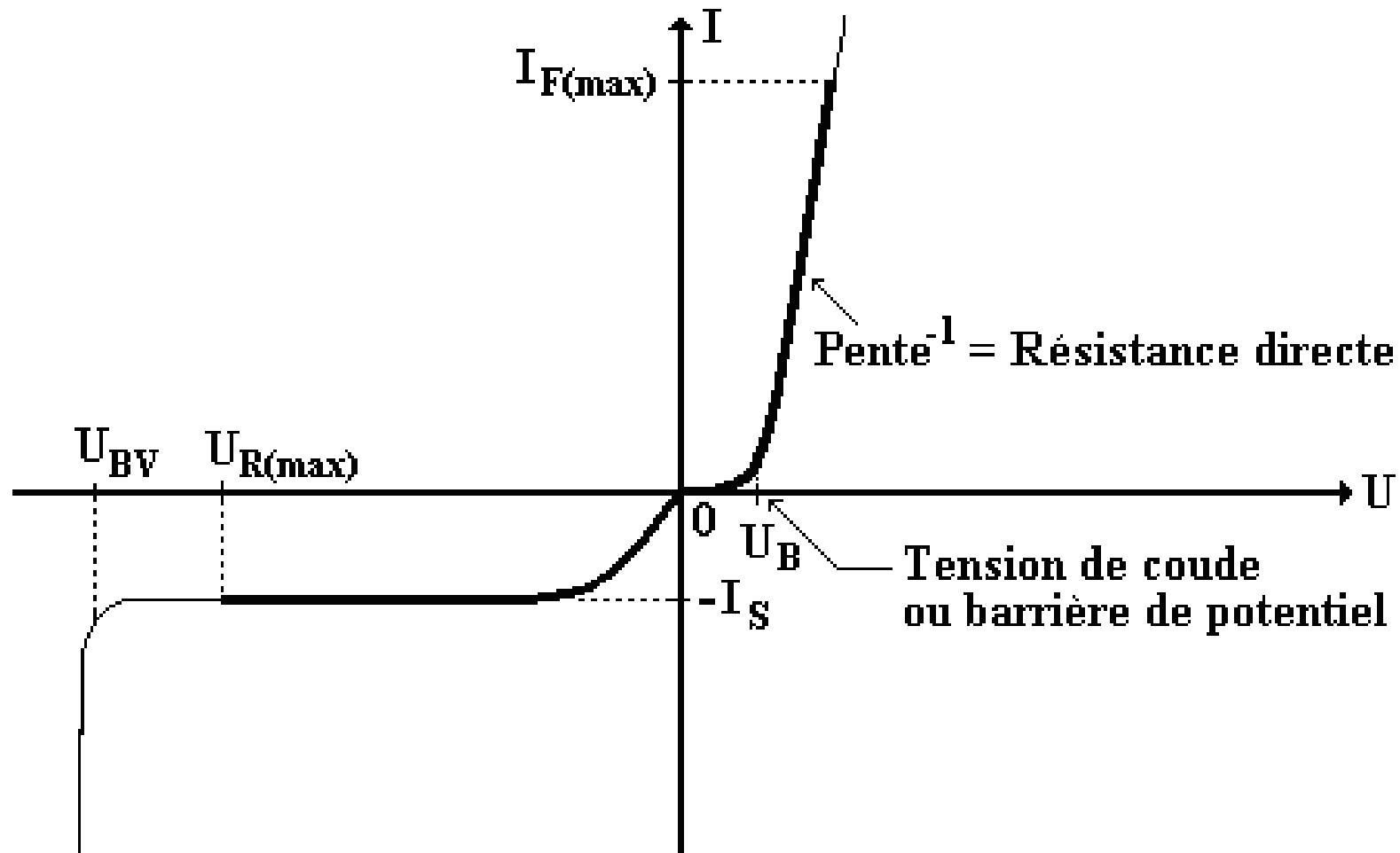
a. Symbole:



La borne P s'appelle anode, la borne N s'appelle cathode.

La diode redresseuse utilise la propriété (a).

b. Caractéristique:



C'est la partie représentée en gras.

Remarques:

1. En polarisation directe, un courant permanent supérieur au courant limite $I_F(\text{max})$ détruira la diode ou réduira sa durée de vie.

2. En polarisation inverse, la diode de redressement doit toujours fonctionner au-dessous de la tension de rupture.

La tension inverse appliquée ne doit pas dépasser une valeur limite $U_R(\text{max})$.

3. La diode dissipe une puissance P_D égale au produit de sa tension par son courant.

Si on dépasse la puissance limite $P_D(\text{max})$, la diode est détruite.

c. Approximations:

- Première approximation:

En polarisation directe:

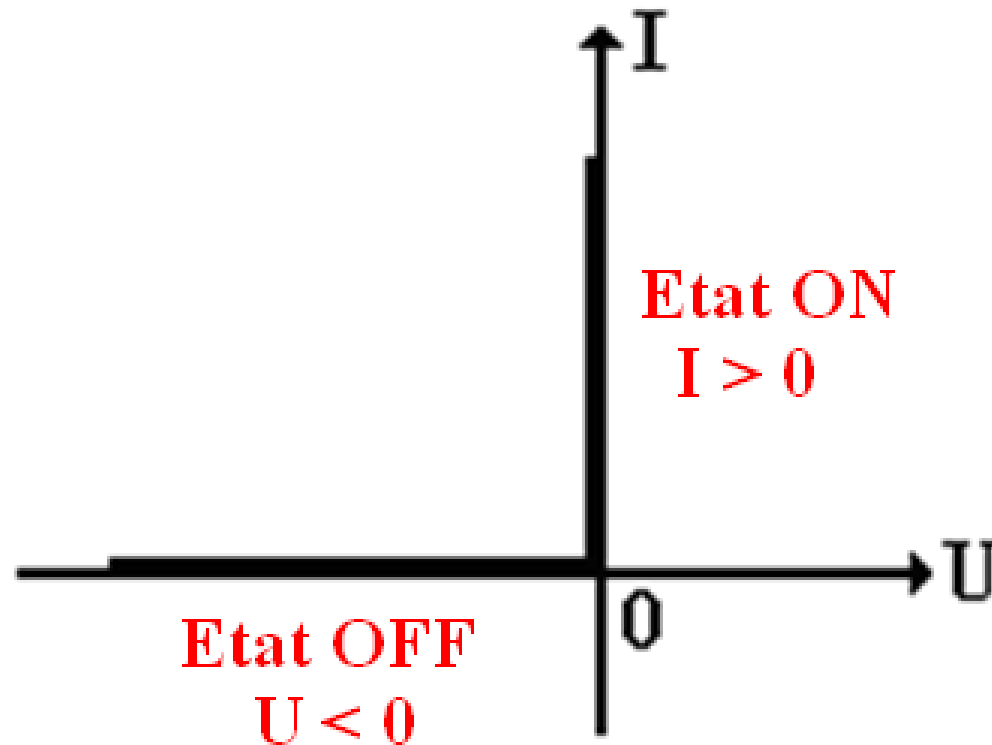
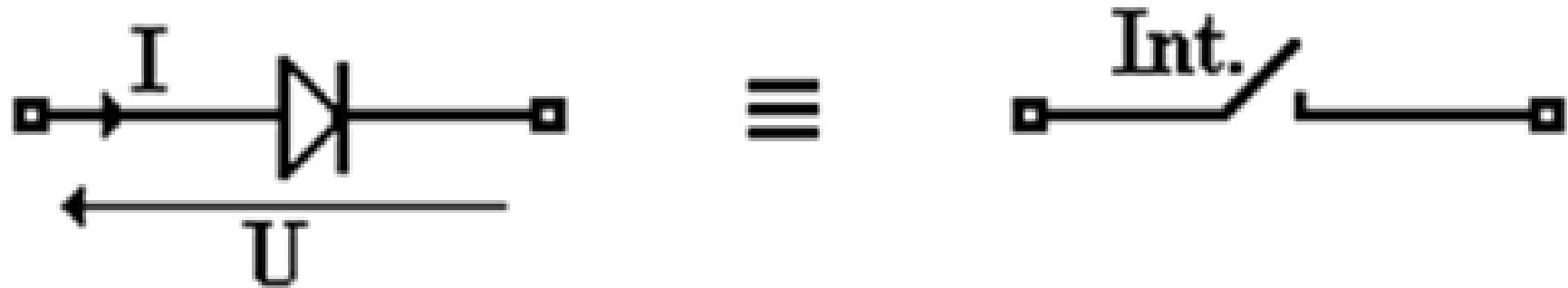
$I > 0$, $U = 0$ (interrupteur fermé)

En polarisation inverse:

$U < 0$, $I = 0$ (interrupteur ouvert)

Dans ce cas la diode est dite diode
idéale.

- Première approximation:



- Deuxième approximation:

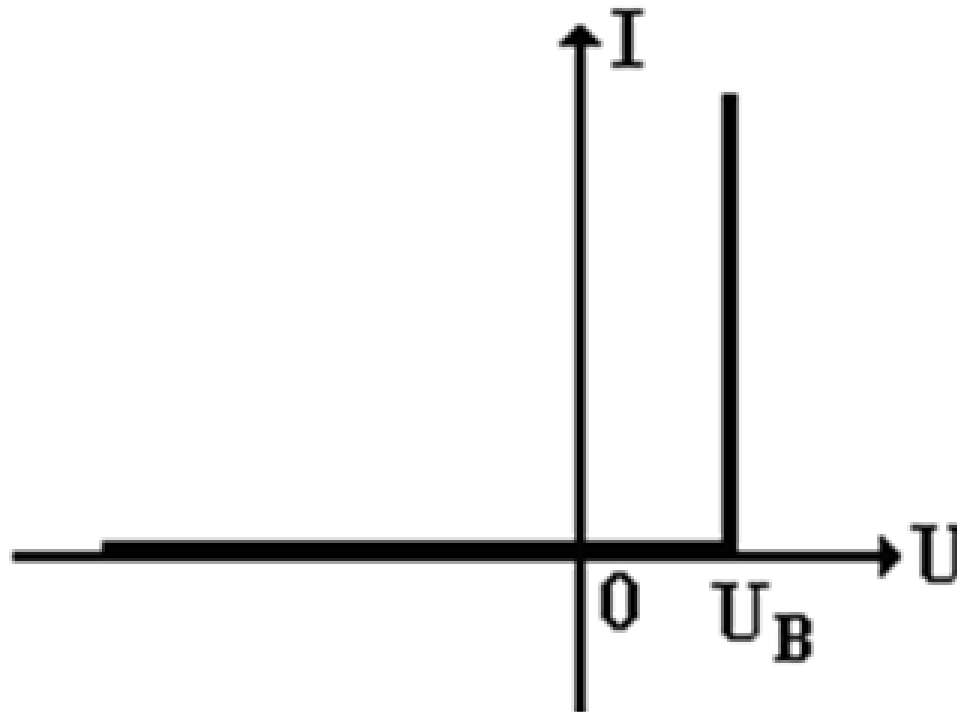
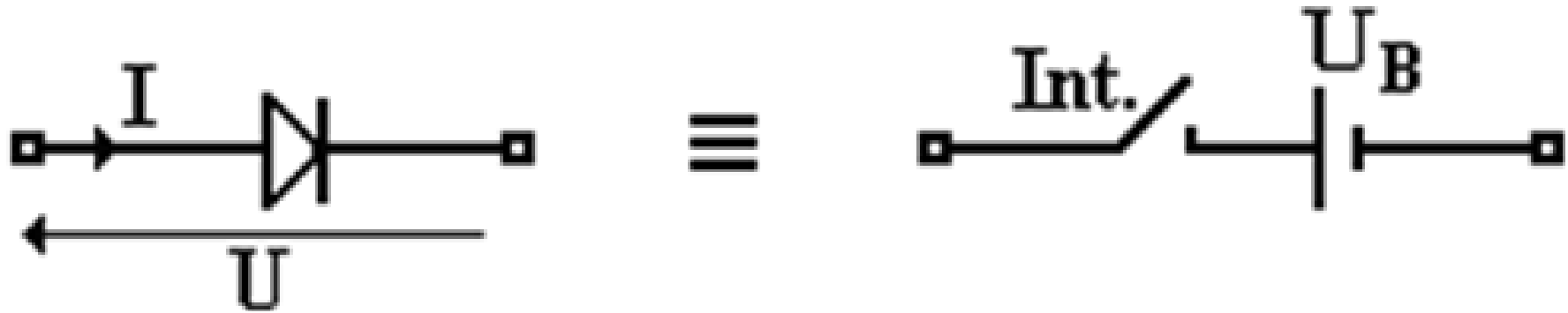
On tient compte de U_B .

La diode ne commence à conduire, que si la tension appliquée est égale à U_B .

Si $U > U_B$, l'interrupteur se ferme.

Si $U < U_B$, l'interrupteur s'ouvre.

- Deuxième approximation:



-Troisième approximation:

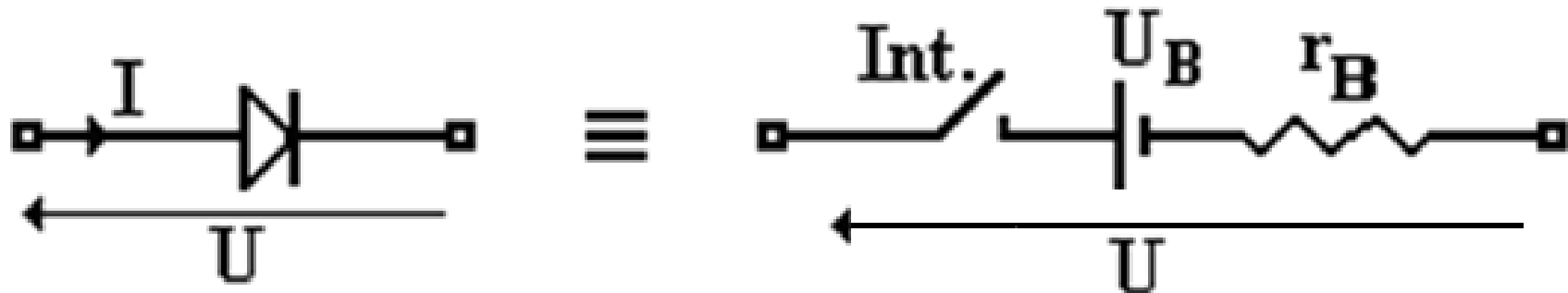
On tient compte de U_B et de r_B .

