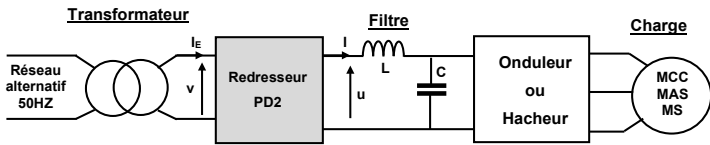


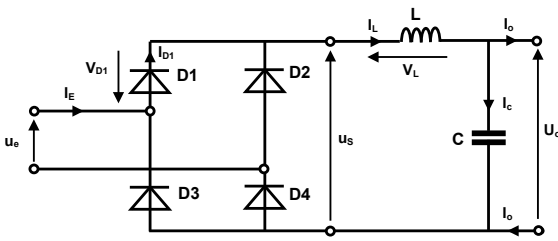
Un redresseur monphasé convertit un courant alternatif (AC) en un courant continu. Il fournit une source DC stable, indispensable pour alimentations électroniques, chargeurs de batteries et systèmes de commande de moteurs.



La chaîne de conversion ci-dessus, transforme l'énergie du réseau jusqu'à la charge. Elle comprend : un transformateur pour adapter la tension, un redresseur pour obtenir du continu (AC en DC), un filtre pour réduire les ondulations (courant et tension), puis un onduleur ou hacheur pour alimenter correctement la charge (MCC ou MAS/MS).

**Redresseur monphasé PD2 non commandé à diode**

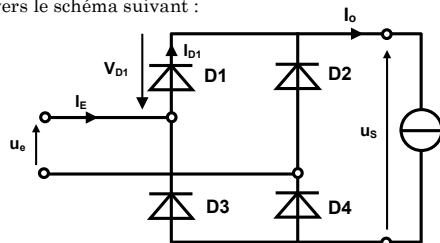
**1 - Structure d'un redresseur PD2**



**Hypothèses retenues :**

- ✓ La source d'entrée est un réseau monphasé sinusoïdal type **tension**.
- ✓ La charge intègre un filtre LC, équivalent à une source de **courant**.
- ✓ Les diodes D1 à D4 sont **idéales (pas de pertes au niveau de redresseur)**.
- ✓ L'inductance L est assez grande pour rendre le courant **quasi constant** :  $i_L(t) \cong i_o$
- ✓ Le condensateur C est de forte valeur pour **réduire l'ondulation tension** :  $u_C(t) \cong U_o$

Avec ses hypothèses on se ramène vers le schéma suivant :



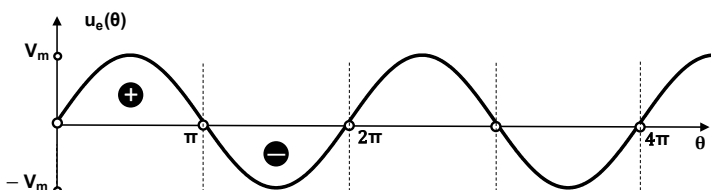
La tension entre phase et neutre d'un réseau **monphasé** est **sinusoïdale** et s'écrit :  $u_e(t) = V_m \sin(\omega t)$

Avec  $V_m = \sqrt{2} \cdot V$  la valeur maximale (V c'est la valeur efficace),  $\omega = 2\pi f$  est la pulsation, où  $f = 50 \text{ H}$  est la fréquence (cas de Maroc).

**2 - Conduction des diodes du redresseur**

La conduction des diodes dépend de la polarité de la tension sinusoïdale appliquée à l'entrée.

Le tableau ci-dessous présente les diodes actives selon la phase instantanée  $\theta = \omega t$ .



