

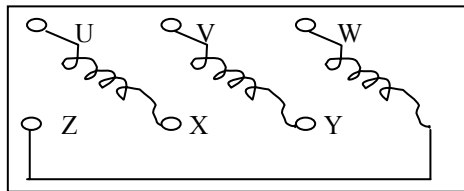
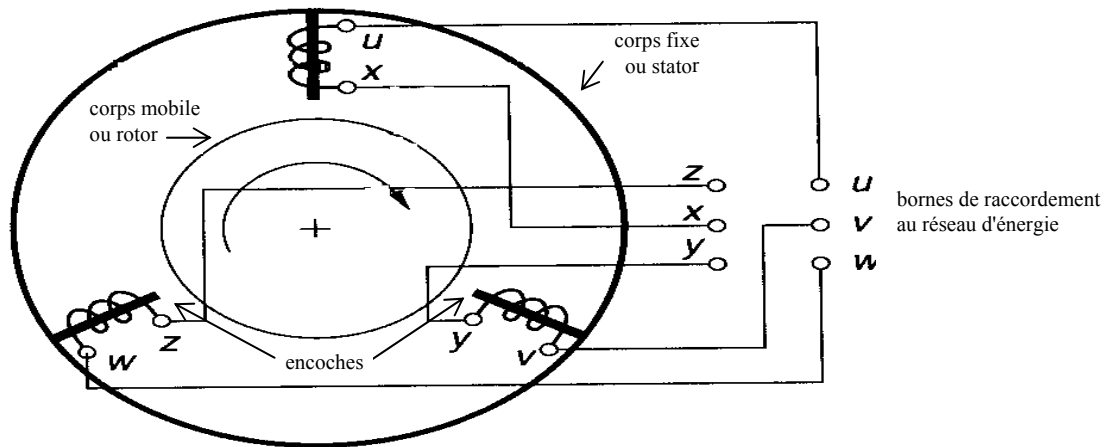
**- SOMMAIRE -**

	<b>PAGE</b>
<b>-I- MACHINES ASYNCHRONES TRIPHASEES</b>	<b>2</b>
1-Couplage du stator (étoile, triangle)	
2-Couplage du rotor (en cage ou en court-circuit, rotor bobiné)	
3-Modes de démarrage (direct, étoile-triangle, résistances statoriques, résistances rotoriques)	
4-Différents types de commande (manuelle, semi-automatique, automatique)	
<b>II-INVERSION DU SENS DE ROTATION D'UN MOTEUR</b>	<b>6</b>
1-Moteur triphasé	
2-Moteur monophasé	
3-Moteur à courant continu	
a- Moteur série	
b- Moteur shunt	
c- Moteur à aimant permanent	
<b>III-CHANGEMENT DE VITESSE D'UN MOTEUR</b>	<b>10</b>
1-Moteur triphasé	
2-Moteur monophasé à rotor bobiné	
3-Moteur monophasé à rotor en cage d'écureuil	
4-Moteurs monophasés à collecteurs	
a- Moteur série universel	
b- Moteur série compensé	
c- Moteur à répulsion	
5-Moteur à courant continu	<b>11</b>
-a- Utilisation en faible puissance (cas du séchoir et du robot ménager)	
-b- Utilisation en moyenne puissance (cas du moteur shunt et du moteur série)	
<b>IV-ANNEXES</b>	
1- Rappel des formules appliquées aux moteurs à courant continu	<b>14</b>
2- Rappel sur le bilan des puissances en alternatif	
3- Appareils mis en œuvre dans un équipement de démarrage	<b>15</b>
4- Associations d'équipements de démarrage	
5- Comparaison des différents procédés de démarrage des machines asynchrones triphasées	<b>17</b>
6- Choix des constituants du circuit de puissance	
7- Catégories ou classes d'emploi	<b>19</b>
8- Guide de choix des contacteurs (série d) en fonction de la catégorie d'emploi	

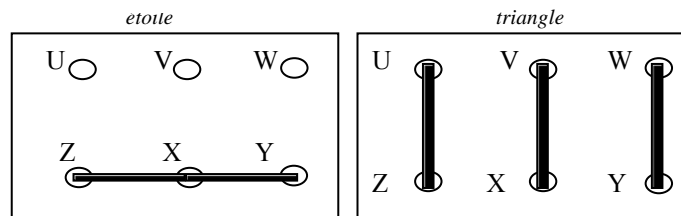
## -I- MACHINES ASYNCHRONES TRIPHASEES

### 1-Couplage du stator

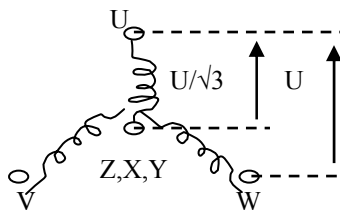
a- Structure d'un moteur asynchrone triphasé



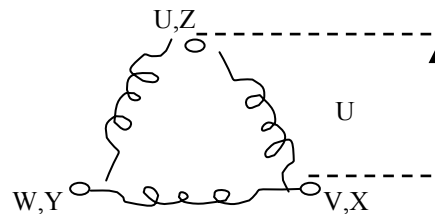
b- Enroulements



c- Connexions de la plaque à bornes



d- Couplage étoile ou parallèle



e- Couplage triangle ou série

Figure 1: couplage des enroulements du stator

Sur, la plaque à bornes du moteur, on peut effectuer le couplage étoile ou triangle à l'aide de barrettes.

Si la tension du réseau est de 400v (entre phases), en couplage étoile chaque enroulement n'est alimenté qu'en 230v, alors qu'en couplage triangle, chaque enroulement est alimenté à la pleine tension du réseau, soit 400v.

### 2-Couplage du rotor

#### -a-Rotor en cage ou en court-circuit

Il n'y a pas d'enroulement à proprement parler. Le rotor est constitué par des barreaux court-circuités par des anneaux. Dans ces moteurs **le rotor n'est pas accessible** à l'utilisateur.

