

## 1. PRÉSENTATION

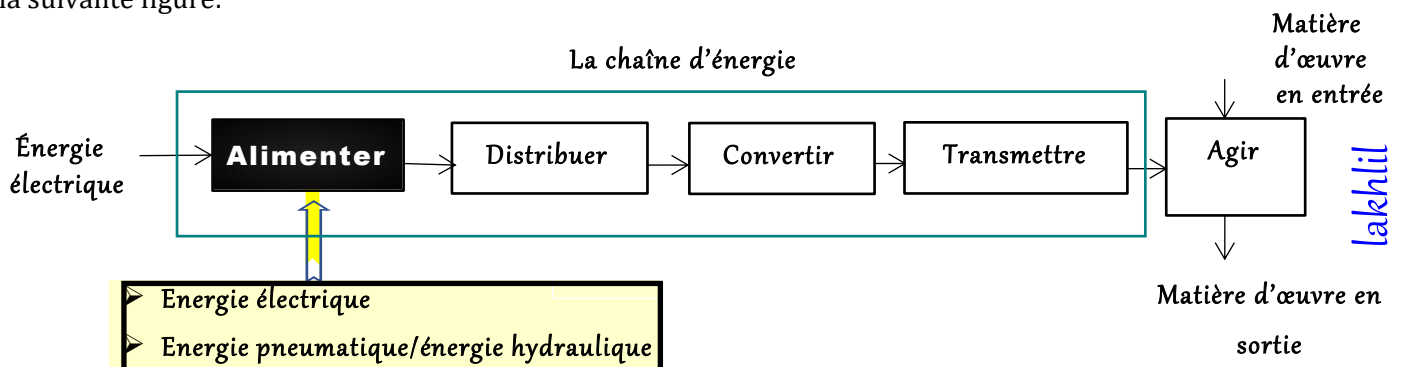
Pour agir sur la matière d'œuvre, un système automatisé a besoin d'énergie, qui subira de nombreux traitements pour être adaptés à la nature de l'action sur la matière d'œuvre.

L'unité ADC traite donc de ces aspects qui peuvent être modélisés par les fonctions génériques, c'est à dire qui s'appliquent sur la plupart des systèmes ; il s'agit des fonctions :

- ✓ *Alimenter*
- ✓ *Distribuer*
- ✓ *Convertir*

### La fonction Alimenter

La fonction Alimenter en énergie dans la chaîne d'énergie ainsi que sa fonction globale sont représentées par la suivante figure:



L'électricité est une forme d'énergie indispensable dans notre vie quotidienne. Pour que nos appareils fonctionnent (téléphones, ordinateurs, lampes, réfrigérateurs...), ils doivent être alimentés en énergie électrique. Un réseau électrique c'est l'ensemble des appareils destinés à la production, au transport, à la distribution et à l'utilisation (consommateurs) de l'électricité depuis la centrale de production jusqu'aux clients soit en basse tension (BT), soit en moyenne tension (MT), soit en haute tension (HT).

### 1. Production de l'énergie électrique :

L'énergie électrique est produite dans des centrales qui disposent d'éléments indispensables à la génération de courant électrique qui sont :

- ✓ Une turbine en mouvement.
- ✓ Un alternateur qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.

#### Types de centrales électriques :

##### Centrales thermiques

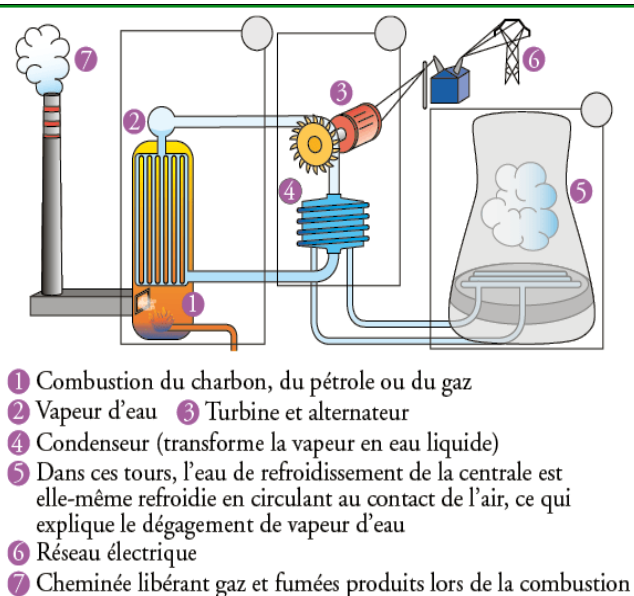
Le principe de fonctionnement :

La chaleur produite dans la chaudière par la combustion du charbon, gaz ou autre, vaporise l'eau.

Cette vapeur d'eau est alors transportée sous haute pression et sous haute température vers une turbine.

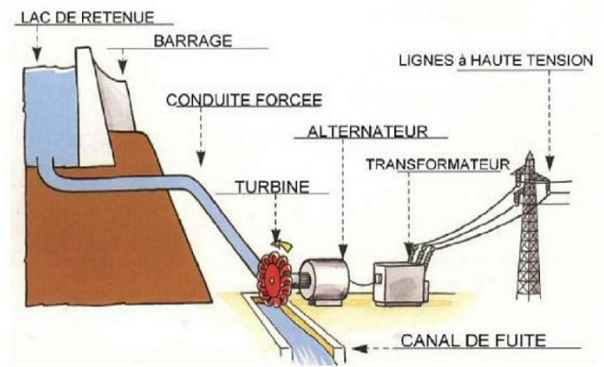
Sous la pression,

les pales de la turbine se mettent à tourner. L'énergie thermique est donc transformée en énergie mécanique.



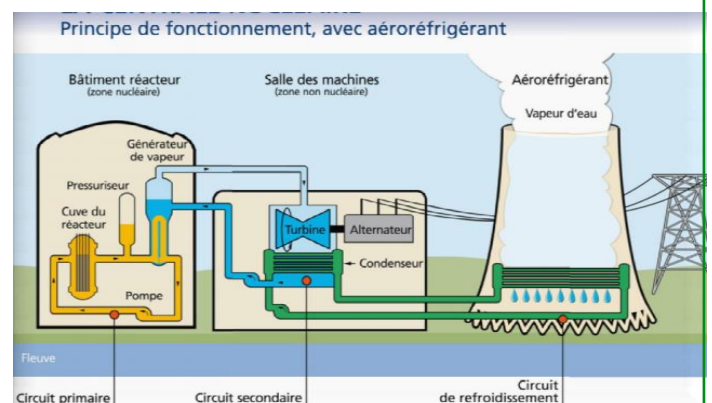
### Centrales hydroélectriques

Centrales hydroélectriques convertissent l'énergie de l'eau en mouvement en énergie électrique. L'énergie provenant de la chute d'une masse d'eau est tout d'abord transformée dans une turbine hydraulique en énergie mécanique. Cette turbine entraîne un alternateur dans lequel l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique.



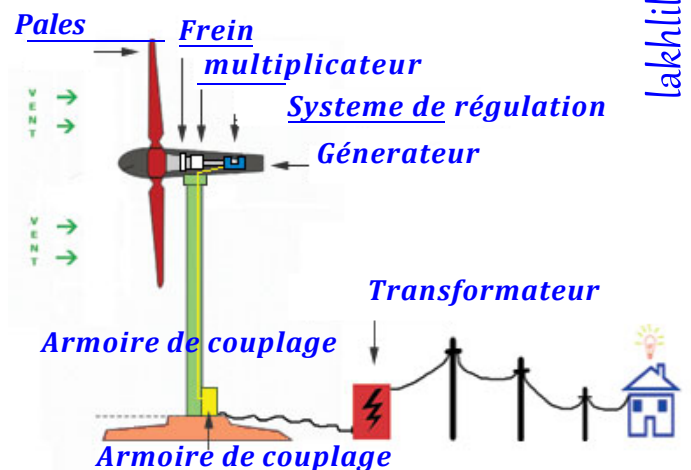
### Les centrales nucléaires

Les centrales nucléaires produisent l'électricité à partir de la chaleur libérée par une réaction nucléaire. Ce phénomène est provoqué par la division du noyau d'un atome, procédé que l'on appelle fission nucléaire.



### ENERGIE EOLIENNE

L'énergie éolienne est produite par la rotation des pales d'une éolienne, qui sont propulsées par le vent. La rotation mécanique des pales entraîne une génératrice qui produit de l'électricité. Le mouvement rotatif est transmis à une boîte de vitesses qui accélère la rotation de la génératrice, augmentant ainsi la quantité d'électricité produite. L'électricité produite est ensuite envoyée sur le réseau électrique pour être distribuée aux consommateurs.



### Energie solaire

C'est la transformation de l'énergie solaire en énergie électrique, en utilisant la cellule photovoltaïque constituée d'un dispositif semi-conducteur à base de silicium délivrant une tension  $U$ .

Cette installation nécessite:

Les panneaux photovoltaïques

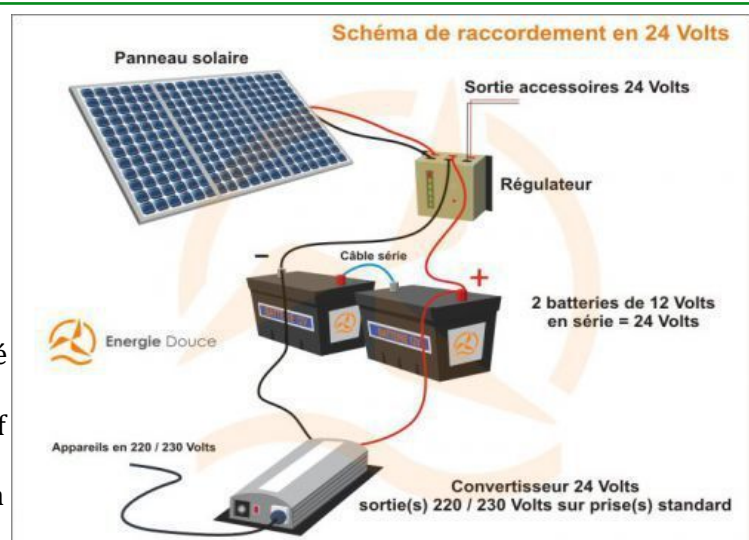
produisent un courant électrique continu.

Le régulateur

pour optimiser la charge de la batterie suivant sa capacité et assurer sa protection.

L'onduleur: transforme le courant continu en alternatif pour alimenter les récepteurs AC.

Les batteries: stocker de l'énergie électrique puis de la libérer sous forme de courant continu.



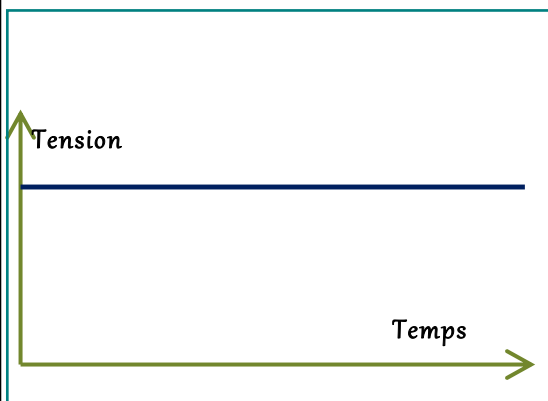
## 2.le courant continu et le courant alternatif

Les deux types de sources d'énergie électrique utilisées dans divers appareils et systèmes sont L'alimentation en courant continu (CC) et en courant alternatif (CA)

### • Courant Continu (CC) DC :« direct current »

Le courant continu (CC) est un flux de charges électriques qui circule dans une seule direction. Fournit une tension constante et stable Essentiel pour les circuits électroniques sensibles. Il est utilisé dans les appareils électroniques, les téléphones portables, ordinateurs, Véhicules électriques.

les systèmes de stockage d'énergie nécessite des convertisseurs pour être utilisé avec des appareils conçus pour le courant alternatif.



#### Les sources

Piles



Batteries



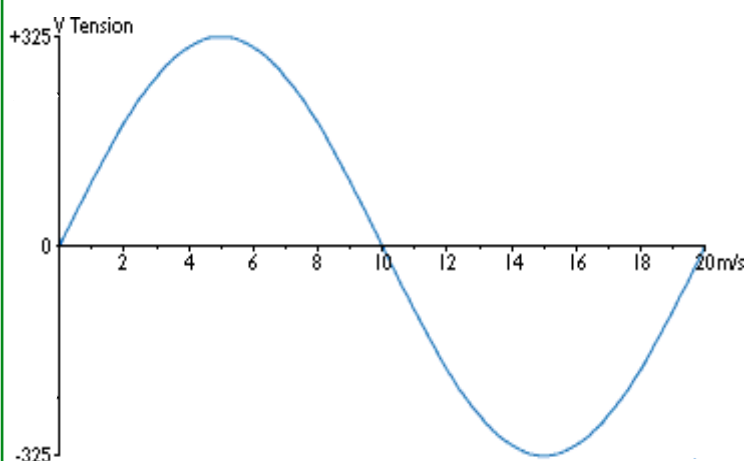
Panneaux solaires



Lakhlil

### • Courant Alternatif (CA)« alternating current AC »

- ✓ Le courant alternatif (CA) est un flux de charges électriques qui change de direction périodiquement.
- ✓ Typiquement, il oscille de manière sinusoïdale. Il est utilisé dans les alimentations des habitations et des entreprises, les appareils électroménagers (réfrigérateurs, télévisions) et les éclairages public.
- ✓ Facile à transformer en différentes tensions grâce aux transformateurs.
- ✓ Efficace pour le transport sur de longues distances.



Générateurs électriques



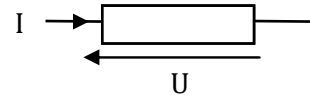
Réseaux de distribution électrique



### 3. Grandeurs électriques Courant continu

#### a. Loi d'ohm .

$$U = R \cdot I$$

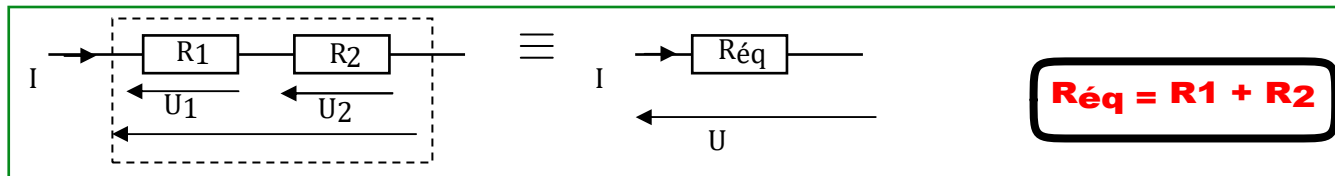


La loi d'Ohm décrit la relation entre la tension (U), le courant (I), et la résistance (R) dans un circuit électrique. Elle s'exprime par la formule ci dessus.

#### b Association de résistances

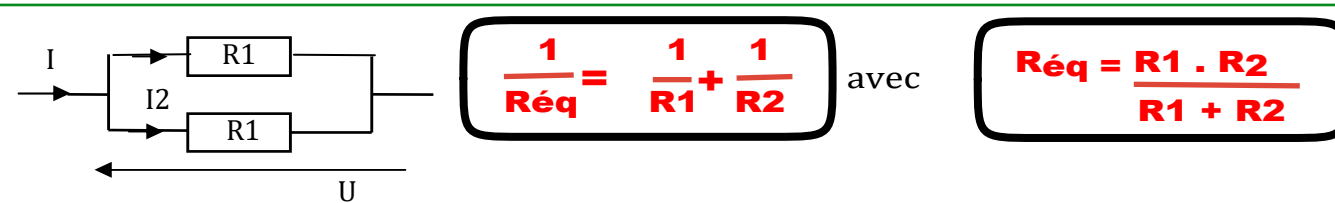
##### Association série

Des dipôles sont en série lorsqu'ils sont traversés par le même courant et partagent une même connexion qui ne soit pas un nœud de courant.