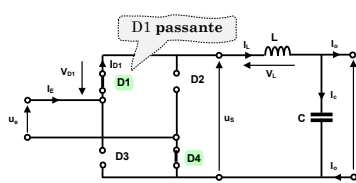
$u_e(\theta) > 0$	$u_e(\theta) < 0$	$u_e(\theta) > 0$	$u_e(\theta) < 0$
$\theta \in [0; \pi]$	$\theta \in [\pi; 2\pi]$	$\theta \in [2\pi; 3\pi]$	$\theta \in [3\pi; 4\pi]$
D1 - D4	D2 - D3	D1 - D4	D2 - D3

**Remarque :** si D passante  $\Rightarrow V_D = 0$  et  $i_D \neq 0$  et s'elle est bloquée  $\Rightarrow V_D \neq 0$  et  $i_D = 0$



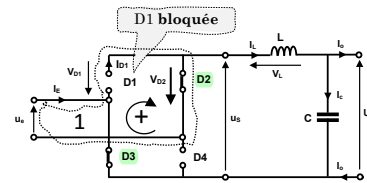
**2 - Etudes analytique de redresseur PD2**

**2.1 - Etude des tensions  $u_s$  et  $v_{D1}$**



Phase 1 : pour  $\theta \in [0; \pi]$

D1 passante  $\Rightarrow v_{D1} = 0$



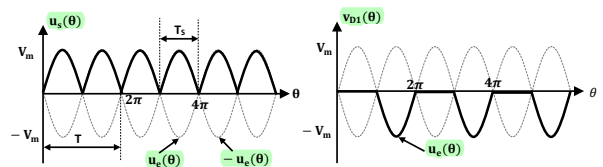
Phase 2 : pour  $\theta \in [\pi; 2\pi]$

d'après la maille 1 :  $u_e - v_{D1} + v_{D2} = 0$   
Or : D2 passante  $\Rightarrow v_{D2} = 0$   
Donc :  $u_e - v_{D1} = 0$

Toutes les expressions seront établies en fonction de la tension d'entrée  $u_e(t)$ .

Intervalle	$u_s$	$v_{D1}$
$\theta \in [0; \pi]$	$u_e(t)$	0
$\theta \in [\pi; 2\pi]$	$-u_e(t)$	$u_e(t)$

**Allures des tensions  $u_s$  et  $v_{D1}$**



**Remarque :** La tension redressée  $u_s(t)$  se compose de deux alternances maximales de la sinusoïde par période du réseau.

Période $T_s$ en s	Fréquence $f_s$ en Hz	Valeur maximale en V
$T_s = T / 2$	$f_s = 2 f$	$V_{sm} = V_m$

**Valeur moyenne de la tension redressée  $u_s(t)$**

La valeur moyenne de  $u_s(t)$  correspond à la composante continue fournie par le redresseur. Elle sert à estimer la puissance délivrée à la charge et intervient ainsi dans le calcul du facteur de puissance d'un redresseur PD2.

$$\langle u_s \rangle = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} u_s(t) dt = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} u_e(t) dt \Rightarrow \langle u_s \rangle = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} \sqrt{2} V \sin(\omega t) dt$$

- Changement de variable :  $\theta = \omega t \Rightarrow \frac{d\theta}{dt} = \omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow dt = \frac{T}{2\pi} d\theta$
- Comme :  $T_s = T / 2 \Rightarrow T = 2 T_s \Rightarrow dt = \frac{T_s}{\pi} d\theta$
- Les bornes d'intégration : Si  $t = 0 \Rightarrow \theta = 0$  et si  $t = T_s = \frac{T}{2} \Rightarrow \theta = \pi$

Donc :

$$\langle u_s \rangle = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} V \sin(\theta) d\theta \Rightarrow \langle u_s \rangle = \frac{\sqrt{2} V}{\pi} \left[ -\cos(\theta) \right]_0^{\pi}$$

D'où :  $\langle u_s \rangle = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V$

**Valeur maximale supportée par la diode**

Il est essentiel de connaître la tension maximale supportée par une diode. C'est la tension  $V_{RRM}$  représente la tension inverse répétitive maximale que la diode peut supporter sans risque de défaillance à l'état bloquée.

D'après l'allure de  $v_{D1}(t)$  :  $V_{RRM} = V_m = \sqrt{2} V$

**2.1 - Etude des courants  $i_E$  et  $i_{D1}$**

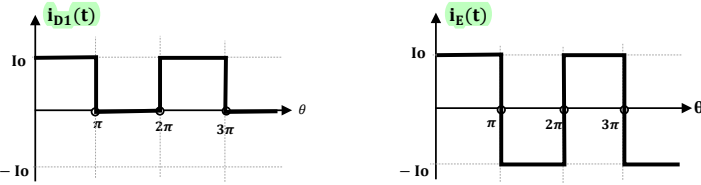
La bobine L est choisie assez grande pour réduire l'ondulation et maintenir le courant presque constant, soit :  $i_L(t) \cong i_o$ .

