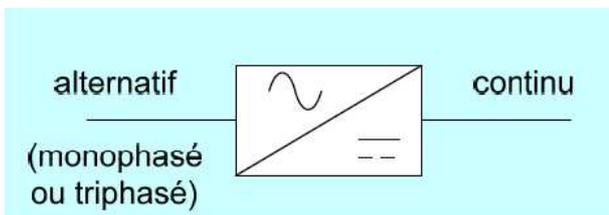


# Electronique de puissance

## Chapitre 0 Introduction

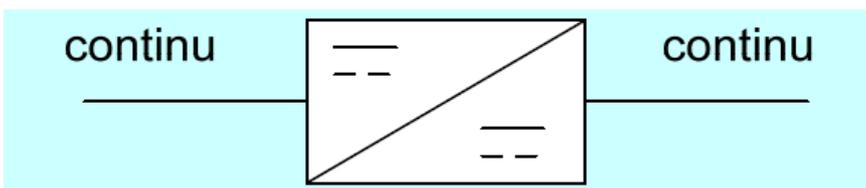
Quatre types de conversion de l'énergie électrique :

### 1- Conversion alternatif / continu (AC / DC)



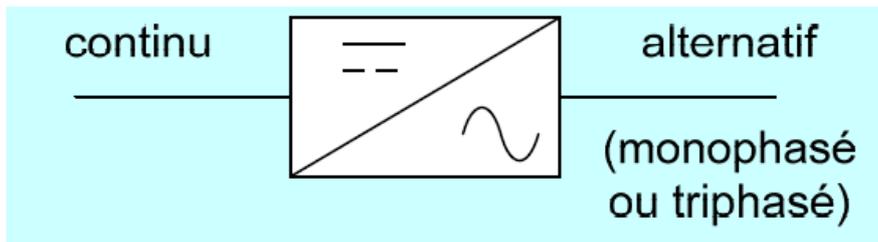
- Montage redresseur
  - non commandé (à diodes)
  - commandé (à thyristors)
- Applications
  - alimentation continue (pour circuits électroniques)
  - alimentation pour moteur à courant continu
  - chargeur de batteries ...

### 2- Conversion continu / continu (DC / DC)



- Montage hacheur
  - série (abaisseur de tension)
  - parallèle (élevateur de tension)
- Applications
  - alimentation à découpage (ordinateur, mobile ...)
  - alimentation pour moteur à courant continu

### 3- Conversion continu / alternatif (DC / AC)



- Montage onduleur
- Applications
  - alimentation de secours (+ groupe électrogène)
  - variateur de vitesse pour moteur asynchrone ...

### 4- Conversion alternatif / alternatif (AC / AC)

- Montage gradateur
- Applications
  - variateur de lampe halogène
  - variateur de vitesse pour moteur universel ...

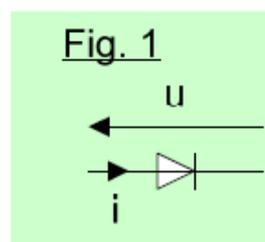
## Chapitre 1

## Conversion alternatif / continu

## Montages redresseurs

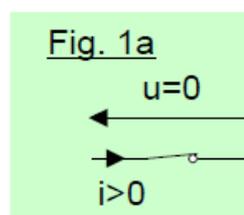
### 1- Redressement non commandé

On utilise des diodes de redressement.

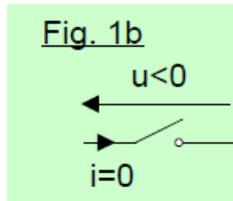


#### 1-1- Rappel sur la diode

La diode est supposée parfaite (tension de seuil nulle)  
- dans l'état passant  $\Leftrightarrow$  interrupteur fermé



- dans l'état bloqué  $\Leftrightarrow$  interrupteur ouvert



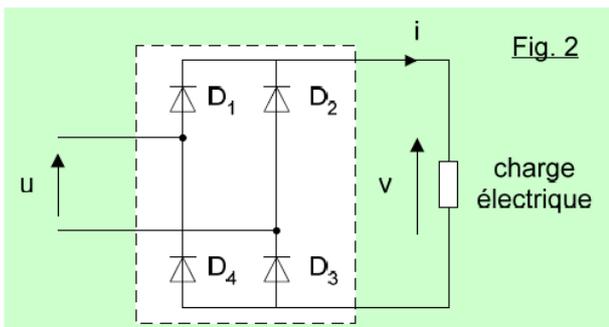
En résumé, la diode est un interrupteur électronique :

- unidirectionnel en courant (un seul sens de conduction)
- non commandable (la conduction et le blocage sont imposés par le reste du circuit)

## 1-2- Exemple de montage redresseur : le pont de Graëtz monophasé

Ce pont nécessite quatre diodes.