La diode se met à conduire à U_B .

**Une tension supplémentaire apparaît
entre les bornes de la résistance.**

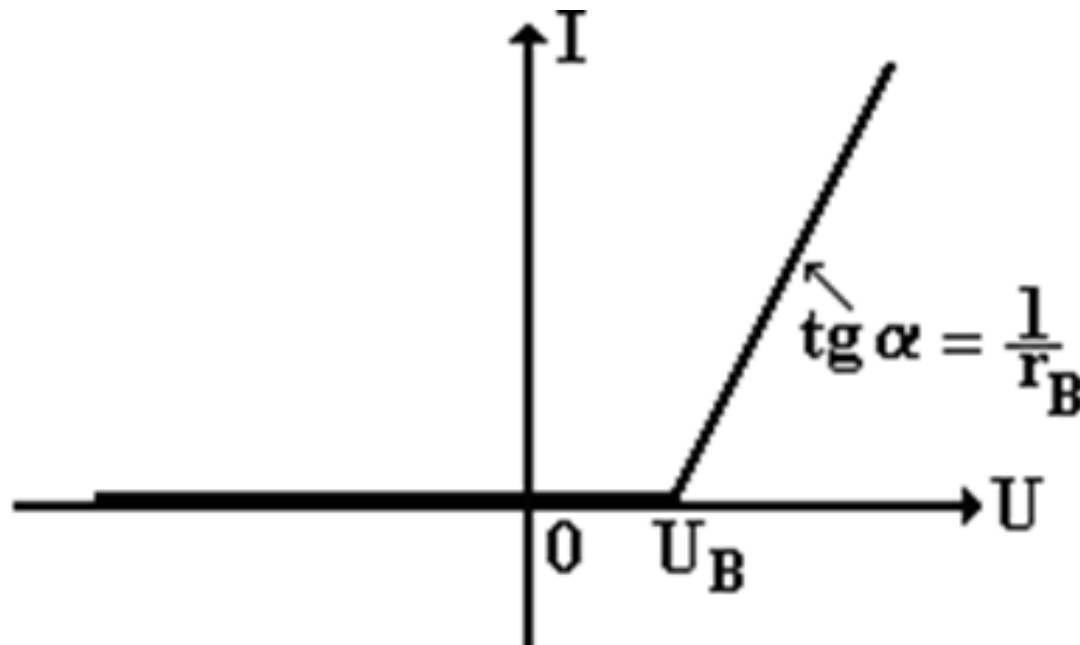
**La tension totale est donc supérieure à
 U_B .**

-Troisième approximation:



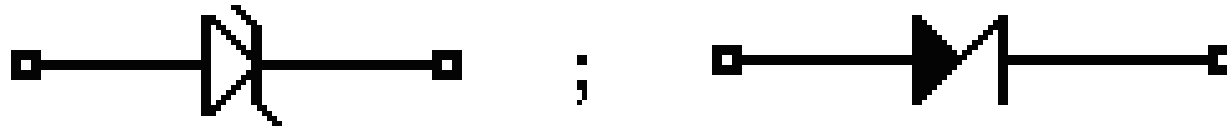
La tension aux bornes de la diode est:

$$U = U_B + I \cdot r_B$$



4.1.2 Diode zener:

a. Symboles:

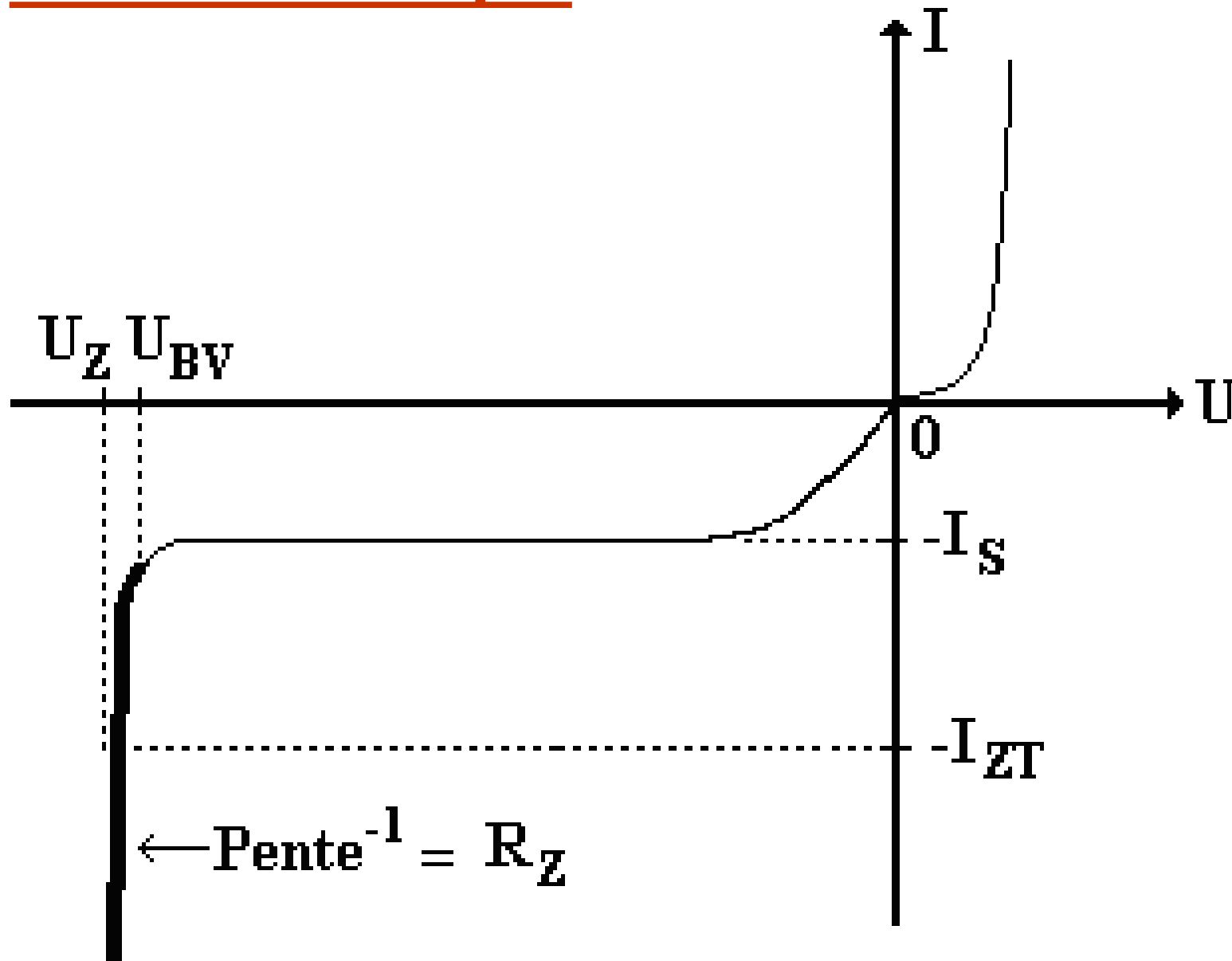


Son principe est basé sur la propriété (b).

Elle fonctionne dans la région de rupture.

C'est l'élément principal dans un **circuit de régulation de tension**.

b. Caractéristique:



c. Données importantes:

✓ Tension de zener (U_Z) donnée pour une valeur particulière de I_Z (I_{ZT} : Courant d'essai).

✓ Résistance dynamique (R_Z): Résistance de la région de rupture, elle est donnée pour le même courant d'essai I_{ZT} .

✓ Puissance dissipée maximale ($P_D(\max)$):

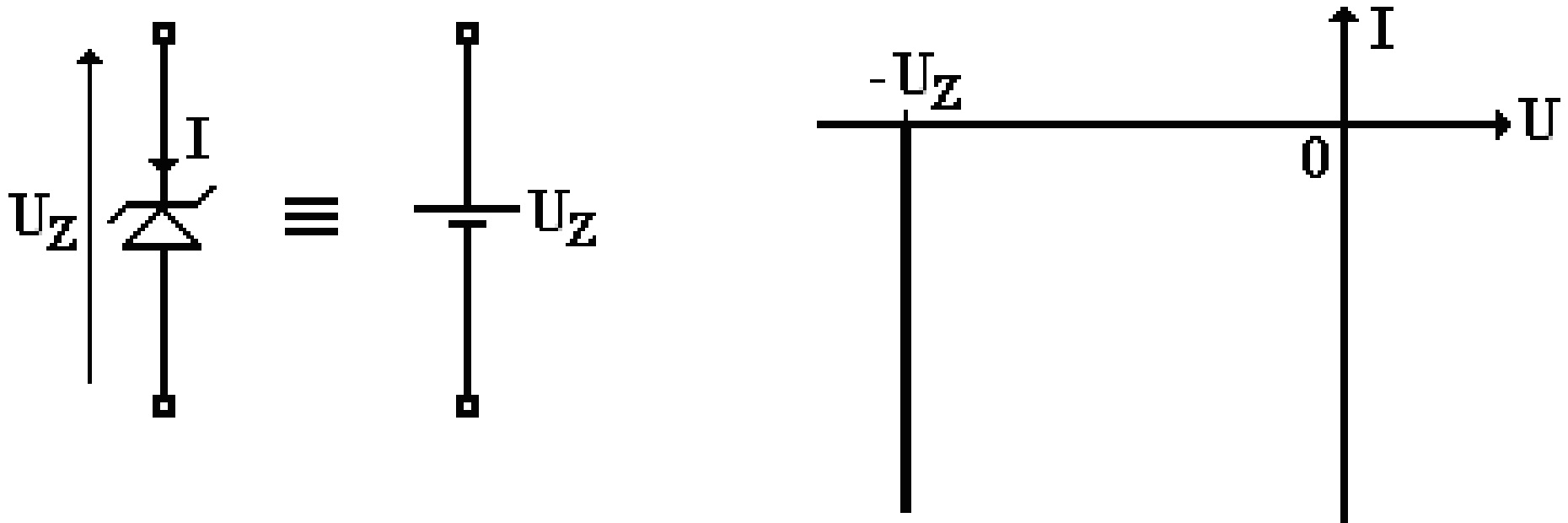
La puissance dissipée par une diode zener est:

$$✓ P_Z = U_Z \cdot I_Z < P_D(\max)$$

d. Approximations:

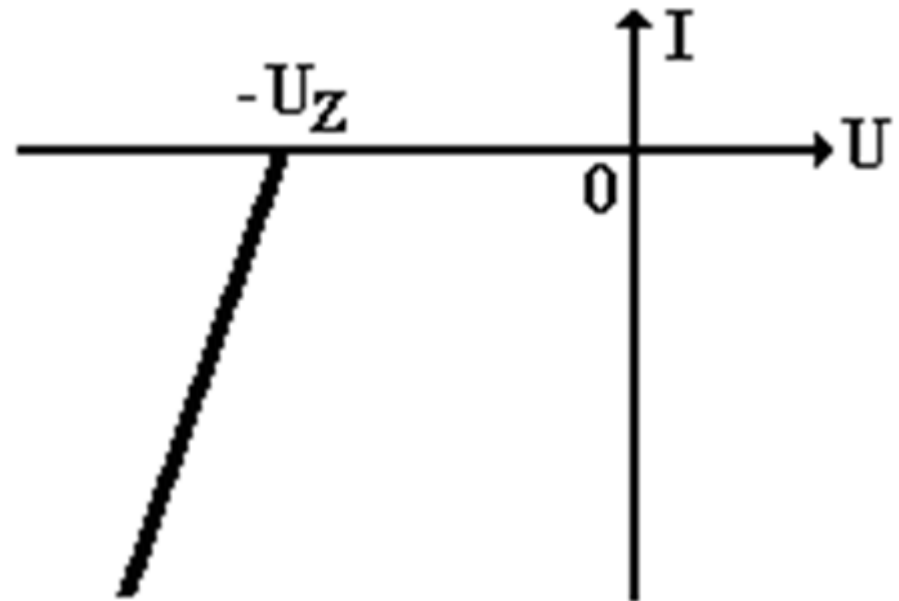
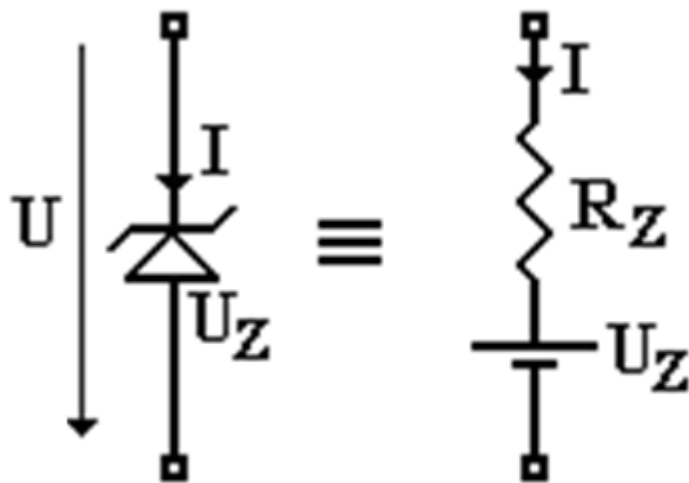
- Première approximation:

On ignore la résistance de zener R_Z .



- Deuxième approximation:

On tient compte de R_Z .



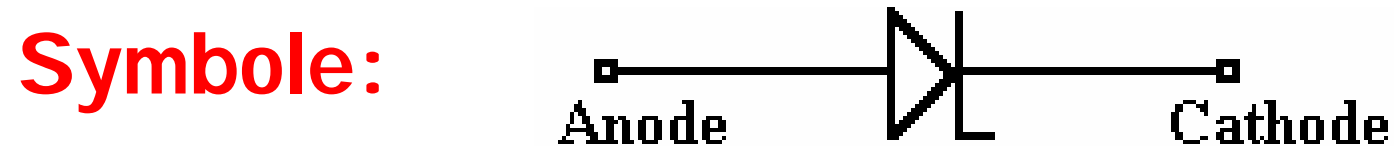
4.1.3 Diode de commutation:

Elle utilise aussi la propriété (a).

Elle sert à commuter le courant.

Le phénomène d'accumulation de charges limite l'utilisation d'une diode ordinaire comme diode de commutation en hautes fréquences (à cause du temps de rétablissement inverse: t_{rr}).