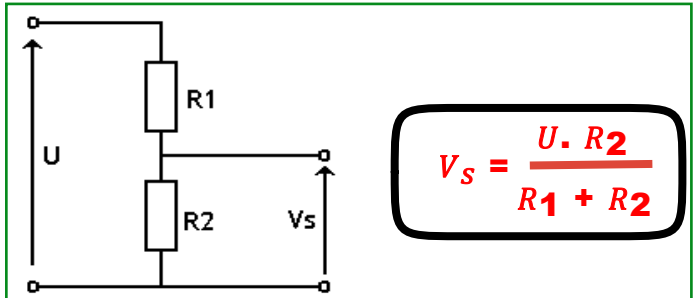
##### Association parallèle

Des dipôles sont en parallèle, lorsqu'ils sont soumis à la même tension et sont connectés bornes à bornes.



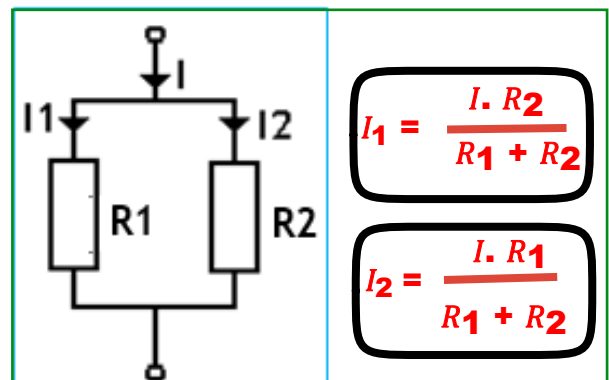
#### C. Diviseur de tension

Le diviseur de tension est un montage électronique simple qui permet de diminuer une tension d'entrée, constitué par exemple de deux résistances en série. sert généralement à conditionner un signal afin de le traiter par un circuit tout en respectant sa dynamique d'entrée. En électronique on le retrouve dans des potentiomètres,



#### D. Diviseur de courant

c'est un montage très simple d'électronique. Il permet de calculer l'intensité du courant dans une résistance lorsque celle-ci fait partie d'un ensemble de résistances en parallèle et lorsque l'on connaît le courant total qui alimente cet ensemble.

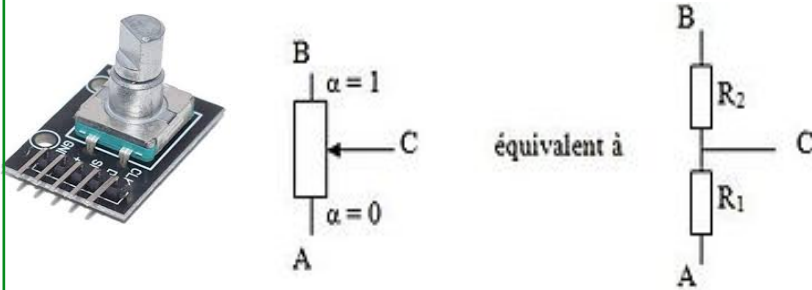


### c. Résistance variable Unpotentiomètre.

Un potentiomètre est un composant électrique à trois bornes qui permet de varier la résistance dans un circuit.

#### Utilisation

- Réglage de volume : pour ajuster le niveau sonore.
- Diviseur de tension : Pour obtenir une tension de sortie variable.



un potentiomètre est considéré comme 2 résistances  $R_1$  et  $R_2$  dont le point commun est le curseur. Ces deux résistances ont alors une valeur en fonction de la position du curseur.

### e. Puissance électrique en courant continu

La puissance électrique absorbée par une charge purement résistive est proportionnelle à la tension  $U$  aux bornes de la résistance et au courant  $I$  traversant celle-ci. Ce qui peut se résumer par la

formule :

$$P = U \cdot I$$

- ✓ **P en watt,**
- ✓ **I en ampères.**
- ✓ **U en volts**

### f. Énergie électrique

L'énergie électrique délivrée par un générateur ou absorbée par une charge est proportionnelle à la puissance électrique en jeu et au temps écoulé selon la formule :

$$W = P \cdot t = U \cdot I \cdot t$$

- **W : énergie en joules (J)**
- **P : puissance en watts (W)**
- **t : temps écoulé en secondes (s)**

Le wattmètre est un appareil qui mesure la puissance électrique consommée par un récepteur ou fournie par un générateur électrique

### g. La perte par effet Joule

La perte par effet Joule est la perte d'énergie sous forme de chaleur qui se produit lorsqu'un courant électrique circule dans un conducteur qui présente une résistance électrique.

$$P_{\text{effet joule}} = R \cdot i^2$$

#### 4. Grandeurs électriques Courant alternatif monophasé

Le courant alternatif est un courant électrique périodique qui change de sens deux fois par période et qui transporte des quantités d'électricité alternativement égales dans un sens et dans l'autre.

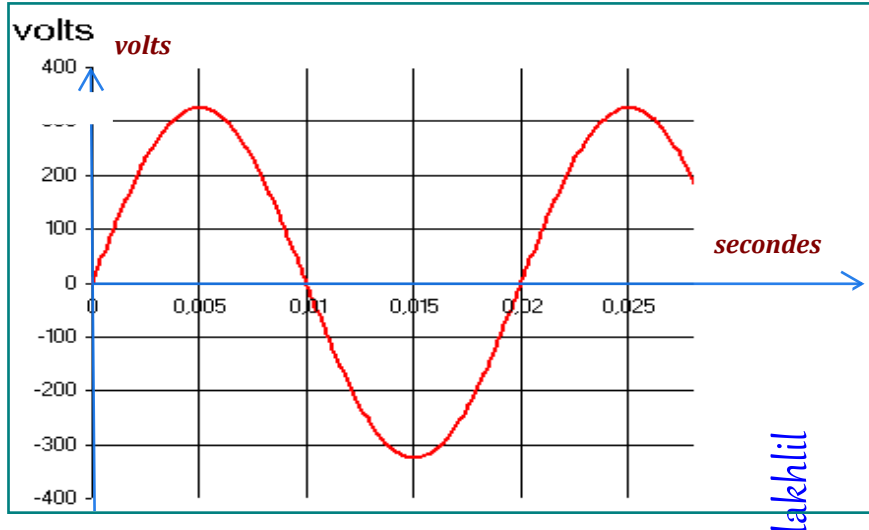
il se caractérise par:

- ✓ La fréquence (Hz) :  $f$
- ✓ La période (s) :  $T$       $T = 1/f$
- ✓  $\varphi$  : la phase à l'origine ( $t=0$ ).
- ✓ La tension efficace et maximale :  $U_{\max} = U_{\text{eff}} \cdot \sqrt{2}$
- ✓ La pulsation (rad/s) :  $\omega = 2\pi \cdot f$  ou  $\omega = 2\pi/T$
- ✓ La valeur instantanée de tension est décrite par une équation :  $U(t) = U_{\max} \sin(\omega t + \varphi)$

#### Exemple

La figure ci contre montre l'oscillogramme de la tension du réseau nominal domestique 230 V – 50 Hz dont les caractéristiques sont :

1. Fréquence  $f = 50$  Hz
2. Période  $T = 1/f = 20$  ms
3. Amplitude  $U_{\max} = 325$  V
4.  $U(t) = U_{\max} \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$   
 $= 325 \sin(100\pi t)$



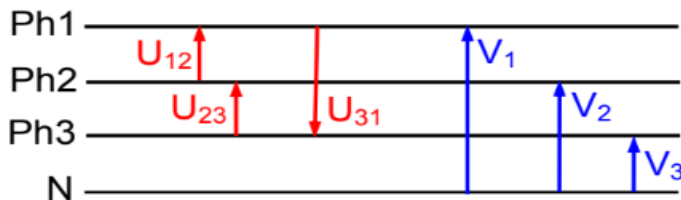
#### 5. Courant alternatif triphasé

Le système triphasé est un mode de production et de distribution de l'énergie électrique basé sur trois tensions sinusoïdales alternatives :

De même fréquence (50 Hz en Europe, 60 Hz aux USA).

De même amplitude.

Décalées de  $120^\circ$  électriques les unes par rapport aux autres



#### Exemple :

Réseau 230/400 V :

Tension simple : 230 V (phase-neutre)

Tension composée : 400 V (phase-phase)

Les tensions  $V_1$ ,  $V_2$  et  $V_3$  entre phase et neutre sont appelés **tensions simples** :  $V_1 = V_2 = V_3 = V$

Les tensions  $U_{12}$ ,  $U_{23}$  et  $U_{31}$  entre phases sont

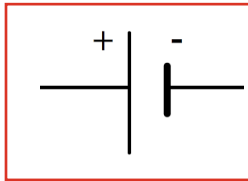
appelées **tensions composées** :  $U_{12} = U_{23} = U_{31} = U$

$$U = \sqrt{3} \cdot V$$

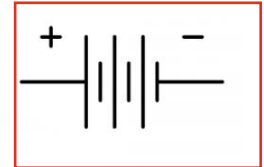
## 6. Piles et accumulateurs

- **Une batterie d'accumulateurs** est un dispositif permettant de stocker de l'énergie électrique sous une forme chimique, puis de la libérer sous forme de courant continu de manière contrôlée elle est rechargeable.
- **Une pile** électrique est un dispositif électrochimique capable de convertir de l'énergie chimique en énergie électrique elle est non rechargeable.

### Piles



### Batteries



## Les grandeurs électriques

### Quantité d'électricité Q ou bien La capacité C

c'est la quantité de charges électriques déplacées par les électrons. Elle est notée Q ou C et se mesure en Coulomb (C) ou bien Ampères heure Ah.

$$C = i \times t$$

$$1 \text{ Ah} = 3\,600 \text{ Coulomb}$$

lakhil

- ✓ C : Capacité en Ampères heure **Ah**. si le Courant i est en **Ampères A** le temps t en **heure h**
- ✓ C : Capacité en .Coulomb si le Courant i est en **Ampères A** le temps t en **seconde s**

### La puissance P

La puissance P consommée par un appareil en courant continu est égale au produit de la tension U par l'intensité I du courant qui le traverse.

$$P = U \cdot I$$

- ✓ P: puissance en watt (W)
- ✓ U: tension en volt (V)
- ✓ I: intensité en ampère (A)

### Relation entre La puissance et le travail

$$W = P \cdot t = U \cdot I \cdot t$$

- ✓ W : Energie en (Wh) ou J
- ✓ P: puissance en watt (W)
- ✓ t: temps en (h) ou (s)

$$1 \text{ J} = 1 \text{ W.s}$$

### Energie:

L'énergie W est égale au produit de La capacité C (en W) par la tension U.

$$W = P \cdot t = U \cdot I \cdot t$$

puisque  $C = i \times t$

Donc

$$W = U \cdot C$$

- U en (V)
- C en (Ah) ou en (As)
- W : en (Wh) ou J

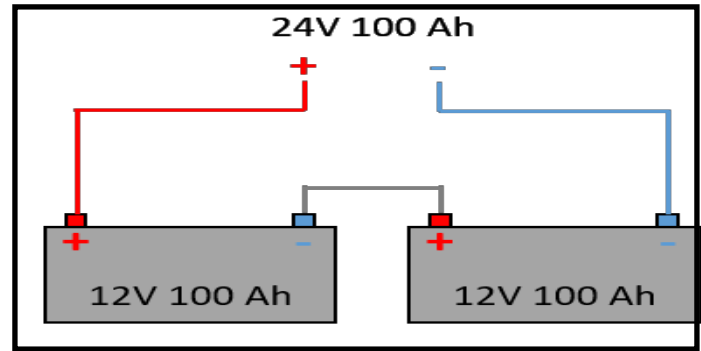
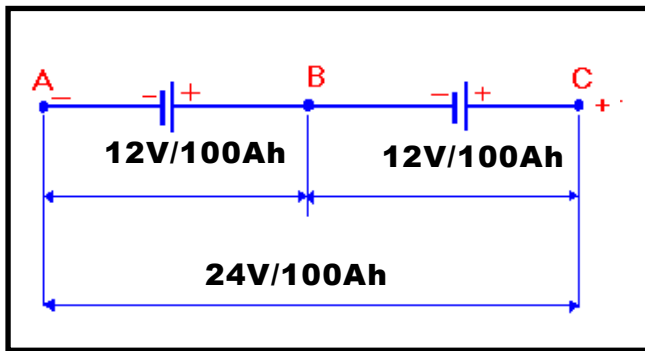
## Branchement des batteries en série et en parallèle

Il est possible de brancher les batteries en **série** ou en **parallèle**.

### 1. Le branchement série :

On additionne les tensions des batteries ( $12V + 12V = 24V$ )  
mais la capacité  $C$  reste identique (100Ah)

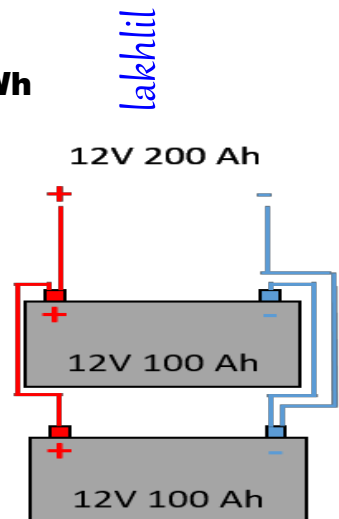
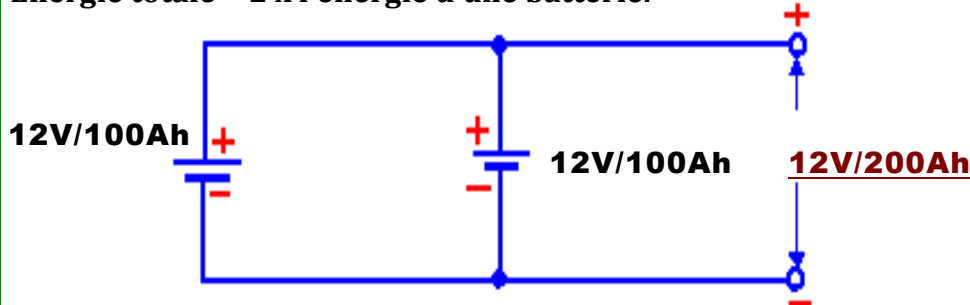
Énergie totale = 2 x l'énergie d'une batterie. **WT =  $24 \times 100 = 2400$  Wh**



### 2. Le branchement en parallèle :

On additionne la capacité  $C$  des batteries ( $100Ah + 100Ah = 200Ah$ )  
mais les tensions restent identiques (12V)

Énergie totale = 2 x l'énergie d'une batterie. **WT =  $12 \times 200 = 2400$  Wh**



### Exercice : Étude de la batterie

La batterie a une capacité  $C$  de 24 Ah et fournit une tension  $E_{Bat}$  de 12 V.

Q1) Calculer l'énergie maximale  $W_{max}$  (en Wh) disponible dans la batterie

.....

Q2) Pour une puissance  $P_a$  moyenne absorbée par le moteur de 57,6 W, calculer (en heures) l'autonomie  $t$  de la batterie.

