

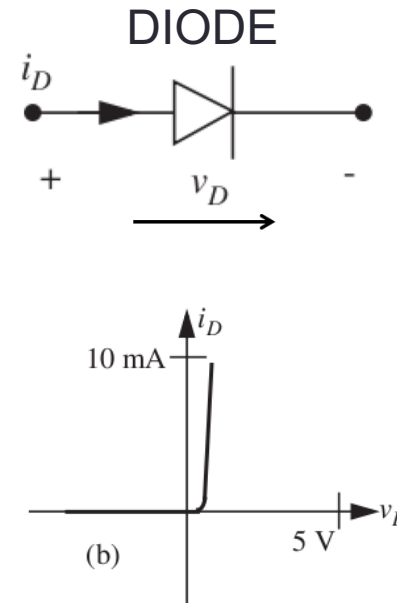
CIRCUITS NON LINEAIRES

LA DIODE

Fonctionnement et modèles de la diode

Relation entre courant et tension d'une diode

$$i_D = I_S \left(e^{\frac{v_D}{nU_T}} - 1 \right)$$



$1 < n < 2$ (souvent on considère $n=1$)

U_T tension thermique $U_T = kT/q = 0.025 \text{ V}$ à température ambiante

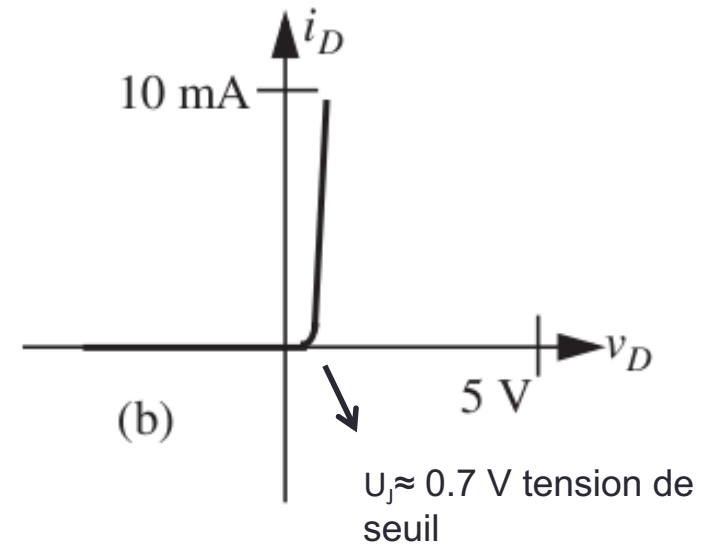
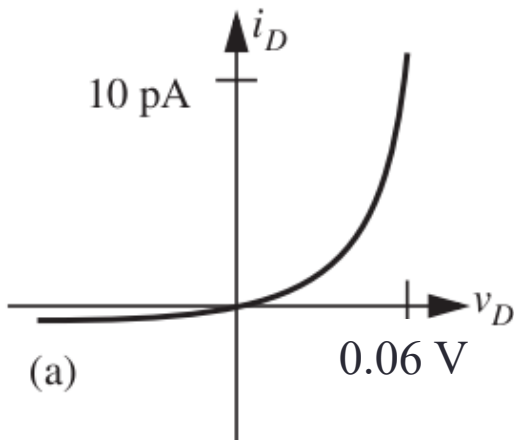
k , constante de Boltzmann = $1.380 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

T , température en Kelvin: 293 K

q , charge unitaire: $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

I_S , courant de saturation $\approx 10^{-12} \text{ A}$, [$10^{-15} \text{ A} - 10^{-9} \text{ A}$]

Caractéristique (fonction $i_D - v_D$)



I_S courant de saturation = 10^{-12} A

$$v_D = 0.05 \text{ V} \rightarrow i_D = 6.4 \times 10^{-12} \text{ A} = 6.4 \text{ pA}$$

$$v_D = 0.5 \text{ V} \rightarrow i_D = 0.49 \times 10^{-3} \text{ A} = 0.49 \text{ mA}$$

$$v_D = 0.6 \text{ V} \rightarrow i_D = 2.6 \times 10^{-2} \text{ A} = 26 \text{ mA}$$

$$i_D = 8 \text{ mA} \rightarrow v_D = 0.57 \text{ V}$$

$$v_D = -5 \text{ V} \rightarrow i_D \approx -10^{-12} \text{ A}$$

$$i_D = I_S (e^{\frac{v_D}{nU_T}} - 1)$$

Négligeable pour la plupart des tensions en direct

Capteurs de température pour microprocesseurs

Les hautes fréquences de fonctionnement des microprocesseurs (fréquence d'horloge/clock) engendrent une augmentation de la température du système. Cette température ne devrait pas excéder 110°C (limite thermique) pour que les circuits fonctionnent correctement. Une solution intégrée dans le microprocesseur lui-même pour mesurer la température dans le microprocesseur utilise un circuit contenant une diode.