#### b-Rotor bobiné

Dans ce cas les trois enroulements du rotor sont d'un coté couplés en Y. Les trois autres extrémités sont disponibles sur la carcasse du moteur. On dispose de trois bagues (d'où l'appellation « moteur à bagues ») pour câbler et relier les trois enroulements.

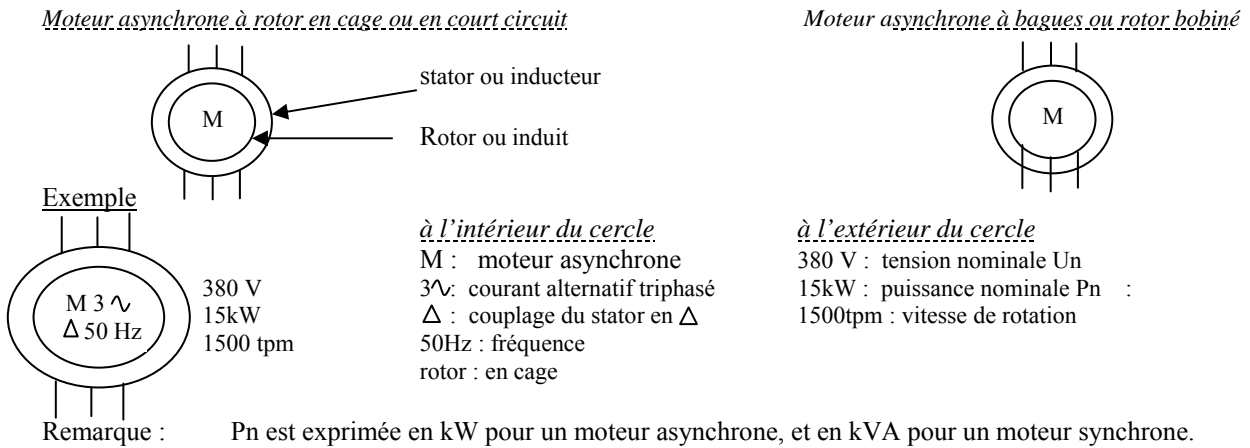


Figure 2: représentation des moteurs asynchrones triphasés

### 3-Modos de démarrage

#### a- Direct

Les enroulements du stator sont directement alimentés par la pleine tension du réseau. Cela engendre un très fort courant au démarrage, qui peut atteindre jusqu'à dix fois le courant nominal. Pour le réduire on utilise d'autres modes de démarrage.

Ce mode de démarrage est réservé aux moteurs à cage (rotor en court circuit), et surtout à faible puissance (<5kw).

#### b- Etoile-triangle

Pour réduire le courant de démarrage, on démarre avec le couplage Y, alors les enroulements du stator sont alimentés par  $U/\sqrt{3}$ . Puis au bout de trois à 5 secondes, on utilise un couplage triangle pour alimenter les enroulements avec la pleine tension du réseau U.

Ce mode de démarrage est réservé aux machines démarrant à vide ou à couple résistant faible. En général la puissance est <50 kw.

#### Règle PTT : petite tension triangle (voir exemple d'application en fin de page suivante)

Si une machine possède sur sa plaque signalétique 2 tensions, pour pouvoir utiliser le couplage Δ (et donc le démarrage YΔ), il faut que la plus petite des 2 tensions soit égale à la tension du réseau (entre phases). Sinon, il est interdit d'utiliser le couplage triangle.

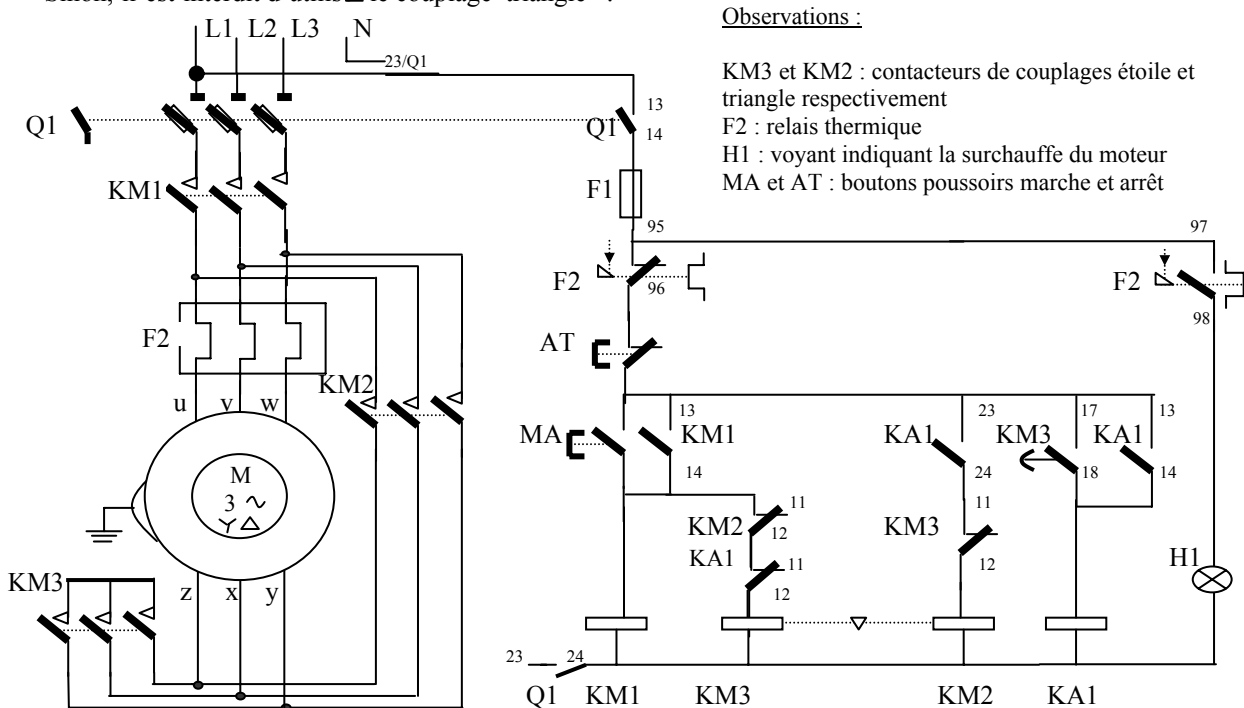


Figure 3: démarrage étoile triangle semi automatique 1 sens de marche

c- Résistances statoriques

On met des résistances en série avec les enroulements statoriques pour diminuer le courant de démarrage. Puis après quelques secondes, ces résistances sont court-circuitées.