.....

Q3) Sachant que la vitesse moyenne de 3 km/h, déterminer la valeur de la distance  $d$  (en km) que peut assurer la batterie.

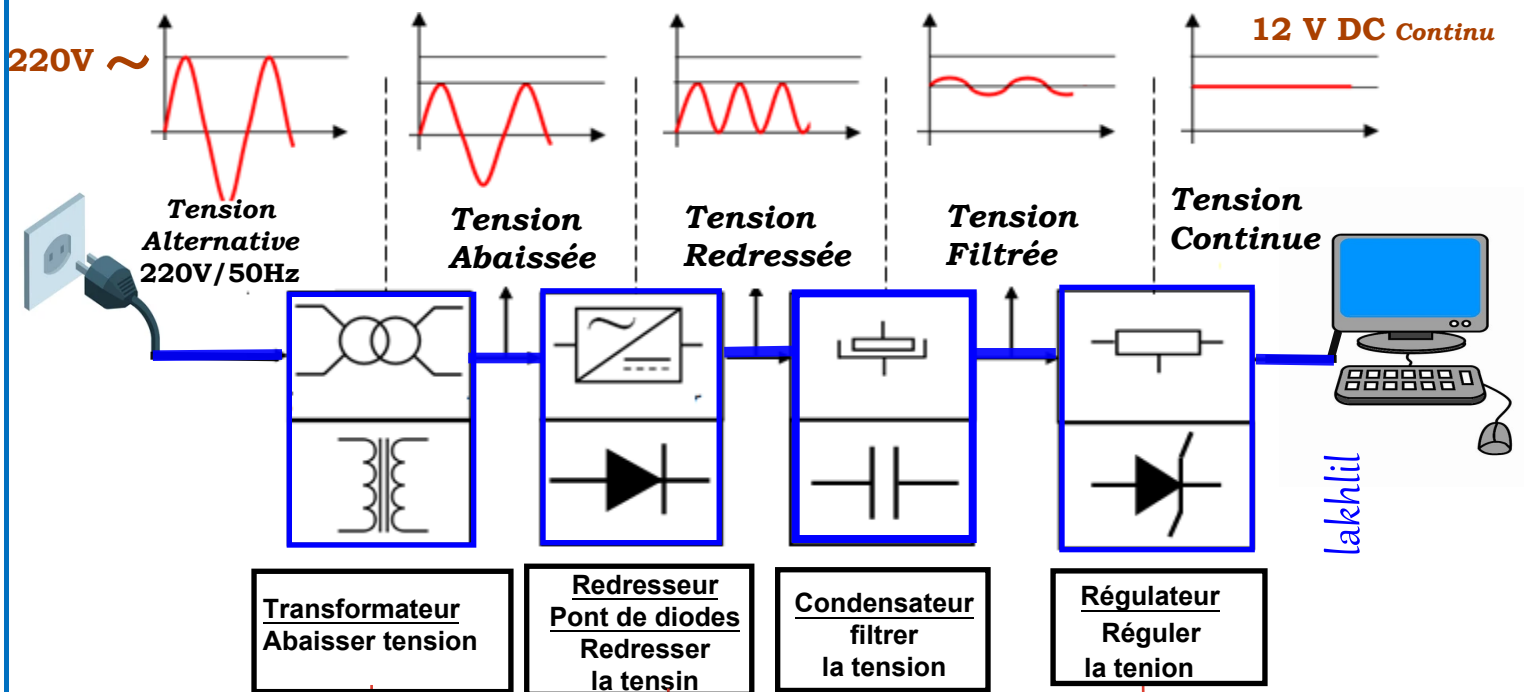
.....

## 7. Alimentation continue régulée : Convertir une tension Ac en une tension Dc

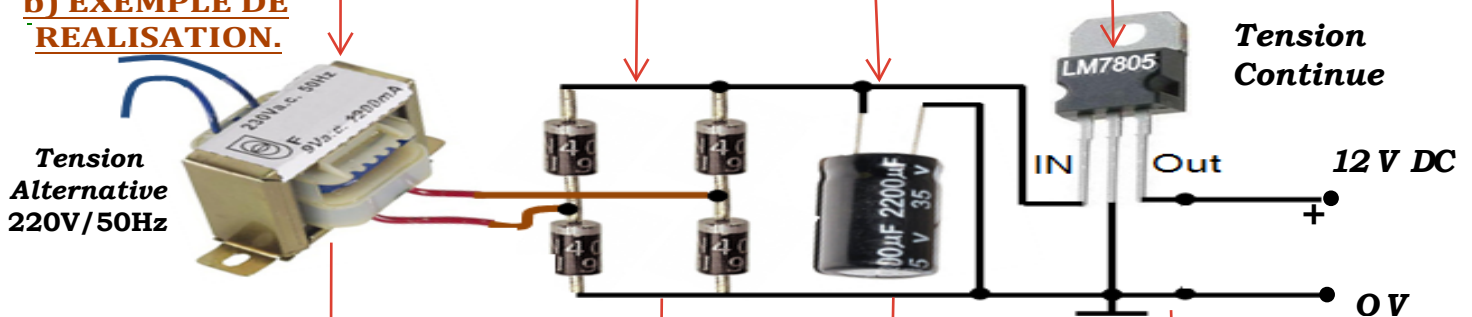
Tout dispositif électronique a besoin d'une tension continue pour fonctionner, cette tension peut provenir directement des piles ou des batteries, mais généralement elle est extraite du Réseau électrique alternatif.

il est donc nécessaire de **C**onvertir le courant **A**lternatif (**CA**) en **C**ourant **C**ontinu (**CC**) pour alimenter la plupart des appareils électroniques.

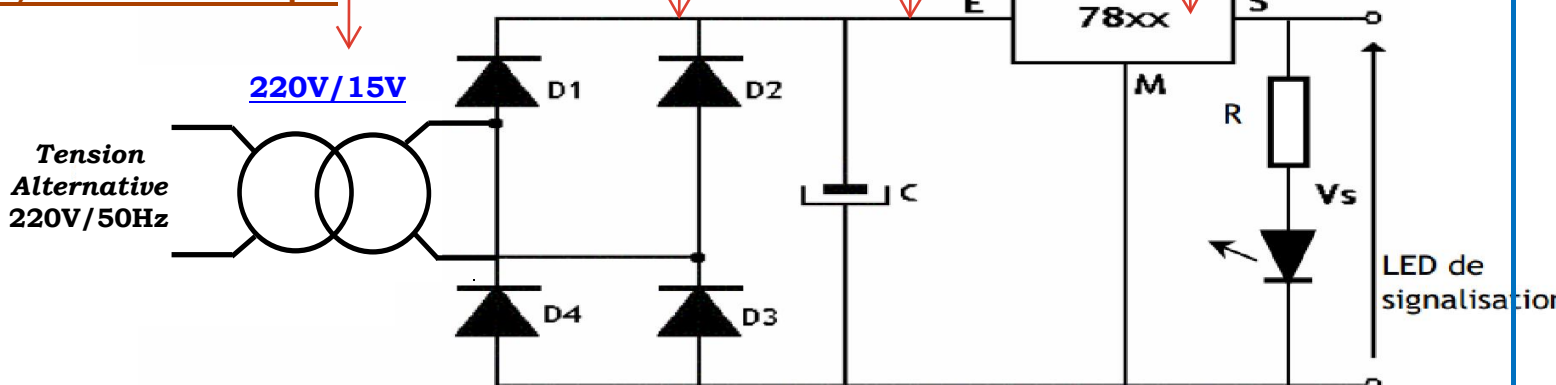
### a) Principe:



### b) EXEMPLE DE REALISATION.



### c) Schéma électrique



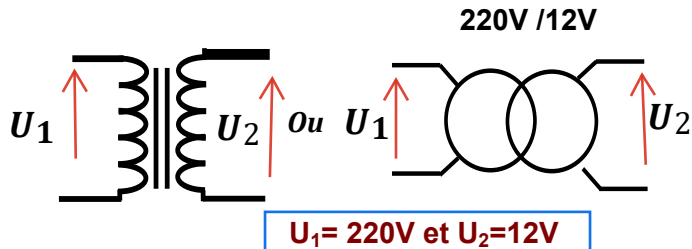
## d.Transformateur

permet d'adapter la tension et l'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, sans modifier la fréquence et la forme du signal alternatif électrique.

### Exemple

Le transformateur 220V 12V est utilisé pour convertir la haute  $U_1$  : tension (220V) en une tension plus basse (12V) .

### Symboles :



- ✓  $U_1$  : tension en volte.
- ✓  $U_2$  : tension a vide secondaire
- ✓  $I_1$  : tension en volte.
- ✓  $I_2$  : tension a vide secondaire
- ✓  $N_1$  : nombre de spires
- ✓  $N_2$  : nombre de spires
- ✓  $S$  : puissance apparente en V.A (voltampère)

### Rapport de transformation

$$m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

### La puissance apparente

$$S = I \cdot U$$

- $U$  : tension primaire en volte
- $I$  : l'intensité en ampère
- $S$  : puissance apparente en V.A (voltampère)

### REMARQUE:

Les puissances apparentes des deux bobines primaire et secondaire sont identiques

$$\begin{aligned} \square S_1 &= I_1 \cdot U_1 \\ \square S_2 &= I_2 \cdot U_1 \end{aligned}$$

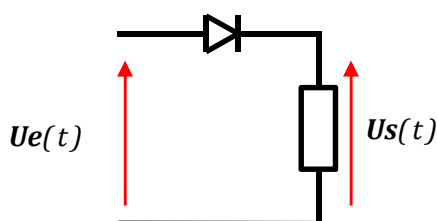
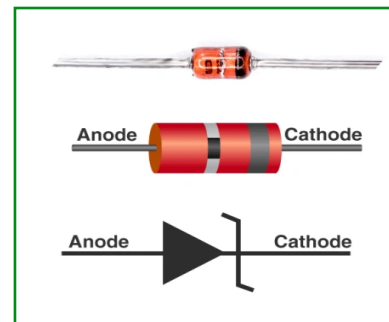
$$S_1 = S_2$$

## C.Redressement

Cette fonction est réalisée par un ensemble un Pont de diodes Graetz il permet de transformer le courant alternatif (CA) en courant continu (CC). Il est essentiel pour alimenter de nombreux appareils électroniques et systèmes qui nécessitent une source de courant continu.

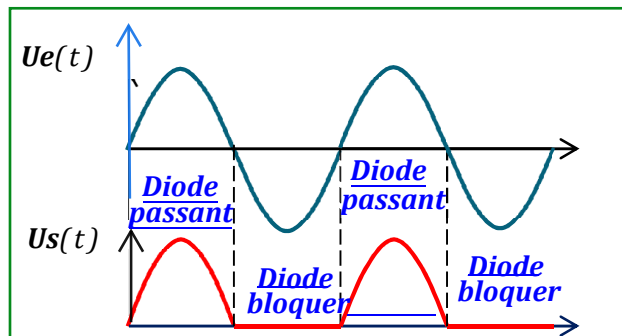
### a.Redressement mono alternance

Un redresseur simple alternance monophasé est un redresseur supprimant les alternances négatives et conservant les alternances positives d'une entrée monophasée



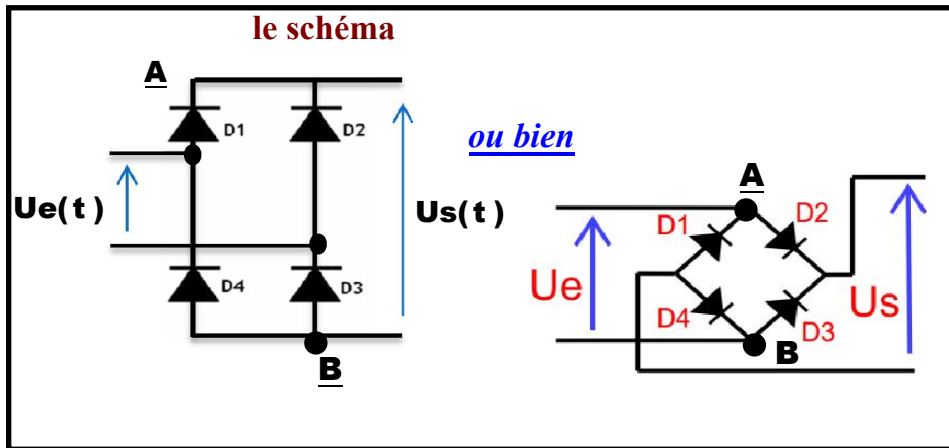
Valeur moyenne :

$$Us_{moy} = \frac{U_e \cdot \sqrt{2}}{\pi}$$



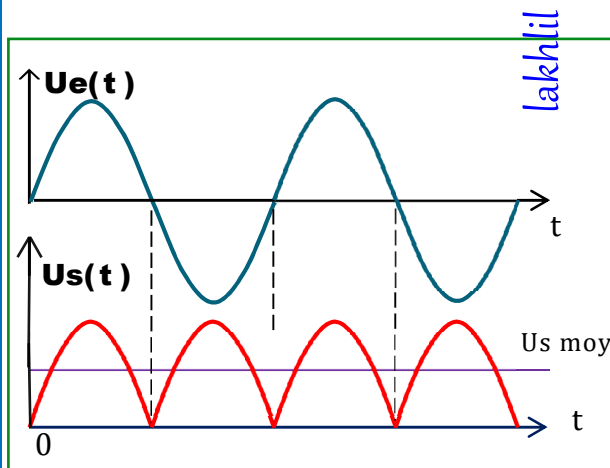
### b.Redressement double alternance

convertit un signal alternatif en un signal continu en utilisant un pont de diodes Graëtz ensemble de quatre diodes montées comme indiqué sur le schéma ci dessous :



**Valeur moyenne :**

$$U_{s \text{ moy}} = \frac{2 \cdot U_e \cdot \sqrt{2}}{\pi}$$



**Les diodes sont passantes deux à deux.**

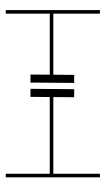
- Pendant l'alternance **positive**, le courant circule de A vers B **D1 et D3 sont passantes** et **D2 et D4 sont bloquées**.
- Pendant l'alternance **négative**, le courant circule de B vers A **D2 et D4 sont passantes** et **D1 et D3 sont bloquées**.

Diodes	Alternance positive	Alternance négative
D1	passante	bloquée
D2	bloquée	passante
D3	passante	bloquée
D4	bloquée	passante

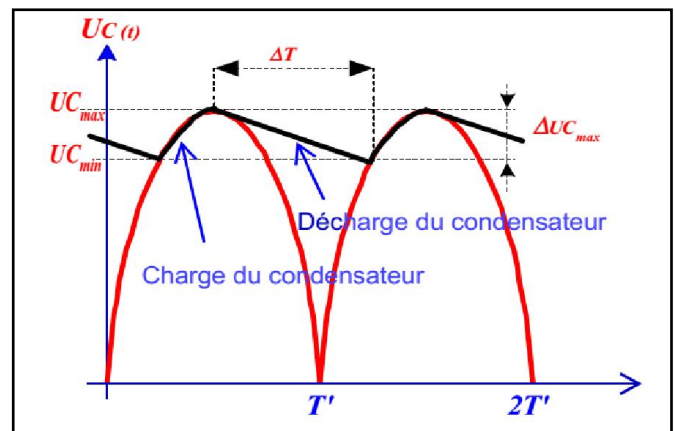
### d.Filtrer la tension

Le **condensateur** permet **Filtrer** la tension redressée rendre encore la tension de sortie plus proche d'une tension continue. Cette fonction est basée sur le pouvoir d'un condensateur à se charger et se décharger ce qui permet de diminuer l'ondulation du signal redressé.