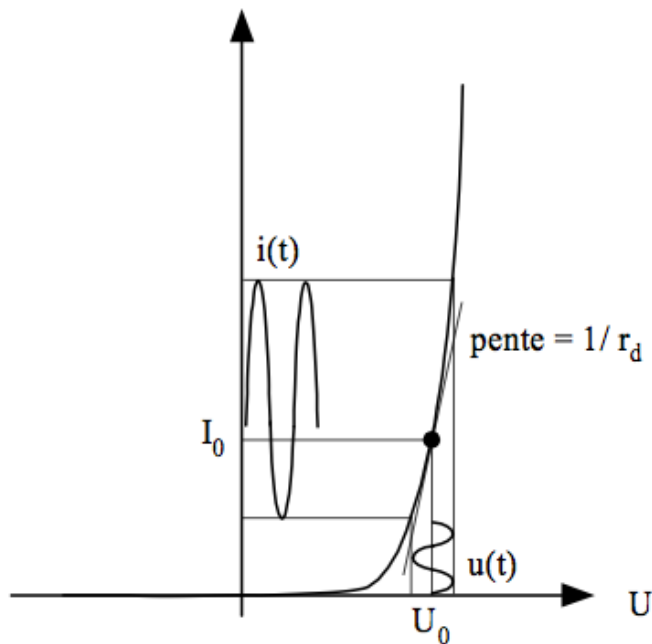
Pour déterminer la température, deux courants connus sont forcés l'un après l'autre à travers la diode. Si l'on mesure les deux tensions engendrées et on les soustrait algébriquement on obtient:

$$v_{D1} - v_{D2} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{i_{D1}}{i_{D2}} \right)$$

Cela donne la valeur de T, qui est d'ailleurs indépendante de la valeur de I_S , donc de la diode spécifique choisie.

Résistance dynamique (différentielle)

Modèle d'ordre exponentiel



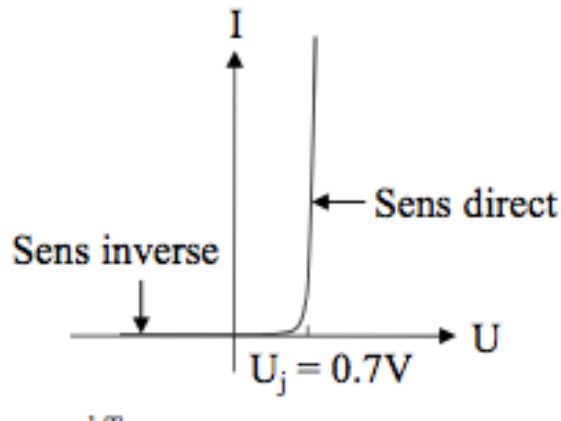
r_d est la résistance dynamique (aussi nommée différentielle) de la diode au point de travail (I_0, U_0)

Elle peut être calculée en ce point de travail en dérivant l'expression de la tension par le courant

$$r_d = nU_T/I_0 = nkT/ql_0$$

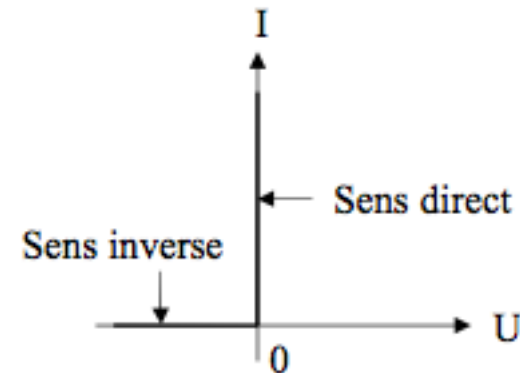
Caractéristique idéale de la diode

DIODE REELLE



$$i_D = I_S \left(e^{\frac{v_D}{nU_T}} - 1 \right)$$

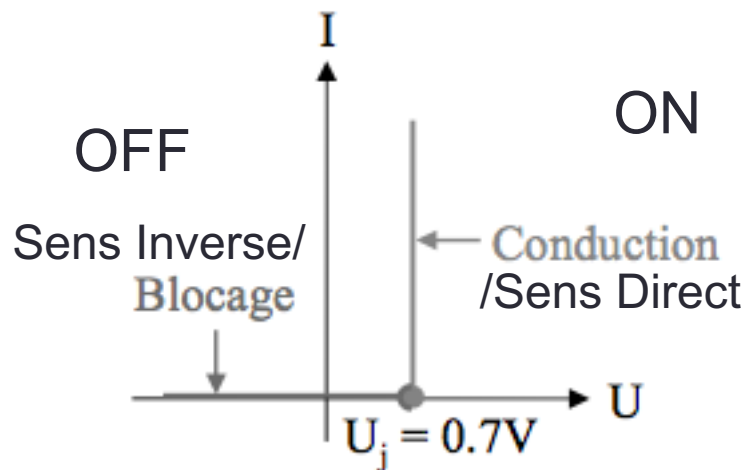
DIODE IDEALE



- Tension $V < 0 \rightarrow I = 0$
- Tension $V > 0 \rightarrow I$ augmente brusquement (courant infini dans le modèle idéal)

Modèles grands signaux à segments

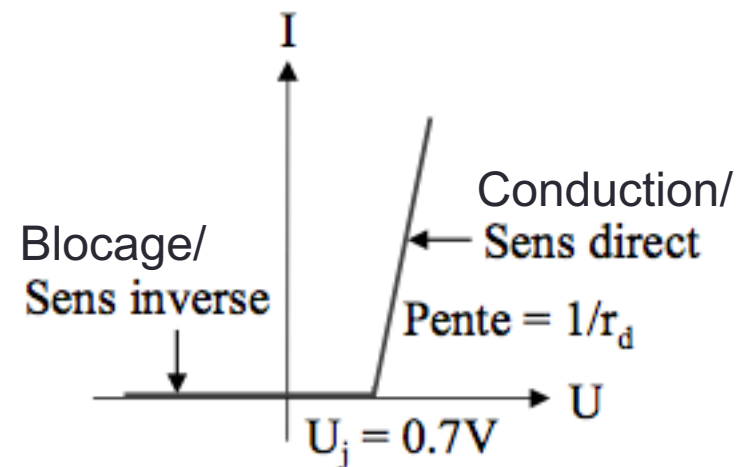
Modèle d'ordre "0"