Ce démarrage est valable quelque soit le type de couplage des enroulements du stator (étoile ou triangle). Il convient pour les machines à couple résistant croissant ou qui nécessitent une mise en vitesse rapide et sans à coups.

d- Résistances rotoriques

On utilise des résistances en série avec chaque enroulement du rotor, puis ces résistances sont éliminées progressivement.

Ce mode de démarrage ne peut être utilisé qu'avec les moteurs à rotor bobiné.

Il convient pour les machines démarrant à pleine charge, (engins de levage, compresseur à pistons, pompe volumétrique ...).

Il est aussi très indiqué quand la puissance dépasse 50kw.

**4-Différents types de commandes**

a- Manuelle

Cela nécessite la manipulation par un opérateur de différents commutateurs. Par exemple pour un moteur à 2 sens de marche, il faut 1 commutateur inverseur tripolaire de type levier avec position de repos, et **manoeuvrable en charge**.

b- Semi automatique

Commande d'un ou plusieurs endroits par poste à boutons poussoirs à contacts momentanés (avance, arrière, arrêt), et **surtout de contacteurs** (d'inversion du sens de marche pour moteur à 2 sens de rotation par exemple).

c- Automatique

L'intervention de l'opérateur se limite à donner le départ cycle et éventuellement l'arrêt définitif des machines.

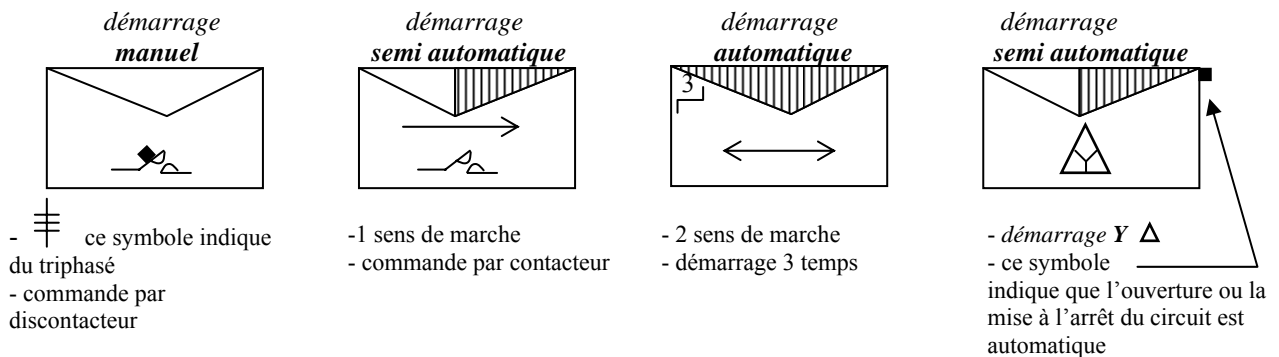


Figure 4 : représentation unifilaire des modes de démarrage

Remarque:

Un autre énoncé de la règle PTT est: PPTM=PGTR "Plus petite tension moteur = plus grande tension réseau".

Quand la plus "petite" tension nominale du moteur asynchrone est égale à la plus "grande" tension réseau (donc la tension entre phases), on choisit le couplage triangle.

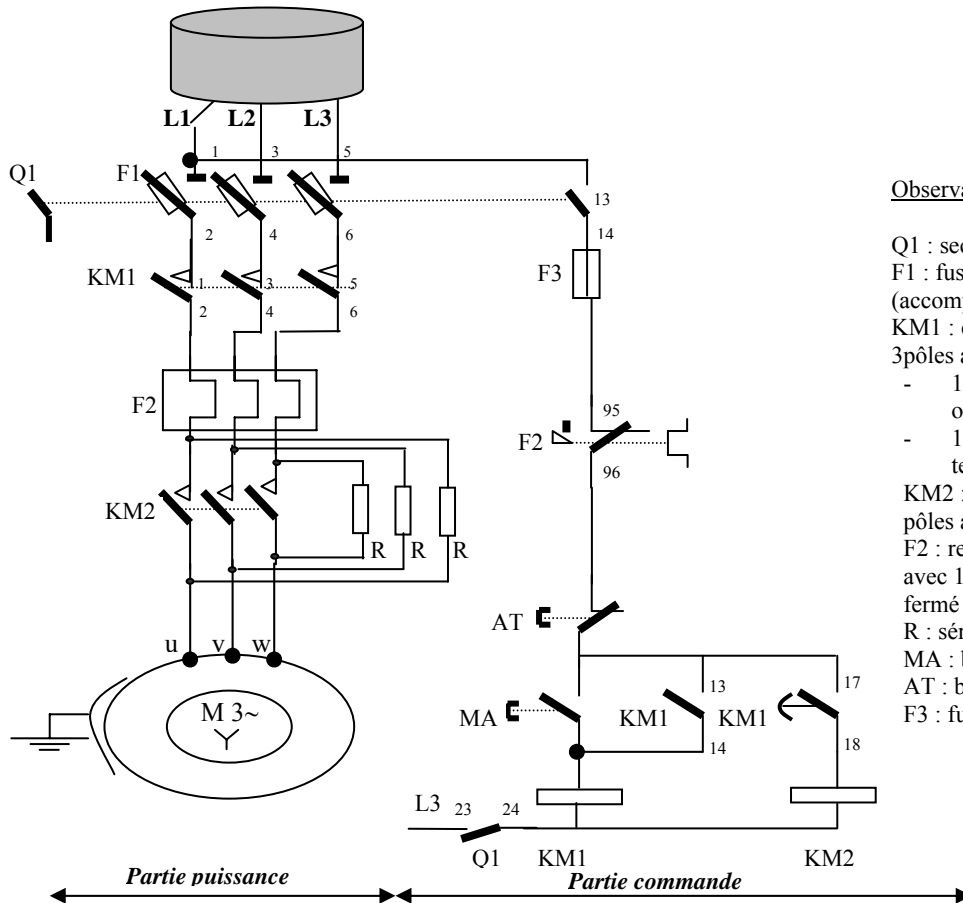
La plus petite tension (indiquée sur la plaque signalétique du moteur) correspond à la tension maxi que pourra supporter un enroulement, donc cela correspond au couplage triangle.