V.2 **Symbole :**

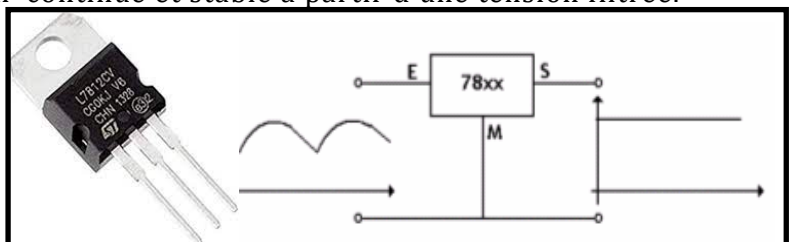
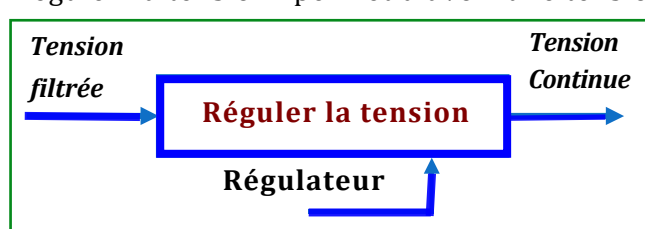


Condensateur



### e.Réguler la tension

Réguler la tension permet d'avoir une tension continue et stable à partir d'une tension filtrée.



## La fonction Distribuer et Convertir

L'énergie électrique fournie par l'alimentation doit être **distribuée** aux différents actionneurs du système. Deux possibilités peuvent alors être envisagées :

**1. TOR tout ou rien** (ou **par commutation**)  
permet d'établir ou de couper l'alimentation

- ✓ Relais électromagnétiques
- ✓ contacteur
- ✓ Relais statique (électronique)

**2. Modulation d'énergie.**

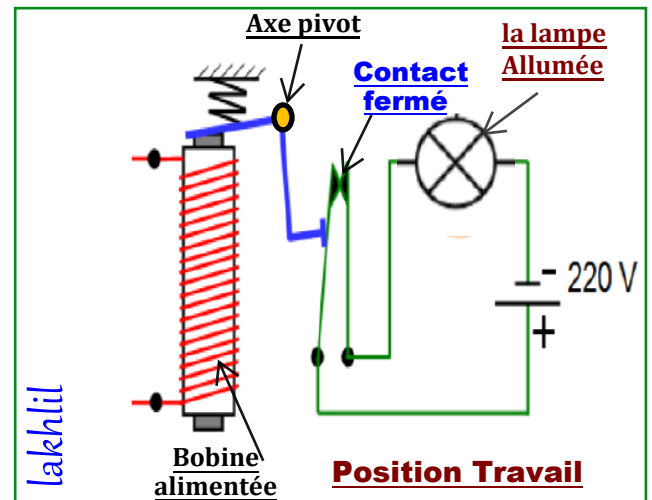
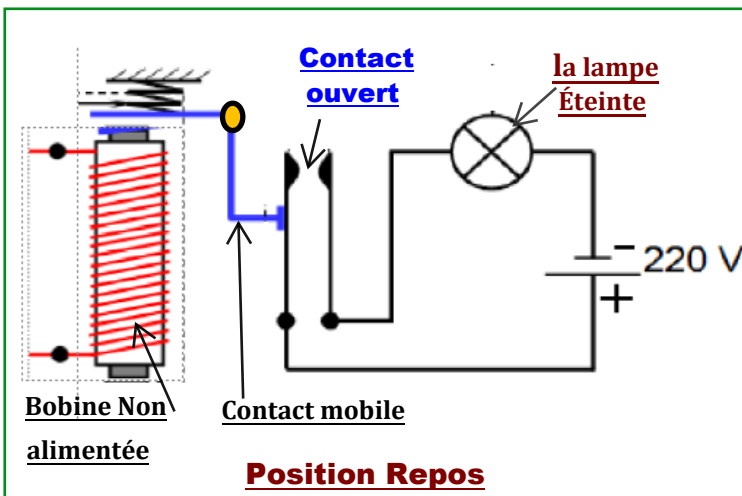
dans ce cas l'actionneur reçoit l'énergie de façon graduelle

- ✓ Redresseur commandé
- ✓ Gradateur
- ✓ Hacheur
- ✓ Variateur de vitesse

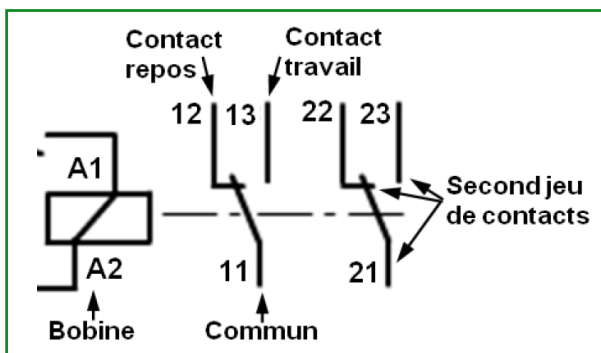
### 1. Relais : (courant faible) : Relais électromagnétique

#### Fonction et Principe

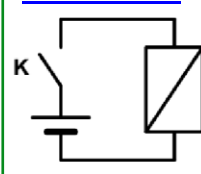
Appareil composé d'une bobine (électroaimant) qui lorsqu'elle est parcourue par un courant électrique agit sur un ou plusieurs contacts. Le relais est une solution à la commande en puissance.



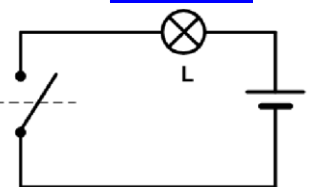
#### Symbole :



#### Circuit de commande



#### Circuit de puissance



Si l'interrupteur K est ouvert la lampe L Éteinte  
Si l'interrupteur K est fermé la lampe L Allumée

Type et nombre de contact	Contact à fermeture NO (contact de travail)	Contact à ouverture NF (contact de repos)	Contact inverseur	Contact tripolaire
Schéma Normalisé				

## 2.Un interrupteur statique:(transistor, thyristor, .....).

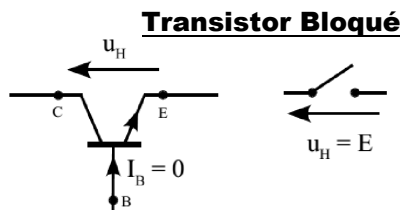
Un interrupteur statique (appelé aussi interrupteur électronique) est un composant de puissance qui joue le rôle d'un interrupteur, mais sans pièce mécanique mobile.

Il fonctionne uniquement grâce à des composants électroniques à semi-conducteurs. comme un interrupteur classique, il peut laisser passer ou bloquer le courant.

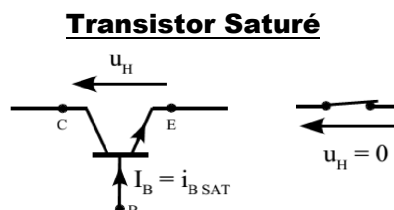
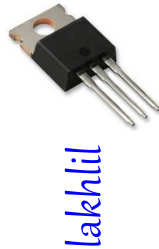
### a.Types principaux d'interrupteurs statiques

#### - Le transistor

fonctionne comme un interrupteur électrique commandé par un courant de base pour contrôler un courant de sortie: soit en laissant passer le courant (**état saturé/fermé**) soit en le bloquant (**état bloqué/ouvert**).



car transistor se comporte comme un interrupteur ouvert



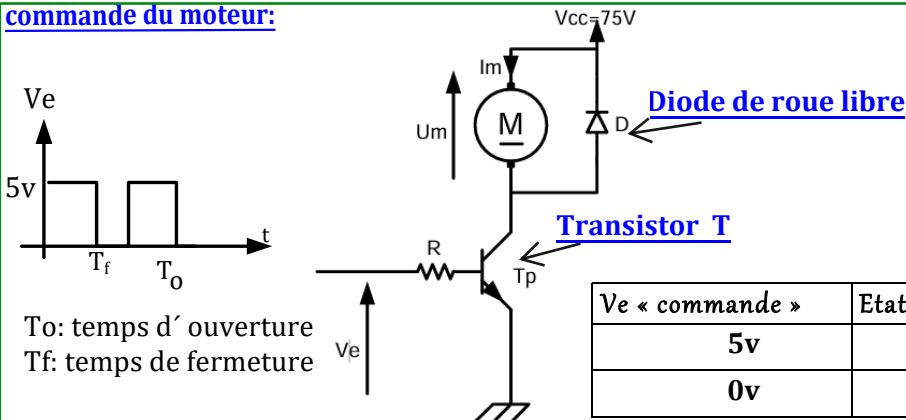
car transistor se comporte comme un interrupteur fermé

#### Commande du moteur par transistor

Le transistor T permet de réaliser un interrupteur commandé par un courant ou une tension.

La diode de roue libre D permet de **protéger le transistor contre la surtension**.

#### commande du moteur:



Ve « commande »	Etat du transistor	Tension moteur « Um »
5v	Saturé	75 V
0v	bloqué	0V

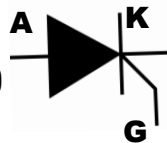
#### - Le thyristor

Le thyristor est un composant semi-conducteur possédant 3 électrodes :

A (Anode)

K (Cathode)

G (Gâchette:entrée de commande)



#### État bloqué

Sans signal de gâchette, le thyristor reste bloqué aucun courant ne passe.

#### État déclenché (conduction)

Quand on applique une impulsion de courant sur la gâchette (G), cela rend le thyristor conducteur. Le courant circule de A vers K.

Une fois déclenché, il reste passant même si la gâchette est retirée

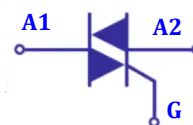
#### - Triac

Il possède 3 électrodes :

A1 (Anode 1)

A2 (Anode 2)

G (gâchette)



Permet de commander du courant alternatif avec un simple signal de gâchette. Quand la gâchette G reçoit une impulsion, le TRIAC se met en conduction entre A1 et A2.

il peut laisser passer le courant alternatif dans les deux sens. Une fois amorcé, il reste conducteur tant que le courant ne repasse pas à zéro.

#### - IGBT

Il possède 3 électrodes :

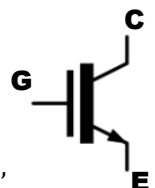
C (Collector)

E (Emitter)

G (Gâchette:entrée de commande)

Quand une tension est appliquée sur la grille (Gâchette), l'IGBT se met en conduction entre le Collector et l'Emitter.

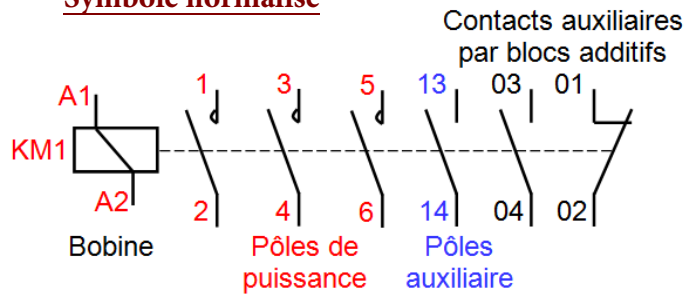
Il se bloque quand la tension de commande est supprimée.



### 3. Contacteurs (courant fort) :

Le contacteur est un préactionneur destiné à ouvrir ou fermer un circuit électrique par l'intermédiaire d'un circuit de commande. Il alimente actionneurs électriques (principalement moteur électrique) en énergie de puissance ; sont aptes à commander de forts courants.

#### Symbole normalisé



#### Remarque

Il existe d'autres types de contacts auxiliaires temporisés

Bobine de commande	Contacts principaux de puissance	Contacts auxiliaires instantanés	Contact temporisés travail normalement ouvert.	Contact temporisés travail Normalement fermé.	Contact temporisés repos normalement ouvert.	Contact temporisés repos normalement fermé.

### 4. Isoler et protéger une installation électrique

Pour isoler et protéger une installation électrique, il faut utiliser des dispositifs de protection tels que des fusible, disjoncteurs, des sectionneurs, des relais thermique. Ces éléments sont essentiels pour assurer la sécurité des personnes et des biens contre les risques liés à l'électricité, comme les surcharges, les courts-circuits et les défauts d'isolement.

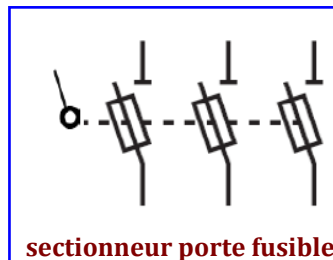
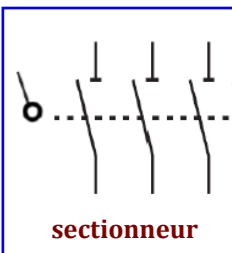
#### Fusible

protéger contre courts-circuits. il est constitué d'un petit fil métallique placé dans un tube. Quand le courant dépasse une certaine valeur, le fil fond à cause de l'échauffement (effet Joule).



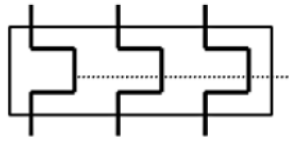
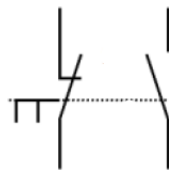
#### Le sectionneur :

Le sectionneur permet **d'isoler** un circuit pour effectuer des opérations de maintenance ou de modification sur les circuits électriques qui se trouvent en aval.



**Un relais thermique :**

Un **relais thermique** est un dispositif de protection utilisé dans les circuits électriques pour **protéger contre les surcharges** (l'échauffement).

**Symbole****Circuit de puissance****Circuit de commande**

lakhil

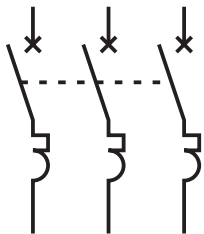
**Le Disjoncteur**

Le disjoncteur permet de **protéger contre les surintensités et éviter les risques d'incendie**. il coupe automatiquement le courant lorsqu'il détecte une anomalie: (surcharge, court-circuit, défaut à la terre...).

**Types de disjoncteurs**

Selon la protection assurée :

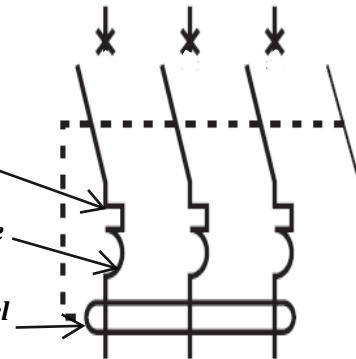
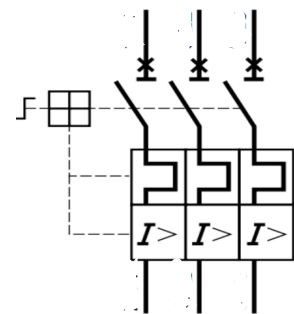
- ✓ **Disjoncteur magnétique** : protège contre **les courts-circuits** (utilise un électroaimant sensible à l'intensité),
- ✓ **Disjoncteur thermique** : protège contre **les surcharges** (la chaleur déclenche la coupure.).
- ✓ **Disjoncteur différentiel** : protège les personnes contre **les défauts d'isolement** (Compare le courant entrant et sortant → si une différence apparaît il coupe le circuit).
- ✓ **Disjoncteur magnétothermique** : combine thermique + magnétique (le plus utilisé dans les habitations).
- ✓ **le disjoncteur intégral** : combine disjoncteur thermique + magnétique + différentiel + sectionneur dans un seul appareil.