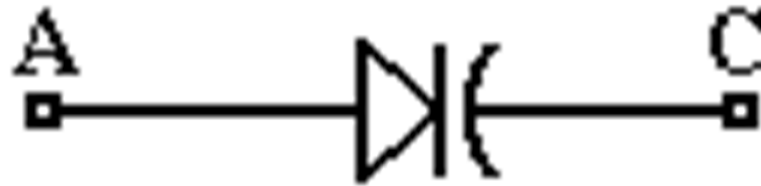
Pour diminuer ce temps, on réduit le niveau de dopage près de la jonction (step recovery diode). On obtient ainsi une diode à commutation rapide.



t_{rr} est une donnée importante pour cette diode.

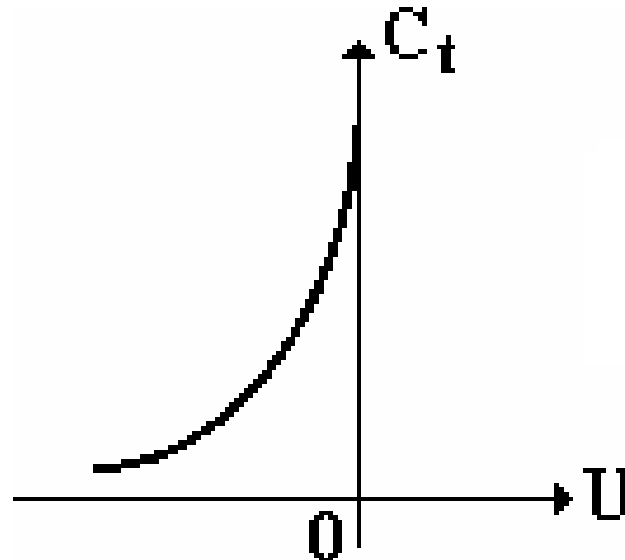
4.1.4 Diode à capacité variable (Varicap) :

Symbole :



Son principe est basé sur la propriété (c).

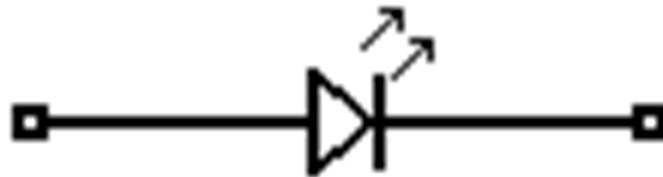
La capacité d'une diode polarisée en inverse décroît quand la tension inverse augmente.



4.1.5 Diode électroluminescente:

Appelée: **LED (light-emitting diode).**

Symbole :



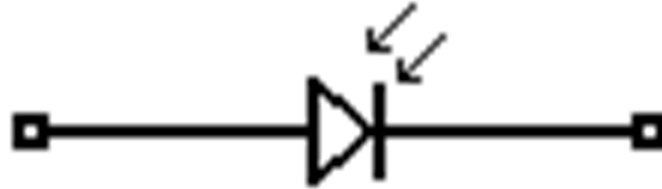
Sa fonction est basée sur la propriété (d): dans une diode polarisée en direct, les électrons libres se recombinent avec les trous au voisinage de la jonction. Ces électrons "libèrent" de l'énergie durant le passage de la BC à la BV.

Dans les diodes ordinaires cette énergie est convertie en chaleur, dans les LED cette énergie est fournie sous forme de lumière: rouge, verte, jaune, bleue, orange ou infrarouge (invisible).

La longueur d'onde du rayonnement dépend essentiellement de la largeur du gap du matériau utilisé.

4.1.6 Photodiode:

Symbole:



L'énergie lumineuse peut produire des porteurs minoritaires. Pour cela on ouvre une petite fenêtre pour exposer la jonction à la lumière.

La photodiode étant polarisée en inverse, lorsque la jonction est éclairée, des porteurs minoritaires sont créés à l'intérieur de la zone de déplétion.

Le courant inverse augmente avec l'intensité de la lumière.

4.1.7 Diode de Schottky:

Symbole:



Cette diode est constituée d'une jonction d'un semi-conducteur dopé de type N avec un métal.

C'est une diode **unipolaire**.

Du fait qu'il n'existe pas de charge stockée dans la diode, les temps de commutation sont très inférieurs à ceux d'une jonction PN.

Ce type de diode est **utilisé en hautes fréquences** comme dispositif de commutation rapide.

4.1.8 Diode tunnel (ou d'Esaki):

Une diode tunnel est une jonction PN pour laquelle les régions P et N sont très fortement dopées.

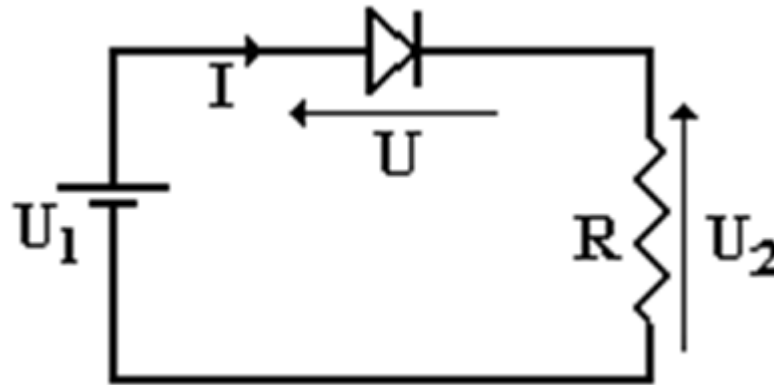
Symbole :



L'effet Tunnel se manifeste dans les semi-conducteurs fortement dopés. La zone de déplétion étant très mince, il y a une grande probabilité pour qu'un électron traverse la barrière de potentiel sans qu'il ait l'énergie nécessaire qu'il devrait normalement avoir.

4.2 Droite de charge d'une diode:

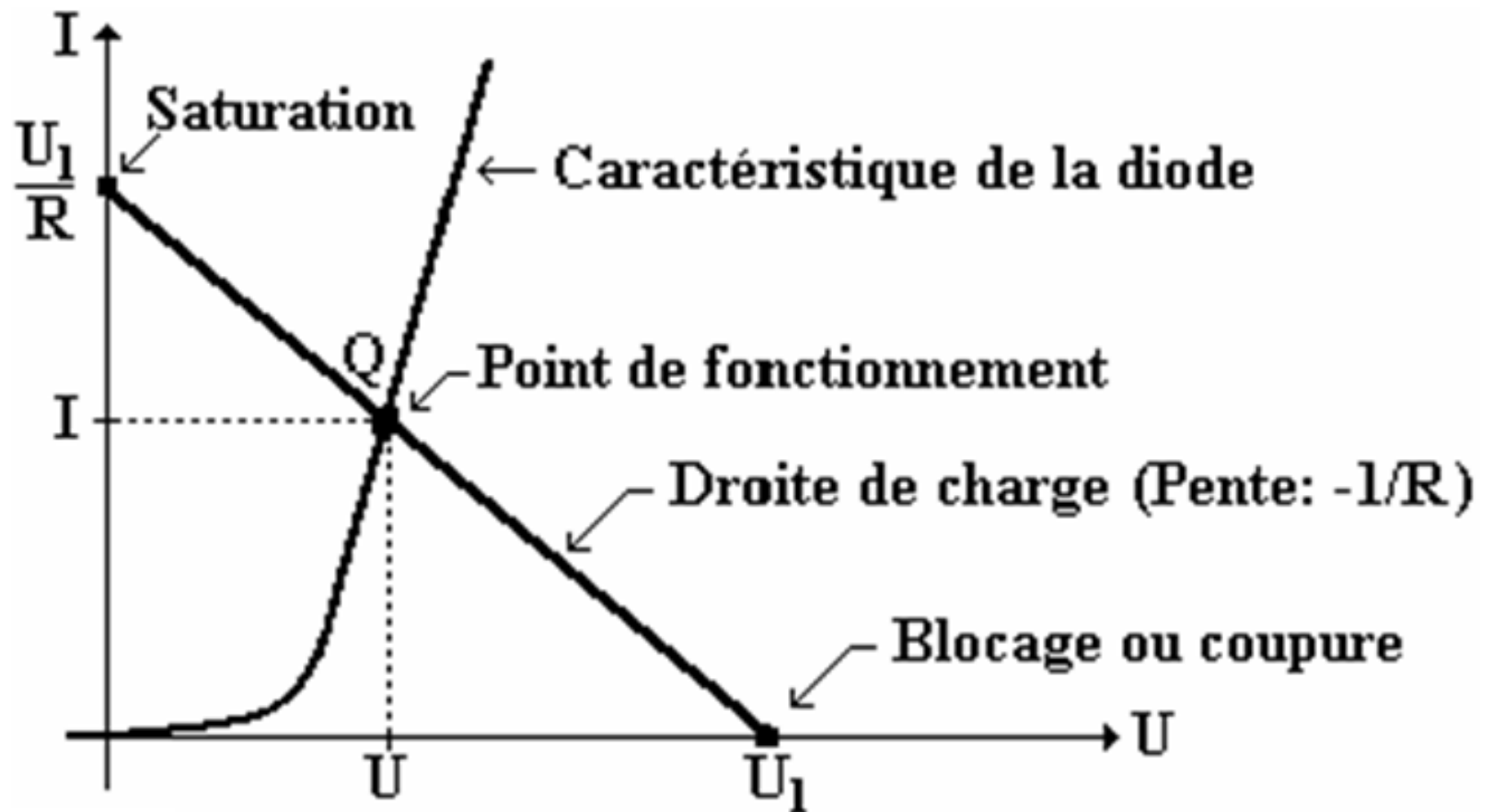
Une diode se trouve souvent en série avec une résistance.



Equation de la droite de charge de la diode:

$$I = -\frac{U}{R} + \frac{U_1}{R}$$

I et U sont liés aussi par la caractéristique de la diode.



4.3 Circuits à diodes:

4.3.1 Circuits d'alimentation:

Les circuits d'alimentation permettent de convertir une tension alternative en une tension continue.

Cette tension continue est indispensable pour polariser les montages électroniques.

Un circuit d'alimentation est formé par 3 parties:

- ✓ **Redressement**
- ✓ **Filtrage**
- ✓ **Régulation**

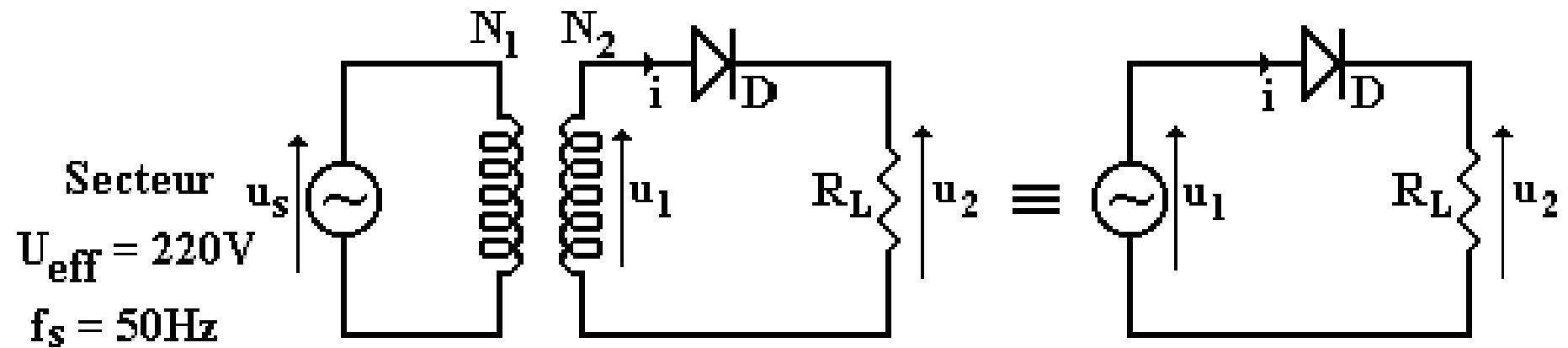
Ces trois parties font l'objet des paragraphes suivants.

4.3.1.1 Circuits de redressement:

Ils permettent d'avoir une tension périodique à valeur moyenne non nulle, à partir d'une tension alternative périodique.

Trois types de circuits:

a. Redresseur simple alternance:



Remarques:

- R_L représente la résistance de charge.
- Le transformateur a pour rôle d'isoler le secteur du redresseur et à donner à la tension u_1 l'amplitude convenable:

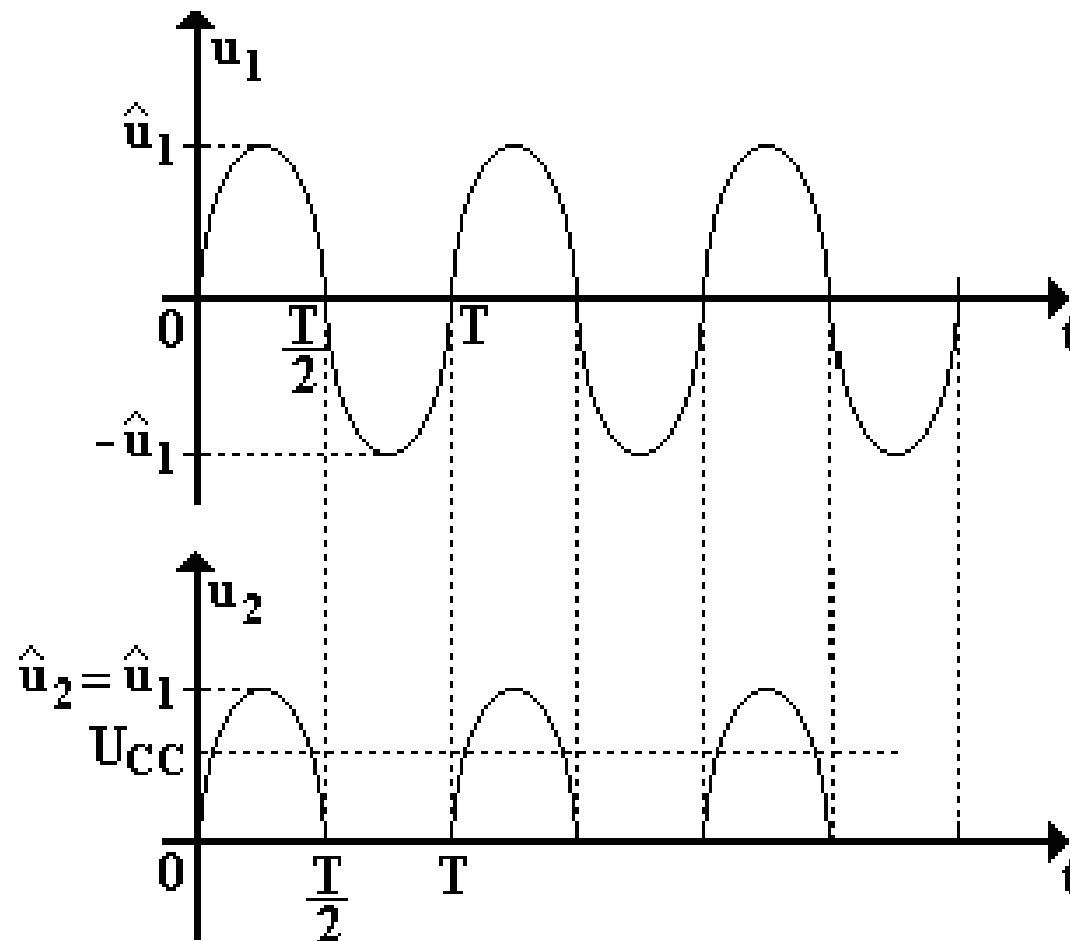
$$u_1 = u_s \cdot N_2 / N_1$$

Avec: N_1 : nombre de spires du primaire

N_2 : nombre de spires du secondaire

1- Tension de sortie:

On prend la 1ère approximation pour les diodes.