Exemple : moteur 230V/400V sur réseau 127V/230V : couplage triangle

En effet ici, la tension est de 230V entre phases. Or chaque enroulement a besoin de 230V pour fonctionner. On choisit donc le couplage triangle.

Le tableau ci-dessous indique le couplage à réaliser en fonction de la tension d'alimentation entre phases du réseau (tension composée).

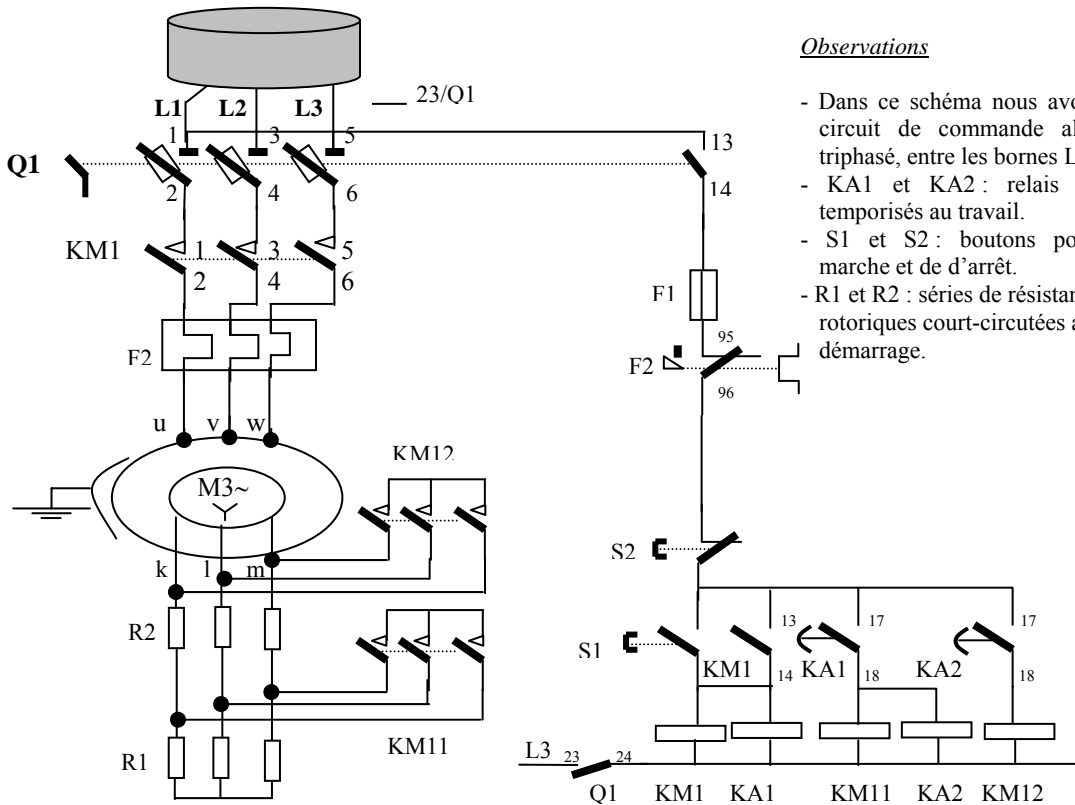
Tensions indiquées sur la plaque signalétique du moteur	127V-230V	230V-400V	□	400V-690V	□
Tensions du réseau alimentation (entre phases)	127V	230V	230	400V	400V 690V
Couplage à effectuer □(=?=triangle)	? □	Y □	? □	Y □	? □ Y



Observations

- Q1 : sectionneur à fusibles
- F1 : fusibles de type aM (accompagnement moteur)
- KM1 : contacteur tripolaire avec 3 pôles à fermeture :
  - 1 contact auxiliaire 13-14 ouvert au repos
  - 1 contact auxiliaire 17-18 temporisé au travail
- KM2 : contacteur tripolaire à 3 pôles à fermeture
- F2 : relais thermique tripolaire avec 1 contact auxiliaire 95-96 fermé au repos
- R : série de 3 résistances
- MA : bouton poussoir de marche
- AT : bouton poussoir d'arrêt
- F3 : fusible de type aM

Figure 5 : démarrage statorique semi automatique 1 sens de marche



Observations

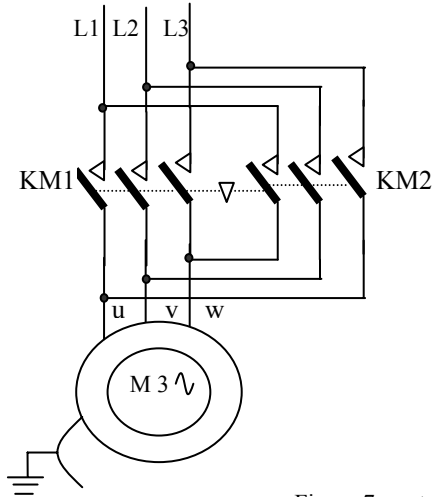
- Dans ce schéma nous avons pris un circuit de commande alimenté en triphasé, entre les bornes L1 et L3.
- KA1 et KA2 : relais thermiques temporisés au travail.
- S1 et S2 : boutons poussoirs de marche et de d'arrêt.
- R1 et R2 : séries de résistances rotoriques court-circuitées après le démarrage.