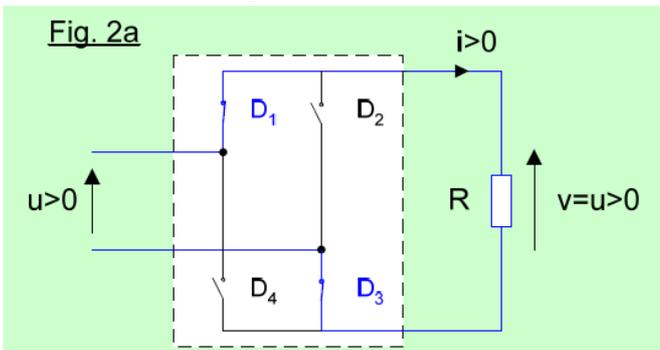
La tension d'alimentation  $u(t)$  est alternative :



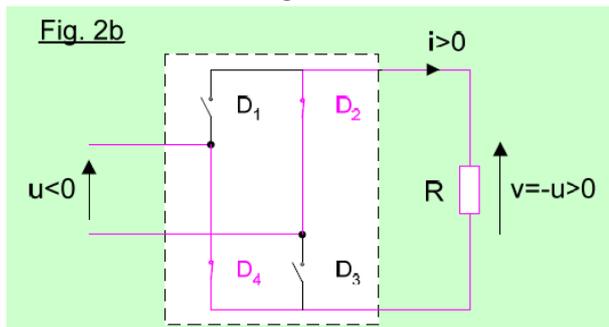
• Analyse du fonctionnement

On suppose que la charge est une résistance  $R$ .

a- tension d'entrée positive  $\rightarrow$  D1 et D3 conduisent :  $v = u$



b- tension d'entrée négative  $\rightarrow$  D2 et D4 conduisent :  $v = -u$

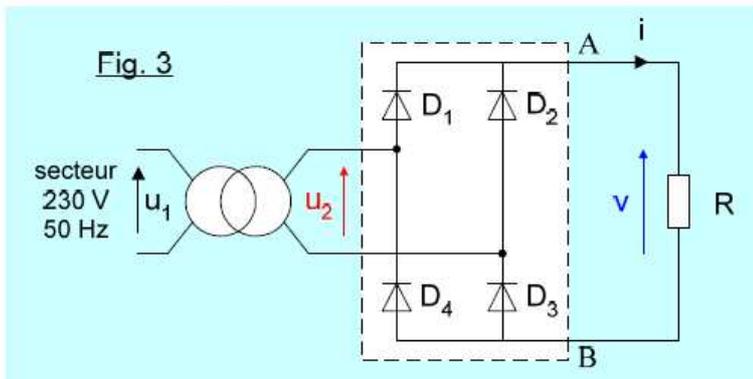


Le pont de Graëtz permet de " redresser " une tension :  $v = |u|$

La tension de sortie est " continue " : elle ne change pas de signe.

# 1-3- Application : alimentation continue alimentée par le secteur

Le circuit se compose d'un transformateur monophasé suivi d'un pont de Graëtz :

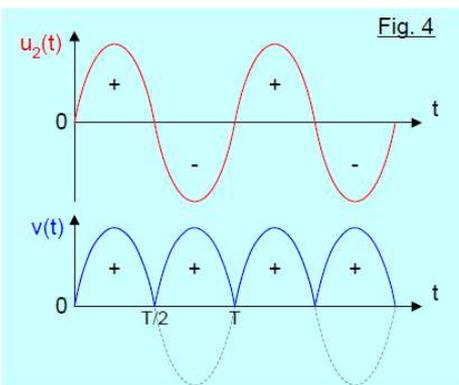


On suppose le transformateur parfait :

$$u_2(t) = m_v u_1(t)$$

avec  $m_v$  le rapport de transformation à vide.

• Pour une charge résistive :



• Valeur moyenne de la tension de sortie

$$\langle v \rangle = \frac{2\hat{v}}{\pi}$$

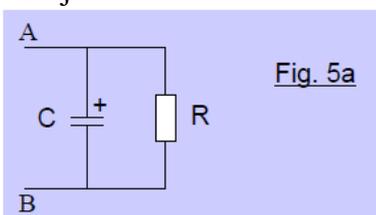
A.N. transformateur 230 V / 6 V

$$\hat{v} = \hat{u}_2 = \sqrt{2}U_2 = 8,5 \text{ V}$$

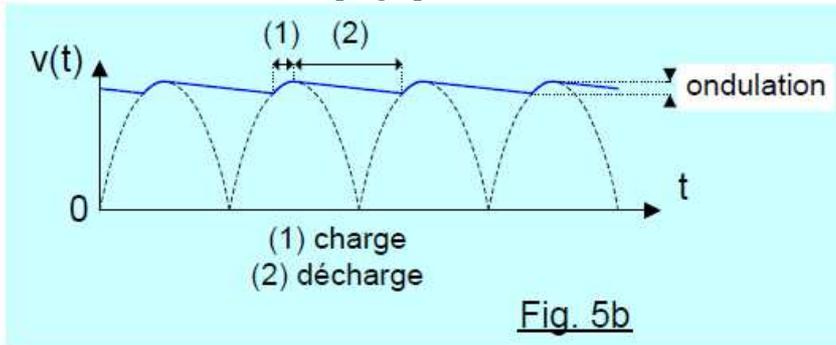
$$\langle v \rangle = \frac{2\hat{v}}{\pi} = 5,4 \text{ V}$$

• Condensateur de " découplage "

On ajoute un condensateur de forte capacité aux bornes de la résistance :



Le condensateur de découplage permet de lisser la tension de sortie :



Pour un lissage satisfaisant, il faut choisir C de façon que  $RC \gg T$ .

Taux d'ondulation :

$$\frac{\Delta v}{\hat{v}} \approx \frac{1}{2RCf}$$

A.N.