$$\text{ON: } U = U_j, I \geq 0$$

$$\text{OFF: } U < U_j, I = 0$$

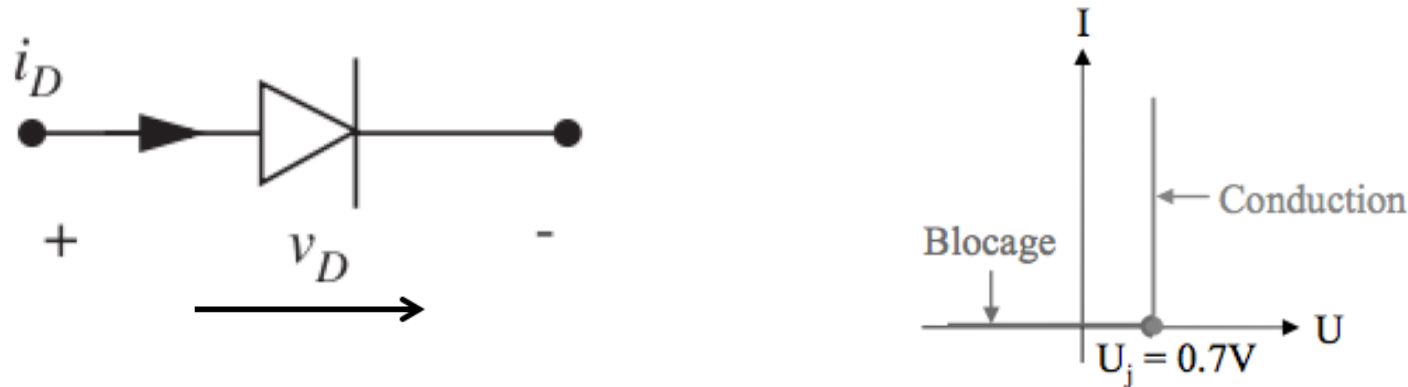
Modèle d'ordre "1"



$$\text{ON: } U = U_j + r_d I, I \geq 0$$

$$\text{OFF: } U < U_j, I = 0$$

La diode: modèle à segments d'ordre "0"

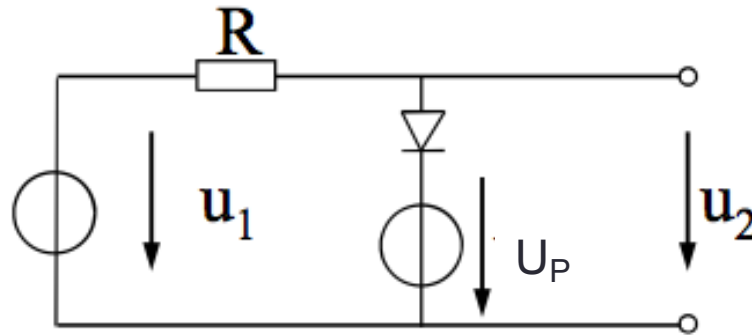


La diode, selon ce modèle:

- Soutient un potentiel v_D qui peut varier seulement entre $-\infty$ et U_j , avec $U_j > 0$. [U_j vaut 0.7 V, si pas indiqué autrement].
- Ne conduit pas si la tension v_D est inférieure à U_j (y compris pour les valeurs négatives de v_D)
- Lorsque la diode conduit, la chute de potentiel à ses bornes est fixe et vaut U_j (autrement dit, $v_D = U_j$ quand la diode conduit)

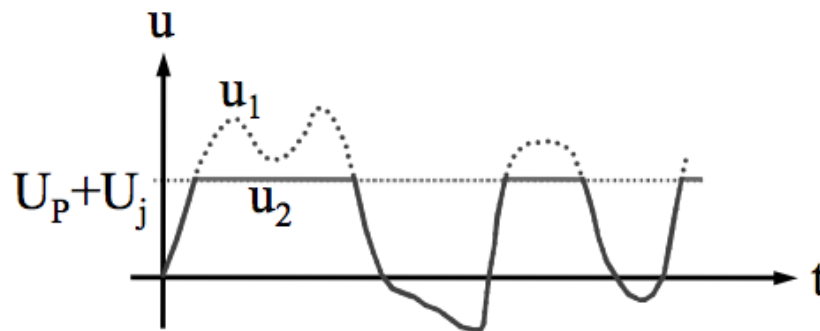
Exemples de circuits passifs non-linéaires basés sur la diode