Figure 6 : démarrage rotorique 3 temps semi automatique 1 sens de marche

## -II-INVERSION DU SENS DE ROTATION D'UN MOTEUR

### -1-Moteur triphasé

Ce sont les 3 phases qui créent le champ tournant, et le rotor suit le champ tournant.  
**Si on intervertit 2 phases sur les 3, le sens de rotation du moteur s'inverse.**



KM1 : contacteur de marche avant  
 KM2 : contacteur de marche arrière

--▽-- : symbole du verrouillage

Les 2 contacteurs sont verrouillés (couplés mécaniquement et électriquement) pour empêcher la commande simultanée de marche dans les 2 sens.

Figure 7: moteur triphasé à deux sens de marche

### -2-Moteur monophasé

**Les moteurs asynchrones monophasés ne peuvent pas démarrer par leurs propres moyens.** En effet les deux alternances du courant créent dans l'inducteur deux champs de directions opposées, qui empêchent la rotation de l'induit. Deux solutions peuvent être utilisées pour le démarrage :

-soit fournir un couple moteur d'origine mécanique : lancement du rotor à la main pour les faibles puissances, ou à l'aide d'un moteur auxiliaire d'entraînement avant la mise sous tension du moteur ;

-soit produire un couple moteur d'origine électrique. On obtient ce couple en **ajoutant au stator un enroulement auxiliaire qui doit être parcouru au démarrage par un courant déphasé d'environ 90°** par rapport au courant qui traverse l'enroulement principal du stator. Par conséquent en fonction du sens du déphasage on va renforcer le champ tournant 1 ou le champ tournant 2, donc le moteur va tourner dans le sens 1 ou le sens 2. **Ce déphasage est obtenu par insertion d'une self (déphasage arrière) ou d'un condensateur (déphasage avant) en série avec l'enroulement auxiliaire.**

**Pour inverser le sens de rotation, il suffit d'inverser le courant dans un des deux enroulements** (dans l'exemple figure 10, on l'inverse dans l'enroulement auxiliaire).

*L'enroulement auxiliaire est en général éliminé après la phase de démarrage.*

#### Remarque

La phase ou enroulement principal occupe les 2/3 des encoches du stator, et la phase auxiliaire le 1/3 restant.

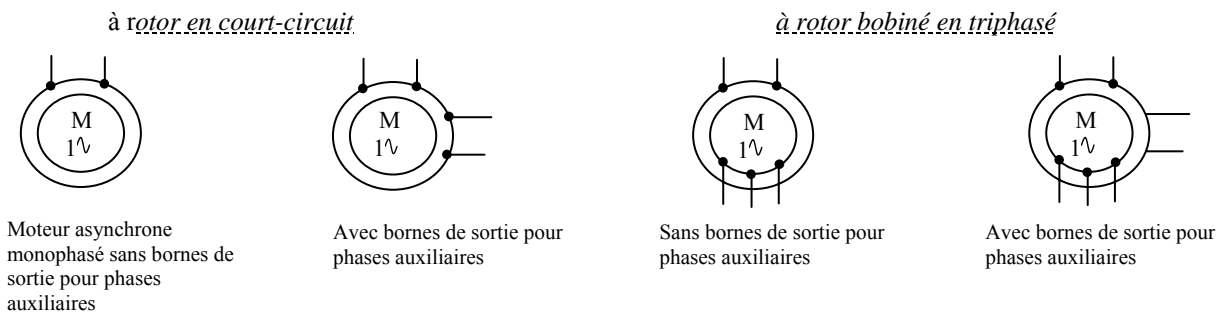


Figure 8 : représentation des moteurs asynchrones monophasés

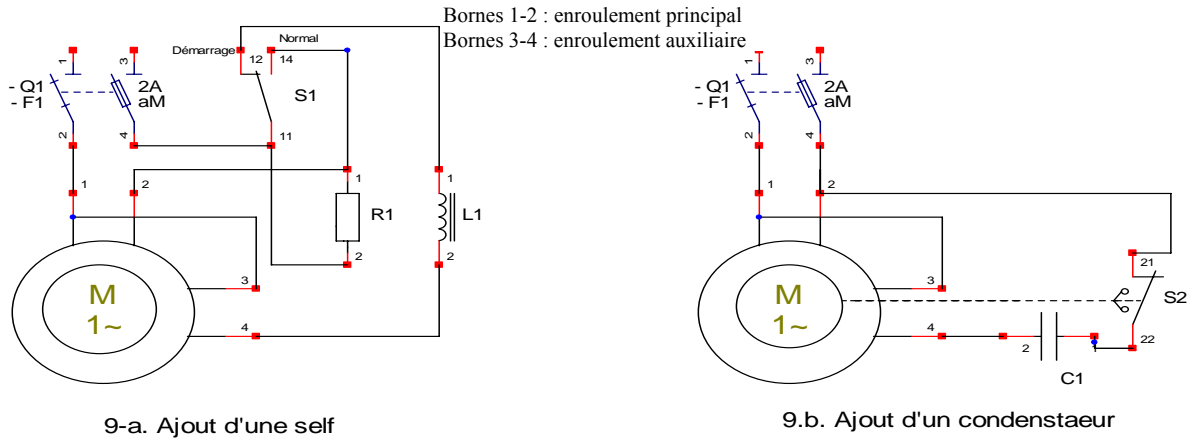


Figure 9: Démarrage d'un moteur asynchrone monophasé à rotor en cage par adjonction d'un enroulement auxiliaire

Figure a : fonctionnement manuel.