U_{CC} : Composante continue créée par le redressement

2-Valeur moyenne: $U_{cc} = \frac{1}{T} \int_0^T u_2(t) dt = \frac{\hat{u}_1}{\pi}$

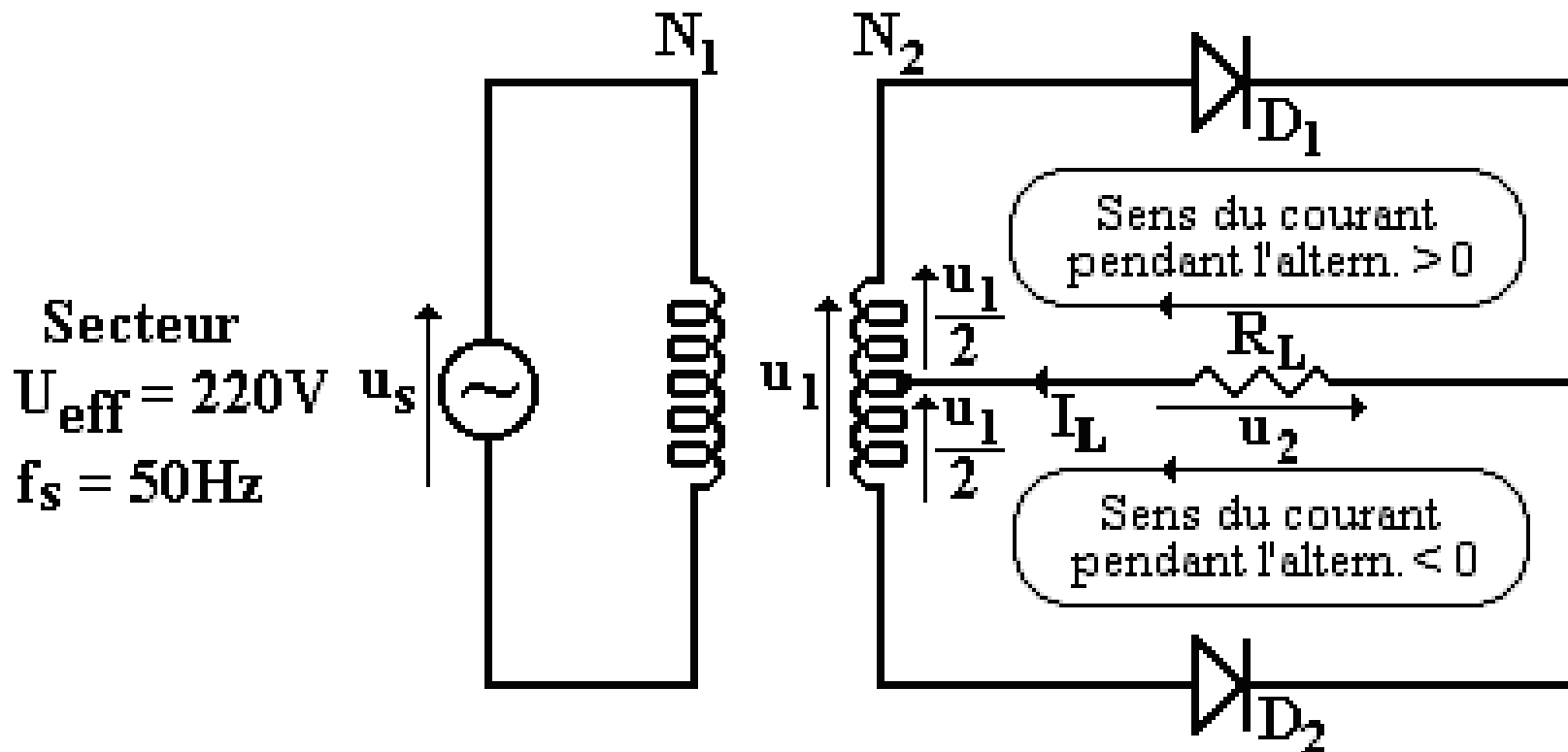
3-Tension inverse maximale: $U_R(\max) = \hat{u}_1$

4-Fréquence de $u_2(t)$: $f_2 = f_1 = f_s = 50\text{Hz}$

(f_i : Fréquence de la tension u_i)

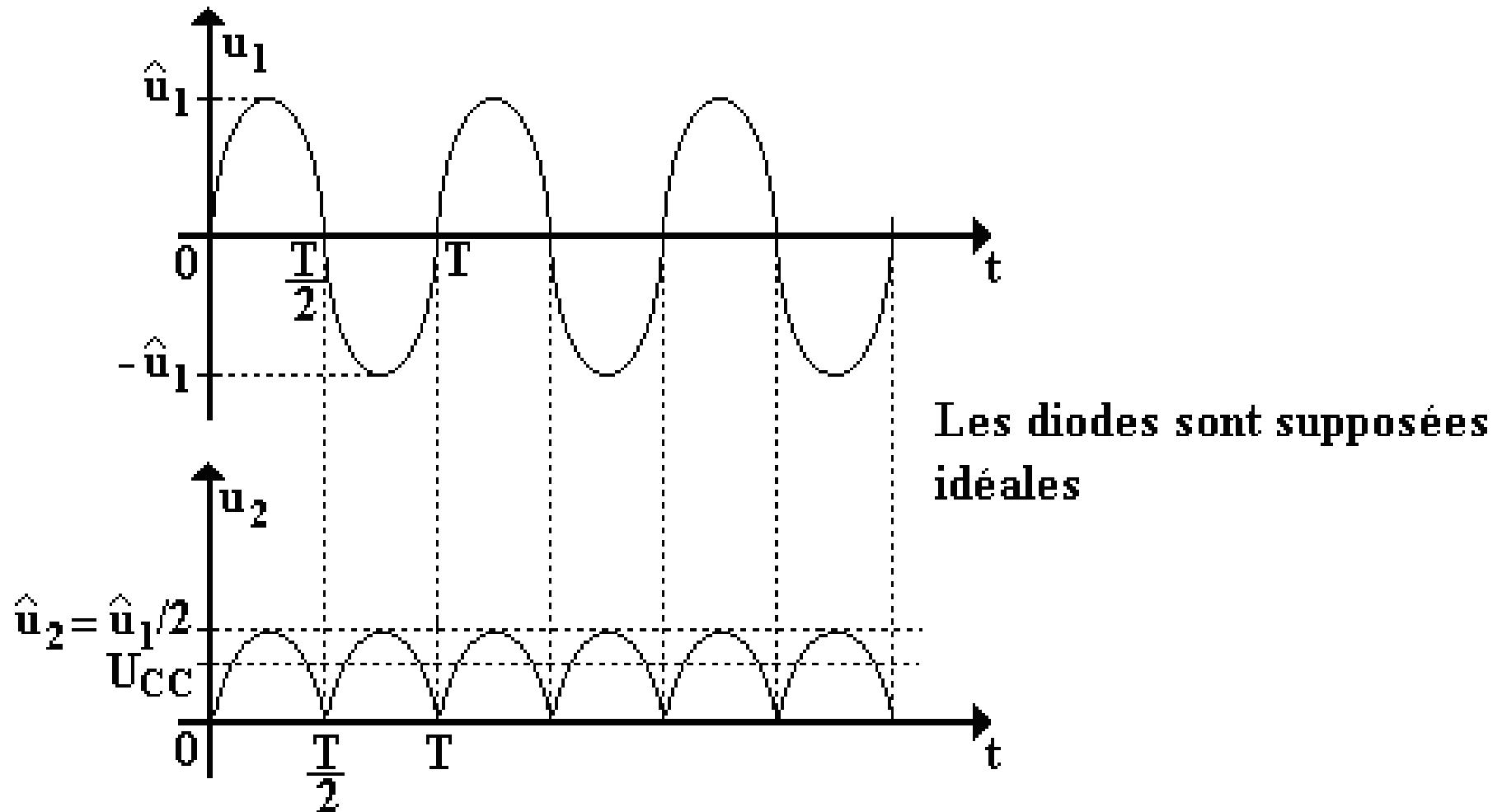
b. Redresseur à deux alternances: 2 montages

b1- (Redresseur à prise médiane):



I_L passe dans R_L pendant les deux alternances.

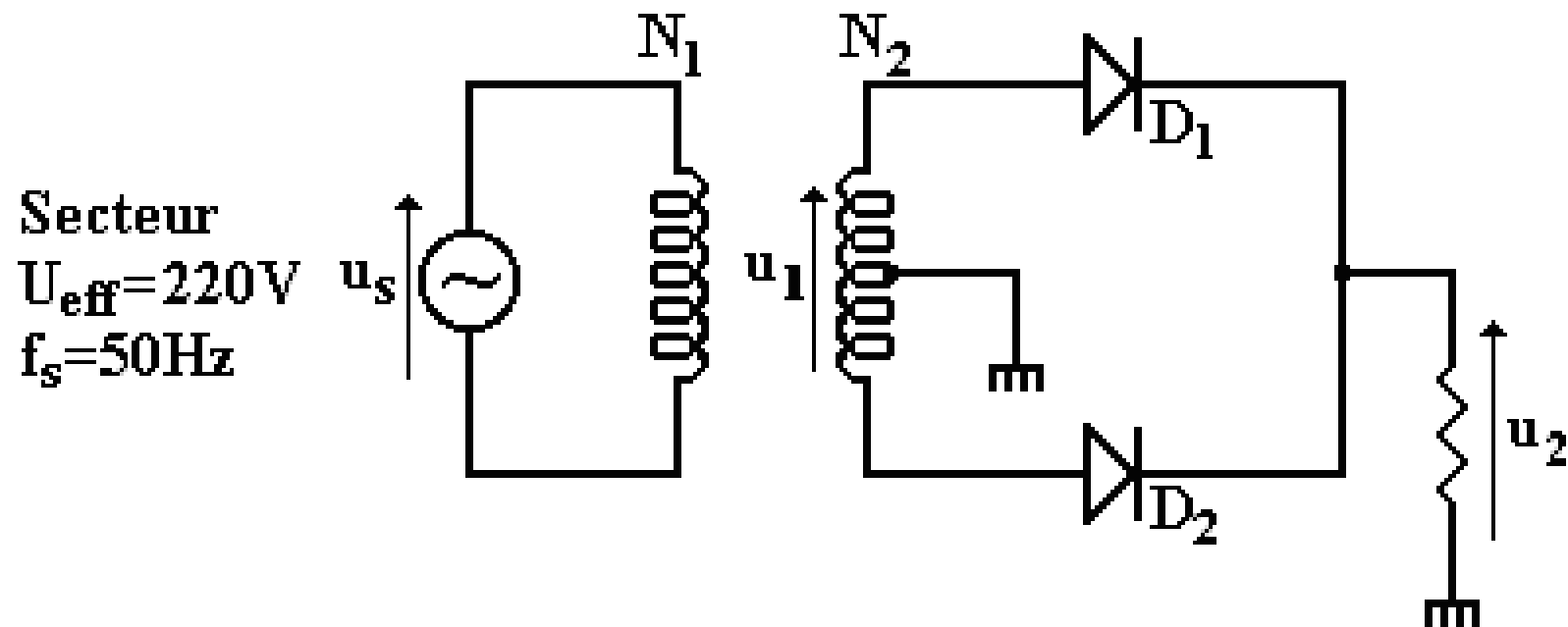
Tension de sortie:



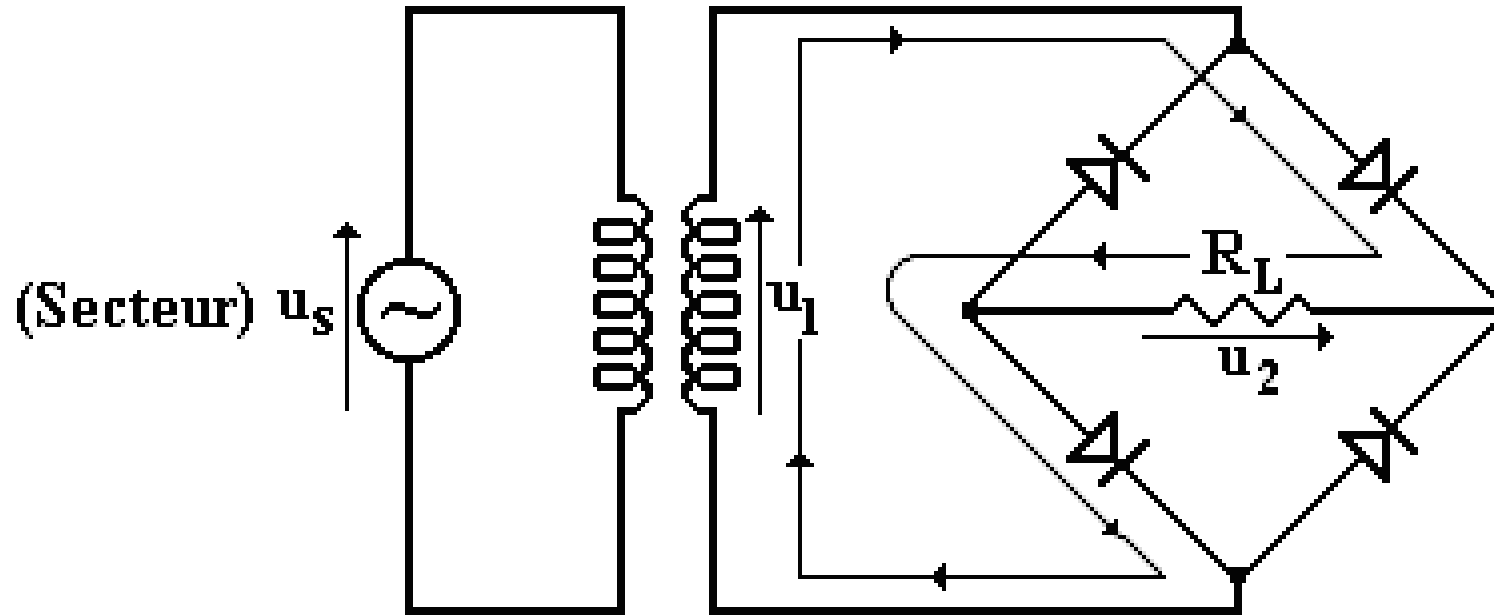
$$U_{CC} = \frac{2\hat{u}_2}{\pi} = \frac{\hat{u}_1}{\pi} \quad U_R(\text{max}) = 2\hat{u}_2 = \hat{u}_1 \quad f_2 = 2f_1$$

Remarque:

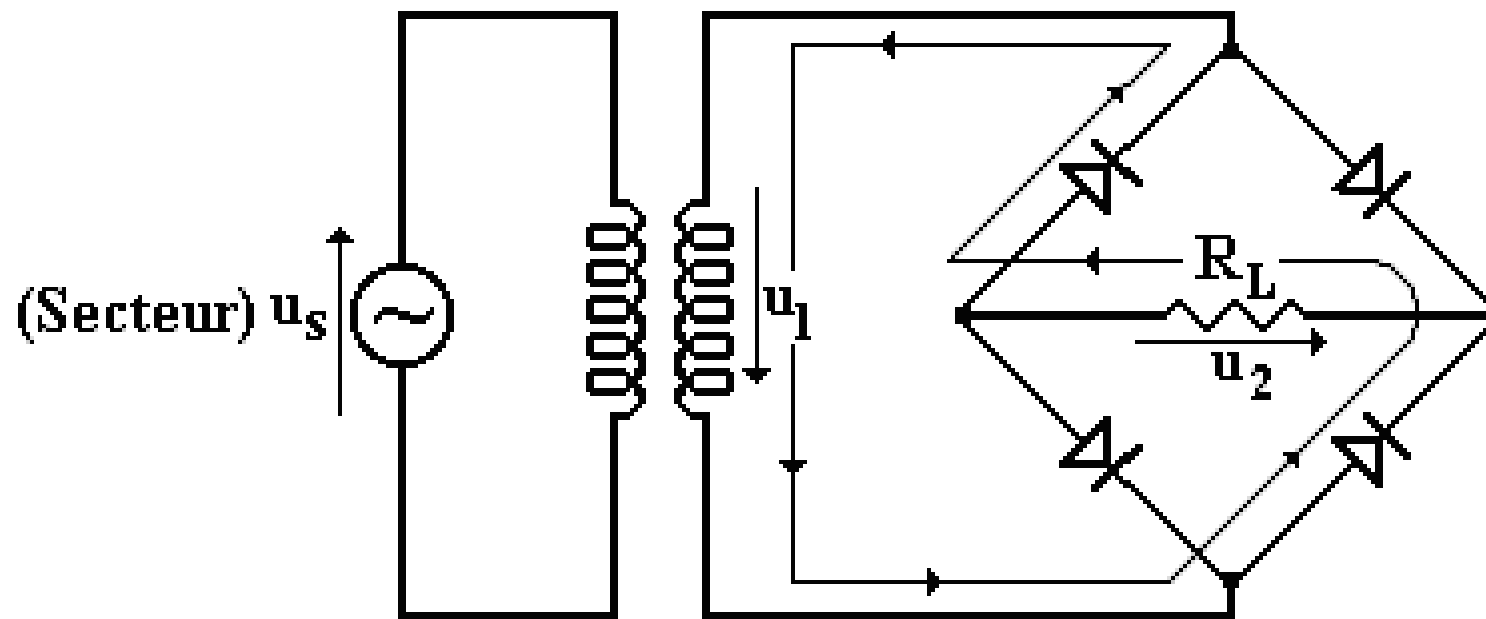
Généralement on utilise la représentation suivante pour le redresseur à prise médiane:



b2- Redresseur en pont (Pont de Greatz):

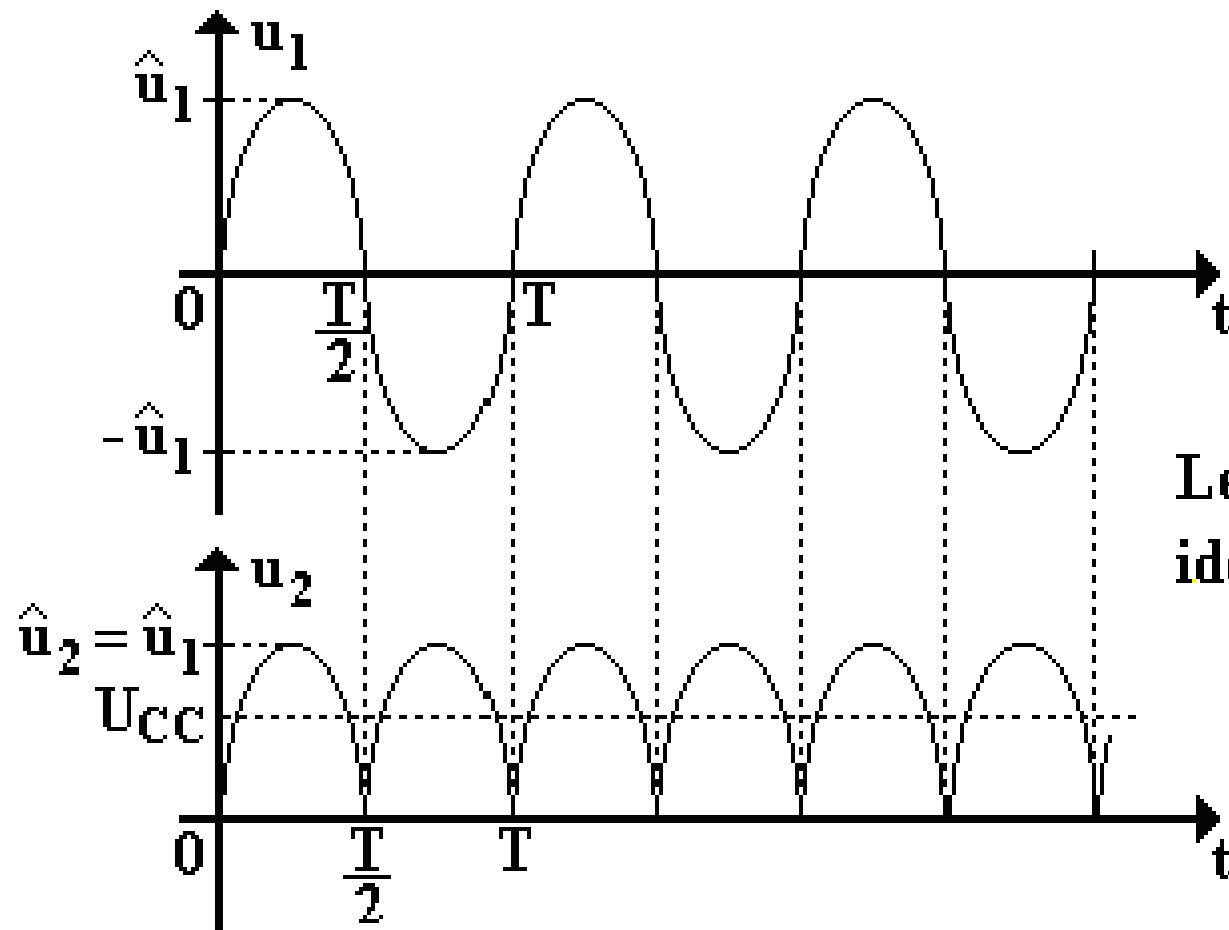


Redressement à pont de Greatz
(**alternance positive**)



Redressement à pont de Greatz
(**alternance négative**)

Tension de sortie:



Les diodes sont supposées idéales.

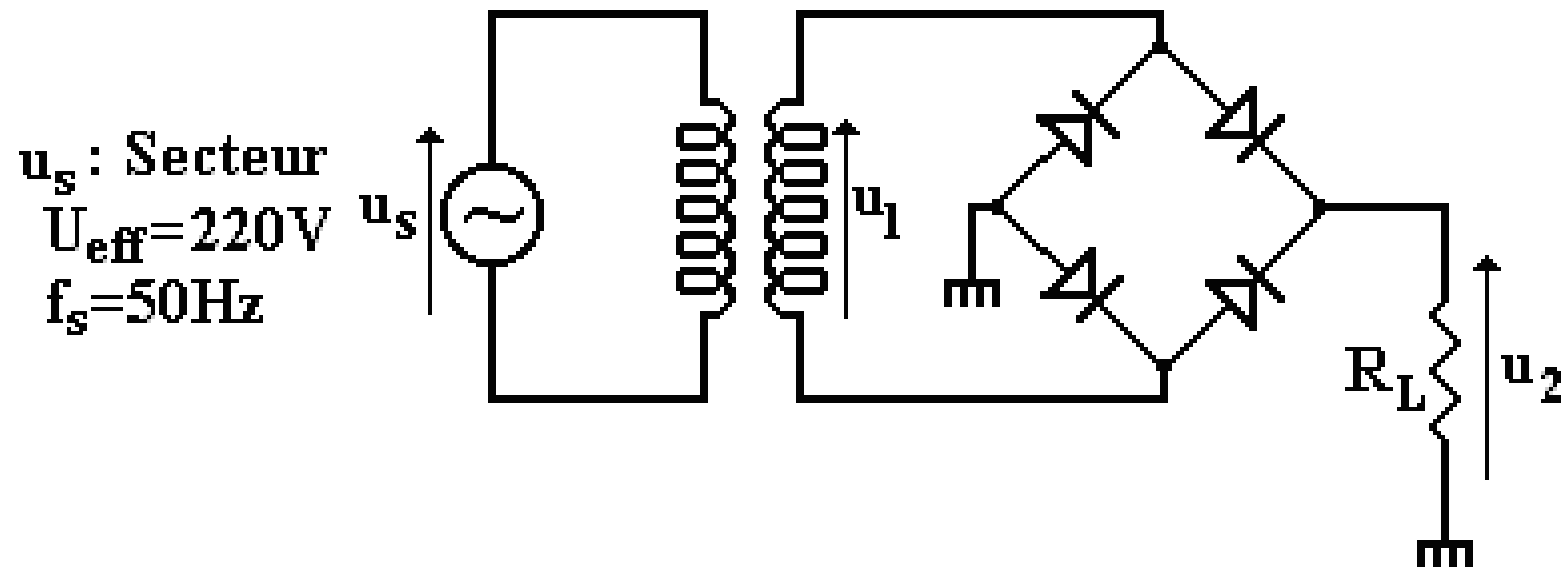
$$U_{CC} = \frac{2\hat{u}_1}{\pi}$$

$$U_R(\max) = \hat{u}_1$$

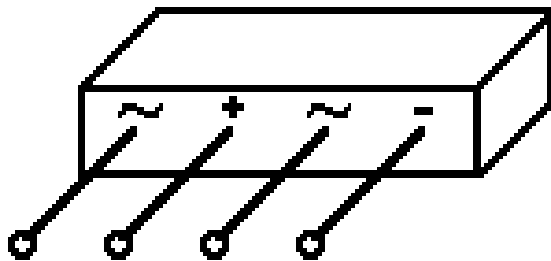
$$f_2 = 2f_1$$

Remarques:

- Autre représentation:



- Les redresseurs en pont sont disponibles sous forme d'un seul boîtier.



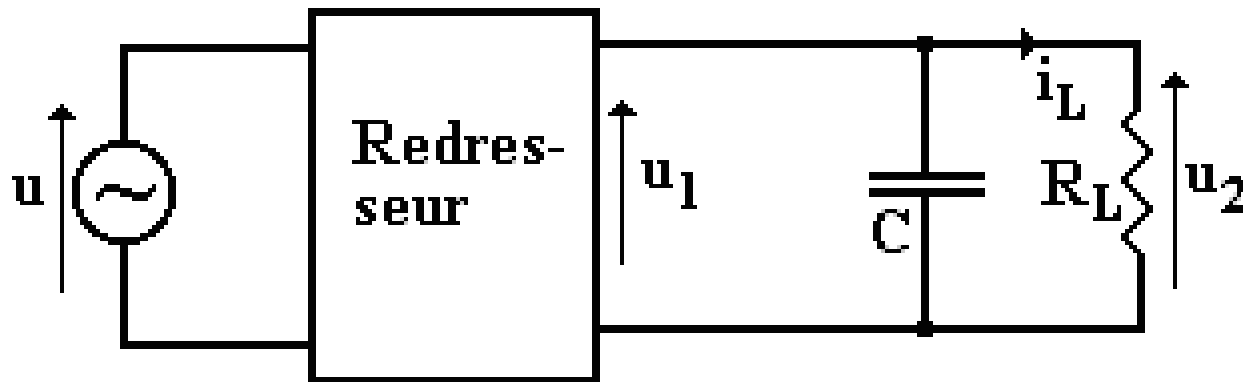
- 2 broches d'entrée pour la tension du secondaire
- 2 broches pour la résistance de charge

4.3.1.2 Circuits de filtrage:

Le signal redressé a une **composante continue (utile)** et une **composante alternative (indésirable)**.