Circuit limiteur/écrêteur de tension

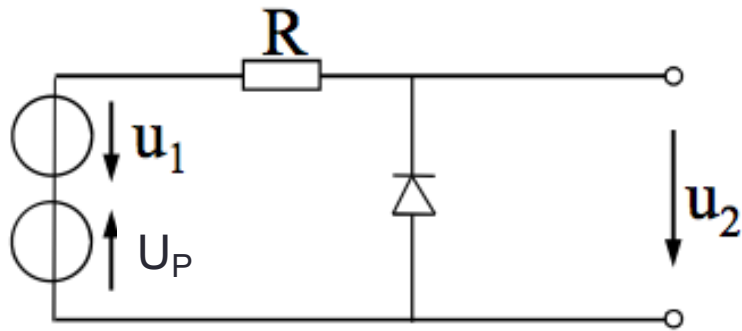


U_P est une constante

u_1 varie en fonction du temps

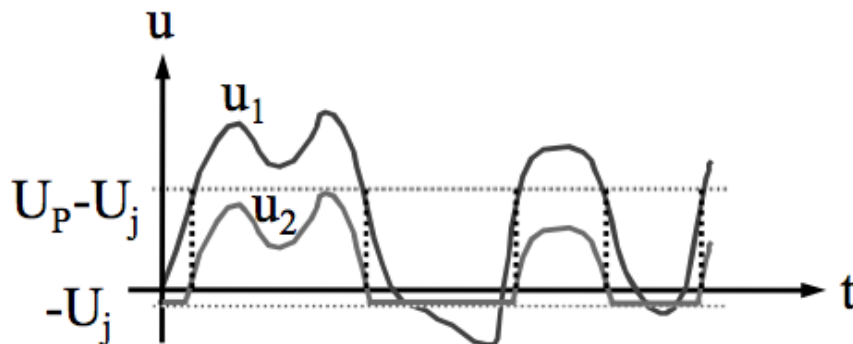


Détecteur de seuil



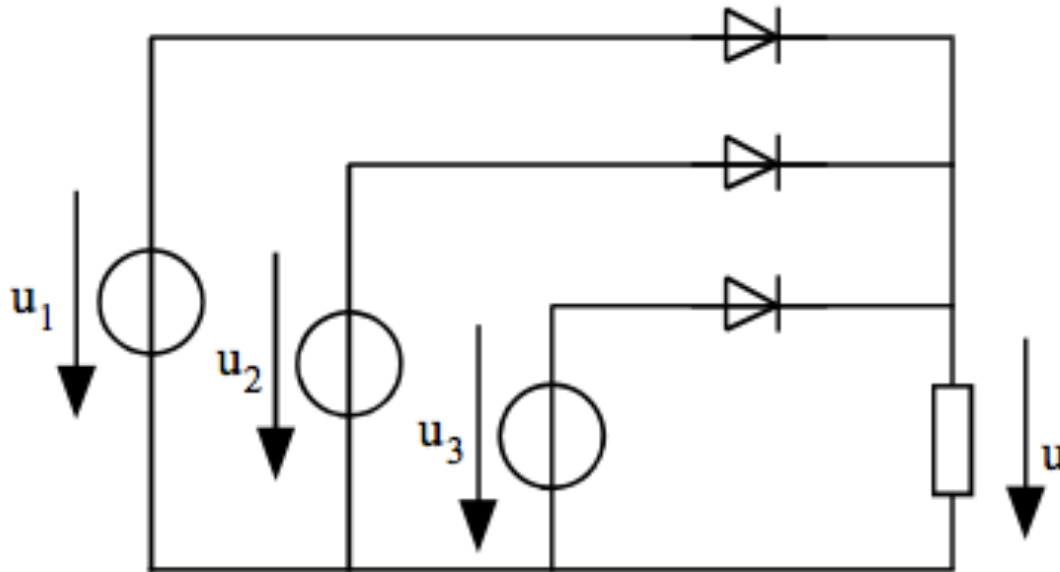
U_P est une constante

u_1 varie en fonction du temps



Lorsque u_1 atteint un certain seuil, u_2 est égal à une version atténuée (décalée vers le bas) de u_1 .

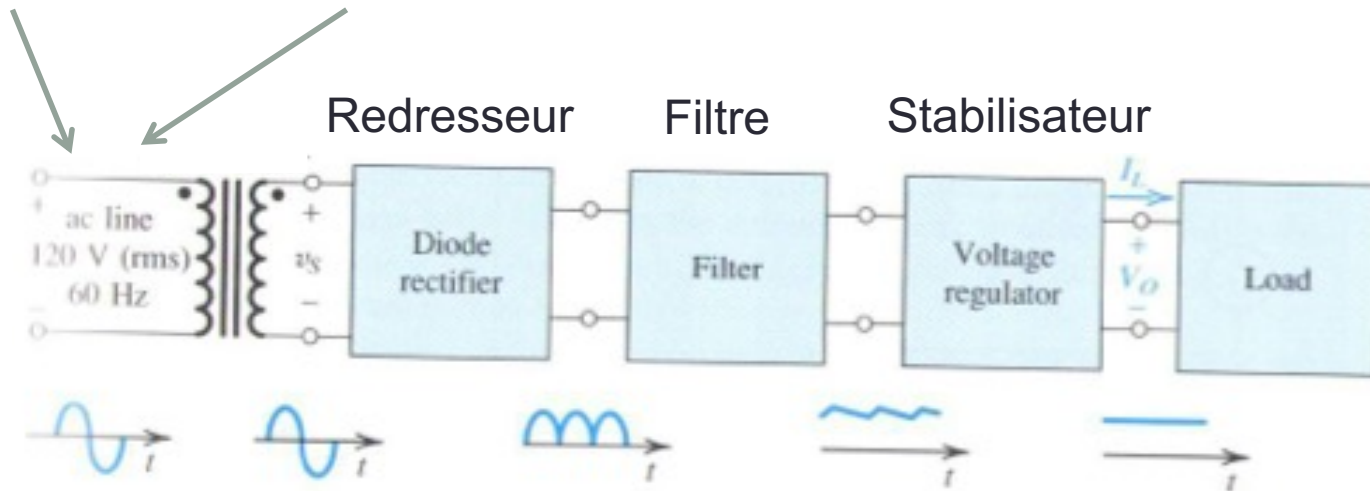
Détecteur du signal le plus positif



u corresponds à la tension du générateur qui a valeur majeure parmi les trois générateurs du circuit.
Seulement cette diode conduit, les autres sont bloquées.