Position **Démarrage** de l'interrupteur : phase de démarrage.

- enroulement principal : est alimenté en série avec R pour limiter la tension sur cet enroulement, et donc le courant d'appel ;

- enroulement auxiliaire : est en série avec la self L.

Position **Normal** de l'interrupteur : fonctionnement normal.

- enroulement principal : la résistance R est court-circuitée, donc cet enroulement est alimenté à pleine tension,

- enroulement auxiliaire : il n'est plus alimenté.

Figure b : fonctionnement automatique

Dès la fermeture de l'interrupteur (sectionneur sur le schéma), la phase (ou enroulement) principale est mise sous tension, et la phase auxiliaire est raccordée en série avec le condensateur.

Quand le moteur atteint une vitesse déterminée, le contact à force centrifuge s'ouvre et coupe l'alimentation de l'enroulement auxiliaire.

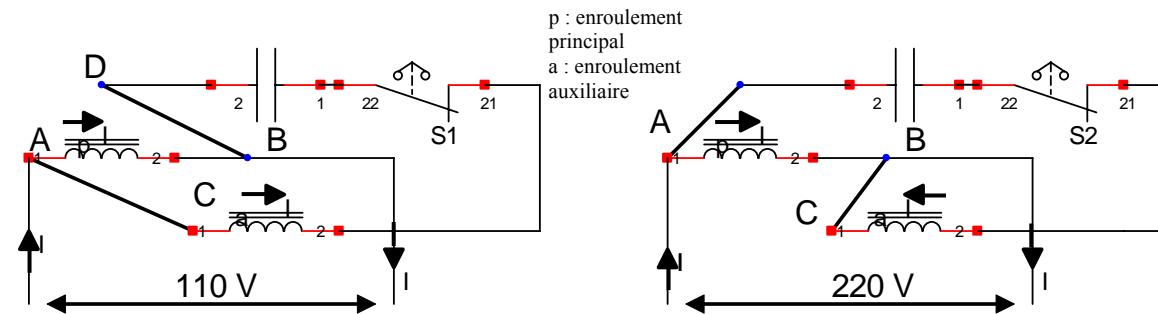


Figure 10: moteur asynchrone monophasé à rotor bobiné à deux sens de marche (changement du sens de rotation par inversion du courant dans l'enroulement auxiliaire)

### -3-Moteur à courant continu

-a- Moteur série à courant continu

On l'appelle ainsi car les enroulements induit et inducteur sont en série, d'où la représentation figure b.

Si on inverse l'alimentation, on aura inversé pour l'induit et l'inducteur en même temps, par conséquent on n'aura rien changé et le moteur tourne toujours dans le même sens. Par conséquent il faut utiliser une autre méthode (figure 12).

a. : représentation standard



b. :représentation simplifiée

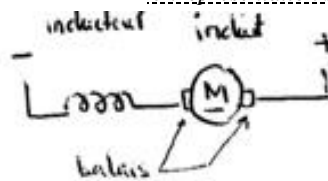
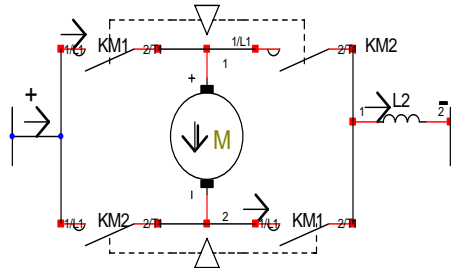


Figure 11 : Représentation d'un moteur série à courant continu

*L'induit est alimenté directement. En permutant la fermeture des contacts du contacteur KM1 ou KM2, cela permet d'inverser l'alimentation de l'induit, provoquant ainsi une inversion du sens de rotation.*

Pour éviter l'emballement du moteur, on inverse l'alimentation au niveau de l'induit au lieu de l'inducteur. En effet comme la vitesse est inversement proportionnelle au flux inducteur (cf annexe), si on coupe l'alimentation de l'inducteur pour inverser le sens de rotation, cela va entraîner un flux inducteur nul, donc une vitesse infinie, d'où un emballement du moteur.

a: câblage du contacteur KM1: marche avant



b: câblage du contacteur KM2: marche arrière

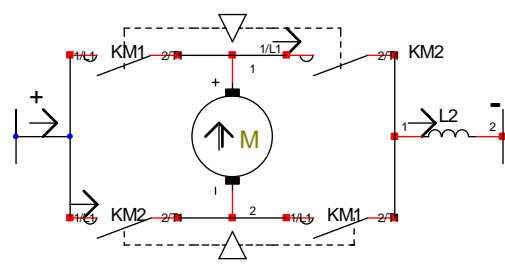


Figure 12 : changement du sens de rotation d'un moteur série à courant continu

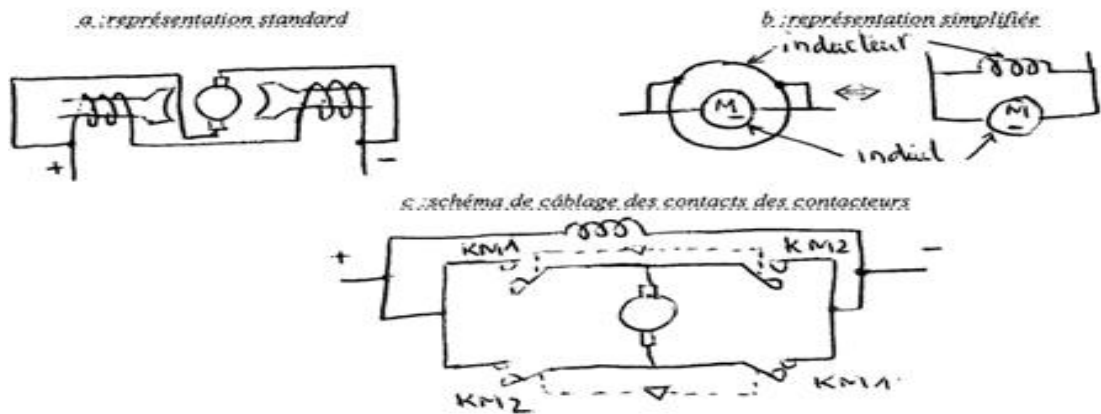
Remarque

Le moteur série à courant continu est également appelé moteur universel, car en plus du fait *qu'il est très utilisé dans les applications standards, on peut également le faire fonctionner en courant alternatif*. Cependant si on veut l'utiliser indifféremment en alternatif et en continu, il doit être à rotor et stator feuilletés.