Pour éliminer la composante alternative on utilise des filtres.

a. Filtre à condensateur en tête:

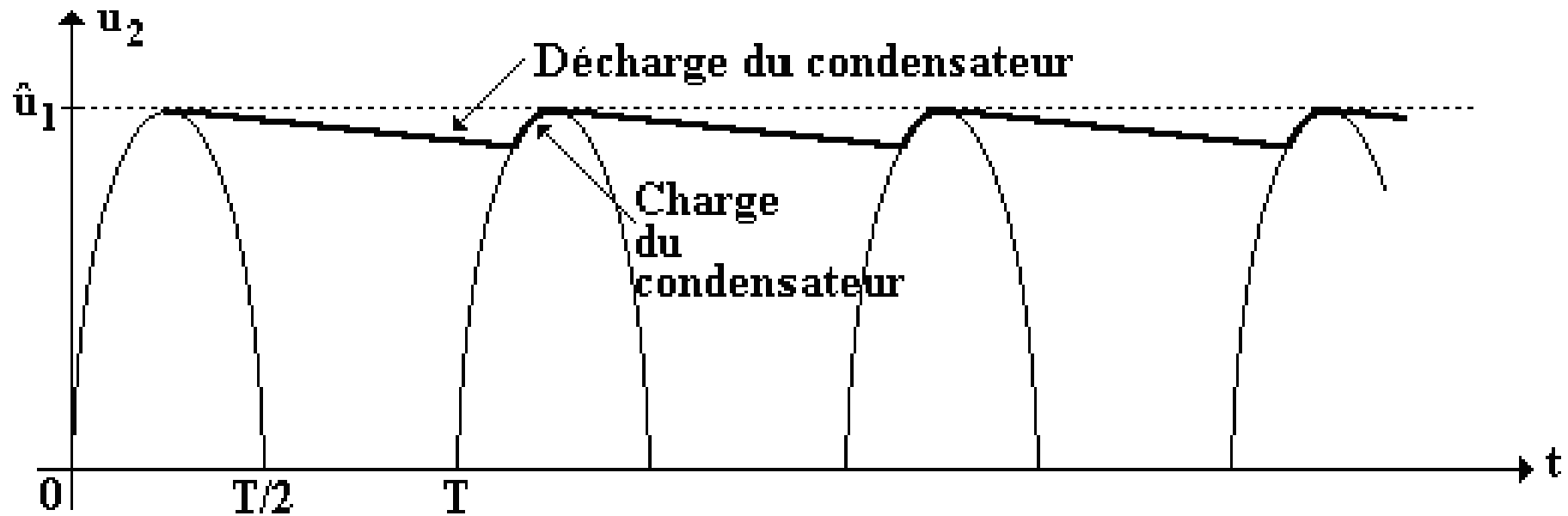


La mise en parallèle d'un condensateur C sur R_L permet de réduire l'amplitude de la composante alternative.

Le condensateur C assure le filtrage du courant redressé en absorbant la partie alternative de $i_L(t)$.

Il s'agit de condensateurs chimiques de fortes valeurs (**ils sont polarisés**).

Principe: Redressement simple alternance

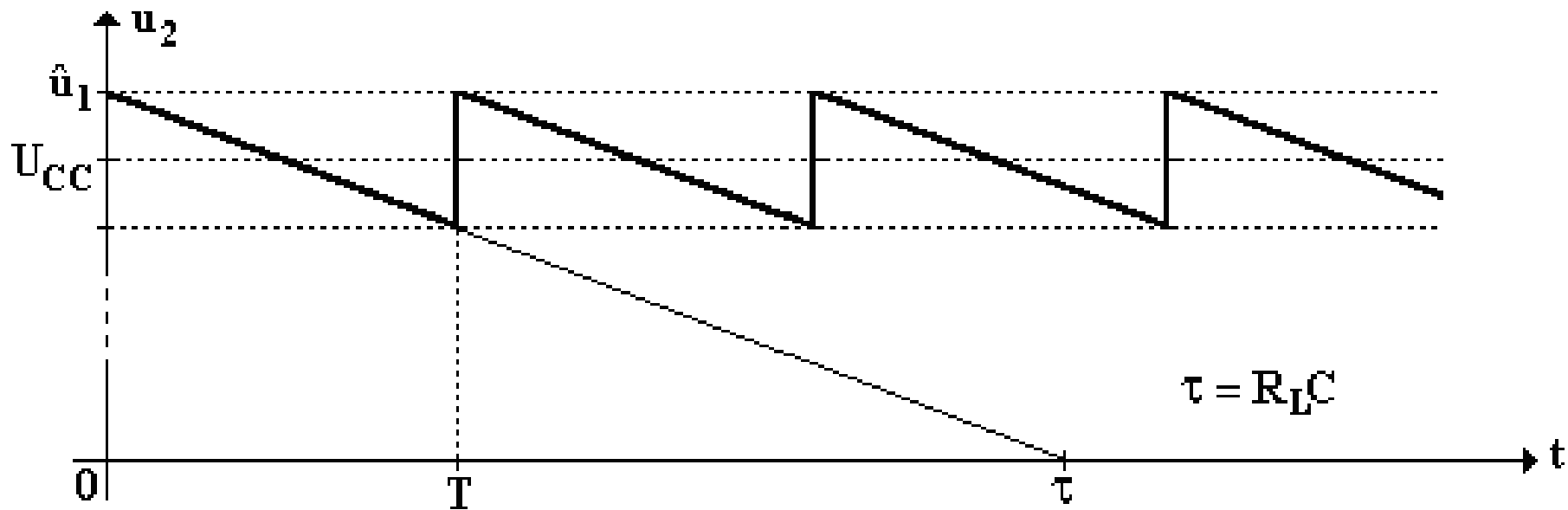


Allure de la tension aux bornes de C
(Redressement simple alternance)

La charge et décharge de C introduit une **ondulation**

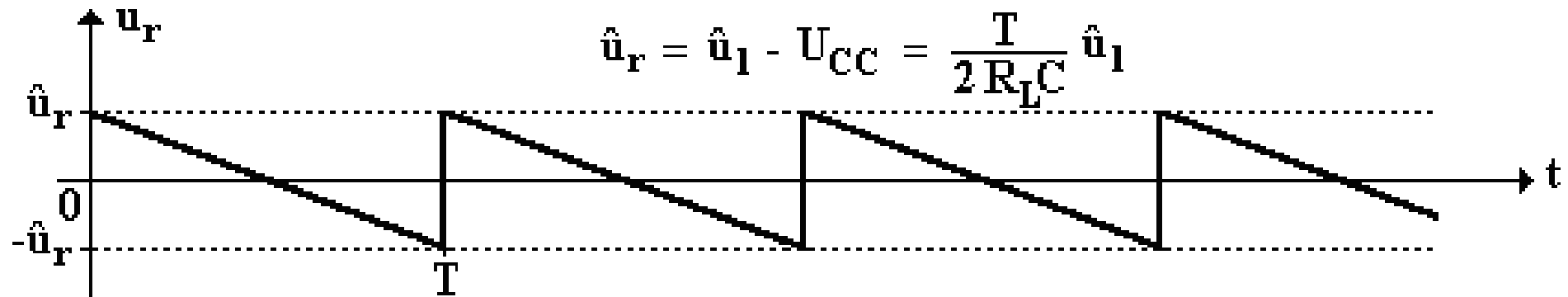
Tension continue: (U_{CC})

Approximation: L'ondulation peut être considérée comme un signal en dents de scie.



$$U_{CC} = \hat{u}_1 \left(1 - \frac{T}{2R_L C}\right) \approx \hat{u}_1$$

Tension d'ondulation: ($u_r(t)$)



$$\hat{u}_r(t) = \hat{u}_r \left(1 - \frac{2}{T} t\right)$$

$$u_r(\text{eff}) = \frac{\hat{u}_r}{3} = \frac{T \hat{u}_1}{2\sqrt{3} R_L C}$$

Taux d'ondulation: (r)

Par définition r est le rapport de la valeur efficace de u_r et de la valeur moyenne U_{cc} .

$$\begin{aligned} r &= \frac{u_{r(\text{eff})}}{U_{cc}} = \frac{T \hat{u}_1}{2\sqrt{3} R_L C} \cdot \frac{1}{\hat{u}_1 \left(1 - \frac{T}{2R_L C}\right)} \\ &= \frac{T}{\sqrt{3} (2R_L C - T)} \cdot 100\% \end{aligned}$$

Les filtres à condensateurs en tête ne peuvent être utilisés que si la constante de temps τ est grande. Si τ est petite, il faut ajouter des filtres RC.

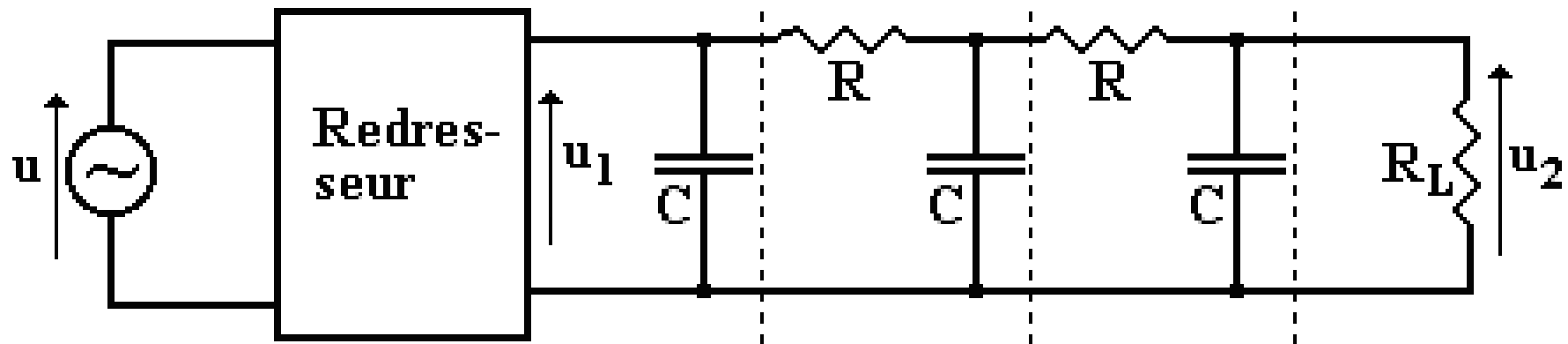


Fig. 3.50 : Les filtres RC améliorent le filtrage

Inconvénient:

Il y a une perte en tension continue dans chaque résistance R .

Le filtre RC ne convient que pour de faibles courants de charge (grande résistance de charge).

Lorsque le courant de charge est fort, on utilise des filtres LC.

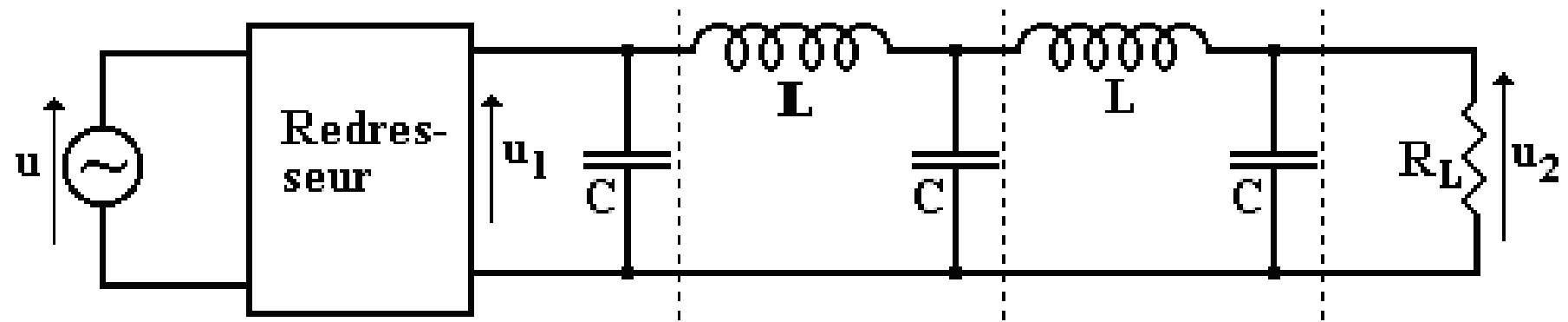


Fig. 3.51: Les inductances L ne font pas chuter la tension continue

Remarque:

Dans le cas d'un redresseur double alternance, la fréquence du signal redressé est $2f$.

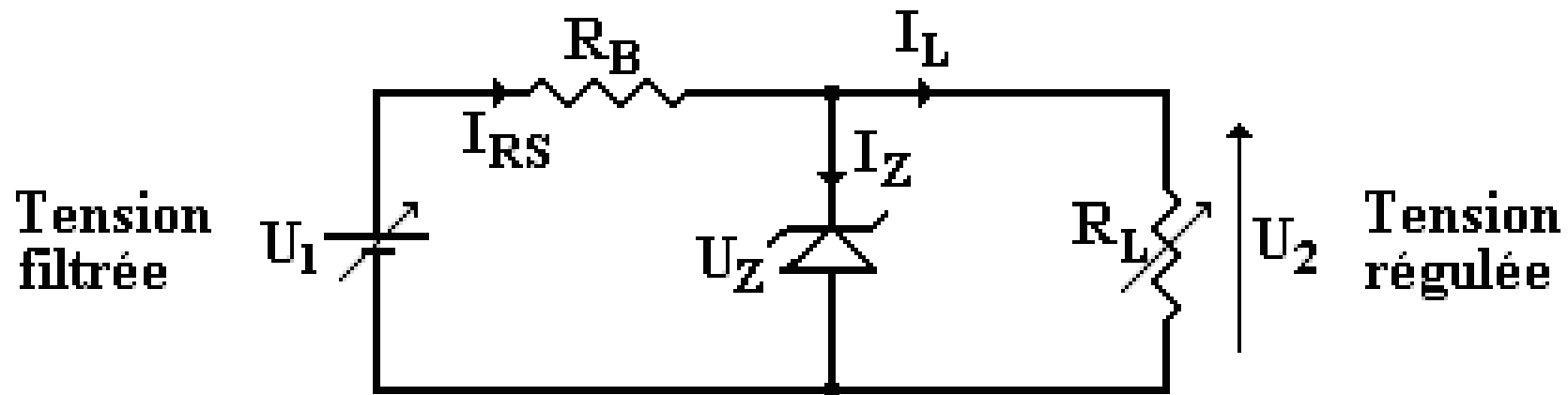
Le condensateur se charge deux fois plus rapidement et son temps de décharge est divisé par deux. L'ondulation est plus petite et la tension continue de sortie tend d'avantage vers \hat{u}_1 .