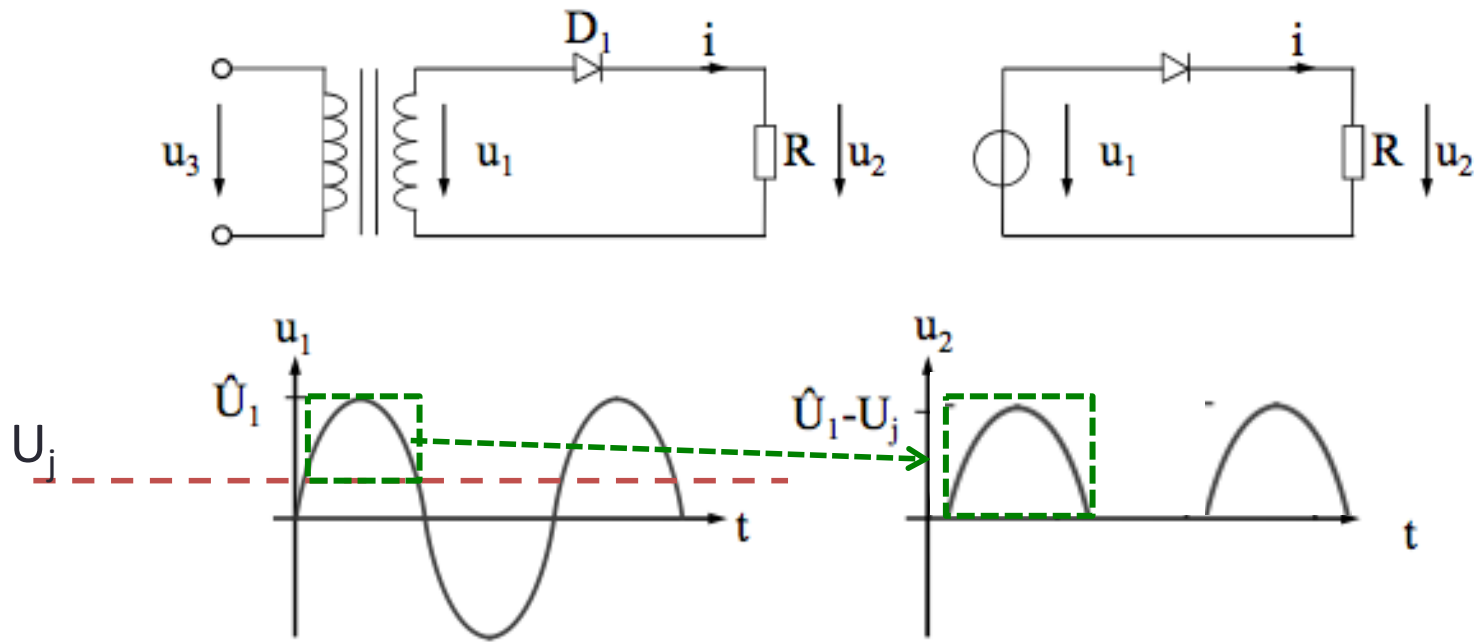
Schéma bloc d'une alimentation DC : conversion de AC (courant alternatif) à DC (courant continu)

Tension de ligne standard Européenne: 220V 50 Hz	Tension de ligne standard Nord-américaine: 120V 60 Hz
--	---



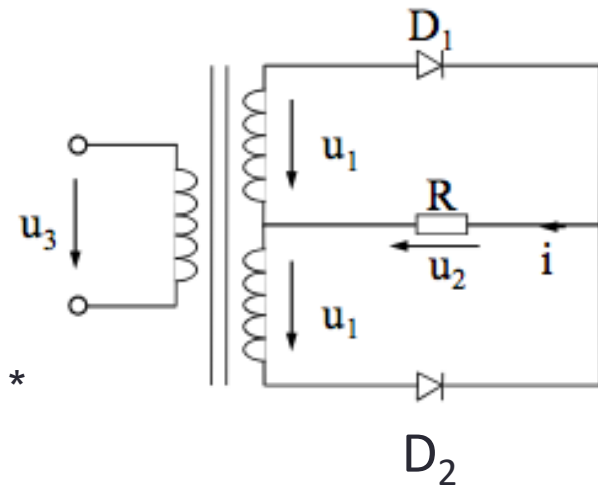
Tension d'amplitude abaissée par rapport à celle de la ligne