***Disjoncteur magnéto thermique***

Protection thermique

Protection magnétique

Protection différentiel

***Disjoncteur différentiel******le disjoncteur intégral*****5.Circuits de Commande et de Puissance**

**Circuit de puissance** : partie du schéma électrique qui transporte l'énergie pour alimenter directement la charge (moteur, lampe, chauffage...).

**Circuit de commande** : partie du schéma qui pilote et contrôle le circuit de puissance à l'aide d'organes de commande (boutons, relais, contacteurs, automates...).

**le schéma industriel** est divisé en deux parties :

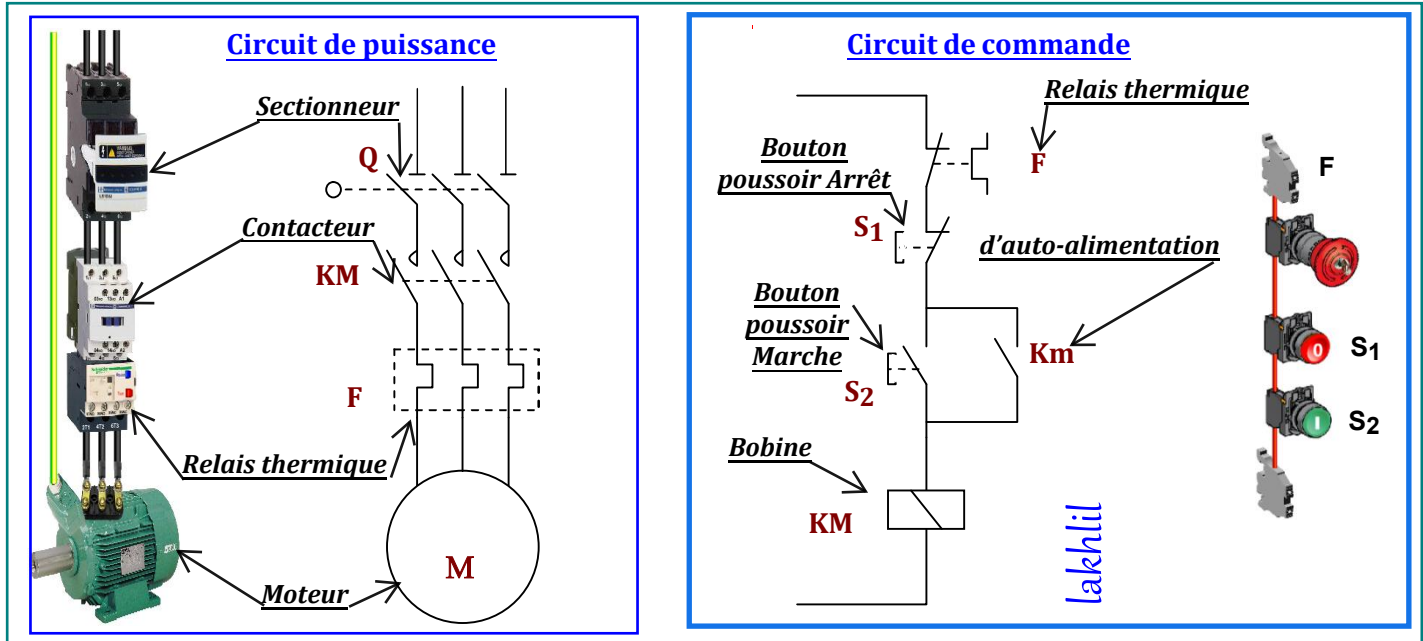
Partie puissance : ligne, disjoncteur, contacteur, moteur.

Partie commande : bouton marche, bouton arrêt, relais thermique, bobine du contacteur.

## Commande d'un moteur asynchrone dans un seul sens de marche

- ✓ Si le bouton poussoir marche **S1** du circuit de commande est actionné, la bobine du contacteur **KM1** est alimentée ; le contact KM1 du circuit de commande se ferme ainsi que les contacts KM1 du circuit de puissance, ce qui entraîne la rotation du moteur M1.
- ✓ Si S1 est relâché le contact KM1 du circuit de commande (d'auto-alimentation) la bobine du contacteur KM1 reste sous tension.
- ✓ Pour arrêter le moteur M1, on appuie sur le bouton poussoir arrêt S2.

### Démarrage direct d'un moteur triphasé

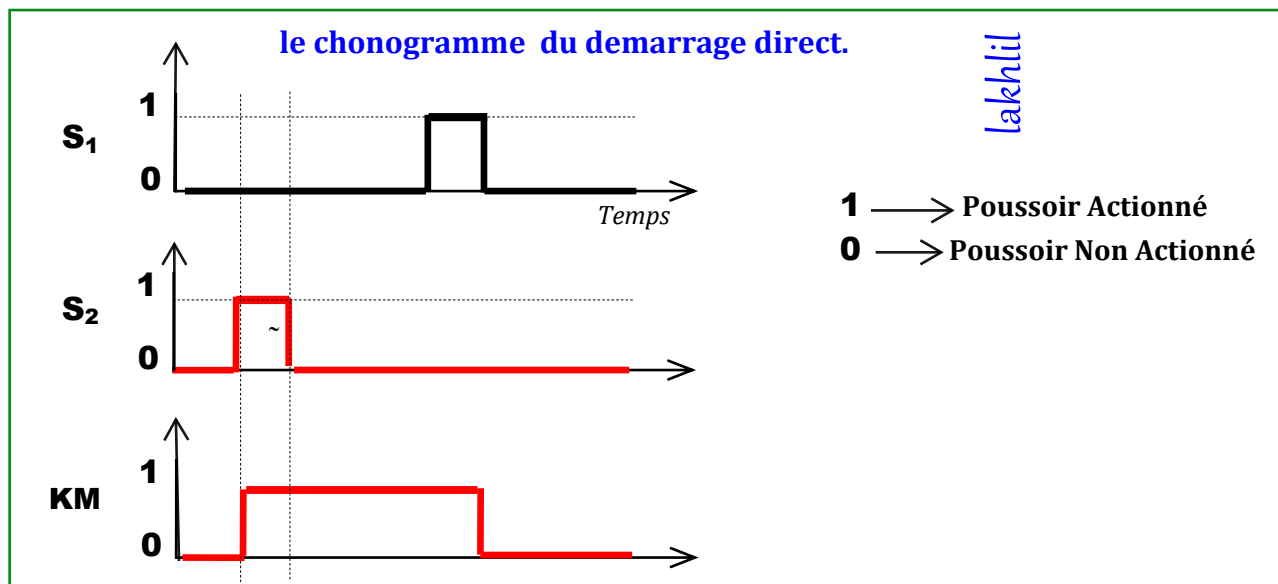


### Les éléments de commande et de protection :

<b>Q</b>	Sectionneur	il permet <b>d'isoler</b> le circuit ce qui autorise un travail en toute sécurité.
<b>KM</b>	Contacteur	Il permet de <b>distribuer</b> energie electrique
<b>F</b>	Relais thermique	Il permet de <b>protéger</b> le circuit contre les surcharges

### Equations de KM à partir du circuit de commande:

$$KM = F.S_1.(S_2 + Km)$$



## Les moteurs électriques

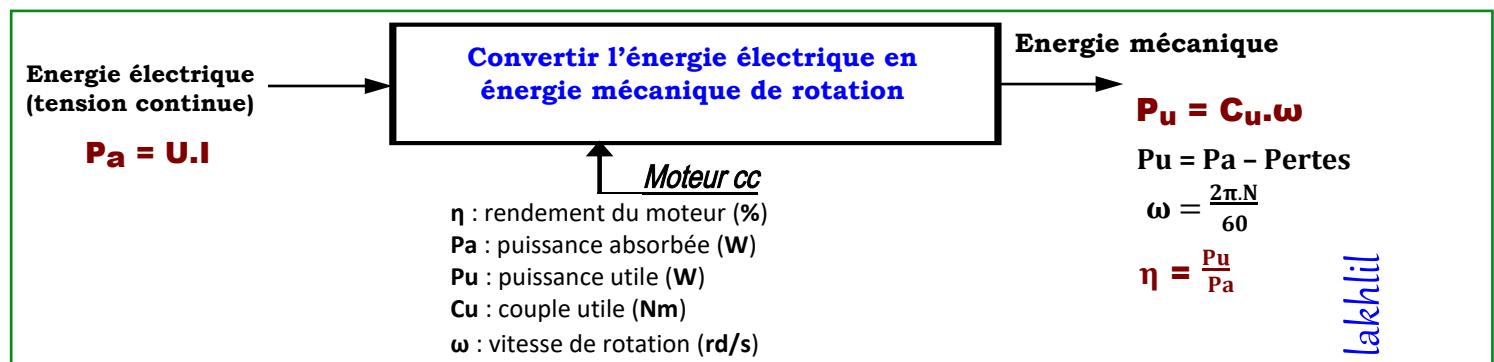
Un moteur électrique est une machine qui **convertit** l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation

### Types de Moteurs Electriques:

- ✓ Moteur à courant continu
- ✓ Moteur asynchrone triphasé
- ✓ Moteur asynchrone monophasé
- ✓ Moteur Pas à Pas

### Moteur à courant continu.

#### 1.Actigramme A-0 du moteur cc



#### 2.Constitution :

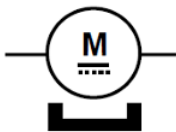
- ✓ Stator : contient les aimants permanents qui génèrent le champ magnétique fixe.
- ✓ Rotor (induit) : bobinage alimenté en courant continu, monté sur un collecteur.
- ✓ Balais + collecteur : assurent la commutation du courant dans le rotor.
- ✓ Arbre : transmet le mouvement mécanique.

#### 3.Principe de fonctionnement :

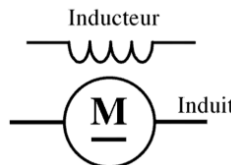
Quand on applique une tension continue aux bornes du moteur, un courant circule dans l'induit. Ce courant interagit avec le champ magnétique des aimants permanents. D'après la loi de Laplace, une force électromagnétique apparaît, provoquant un couple de rotation. Le moteur convertit ainsi l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation..

#### 4.Symbolle

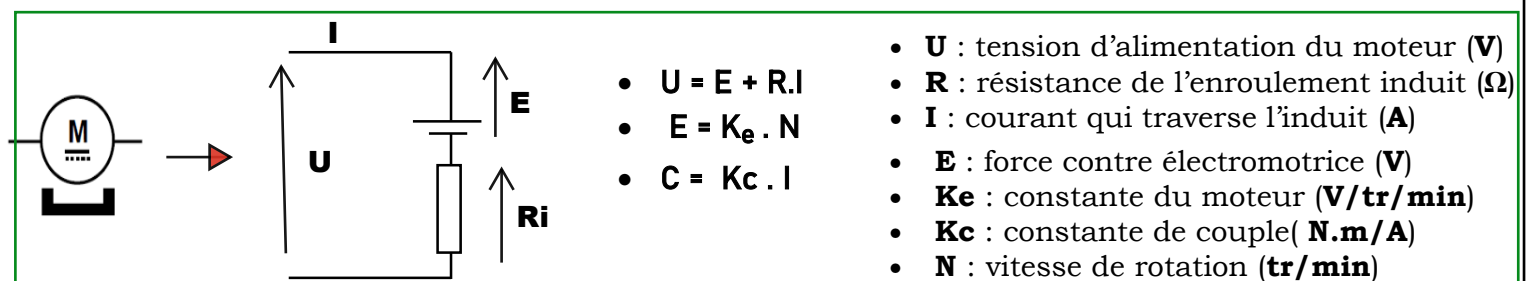
##### a.Moteur à aimants permannts



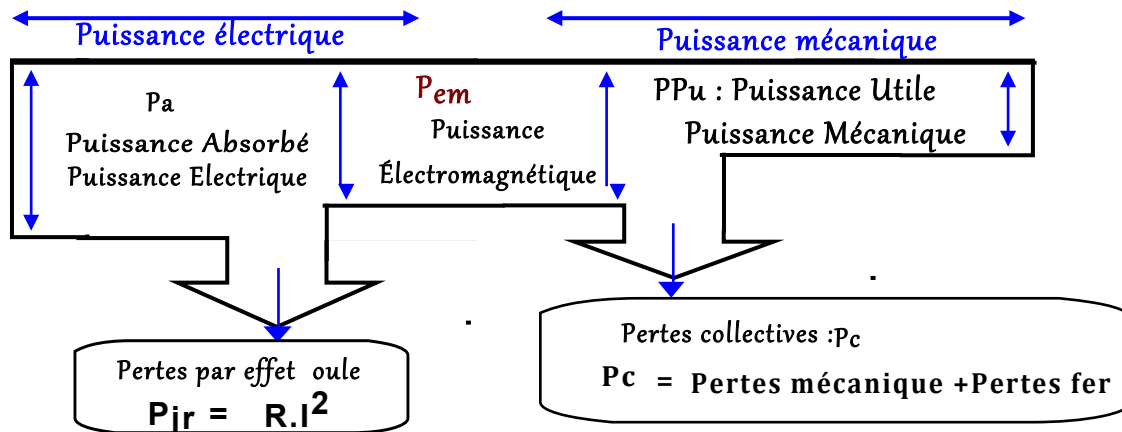
##### b.Moteur CC à inducteur bobiné



#### 5.Modèle équivalent de l'induit



## 6. Bilan de puissances du Moteur CC



$$P_u = P_a - \text{Pertes}$$

$$= P_a - P_j - P_c$$

$$= P_a - P_j - (P_f - P_{me})$$

- $P_a$  : Puissance Absorbée
- $P_u$  : Puissance Utile
- $P_c$  : Perte collectives ou constante
- $P_{me}$  : Pertes mécaniques
- $P_f$  : Pertes fer

lakhil

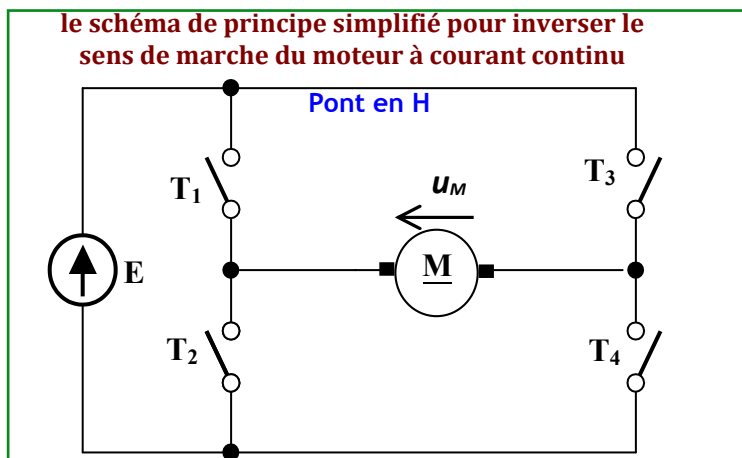
## 7. Changement du sens de rotation de l'axe du moteur à cc

### Principe général du « pont en H » :

4 transistors, symbolisés ici par des interrupteurs T1, T2, T3 et T4, sont montés en pont et permettent de commander le sens de rotation du moteur :

Lorsque : **T1 et T4 sont fermés (saturés)** et **T2 et T3 sont ouverts (bloquer)** le moteur tourne dans **le sens positif**.