**Expression du courant**

Toutes les expressions seront établies en fonction du courant de sortie  $i_L(t) \cong i_o$ .

Intervalle	$i_E$	$i_{D1}$
$\theta \in [0; \pi]$	$i_L(t) \cong i_o$	$i_L(t) \cong i_o$
$\theta \in [\pi; 2\pi]$	$-i_L(t) \cong -i_o$	0

**Allures des courants**



**Valeur moyenne du courant dans les diodes**

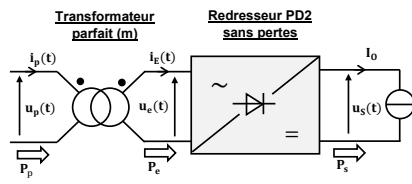
Le dimensionnement d'une diode nécessite de vérifier que le courant qu'elle conduit reste inférieur à son courant direct maximal  $I_F$ . Ici, c'est le **courant moyen**. On le calcule plus simplement par la méthode des surfaces (forme carrée) :

$$\langle i_{D1} \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T i_{D1}(t) dt \Rightarrow \langle i_{D1} \rangle = \frac{\text{Surface}}{T} \Rightarrow \langle i_{D1} \rangle = \frac{I_o \pi}{2\pi}, \text{ D'où : } \boxed{I_{D1\text{moy}} = \frac{I_o}{2}}$$

**Comportement global en puissance du redresseur**

**1 - Facteur de puissance de redresseur PD2**

Le facteur de puissance permet d'évaluer l'efficacité d'un redresseur, afin de prévoir une idée de limiter les pertes et l'impact des harmoniques sur le réseau, et de garantir le respect des normes de qualité d'énergie.



On définit :

- $P_p$  : Puissance active au primaire du transformateur.
- $P_e$  : Puissance active au secondaire du transformateur.
- $P_s$  : Puissance active fournie à la charge.

**Objectif :** Déterminer le facteur de puissance au primaire  $f_p$  du transformateur, car c'est ce facteur qui influence réellement le réseau électrique.

**Hypothèses :**

- Le transformateur est parfait :  $f_p = f_s$  ( $f_p$  primaire =  $f_s$  secondaire)
- Les diodes du pont redresseur sont parfaites (pas de pertes) :  $P_o = P_s$

Le facteur de puissance primaire s'exprime par :  $f_p = f_s = \frac{P_o}{S_o}$ , et que d'après la loi de conservation de puissance :  $P_e = P_s$

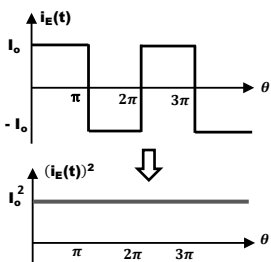
**Puissance active fournie à la charge  $P_s$  :**

On a :  $P_s = \langle u_s(t) \cdot i_L(t) \rangle = \langle u_s(t) \cdot I_o \rangle \Rightarrow P_s = \langle u_s(t) \rangle \cdot I_o$ ; d'où :  $P_s = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot V \cdot I_o$

Donc la puissance active à l'entrée de redresseur PD2 :  $\boxed{P_e = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot V \cdot I_o}$

**Puissance apparente au secondaire du transformateur :**

Par définition la puissance apparente  $S_e$  :  $\boxed{S_e = V \cdot I_E}$



- Le courant efficace  $I_E$  :

$$I_E = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (i_E(t))^2 dt} \Rightarrow I_E = \sqrt{\langle (i_E(t))^2 \rangle}$$

Or :  $\langle (i_E(t))^2 \rangle = I_o^2 \Rightarrow \boxed{I_E = I_o}$

D'où :