4.4.1.3 Circuits de régulation de tension:

Par redressement et filtrage, on a obtenu une tension continue à ondulation réduite.

Mais, si la tension alternative du secteur et/ou la charge R_L varie(nt), la tension filtrée variera aussi. On est donc amené à **stabiliser la tension continue** obtenue, vis à vis de ces fluctuations.

Circuit de régulation à base de diode zener:



La diode zener fonctionne dans la région de rupture et maintient la tension de charge presque constante.

Elle est choisie de sorte que U_Z soit égale à la tension de sortie.

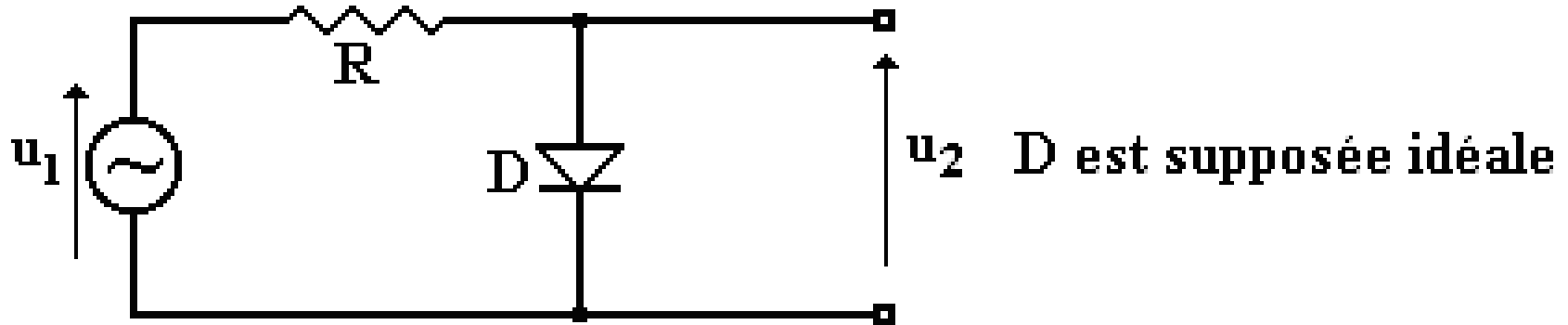
Il faut bien entendu que:

- $U_1 > U_Z$,**
- le courant dans la diode zener ne tombe jamais au dessous du courant de coude ($I_Z(\min)$) et ne dépasse pas le courant de destruction ($I_Z(\max)$).**

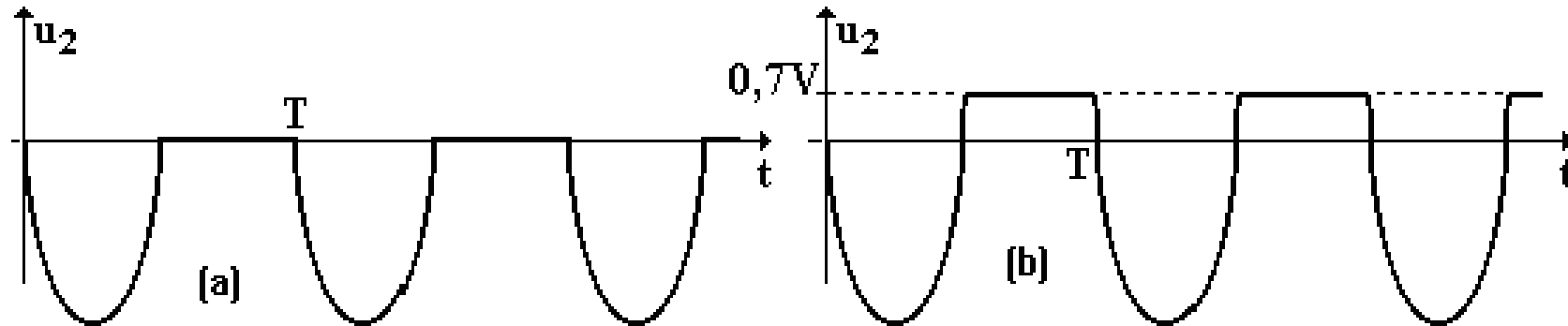
4.4.2 Ecrêteurs:

Ils permettent de limiter les tensions au-dessous de valeurs données.

a. Ecrêteur positif:



Sachant que u_1 est une tension sinusoïdale de période T , l'allure de u_2 est:



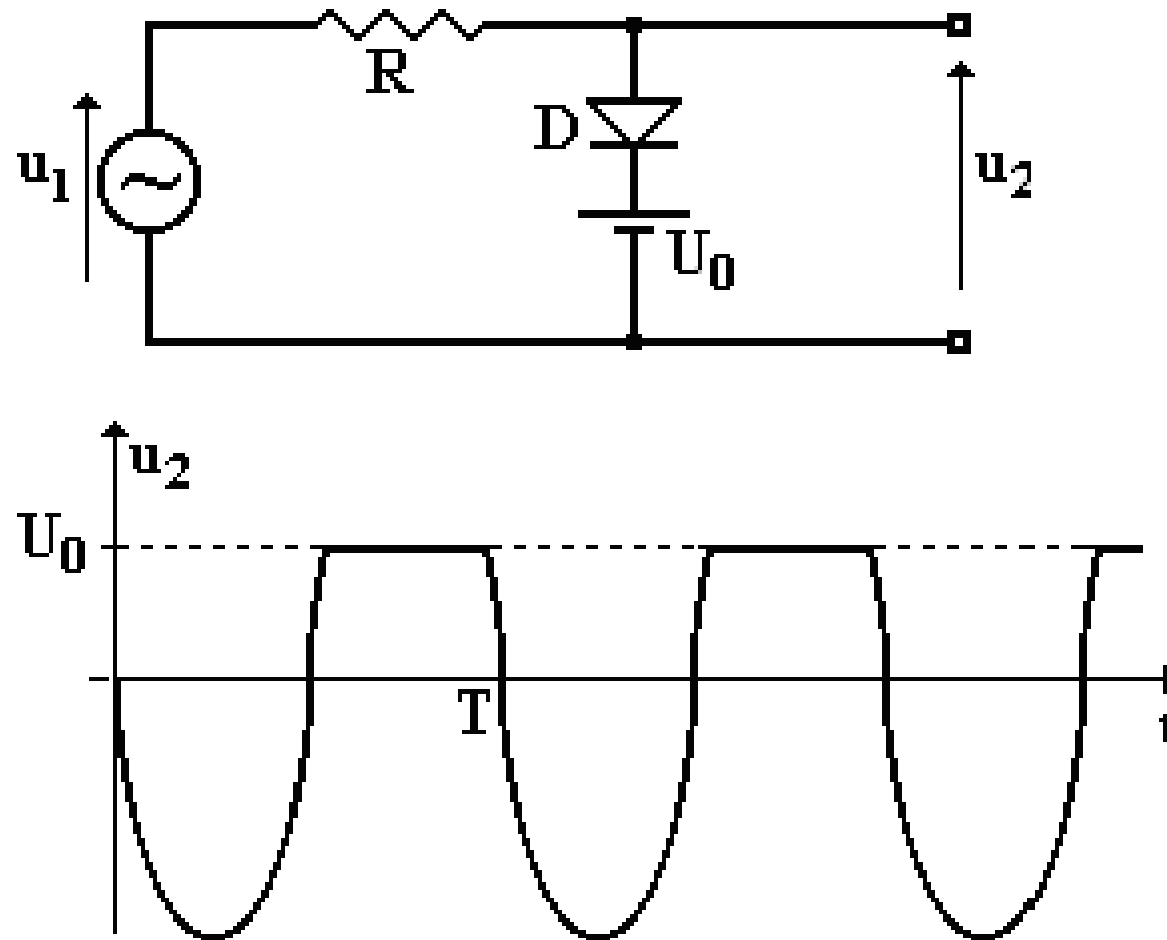
(a) Cas relatif à la 1ère approximation

(b) Cas relatif à la 2ème approximation

Pour avoir un écrêteur négatif, il suffit d'inverser la polarité de la diode.

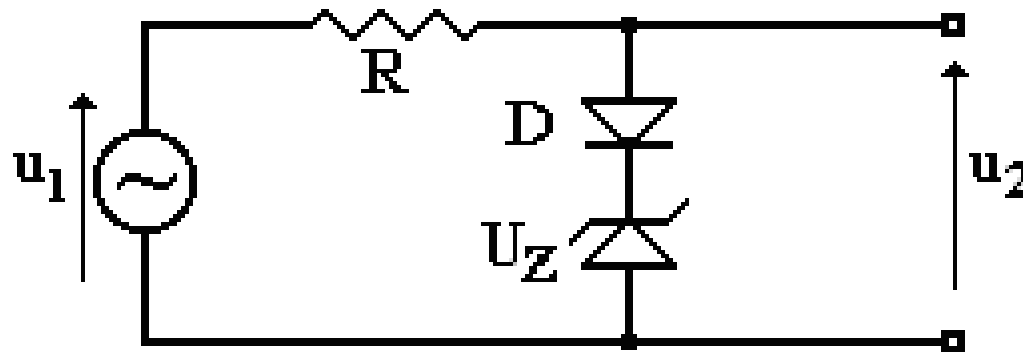
b. Ecrêteur à seuil:

Il coupe le signal à partir d'une certaine valeur (U_0).



Remarque:

Au lieu d'un générateur, on utilise une diode zener pour réaliser la ddp U_0 .



Application:

Protection d'appareils contre des surtensions

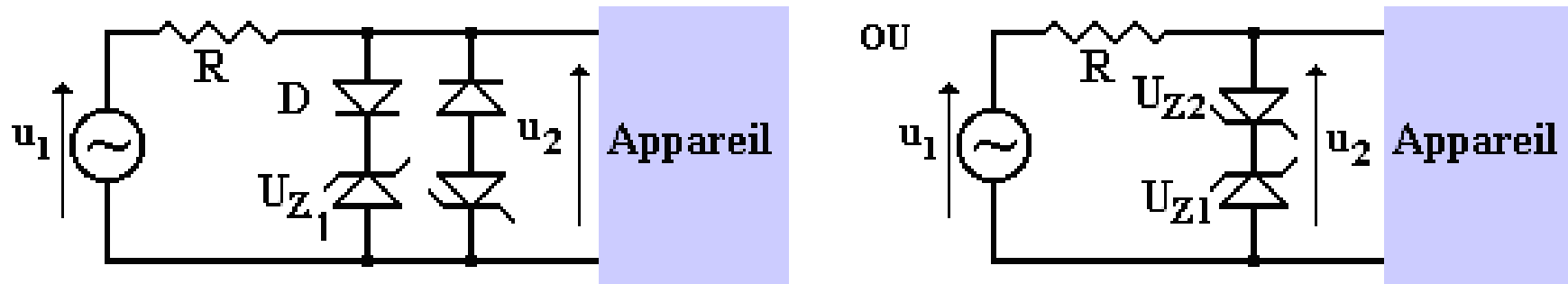


Fig. 3.61: Protection d'appareils par des écrêteurs

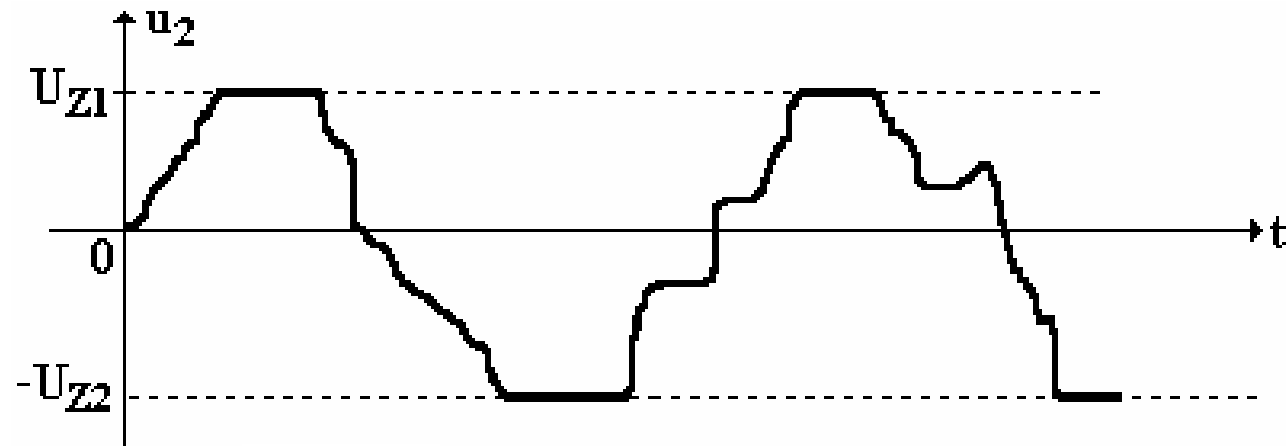
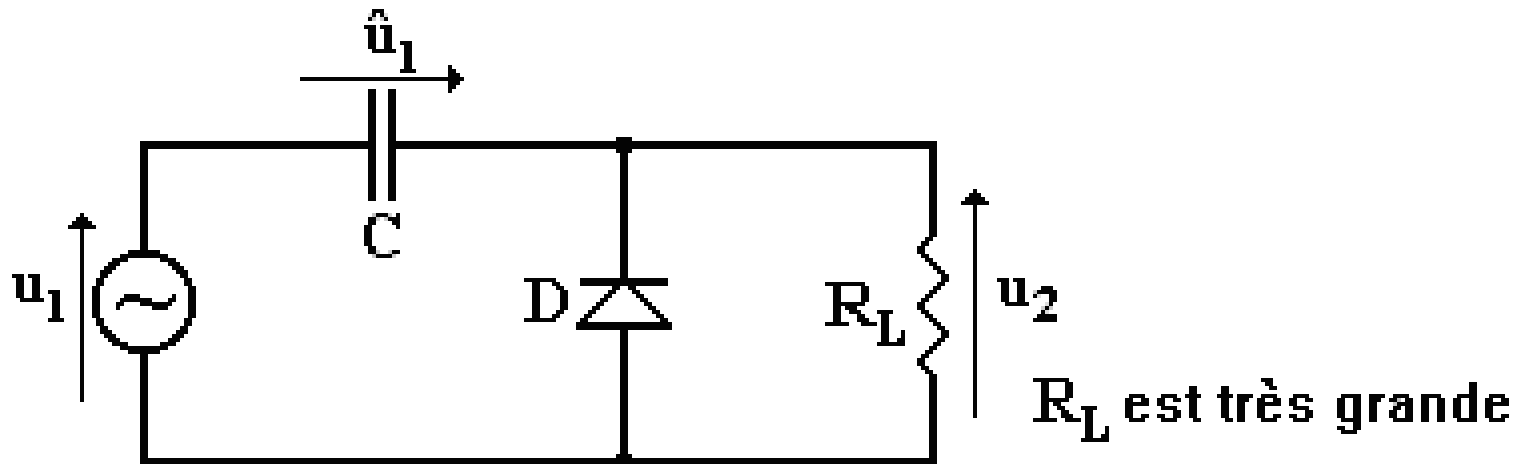


Fig. 3.62: u_2 est limitée entre U_{Z1} et U_{Z2}

4.4.3 Circuits de restauration:

Ils superposent une tension continue à une tension sinusoïdale donnée.