Lorsque : **T1 et T4 sont ouverts (bloquer)** et **T2 et T3 sont fermés (saturés)** le moteur tourne dans **le sens négatif**.



Note: L'interrupteur électronique utilisé T est un transistor et une diode de roue libre



Interrupteur fermé  $\Leftrightarrow$  "1";  
Interrupteur ouvert  $\Leftrightarrow$  "0",

### Les différents cas possibles

T1	T2	T3	T4	Moteur	
1	0	0	1	Sens +	$\rightarrow U_m = +E$
0	1	1	0	Sens -	$\rightarrow U_m = -E$
1	0	1	0	Arrêt	$\rightarrow U_m = 0$
0	1	0	1	Arrêt	$\rightarrow U_m = 0$

## Moteur Asynchrone Triphasé

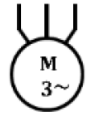
Le moteur asynchrone triphasé est une machine électrique qui transforme l'énergie électrique triphasée en énergie mécanique de rotation.

Il comporte deux parties :

**Le stator** est constitué de trois bobines réparties à 120° alimentées par un réseau triphasé équilibré ; de tension composée U, et de courant de ligne, I. Il crée un champ magnétique tournant à la fréquence de rotation  $N_s$ .

**Le rotor** tourne à une fréquence de rotation  $N$ , légèrement inférieure à  $N_s$ . Une relation lie ces deux parties : le glissement

**Symbole**



### 1. Vitesse de Rotation

#### a. Vitesse statorique (champ tournant)

$$N_s = \frac{60}{p} \cdot f$$

$N_s$ : Tour/min

$f$ : Hz

$p$ : Nombre de paires de pôles.  $N$ : Tour/min

$g$ : Glissement en %

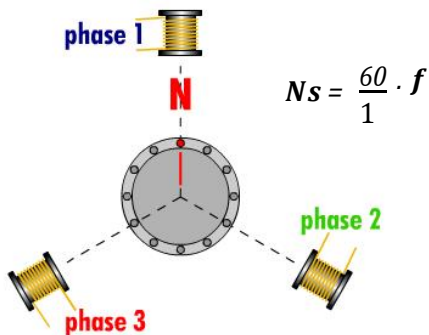
#### b Vitesse Rotorique (Arbre Moteur)

$$N = N_s \cdot (1 - g)$$

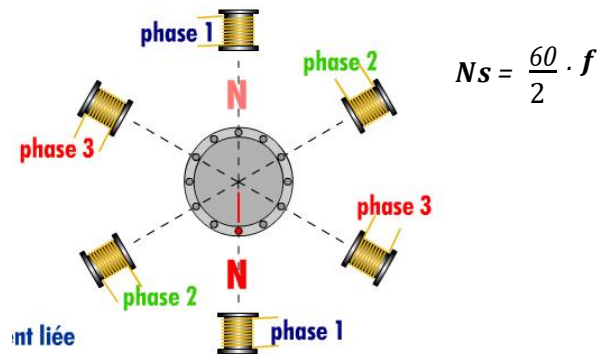
$$g = \frac{N_s - N}{N_s}$$

Les enroulements alimentés en triphasé, créent un champ magnétique tournant à deux pôles : Nord et Sud.

#### 1 paire de pôles par phase



#### 2 paires de pôles par phase



Une paire de pôles = 1 pôle Nord + 1 pôle Sud.

Donc, si une machine possède 2 pôles (1 Nord + 1 Sud), elle a 1 paire de pôles.

Si elle possède 4 pôles (2 Nord + 2 Sud), elle a 2 paires de pôles, etc

**pour  $f = 50$  Hz**

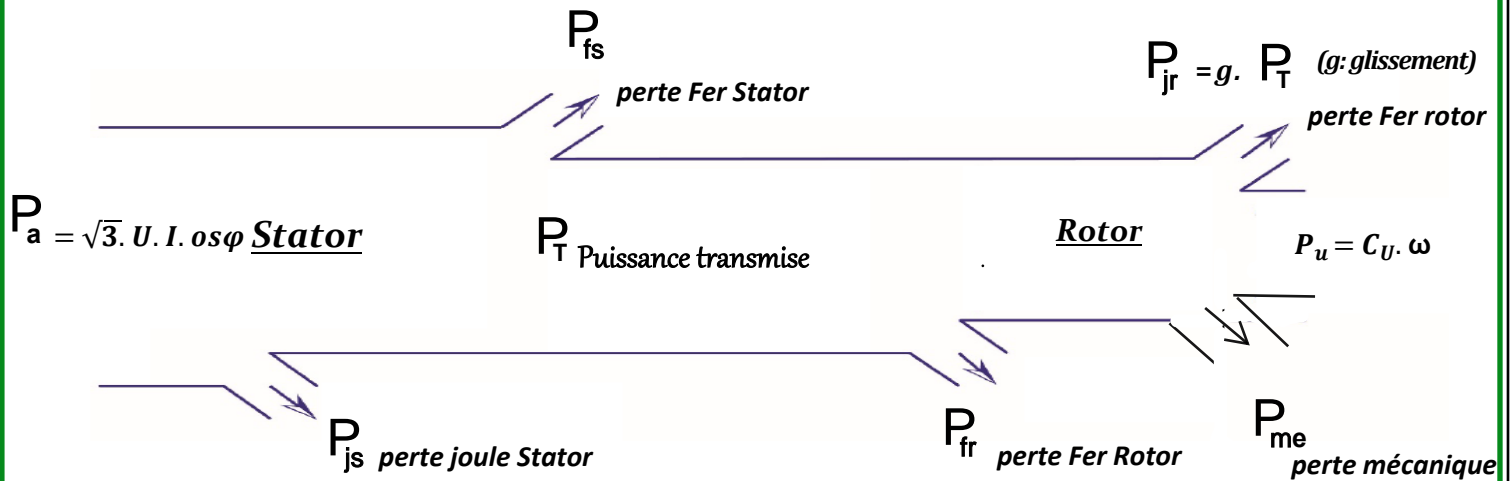
Paires de pôles ( $p$ )	1	2	3	4	5	6
Nombre de pôles	2	4	6	8	10	12
$N_s$ (tr/min)	3000	1500	1000	750	600	500

$$N_s = \frac{60 \cdot f}{\text{pairs de pôles}}$$

Donc, plus le nombre de paires de pôles augmente, plus la vitesse de rotation du moteur diminue.

## 2. Bilan des Puissances d'un moteur asynchrone triphasé:

Le rôle du bilan énergétique d'un moteur triphasé est de donner une vision claire de comment l'énergie électrique fournie au moteur est transformée, utilisée et perdue.



### Puissance utile ( $P_u$ )

C'est la puissance développée au bout de l'arbre du moteur sous forme mécanique. Son expression est :

$$P_u = P_a - \Sigma \text{ pertes} = P_a - (P_{js} + P_{fs} + P_{jr} + P_{fr} + P_{me}).$$

### Puissance transmise au rotor ( $P_{tr}$ )

C'est la puissance électrique que transmet le stator au rotor:  $P_{tr} = P_a - P_{js} - P_{fs}$

### Pertes par effet Joule au rotor ( $P_{jr}$ ).

Les pertes par effet Joule au rotor sont fonction de la puissance transmise  $P_{jr} = g \cdot P_{tr}$

### les pertes constantes ( $P_c$ )

aussi appelées pertes collectives, regroupent les pertes fer et les pertes mécaniques

$$(P_c = P_{fs} + P_{fr} + P_{me}).$$

### Pertes par effet Joule au stator ( $p_{js}$ ).

1<sup>er</sup> cas si  $R$  : La résistance entre deux bornes de phases

Quel que soit le couplage étoile ou triangle

$$P_{js} = \frac{3 \cdot R \cdot I^2}{2}$$

2<sup>eme</sup> cas si  $r$  : La résistance de chaque enroulement statorique.

couplage étoile :  $P_{js} = 3 \cdot R \cdot I^2$

couplage triangle :  $P_{js} = R \cdot I^2$

### Les puissances active, reactive et apparente

La puissance active est la puissance réellement disponible pour exécuter le travail. La puissance réactive représente la puissance engendrée par les éléments réactifs du circuit, qui sont des bobines.

La puissance apparente correspond à la somme vectorielle de la puissance active et de la puissance réactive.

On a les puissances :

- Active :  $P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\phi$  (unité : W)
  - Réactive :  $Q = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \sin\phi$  (unité : A.V.R)
  - Apparente :  $S = U \cdot I \cdot \sqrt{3}$  (unité : A.V.)
- Qui se représentent se forme d'un triangle rectangle.

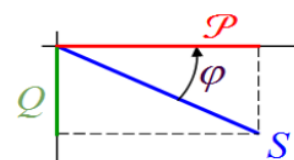
En s'appuyant sur le théorème de Pythagore on tire:

$$\cos\phi = \frac{P}{S}$$

$$\sin\phi = \frac{Q}{S}$$

$$\tan\phi = \frac{Q}{P}$$

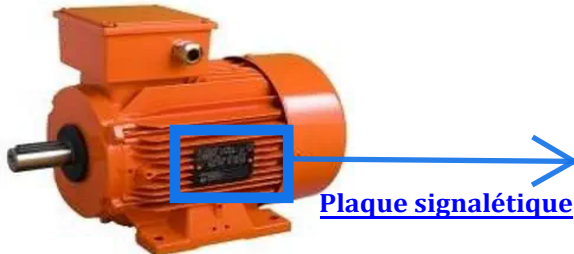
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$



### 3. Plaque signalétique d'un moteur asynchrone triphasé:

La plaque signalétique d'un moteur triphasé joue un rôle très important : c'est la "carte d'identité" du moteur. Elle regroupe toutes les informations nécessaires pour l'installation, le branchement, l'utilisation et l'entretien.

#### Exemple



Plaque signalétique

CODE : T62		IP 55	T°=95°C	855 Kg	
V	Hz	tr/min	w	Cosφ	A
230/400	50	720	932	0.86	3.3/1.9

**MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE**

- En se référant à la plaque signalétique du moteur:  
On donne le tableau ci-dessous :

Signification	indications
Courant en ligne pour un couplage étoile	1,9A
Vitesse de rotation nominale	720tr/min
Facteur de puissance	0,86
Puissance utile	932w

Signification	indications
Tension du réseau pour un couplage triangle	230 V
la fréquence du réseau	50 Hz
Courant en ligne pour un couplage triangle	3,3 A
Tension du réseau pour un couplage étoile	400V

lakhil

#### 4..Le couplage étoile-triangle (Y-Δ):

Le moteur asynchrone triphasé absorbe au démarrage un courant très élevé . le moteur démarre avec une connexion Etoile (Y) pour réduire ce courant d'appel ensuite revenir vers le couplage en triangle pour atteindre sa vitesse nominale.

**Couplage étoile (Y) :** utilisé lors du démarrage pour réduire le courant d'appel.

**Couplage triangle (Δ) :** utilisé pour le fonctionnement en régime nominal.

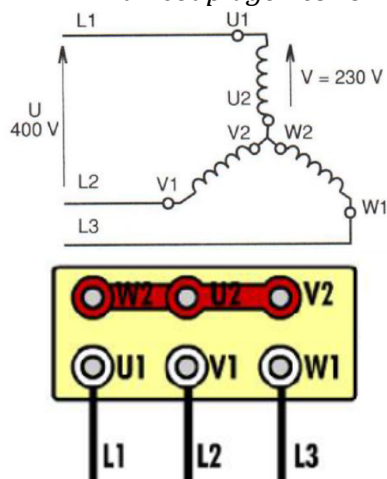
#### Choix du couplage : Étoile ou Triangle :

Soit le moteur triphasé dont la plaque signalétique contient 230V/400V.

La première valeur correspond au couplage triangle (Δ) et La deuxième valeur correspond au couplage étoile (Y)

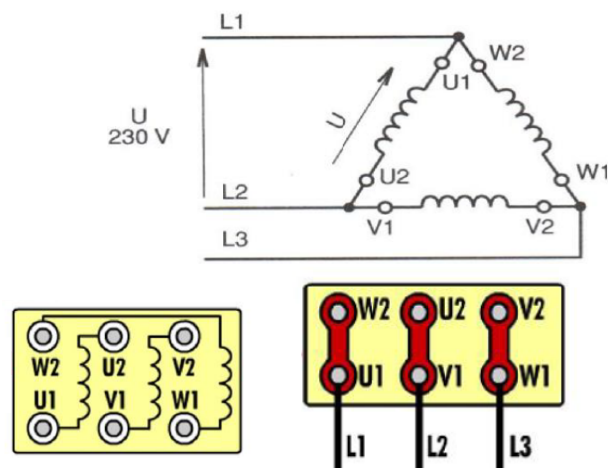
#### Couplage étoile

sur un **réseau de 400V** on réalise un couplage **Etoile**



#### Couplage Triangle

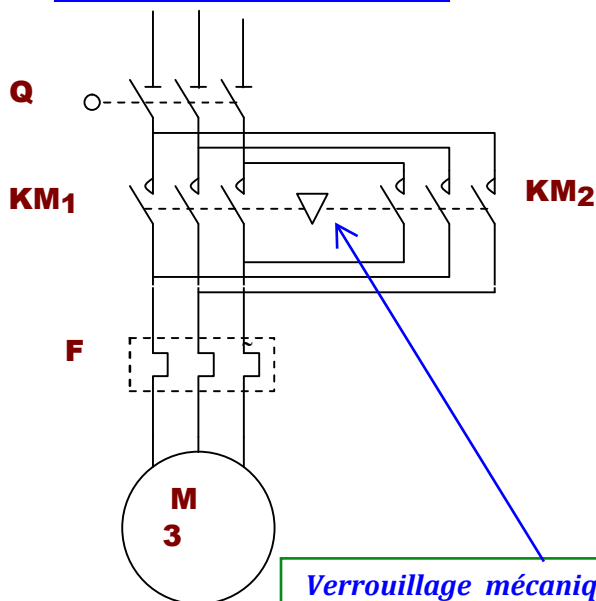
sur un **réseau de 230V** on réalise un couplage **Triangle**



## 5. Commande d'un moteur asynchrone dans les deux sens de marche

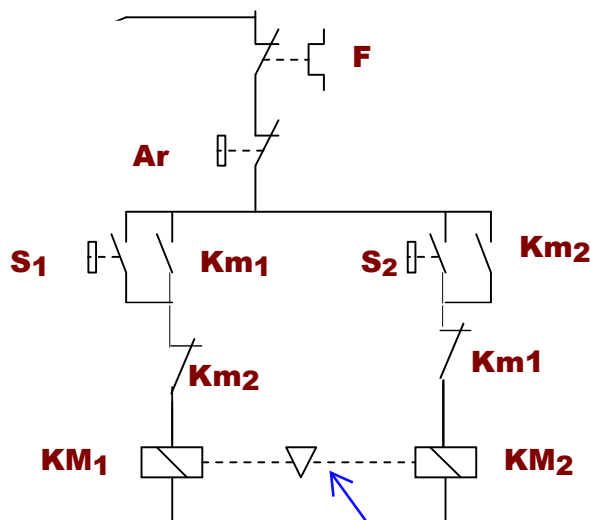
### Montage avec 2 sens de rotation

#### Circuit de puissance



*Verrouillage mécanique pour éviter le fonctionnement simultané des deux contacteurs*

#### Circuit de commande



*Verrouillage électrique pour éviter le fonctionnement simultané des deux bobines.*

lakhil

- ✓ **S1** permet le fonctionnement dans le 1<sup>e</sup> sens.
- ✓ **S2** permet le fonctionnement dans le 2<sup>e</sup> sens.
- ✓ **Ar** permet l'arrêt.