Redresseur simple alternance

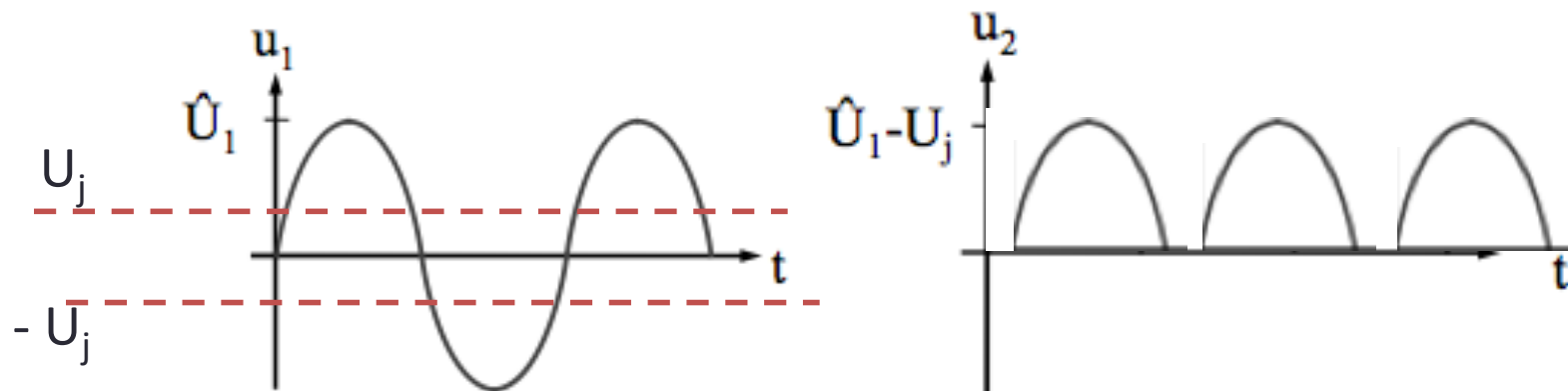


DIODE OFF $\Rightarrow i = 0$, and $u_2 = 0$, $u_1 < U_j$
 DIODE ON $\Rightarrow u_1 > U_j$, $u_2 = u_1 - U_j$

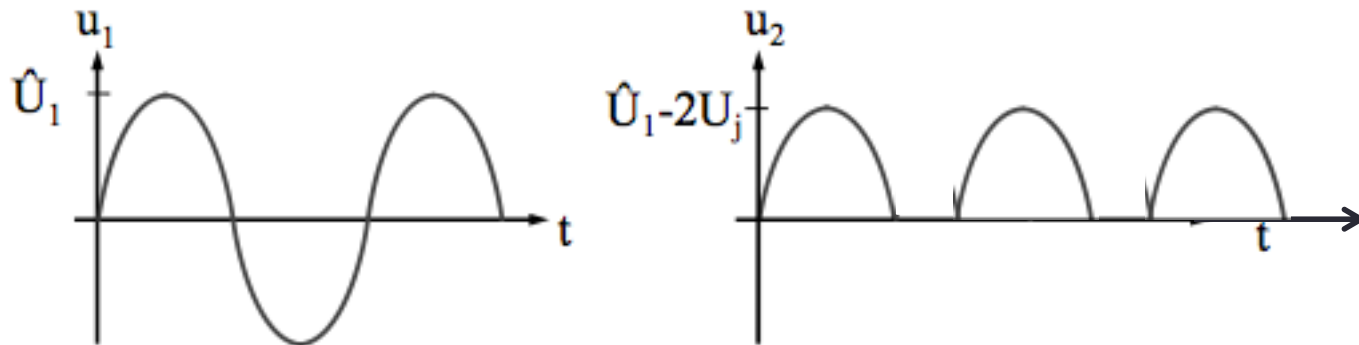
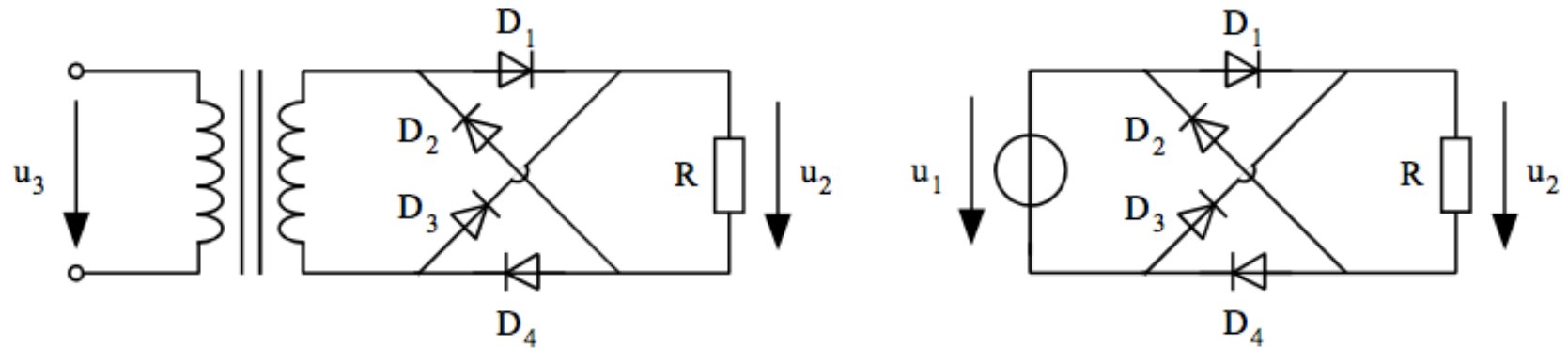
Redresseur double alternance



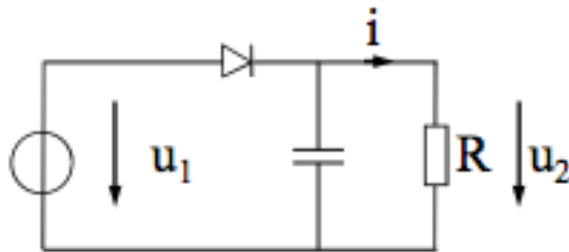
La composante DC (rms) de la sortie u_2 est deux fois plus grande que celle du redresseur simple alternance.