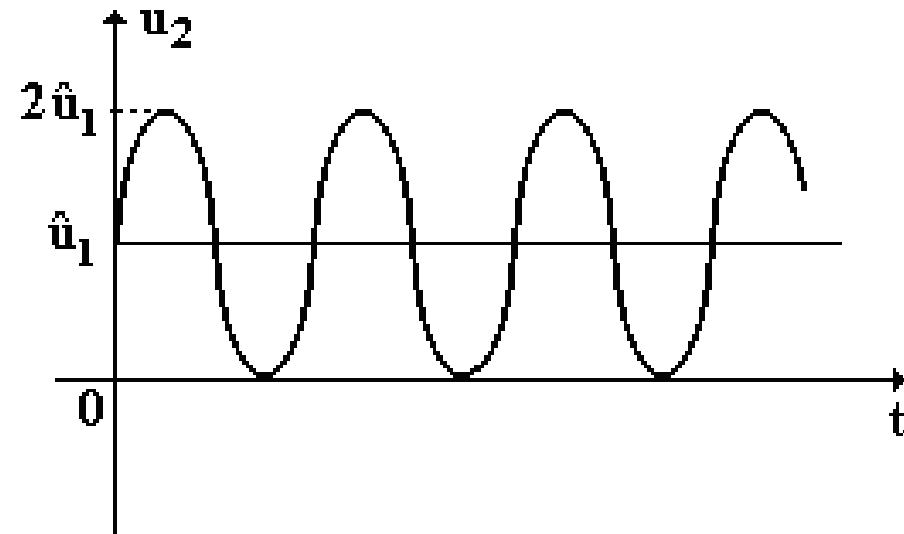
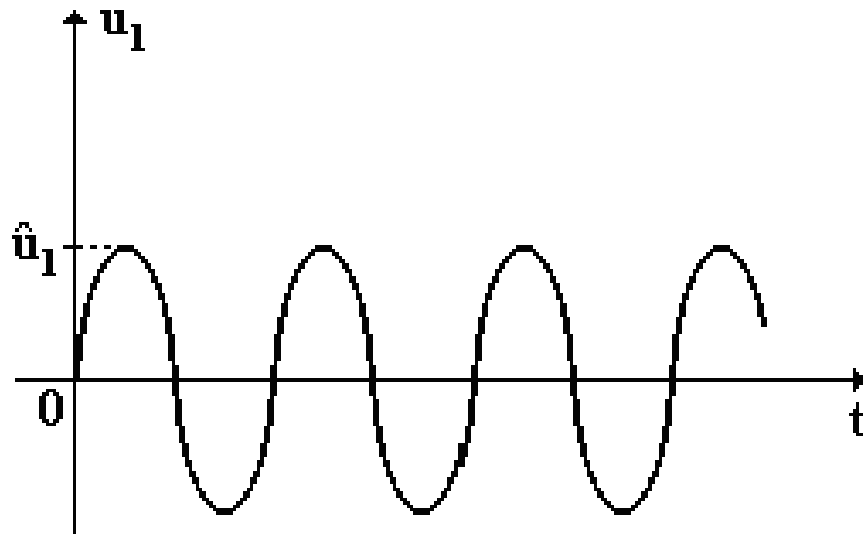
a. Restauration positive:



(Pour avoir la restauration négative, il suffit de changer la polarité de la diode)

Pendant l'alternance <0 , C se charge jusqu'à \hat{u}_1 .
C ne se décharge pas, étant donné que R_L est très grande. La tension aux bornes de C reste constante ($=\hat{u}_1$). On a donc:

$$u_2 = u_1 + \hat{u}_1$$

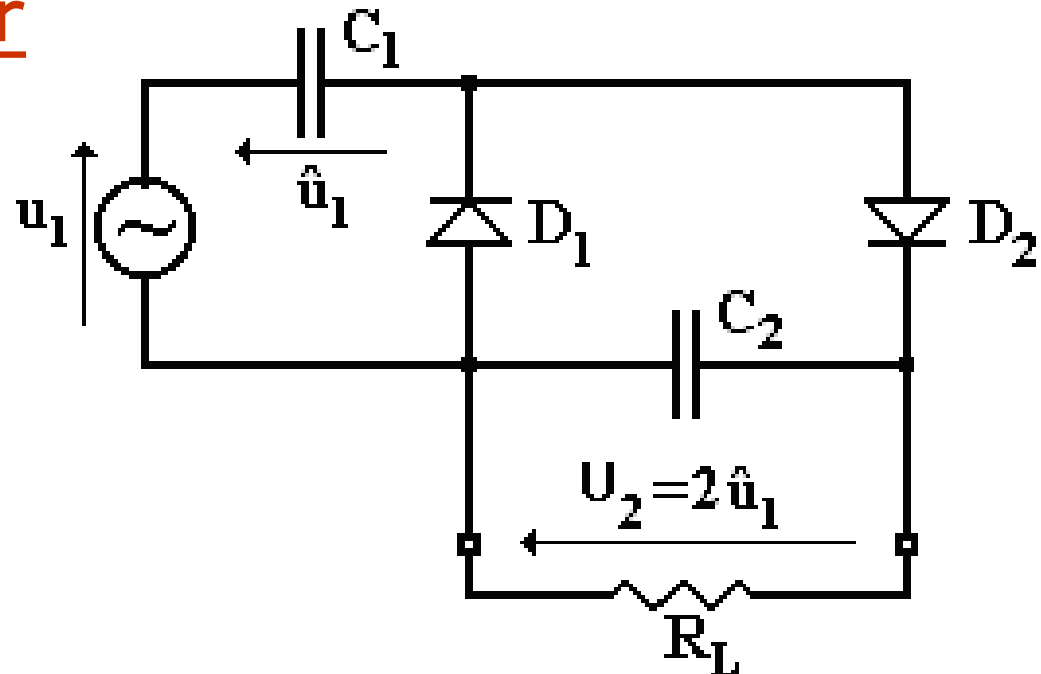


4.4.4 Multiplicateurs de tension:

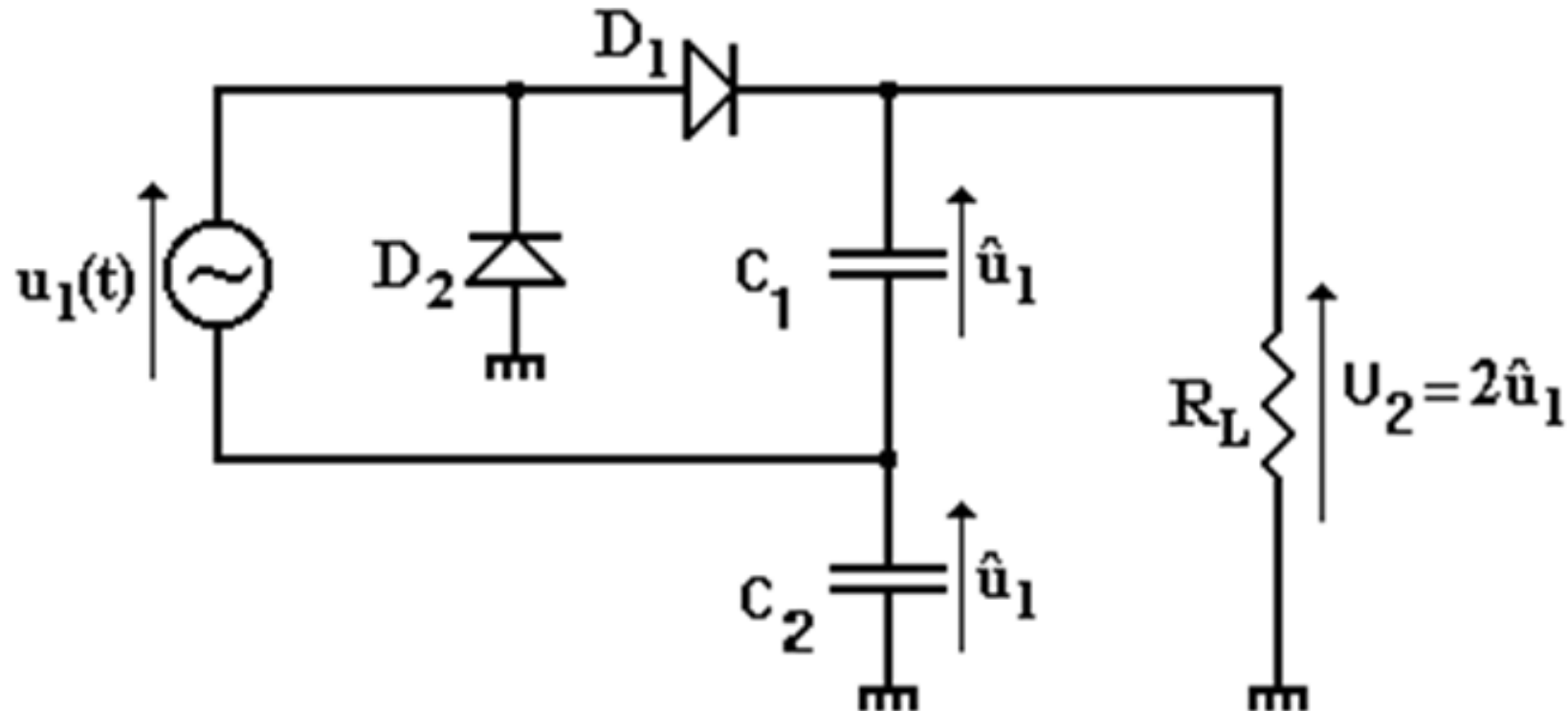
Ils produisent des **tensions continues** égales à un multiple de l'amplitude de la tension sinusoïdale à l'entrée.

a. Doubleur de tension: (D_1 et D_2 idéales)

Circuit de Greinacher



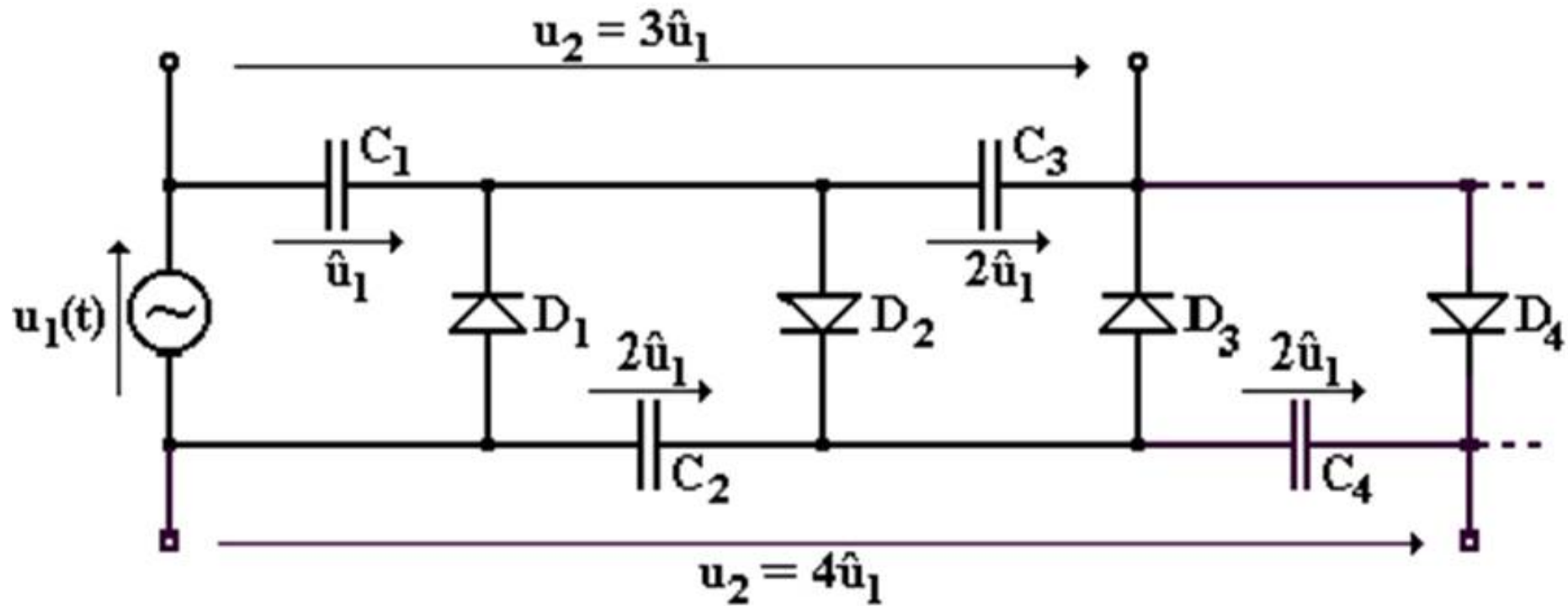
Circuit de Delon:



Doubleur de tension de Delon

R_L doit être suffisamment élevée, pour que C_1 et C_2 ne se déchargent pas.

b. Tripleur de tension: (circuit de Greinacher)



Tripleur (quadrupleur) de tension de Greinacher