### Inversion du sens de rotation d'un moteur triphasé:

Un moteur triphasé est alimenté par 3 phases : L1, L2, L3.

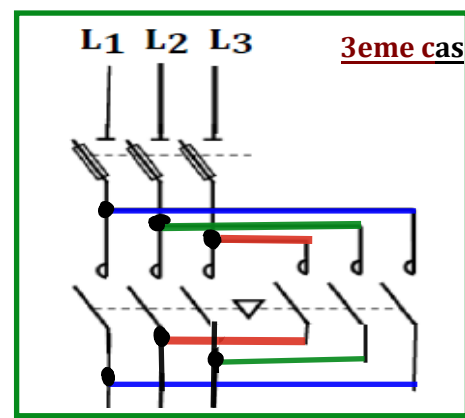
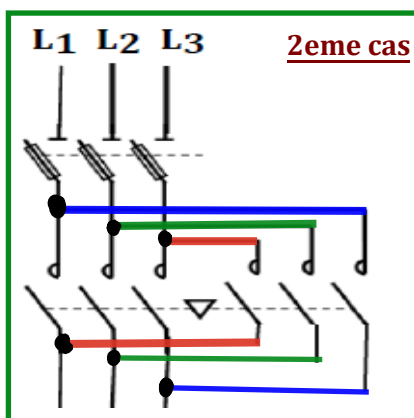
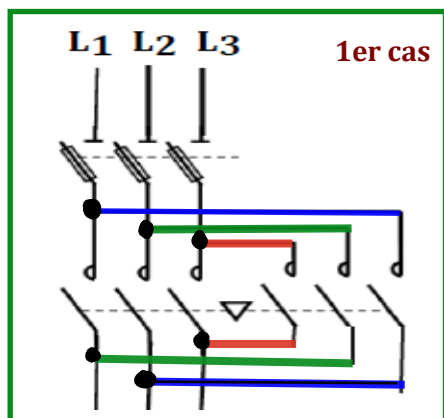
Le sens de rotation dépend de l'ordre des phases appliquées au stator.

Pour faire tourner le moteur dans l'autre sens, il suffit d'inverser deux phases (par exemple échanger L1 et L2).

L'inversion des phases change le sens du champ magnétique tournant pour permettre l'inversion du sens de rotation du rotor dans l'autre direction.

On ajoute un verrouillage électrique et mécanique pour éviter que les deux contacteurs soient activés en même temps (ce qui provoquerait un court-circuit).

### Les différentes possibilités pour inverser le sens rotation d'un moteur triphasé:



## Les Convertisseurs Statiques

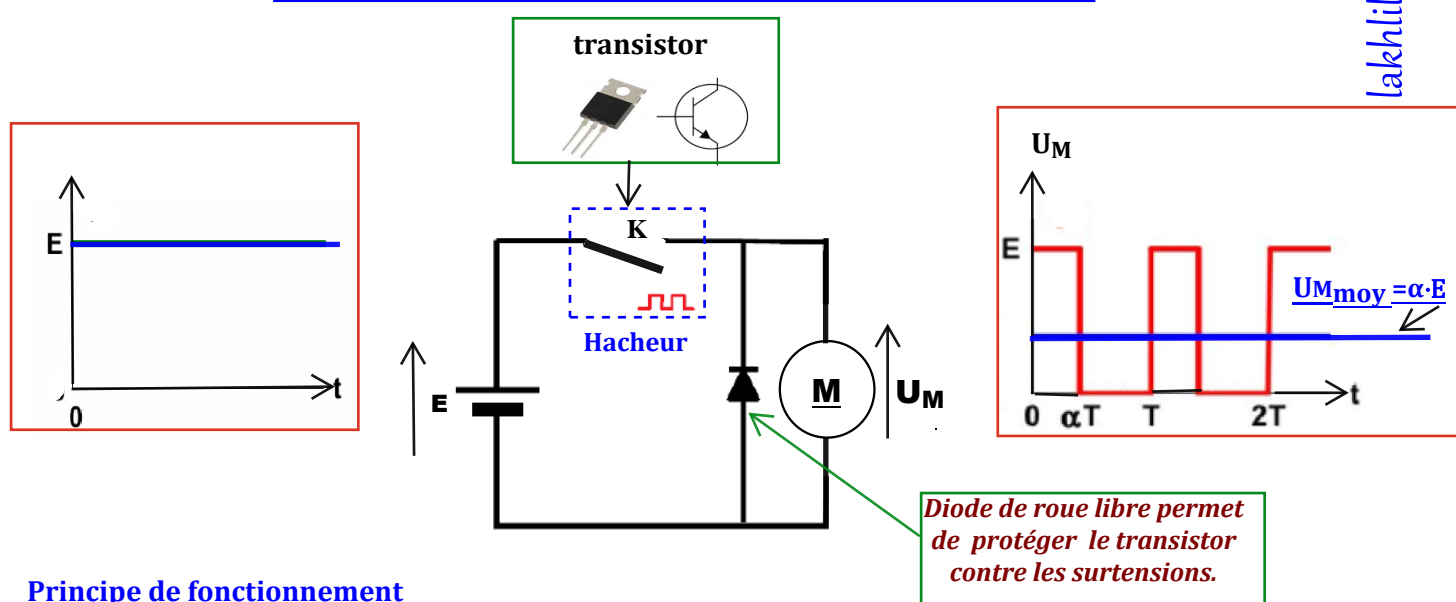
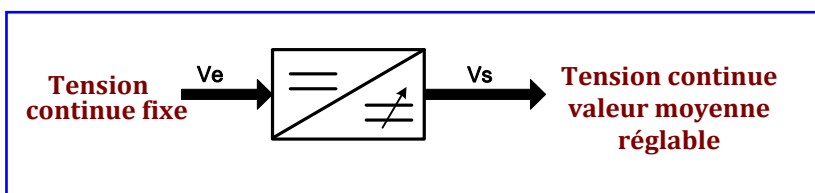
- ✓ On les appelle "statiques" car ils ne comportent pas de pièces mécaniques en mouvement.
- ✓ Un convertisseur statique est un appareil électronique de puissance qui adapte la forme, la fréquence ou la valeur d'une énergie électrique (la tension ou le courant) pour l'adapter aux besoins des utilisateurs. On distingue 4 types principaux :

1. **redresseurs**: Transforme le courant alternatif en courant continu.
2. **hacheurs**: Modifie la valeur de la tension continue (abaisseur ou élévateur).
3. **onduleurs**: Transforme le courant continu en alternatif.
4. **convertisseurs AC/AC**: variateur de vitesse électronique pour moteur asynchrone

### 1. Le hacheur

Un hacheur est un convertisseur statique de puissance qui permet de transformer une tension continue fixe (DC) en une tension continue variable (DC réglable). On l'appelle aussi convertisseur CC-CC.

#### Symbole



#### Principe de fonctionnement

Le hacheur agit comme un interrupteur K commandé (transistor, thyristor...) à la fréquence  $f$  (période  $T=1/f$ ).

Il fonctionne en commutation rapide :

- Interrupteur K fermé → la source est appliquée à la charge.
- Interrupteur K ouvert → la charge est isolée de la source.

La tension de sortie moyenne dépend du rapport cyclique :

$$U_{Moy} = \alpha \cdot E$$

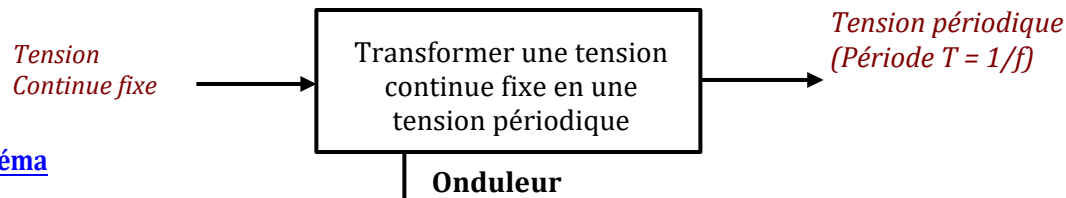
$$\alpha = \frac{T_{fermeture}}{\text{période}}$$

- ✓ E : tension d'alimentation fixe.
- ✓  $U_{moy}$  : tension de sortie du hacheur (valeur moyenne variable)
- ✓  $\alpha$  : Rapport cyclique
- ✓ K : interrupteur commandé (transistor).
- ✓ T : Période = Temps de fermeture + Temps de d'ouverture

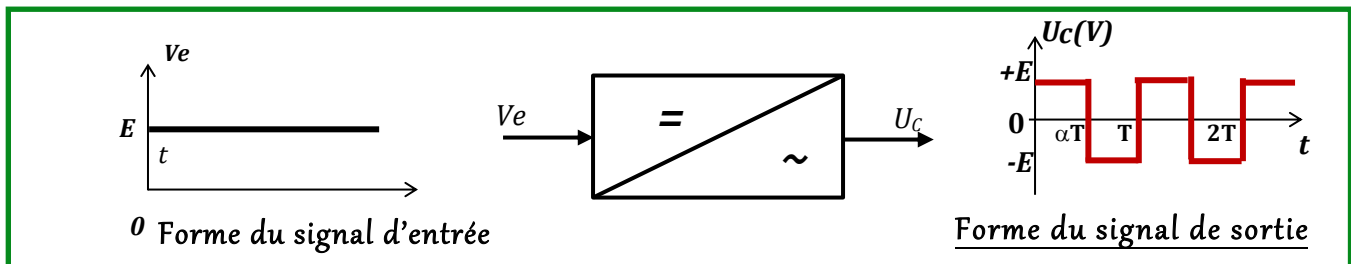
## 2. Onduleur ou convertisseur continue (DC) en alternative (AC),

### Fonction

Un onduleur est un convertisseur statique qui transforme une tension continue (DC) en tension alternative (AC), généralement triphasée ou monophasée. C'est l'inverse du redresseur.



### Schéma



### Etude du principe de l'onduleur.

La motrice est alimentée à partir d'un onduleur monophasé.

#### le rapport cyclique : $\alpha = 0,5$

Pour  $0 \leq t \leq T/2$  :

L'interrupteur électronique K1 est fermé, K2 est ouvert donc  $u = +E/2$

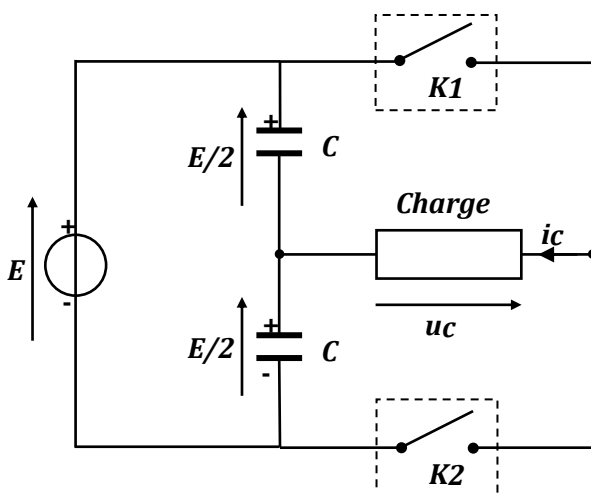
Pour  $T/2 \leq t \leq T$  :

L'interrupteur électronique K2 est fermé, K1 est ouvert donc  $u = -E/2$ .

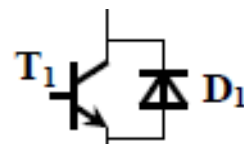
lakhil

- ✓  $E$  est une tension continue.
- ✓  $K1$  et  $K2$  sont deux interrupteurs électroniques commandés à l'ouverture et à la fermeture.
- ✓  $u_c$  la tension aux bornes de la charge.
- ✓  $i_c$  l'intensité du courant dans la charge.
- ✓  $\alpha$  : Le rapport cyclique c'est le rapport entre le temps de conduction ( $T_{on}$ ) d'un interrupteur et la période totale ( $T$ ) du signal de commande

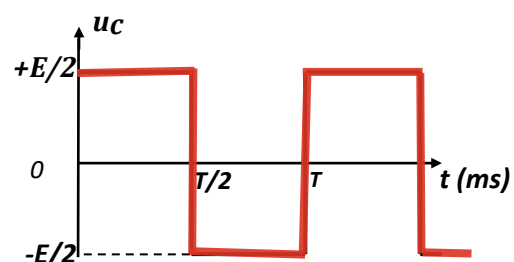
### Onduleur en demi-pont à deux interrupteurs



Note: généralement l'interrupteur électronique utilisé est un transistor et une diode de roue libre



l'oscillogramme de la tension  $u_c(t)$  :



### 3. Un variateur de vitesse (ou variateur de fréquence) du moteur asynchrone triphasé

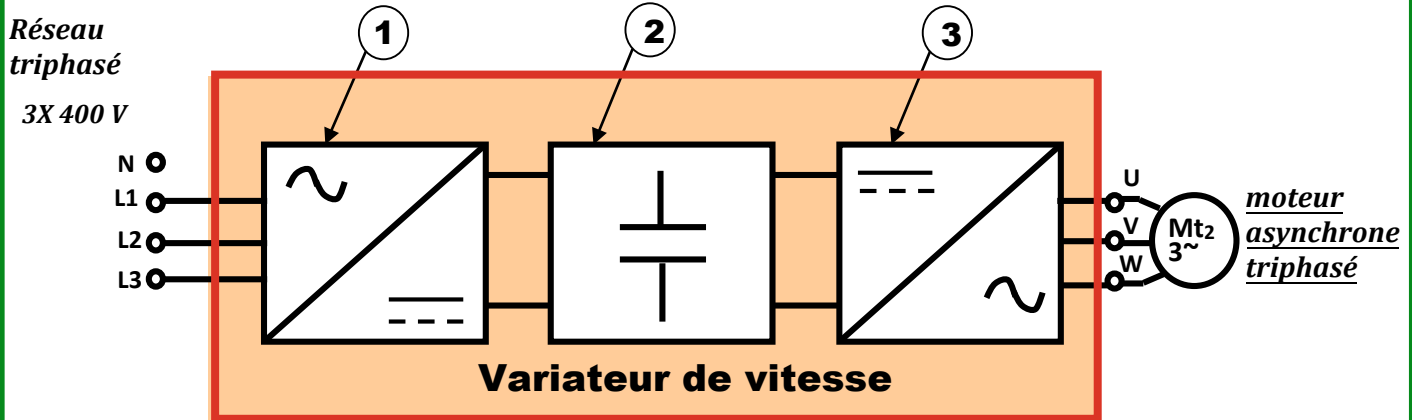
Un variateur de vitesse (ou variateur de fréquence,) est un dispositif électronique qui permet de contrôler la vitesse de rotation d'un moteur asynchrone triphasé en modifiant la fréquence et la tension de l'alimentation: Donc, si on augmente la fréquence, la vitesse augmente ; si on la diminue, la vitesse baisse.