Ce moteur possédant peu de spires au rotor, il présente donc une petite inductance. Lors de l'utilisation en alternatif, il y aura création d'étincelles en petit nombre au changement d'alternance, qui provoquent des parasites sur les installations radioélectriques (radio, tv,...). On s'en protège par l'utilisation d'un condensateur sur le circuit d'alimentation.

-b- Moteur shunt à courant continu

Pour inverser le sens du courant, on procède de la même manière que pour le moteur série.



Figures 13 : changement du sens de rotation d'un moteur shunt à courant continu

Remarque

Contrairement au moteur série, ici l'enroulement induit (rotor) a beaucoup de spires en fil très fin. Par conséquent l'inductance est élevée, ce qui engendrera la création de beaucoup d'étincelles au changement d'alternance. C'est pourquoi *le moteur shunt n'est pas utilisé dans les applications en alternatif, mais réservé au courant continu*.



-c- Moteur à aimant permanent à courant continu

Dans ce cas particulier, on alimente uniquement les balais car *il n'y a pas d'enroulement inducteur*. Ce dernier est constitué de l'aimant lui même.

Presque toutes les *applications domestiques très faible puissance* (jouets, lecteurs de cassettes...etc.) utilisent des moteurs à aimant permanent.



Figure 14: moteur à courant continu à aimant permanent

**-III- CHANGEMENT DE VITESSE D'UN MOTEUR**

**-1-Moteur triphasé**

*La vitesse est proportionnelle au rapport  $f/p$ , où  $f$  est la fréquence et  $p$  le nombre de paires de pôles.*

Si  $p$  est constant on joue alors sur la fréquence, en utilisant un variateur électronique de vitesse, et cela quelle que soit la nature du moteur.

Si on travaille à fréquence  $f$  constante, alors pour changer la vitesse on change le nombre de paires de pôles. On modifie ce nombre en jouant sur le câblage des enroulements du stator.

Un des montages les plus utilisés est le **montage Dahlander - Lindström**: il permet d'obtenir 2 vitesses qui sont *obligatoirement dans un rapport  $1/2$* .

*Chaque enroulement est partagé en 2 demi enroulements.* En travaillant sur ces demi enroulements, on obtient l'équivalent *des montages étoile et triangle*.

Considérons un moteur dont la vitesse est 3000 tpm (tours par minute).

Si on branche les 2 demi enroulements en parallèle, cela correspond au câblage en étoile. Alimentons notre enroulement en deux points : point milieu et extrémités des 2 demi enroulements. D'après la figure on observe en fonction du sens du courant que l'on va obtenir un seul pôle nord et un seul pôle sud. Par conséquent on a une seule paire de pôles. Donc le moteur va tourner à la vitesse de 3000 tpm.

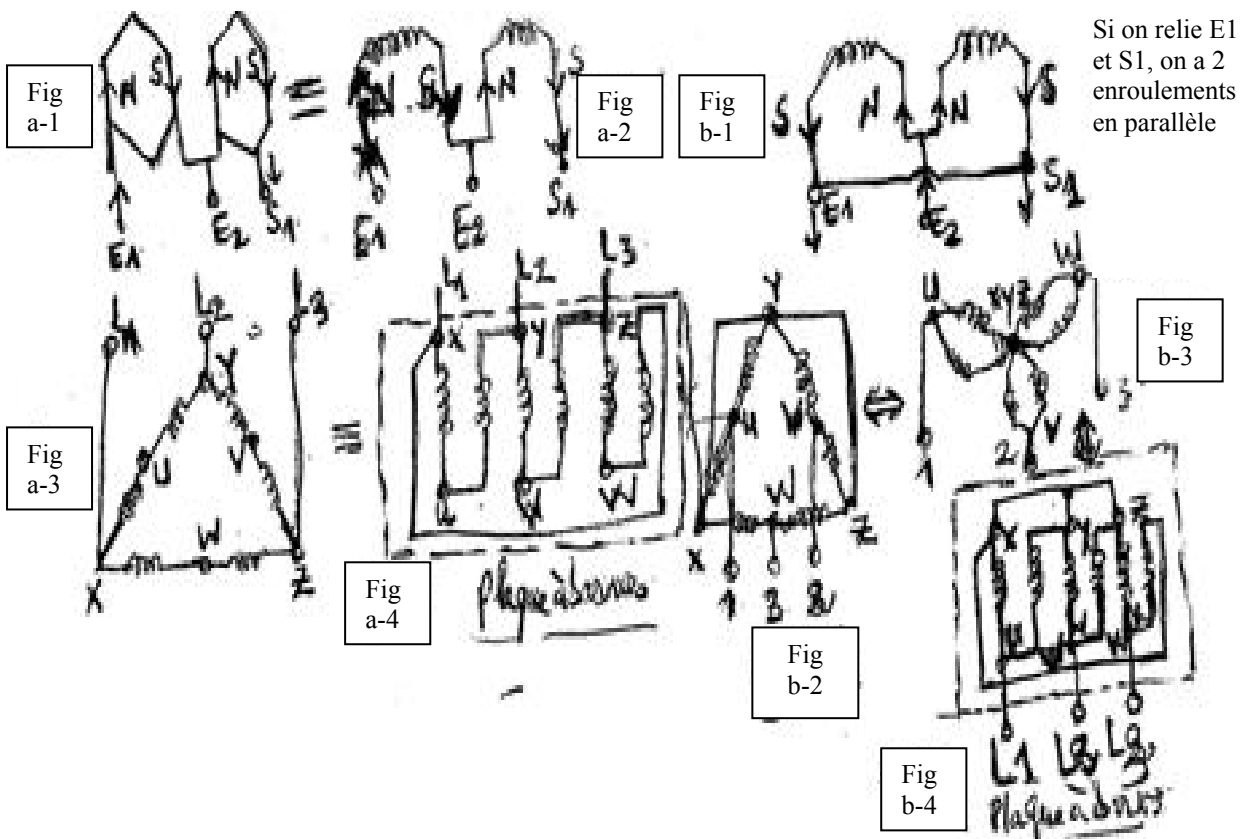
Si on branche les 2 demi enroulements en série, cela correspond au câblage en triangle. Si on alimente notre enroulement, on observe d'après le sens du courant que l'on a deux pôles sud et deux pôles nord. Nous avons donc 2 paires de pôles, et la vitesse sera divisée par 2.