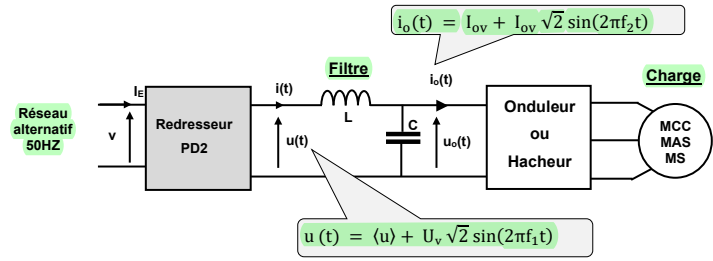
$$S_e = V \cdot I_E \Rightarrow \boxed{S_e = V \cdot I_o}$$

Le facteur de puissance est alors :  $f_p = f_s = \frac{P_e}{S_o} \Rightarrow \boxed{f_p = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} = 0.90}$

**Remarque :** Ce facteur respecte les recommandations des fournisseurs d'électricité ( $f_p > 0.8$ ). Cela justifie son utilisation dans la majorité des applications industrielles et domestiques

**2 - Dimensionnement du filtre : méthode du 1er harmonique**

Le filtre LC réduit l'ondulation de la tension et du courant pour obtenir un signal quasi continu. Son dimensionnement ici, repose sur l'utilisation de la méthode du premier harmonique, en ne considérant que les composantes fondamentales.



**Dimensionnement de l'inductance L :**

L'inductance L est choisie pour limiter l'ondulation crête-à-crête  $\Delta i$  du courant. Après une étude de calcul du filtre en fonction du fondamental de  $u(t)$  :

$$L = \frac{4 V \sqrt{2}}{3 \pi \Delta i \omega}$$

**Dimensionnement de la capacité C :**

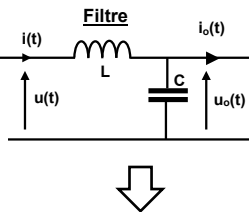
Le condensateur C stabilise la tension  $u_o(t)$  malgré les variations de la tension redressée et du courant de charge.

Deux contraintes dimensionnent C : une liée aux variations de tension  $\Delta_{ov1}$ , l'autre aux variations de courant  $\Delta_{ov2}$ . La valeur finale correspond au maximum des deux.

Variation de tension seule	Variation de courant seule
$C1 \geq \frac{U_v}{\omega_1^2 \cdot L \cdot \Delta_{ov1}}$ <p>Avec <math>U_v = \frac{2V}{\pi\sqrt{2}}</math> et <math>\omega_1 = 2\omega</math></p>	$C2 \geq \frac{I_{ov}}{\omega_2 \cdot \Delta_{ov2}}$

**Relation supplémentaire : filtre LC**

On considère que la tension aux bornes du condensateur est périodique  $u_c(t) = U_o$ , et que le courant traversant l'inductance l'est également  $i(t) = I_o$ .



- Filtrage de tension :  $u(t) = v_L(t) + U_o$   
 $\Rightarrow \langle u(t) \rangle = \langle v_L(t) \rangle + U_o$   
 Comme  $i_L(t)$  périodique :  $\langle v_L(t) \rangle = 0$   
 D'où :  $U_o = \langle u(t) \rangle \Rightarrow \boxed{U_o = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot V}$

- Filtrage de tension :  $i(t) = i_c(t) + I_o$   
 $\Rightarrow \langle i(t) \rangle = \langle i_c(t) \rangle + I_o$   
 Comme  $u_o(t)$  périodique :  $\langle i_c(t) \rangle = 0$   
 D'où :  $\langle i_L(t) \rangle = I_o$

**3 - Choix des diodes du pont redresseur**

Les diodes subissent un courant direct et une tension inverse. Pour assurer leur fiabilité, leurs caractéristiques doivent dépasser les valeurs maximales prévues.

Paramètres à vérifier :

- Courant direct moyen IFAV :  $I_{FAV} \geq I_{Dmoy}$  (souvent  $I_o/2$  pour un PD2).
- Tension inverse VRRM :  $V_{RRM} \geq 2 \times V_{Dmax}$ .
- Courant de surtension IFSM :  $I_{FSM} \geq k \times I_o$

Avec  $k = 10$  à  $20$  selon la charge indicative (IEC 60747-2 et AN Vishay). En charge capacitive, on retient souvent  $k \approx 20$