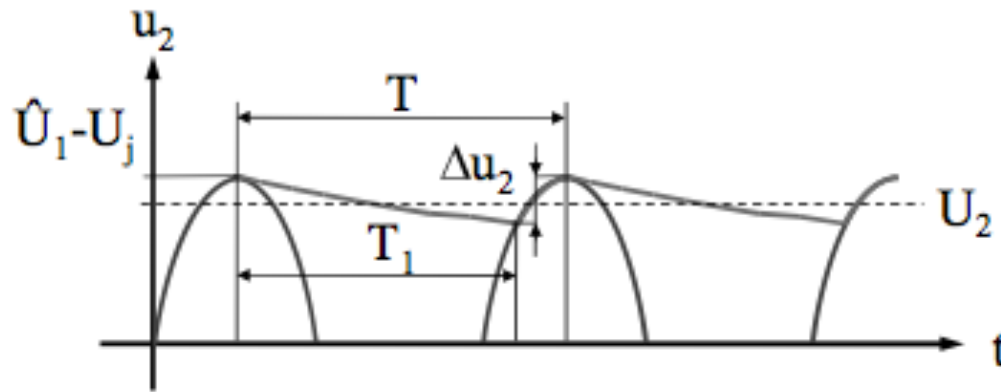
Le redresseur en pont



Filtrage, détecteur d'enveloppe



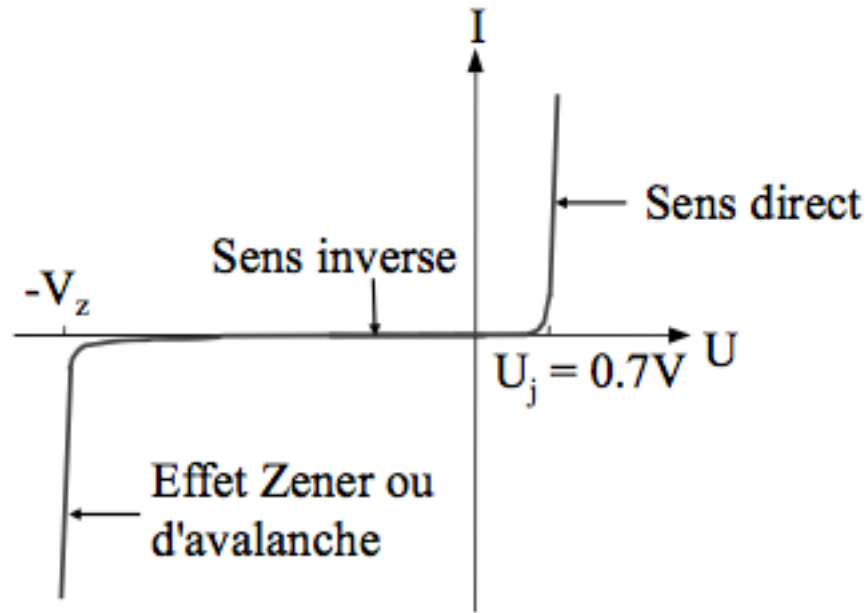
Une grande capacité filtre le signal, limitant la vitesse à laquelle le signal de sortie peut varier



Δu_2 (ondulation résiduelle) ripple voltage $\approx T/RC U_2$
(approximation par excès)

Diode Zener

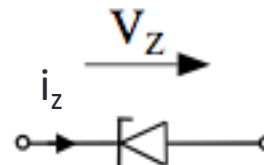
(Clarence Melvin Zener (1905–1993))



← Caractéristique complète de la diode

DIODE ZENER: diode caractérisée par une « tension Zener » V_Z stable. Cette diode est utilisée dans un circuit principalement dans cette zone de polarisation avec fonction de stabilisateur de tension.

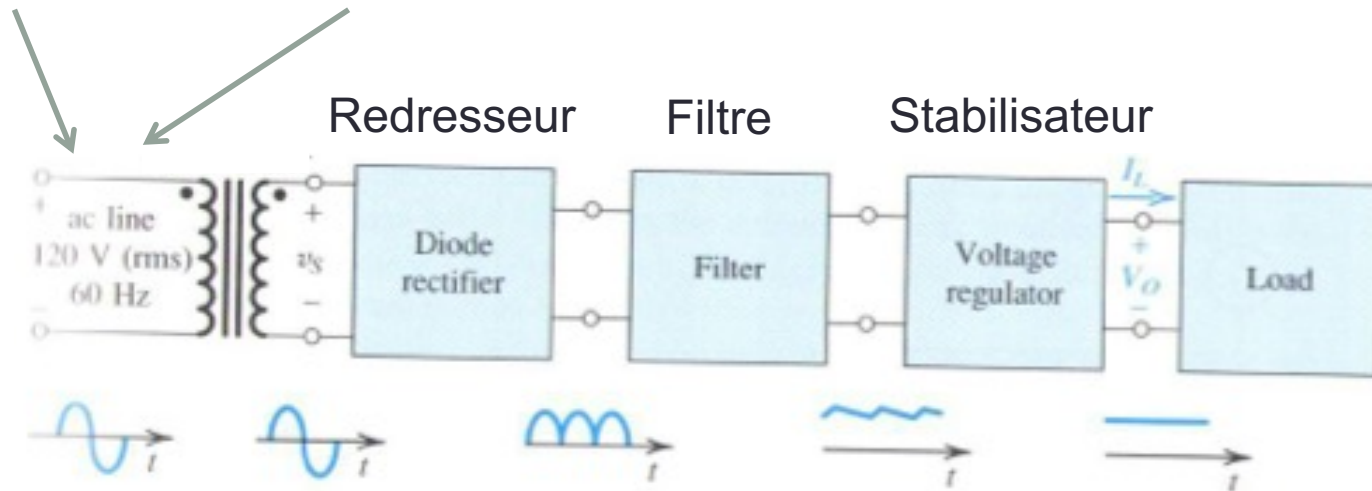
i_Z doit être majeur d'une valeur spécifique I_{zmin} .



i_Z et V_Z ont des valeurs positives.