$R = 47 \Omega$ ,  $C = 3300 \mu\text{F}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$

⇒ taux d'ondulation de 6 %

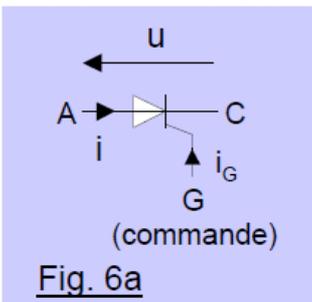
⇒ ondulation  $\Delta v = 0,5 \text{ V}$  ( $8,0 < v < 8,5 \text{ V}$ )

## 2- Redressement commandé

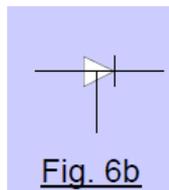
On utilise des thyristors.

### 2-1- Le thyristor

C'est un semi-conducteur qui possède trois bornes : l'anode (A), la cathode (C) et la gâchette (G).

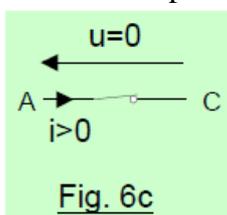


• Symbole général

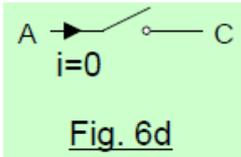


• Caractéristiques électriques

- état passant  $\leftrightarrow$  interrupteur fermé



- état bloqué  $\Leftrightarrow$  interrupteur ouvert



- Mise en conduction du thyristor (initialement bloqué)

2 conditions :

a)  $u > 0$

b) courant de gâchette suffisant (amorçage)

Une fois le thyristor amorcé, on peut supprimer le courant de gâchette.

- Blocage du thyristor (initialement conducteur)

Blocage dès que le courant  $i$  s'annule (comme pour une diode).

• En résumé, le thyristor est un interrupteur électronique :

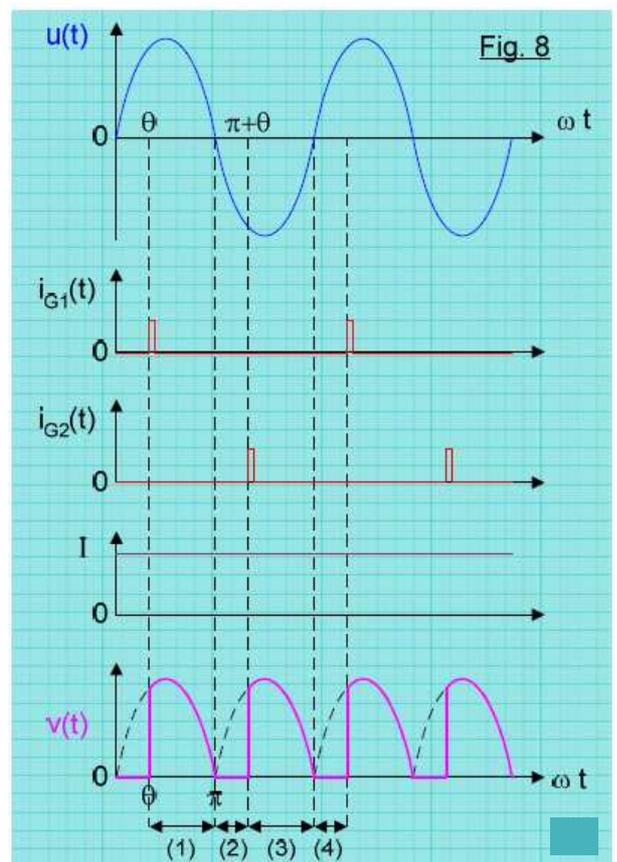
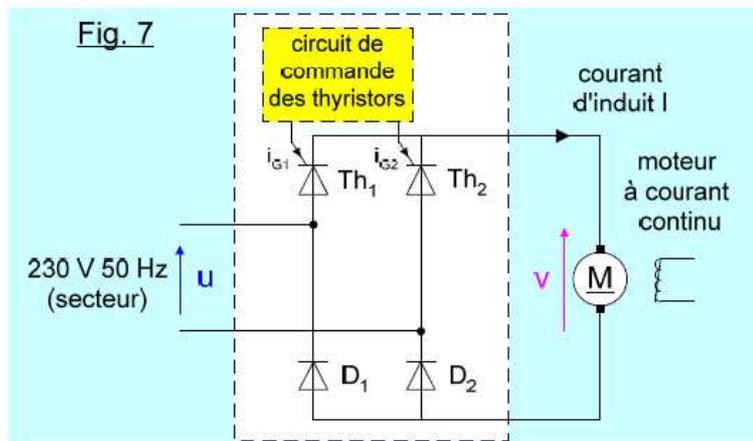
- unidirectionnel en courant

- commandable à la fermeture en injectant un courant de gâchette

Le thyristor n'est pas commandable à l'ouverture.

## 2-2- Exemple de redresseur commandé : le pont mixte symétrique monophasé

La charge est ici un moteur à courant continu qui consomme un courant  $I$  (supposé constant) :



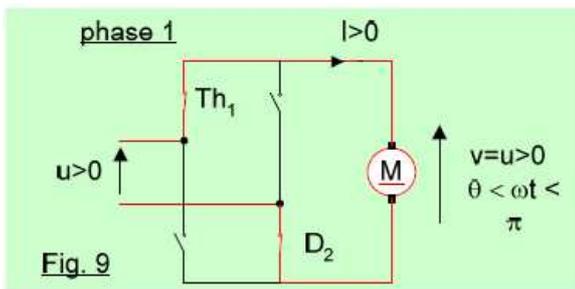
• Chronogrammes

Le circuit de commande des thyristors permet de régler

l'angle de retard à l'amorçage  $\theta$ .