**Un variateur de vitesse est généralement constitué de trois parties :**

lakhil

- ✓ **Le redresseur (1)** il permet de **convertir la tension alternative en tension continue**.
- ✓ **Le filtre (2)** composé d'un condensateur va **filtrer la tension** qui sort du pont redresseur.
- ✓ **Onduleur (3)** il permet de **convertir une tension continue en une tension alternative** de fréquence

#### Schéma synoptique de l'équipement utilisé pour faire varier la vitesse d'un moteur asy 3~



#### PRINCIPE DE LA VARIATION DE VITESSE

La vitesse de synchronisme d'un moteur asynchrone triphasé dépend de la fréquence et du nombre de paires de pôle.

$$N_s = f/p$$

$$g = \frac{N_s - N}{N_s}$$

$$N = N_s(1 - g) = \frac{f(1 - g)}{p}$$

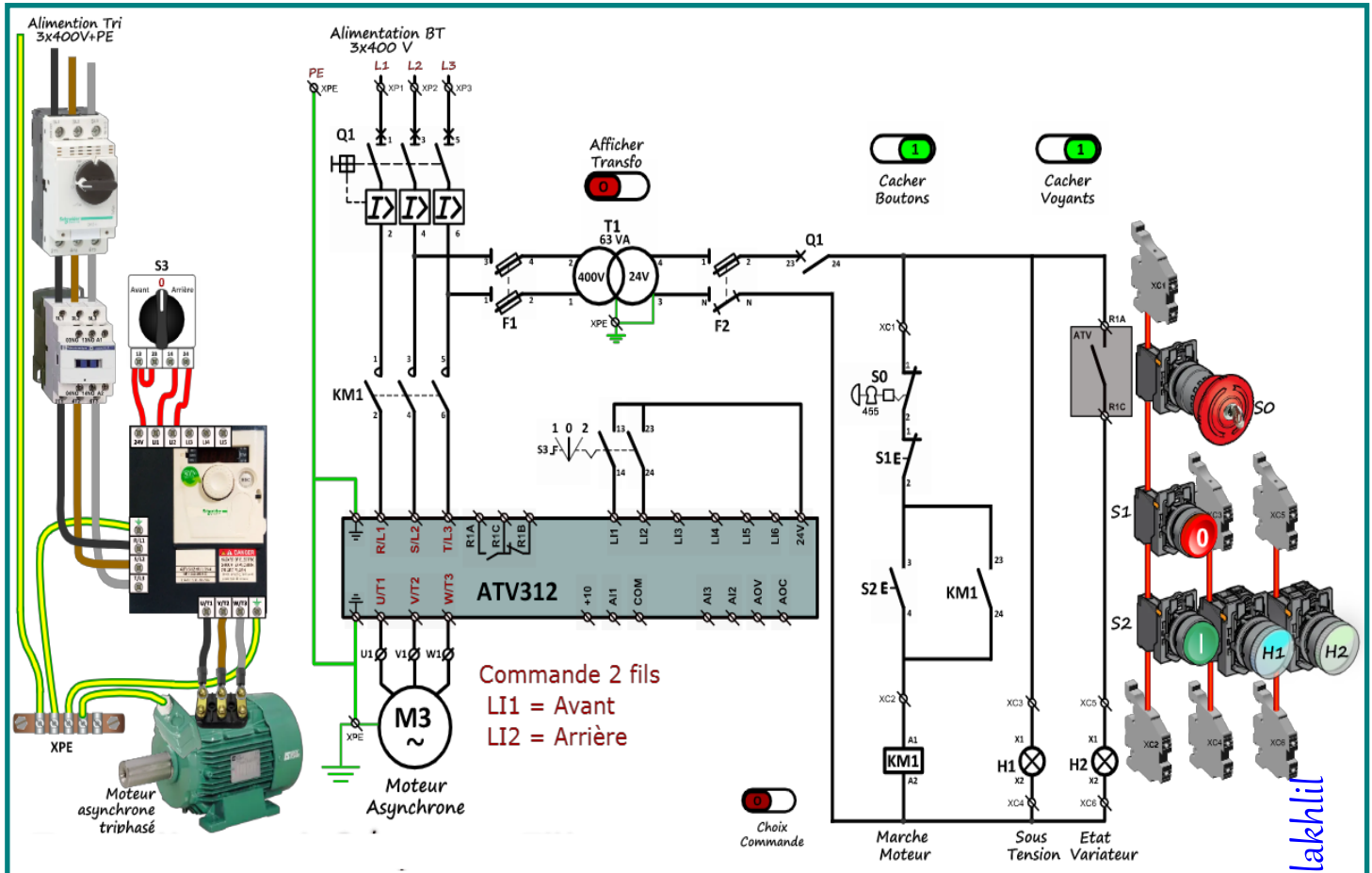
- ✓ f : fréquence en [Hz]
- ✓ p : nbre de paires de pôles.
- ✓  $N_s$  : vitesse de synchronisme (en [tr/s]).
- ✓ N: vitesse du moteur (en [tr/s]).
- ✓ g : Glissement en %

#### Loi U/f (tension/fréquence) :

Pour que le moteur garde son couple nominal, le variateur maintient le rapport U/f constant. Le variateur de vitesse fournit au moteur, à partir du réseau alternatif triphasé à fréquence fixe, une tension alternative triphasée de valeur efficace et de fréquence variables tout en gardant le rapport U/f constant

$$\frac{U}{f} = \text{constante}$$

## Schéma interactif d'un convertisseur de fréquence:



**AI1 : Entrée analogique** pour consigne de vitesse (0 à 10 V → 0 à 50 Hz) par (potentiomètre ou automate)

C'est une entrée analogique (souvent une borne type AI1).

**0 V** correspond à la fréquence minimale (**0 Hz** ou une valeur réglée).

**10 V** correspond à la fréquence maximale (ici **50 Hz**, mais parfois paramétrable jusqu'à 60 Hz ou plus).

Exemple : si tu appliques **5 V**, le moteur tournera à **25 Hz** (soit environ la moitié de la vitesse nominale).

**LI1 / LI2 : commande sens de rotation.**

**LI1 : Marche Avant**

C'est une entrée logique digitale. Quand tu l'actives (par un contact sec ou une commande 24 V selon le variateur), le moteur démarre en sens direct.

**LI2 : Marche Arrière**

Même principe que LI1, mais pour faire tourner le moteur en sens inverse.

**LI3, LI4 : 4 vitesses présélectionnées**

Ce sont des entrées logiques qui permettent de sélectionner des vitesses fixes (définies dans la programmation du variateur).

**selon la combinaison LI3/LI4 :**

LI3=0, LI4=0 → Vitesse n°1 (0 Hz)

LI3=0, LI4=1 → Vitesse n°2 (10 Hz)

LI3=1, LI4=0 → Vitesse n°3 (25 Hz)

LI3=1, LI4=1 → Vitesse n°4 (50 Hz)

Ces vitesses prédéfinies remplacent la consigne analogique I1 quand on les active.

## Moteur pas à pas :

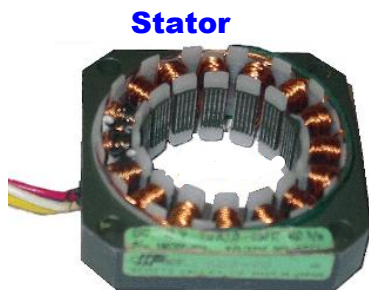
Un moteur pas à pas est un moteur électrique qui convertit des impulsions électriques en déplacements angulaires. Chaque impulsion fait tourner l'arbre d'un angle fixe appelé pas.

Symbole:



### 1. Les constituants d'un moteur pas à pas :

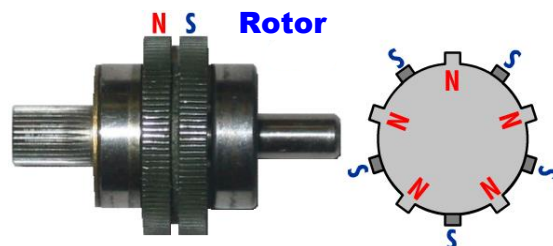
**Un stator :** constitué généralement de plusieurs paires de pôles formés chacun d'une bobine.



Stator

lakhil

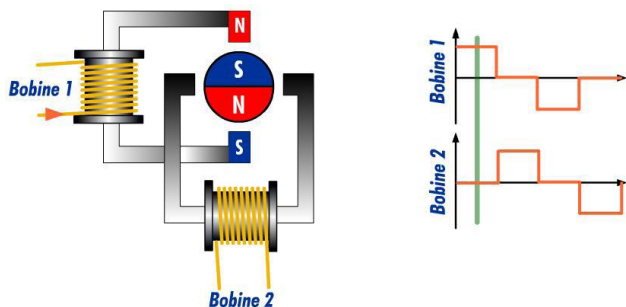
**Un rotor :** constitué d'aimants permanents.



### 2. Exemple d'Alimentation Moteur 4 Pas

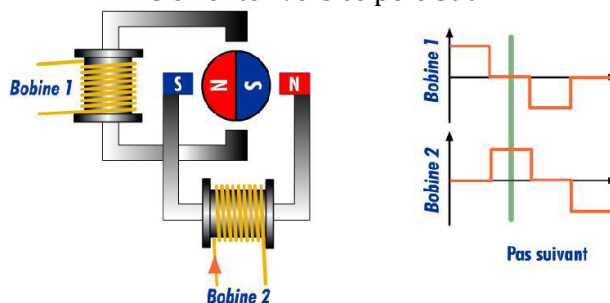
#### Pas. °1

La Bobine 1 est alimentée afin de présenter le pôle Nord au rotor. La bobine 2 n'est pas alimentée. Le rotor tourne pour s'orienter vers ce pôle Nord.



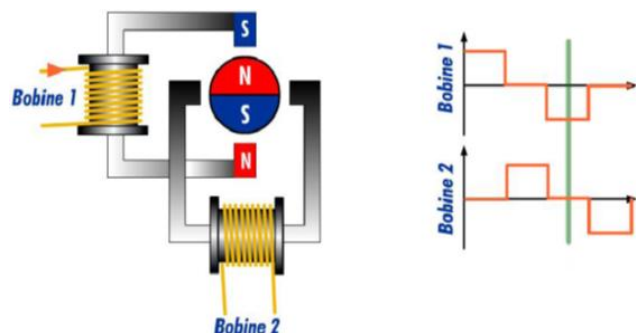
#### Pas n°2

La bobine 2 est alimentée afin de présenter le pôle Sud au rotor. La bobine 1 n'est plus alimentée. Le rotor poursuit sa rotation pour s'orienter vers ce pôle Sud.



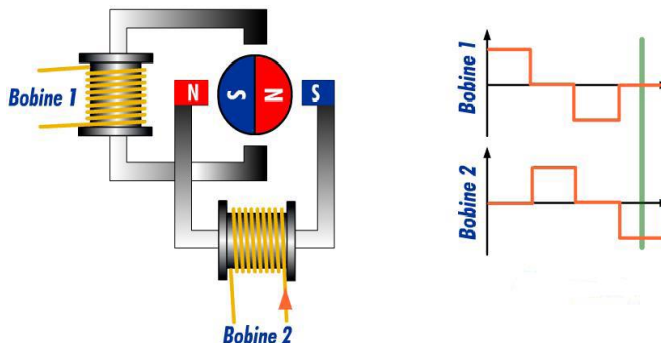
#### Pas n°3

La bobine 1 est maintenant alimentée avec une polarité inverse de la fois précédente afin de présenter le pôle Sud au rotor. La bobine 2 n'est plus alimentée. Le rotor poursuit sa rotation pour s'orienter vers ce pôle Sud.



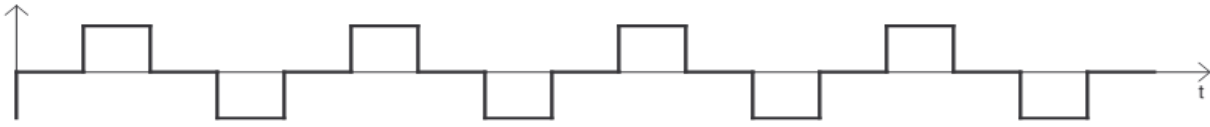
#### Pas n°4

La bobine 2 est maintenant alimentée avec une polarité inverse de la fois précédente afin de présenter le pôle Nord au rotor. La bobine 1 n'est plus alimentée. Le rotor poursuit sa rotation pour s'orienter vers ce pôle Nord.



### 3. Alimentation des moteurs pas à Pas :

Ils sont alimentés par un signal carré. À chaque impulsion le Rotor tourne d'un Pas.



### 4. Vitesse de rotation

La vitesse d'un moteur pas à pas dépend de la fréquence des impulsions d'horloge

$$n = \frac{f}{N_{p/t}}$$

$N_{p/t}$  : Résolution (Nombre de pas par tour)

$n$  : vitesse d'un moteur en tr/s

$f$  : fréquence en Hz

lakhil

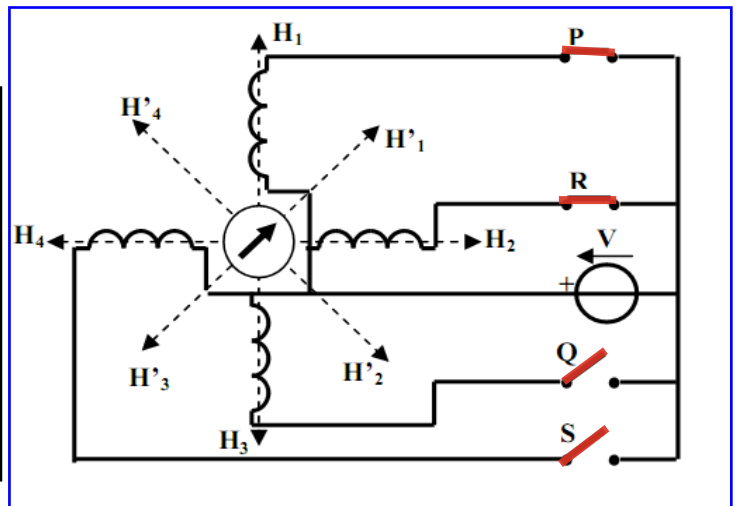
### Exemple

Le moteur **M** est un moteur Pas à Pas à aimant permanent. Ces quatre bobines sont commandées par quatre interrupteurs électroniques : **P**, **Q**, **R** et **S** comme le montre la figure ci-contre :

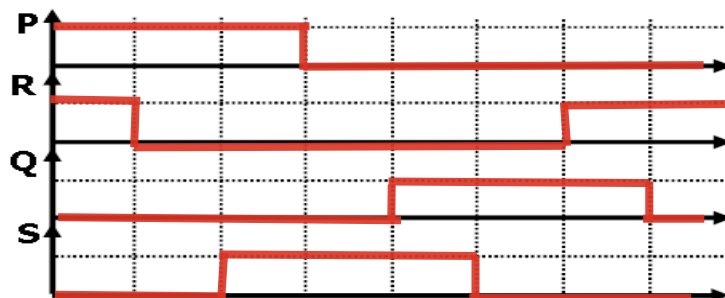
- Remplir le tableau des commandes nécessaires (0 ou 1) des différents interrupteurs pour obtenir les positions du rotor qui sont indiquées.

Tableau des commandes :

P	R	Q	S	Moteur
1	1	0	0	↗
1	0	0	0	↑
1	0	0	1	↖
0	0	0	1	←
0	0	1	1	↙
0	0	1	0	↓
0	1	1	0	↘
0	1	0	0	→



- Tracer le chronogramme de commande correspondant.



- Quel la résolution  $N_p$  (pas/tr) de ce moteur.

La résolution d'un moteur pas-à-pas est la plus petite distance angulaire qu'il peut parcourir par impulsion électrique, généralement exprimée en pas par tour.

$N_p = 8 \text{ pas/tours}$