Schéma bloc d'une alimentation DC : conversion de AC (courant alternatif) à DC (courant continu)

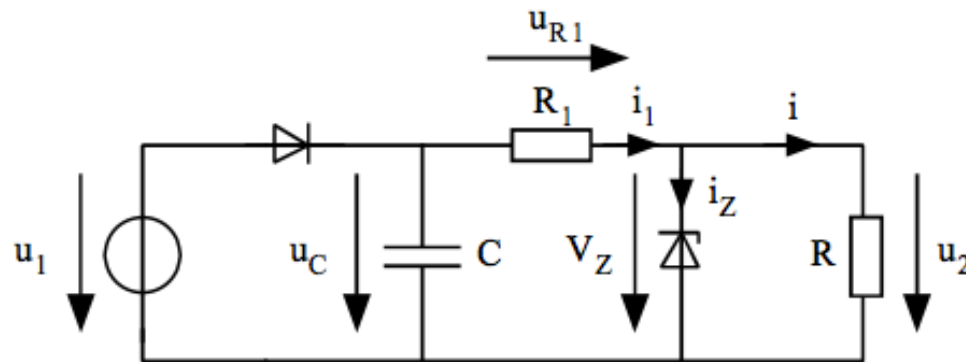
Tension de ligne standard Européenne: 220V 50 Hz	Tension de ligne standard Nord-américaine: 120V 60 Hz
--	---



Tension d'amplitude abaissée par rapport à celle de la ligne

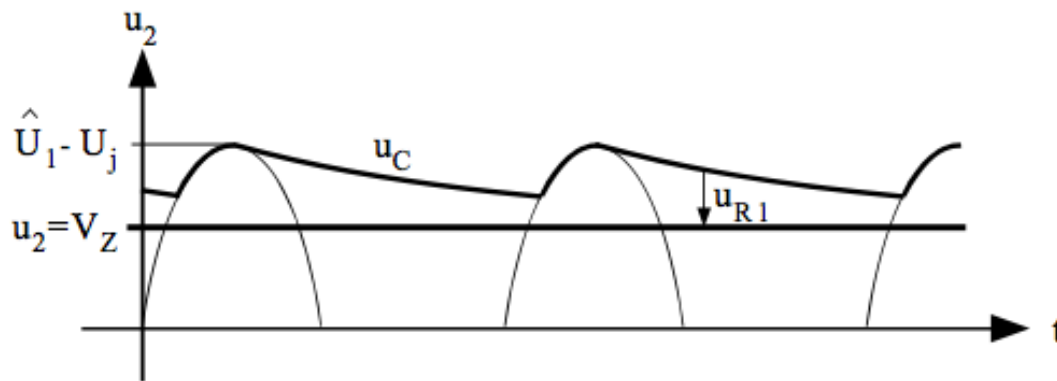
Stabilisateur de tension avec diode Zener

Ce régulateur avec diode Zener est utilisé lorsqu'une sortie constante est nécessaire et les 'ripples' de la tension de sortie sur u_2 ne peuvent pas être tolérées.



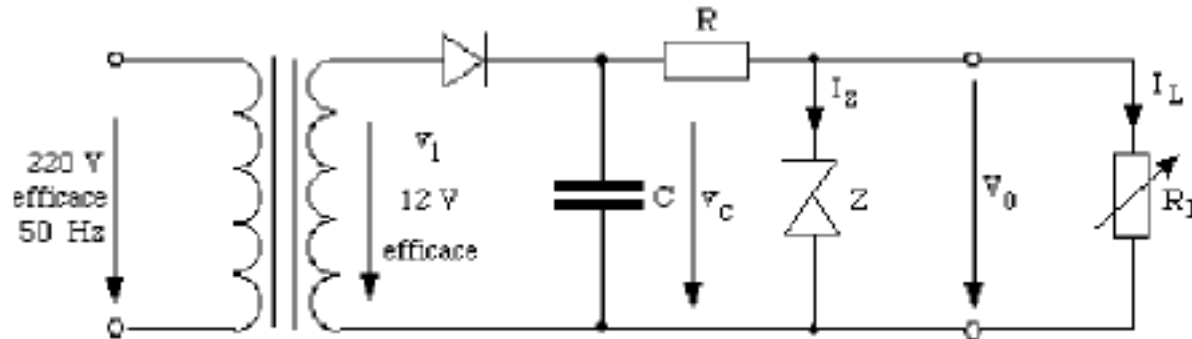
$$R_1 < \frac{\hat{U}_1 - U_j - \Delta u_C - V_Z}{I_{Zmin} + V_Z / R}$$

pour garantir un courant minimal dans la diode Zener.



Exercice

On donne le circuit suivant:



Avec $I_{zmin} = 5 \text{ mA}$, $V_Z = 10 \text{ V}$ et $U_J = 0$. On veut assurer en permanence $V_0 = 10 \text{ V}$ et une tension $v_C(t) \geq 14 \text{ V}$. $I_L \in [0 ; 50 \text{ mA}]$ suite a différentes valeurs de R_L .

- Dessiner l'allure de $v_1(t)$, $v_C(t)$ et V_0 sur le même graphique.
- Calculer la valeur maximale admissible pour R.
- Calculer la capacité de filtrage pour répondre aux conditions sur $v_C(t)$.
- Calculer I_{zmax} , en déduire la puissance instantanée maximum dissipée dans la diode Zener et dans la résistance R, quand R vaut 73Ω . [$P_{ZENER} = V_Z \times I_Z$]