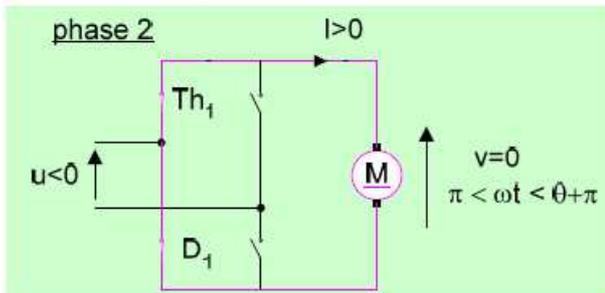
- Analyse du fonctionnement

- Phase 1 : à l'instant  $\omega t = \theta$ , on amorce Th1 :



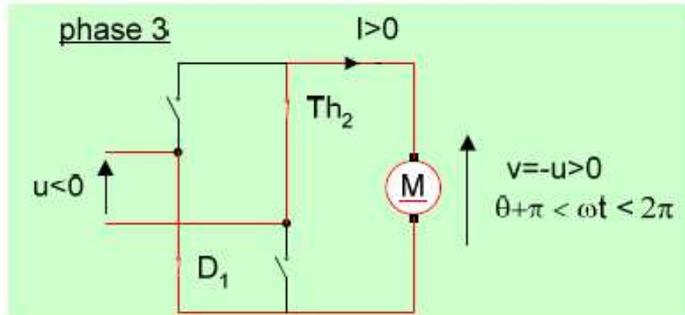
- Phase 2 : à l'instant  $\omega t = \pi$ , u devient négative.

D2 se bloque et D1 devient conductrice :

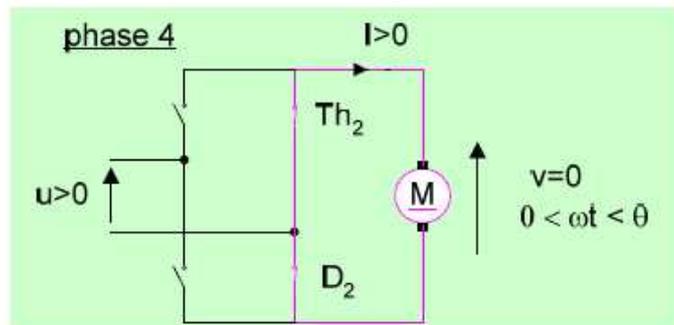


C'est une phase de "roue libre" (la bobine du moteur se décharge).

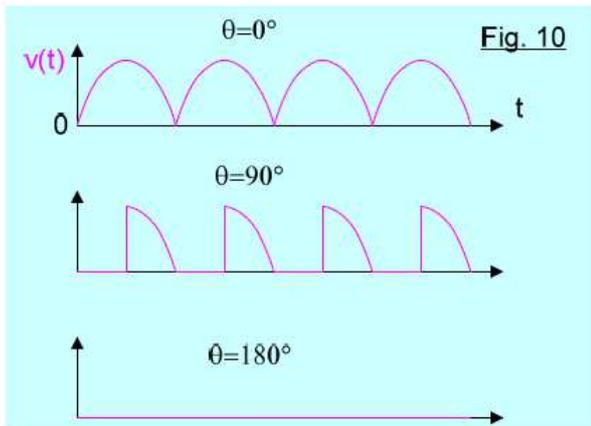
- Phase 3 : à l'instant  $\omega t = \theta + \pi$ , on amorce Th2 :



- Phase 4 : à l'instant  $\omega t = 2\pi$ , phase de roue libre :



- Application : variation de vitesse d'un moteur à courant continu



On montre que :

$$\langle v \rangle = \frac{\hat{v}}{\pi} (1 + \cos \theta)$$

$$\hat{v} = \hat{u} = \sqrt{2} U$$

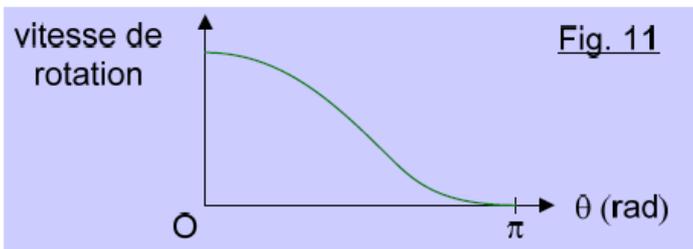
Pour un moteur à courant continu à excitation constante :  
vitesse de rotation  $\propto$  tension d'induit

**Les résultats vus dans le chapitre consacré à la machine à courant continu restent valables en prenant pour la tension d'induit sa valeur moyenne :**

$\Omega \propto \langle \text{tension d'induit} \rangle$

$\Omega \propto (1 + \cos \theta)$

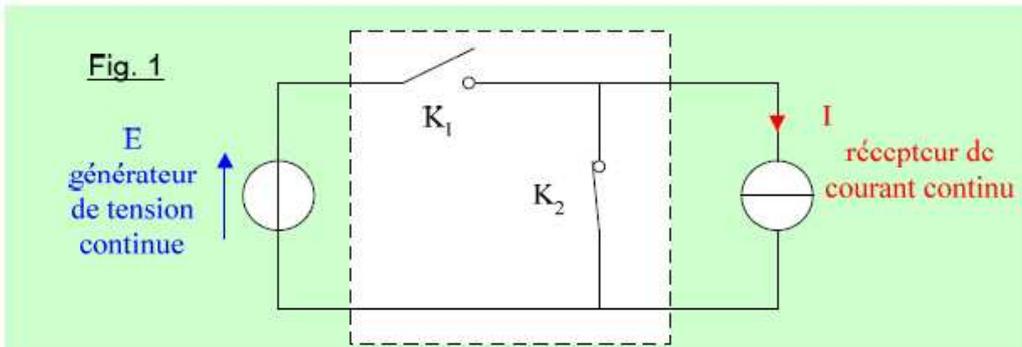
L'angle de retard à l'amorçage  $\theta$  commande la vitesse de rotation :



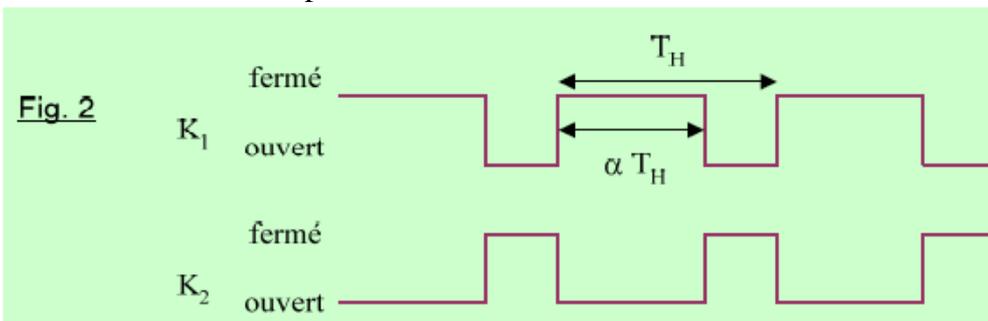
# Chapitre 2 Conversion continu/continu

## Les hacheurs

### 2-1- Principe du hacheur série (abaisseur de tension)



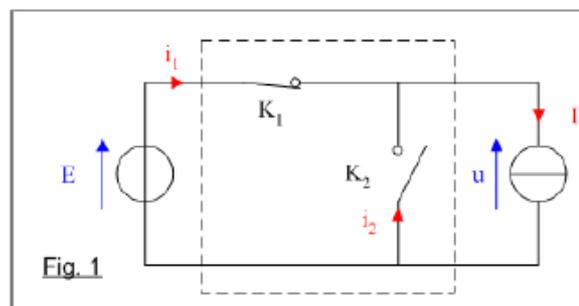
- commande des interrupteurs

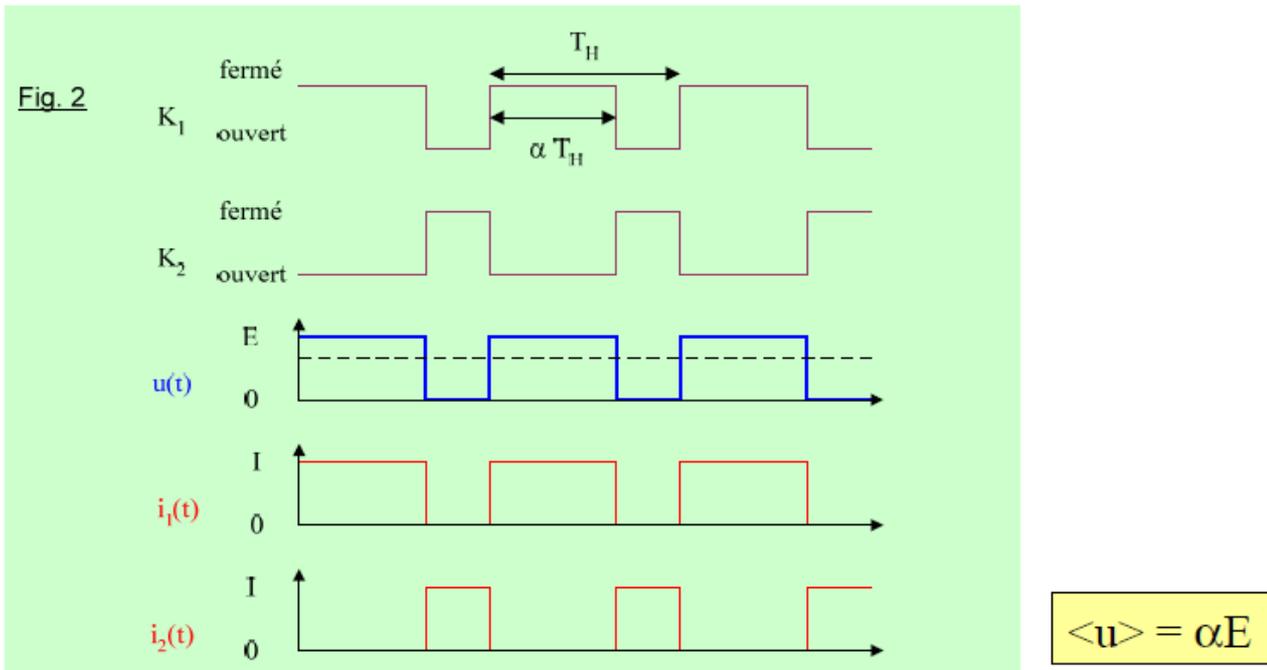


fréquence de hachage :  $f_H = 1/T_H$

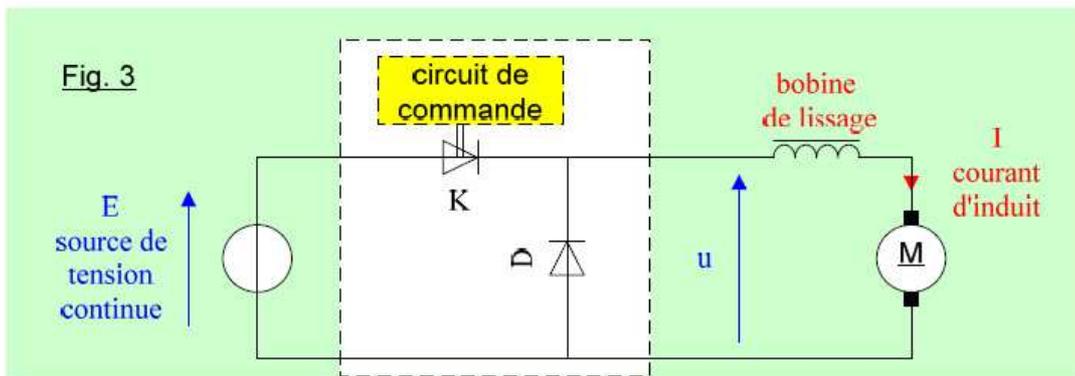
rapport cyclique :  $\alpha = \frac{\text{durée de fermeture de } K_1}{\text{période de hachage}}$

- chronogrammes





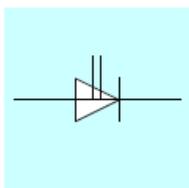
## 2-2- Application : commande d'un moteur à courant continu



- interrupteur K2  
Une diode de puissance suffit (diode de « roue libre »)

- interrupteur K1  
Il doit être :
  - commandable à la fermeture (amorçage)
  - commandable à l'ouverture (extinction)
  - unidirectionnel en courant

Symbole général :

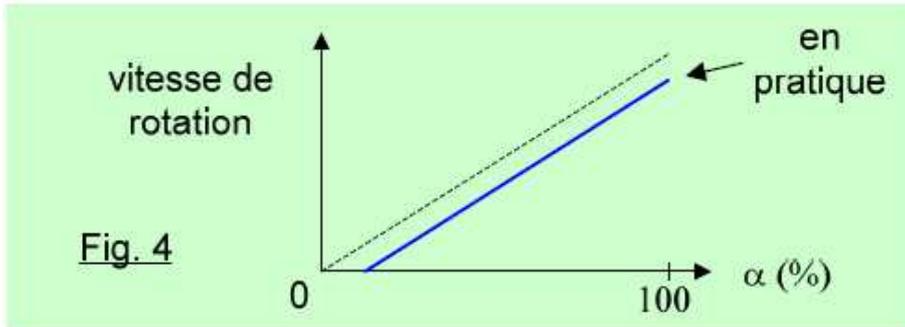


En pratique :

- transistors bipolaires, MOSFET, IGBT ...
- thyristors GTO, IGCT ...

- vitesse de rotation

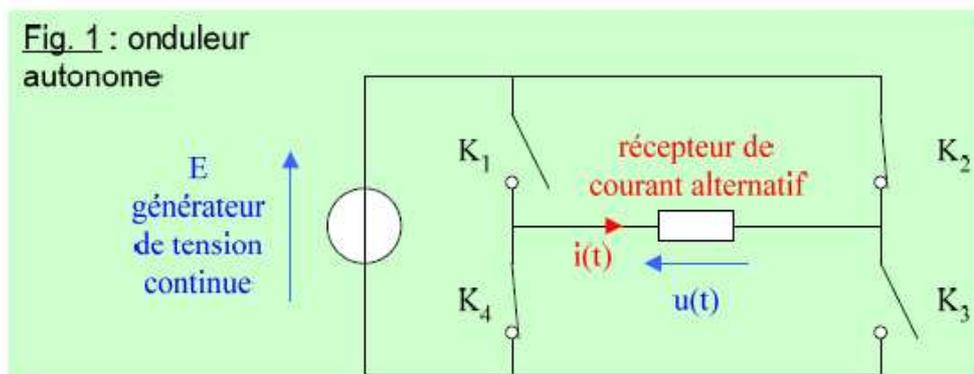
Pour un moteur à excitation constante :



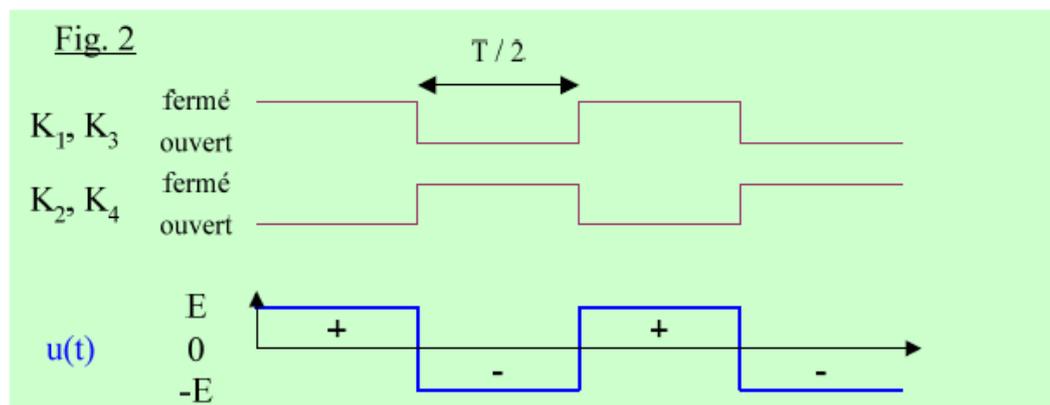
# Chapitre 3 Conversion continu/alternatif

## Les onduleurs

### 3-1- Principe du l'onduleur en pont (monophasé)

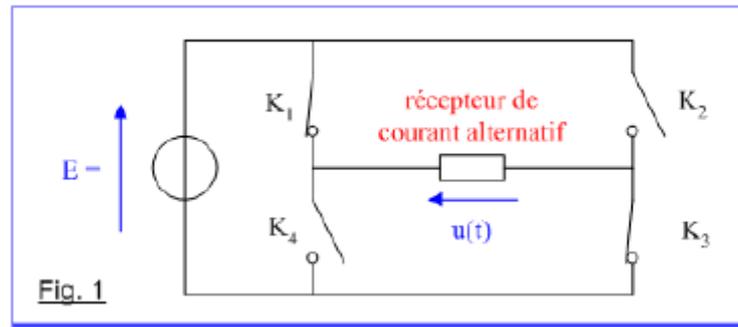


#### 3-1-1- Commande symétrique

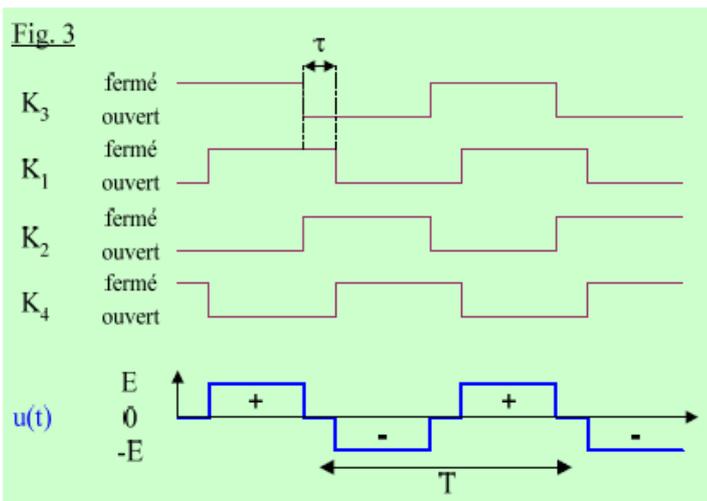


La tension  $u$  est alternative :

- fréquence :  $f = 1/T$
- $U_{\text{eff}} = E$



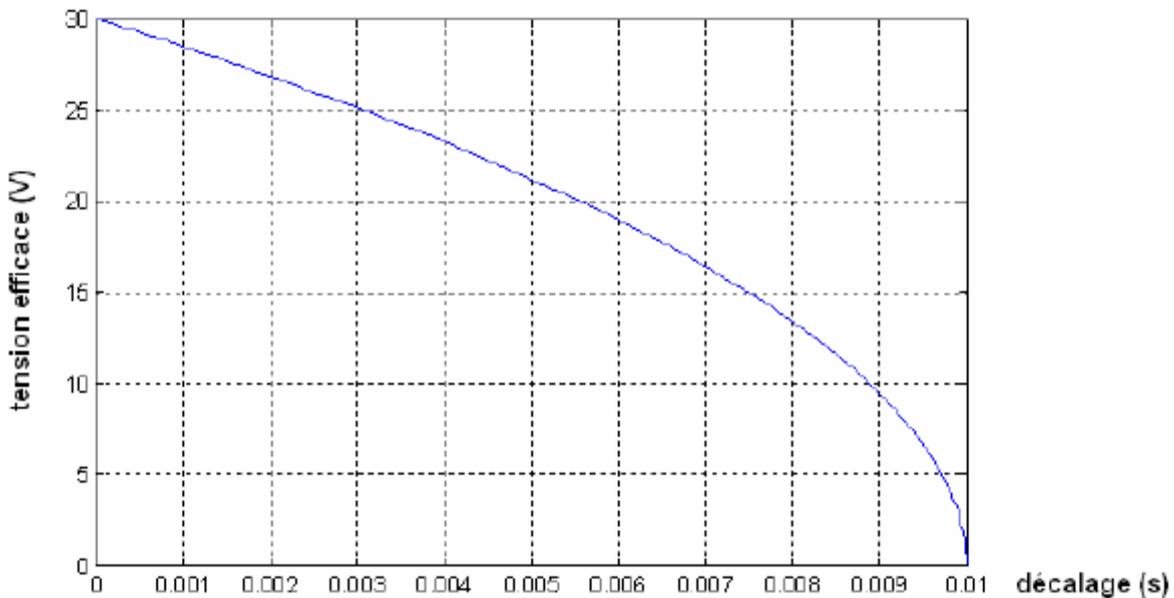
### 3-1-2- Commande décalée



On peut régler  $U_{\text{eff}}$  :

$$U_{\text{eff}} = E \sqrt{1 - \frac{\tau}{\frac{T}{2}}}$$

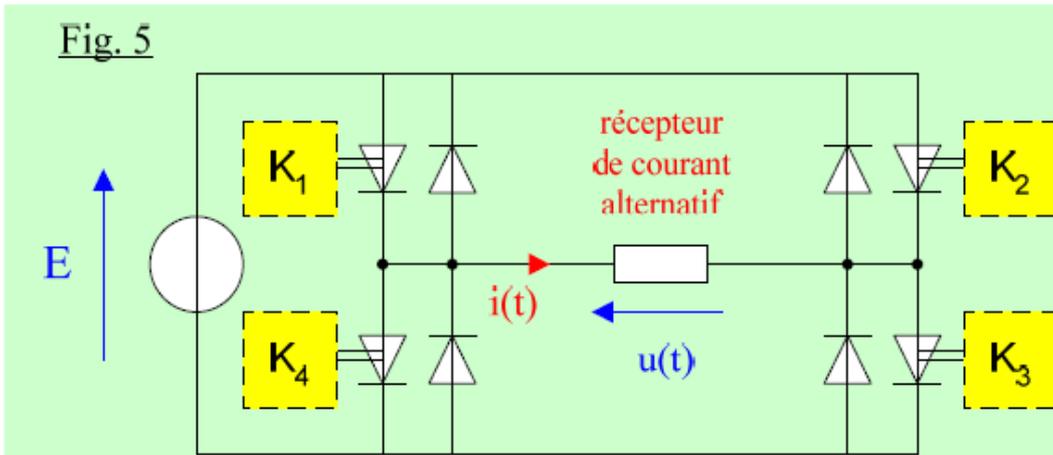
Exemple :  $E = 30 \text{ V}$   $f = 50 \text{ Hz}$



## 3-2- Réalisation pratique

Les interrupteurs électroniques doivent être :

- commandables à la fermeture
- commandables à l'ouverture
- bidirectionnels en courant (car courant alternatif)

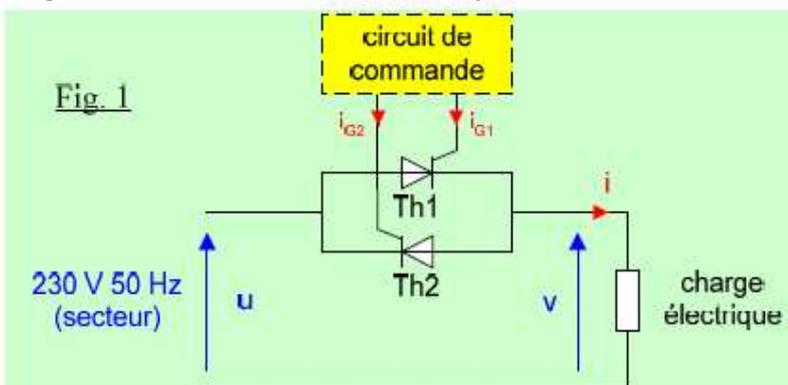


# Chapitre 4 Conversion alternatif/alternatif

## Les gradateurs

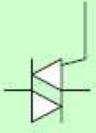
### 4-1- Gradateur monophasé

Le gradateur est constitué de deux thyristors montés en "tête-bêche" :



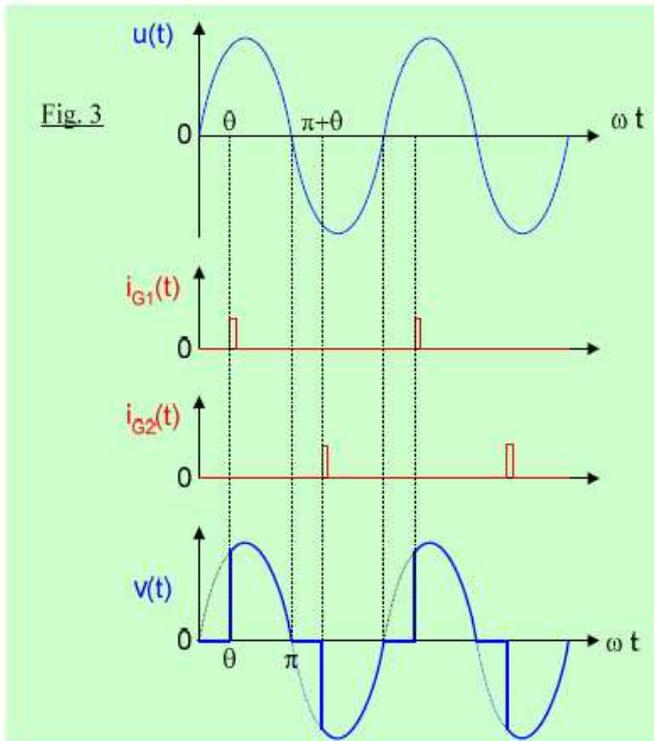
Pour les applications de faible puissance, on utilise un *triac* :

Fig. 2



• chronogrammes

Dans le cas d'une charge résistive R :



L'angle de retard à l'amorçage  $\theta$  est réglé par le circuit de commande des thyristors. On montre que :

$$V_{\text{eff}} = U_{\text{eff}} \sqrt{1 - \frac{\theta}{\pi} + \frac{\sin 2\theta}{2\pi}}$$

Fig. 4