Par conséquent si on effectue un branchement série, on aura la petite vitesse, et si c'est un branchement en parallèle, on obtient la grande vitesse, qui est le double de celle obtenue en câblage triangle (série).

*En standard le stator est câblé à l'intérieur en triangle pour travailler à faible vitesse. Puis par des contacteurs on revient au branchement en étoile (parallèle) pour doubler la vitesse.*

*a- Câblage en série*

*b- Câblage en parallèle*



Figures 15 : câblage de 2 demi enroulements dans le montage Dahlander-Lindström

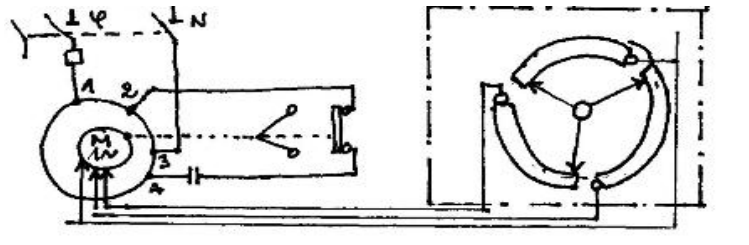
**-2-Moteur monophasé à rotor bobiné**

*On joue sur la résistance de l'induit pour faire varier la vitesse.*

*Le rotor est bobiné en triphasé, mais les nombres de paires de pôles créés par les deux enroulements (rotor et stator) doivent être identiques.*

*On peut régler la vitesse par insertion de résistances rotoriques.*

*Il est utilisé pour les faibles puissances. Ses applications les plus courantes sont : usage domestique, artisanat, compresseurs frigorifiques.*



Bornes 1-2 : enroulement principal  
Bornes 3-4 : enroulement auxiliaire

Rhéostat constituant les résistances rotoriques

Quand  $R_{\text{induit}} \rightarrow$  vitesse  $\nearrow$   
Si on court circuite le rhéostat, on obtient la vitesse maximale.  
(Pour le moteur à courant continu, on joue sur l'inducteur : quand  $R_{\text{inducteur}} \nearrow$  vitesse  $\nearrow$ )

Figure 16 : moteur asynchrone monophasé à rotor bobiné en triphasé (à une vitesse déterminée, le contact centrifuge s'ouvre et la phase auxiliaire est éliminée)

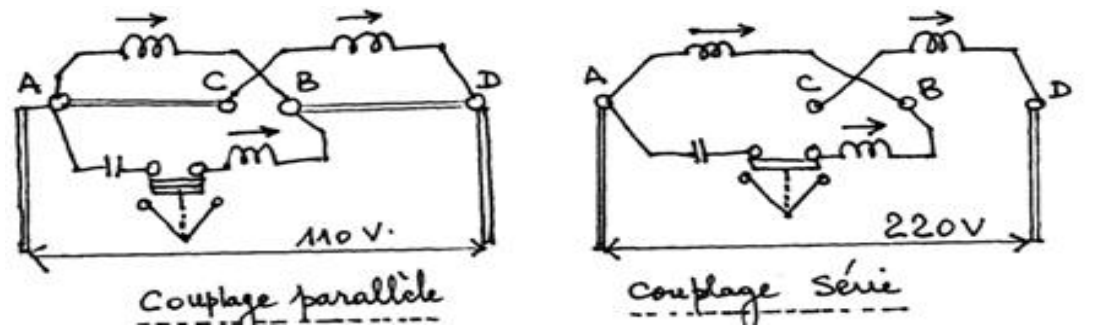


Figure 17 : moteur asynchrone monophasé à rotor bobiné fonctionnant sous deux tensions (la phase principale (stator) est constituée de deux bobines identiques, chacune supportant 110V, et la phase auxiliaire peut supporter 110V)

**-3-Moteur monophasé à rotor en cage d'écureuil**

*Cas particulier de la machine à laver*

Ce moteur peut être considéré comme plusieurs moteurs à la fois dans le même stator. On a en réalité un seul rotor et un seul stator qui a plusieurs encoches. Donc plusieurs pôles avec différents enroulements. Par conséquent c'est comme si on avait plusieurs stators en un seul, avec un seul rotor.

En fonction de la manière dont est enroulé le bobinage, on a donc un « nouveau stator » et par conséquent un nouveau moteur avec une autre vitesse.

Dans ce cas le rapport de vitesse n'est pas forcément égal à deux. Il peut être de 3, 4 ou 5.

**-4-Moteur monophasé à collecteurs**

Il présente un couple moteur au démarrage plus élevé par rapport aux autres moteurs monophasés. De plus il offre la possibilité de réglage de la vitesse dans de larges limites.



Figure 18 : représentation des moteurs à collecteurs

Il existe trois types de moteurs monophasés à collecteurs :

-a- Moteur série universel

- **Il est destiné aux appareils électroménagers.**

- Il peut aussi démarrer directement car son inductance est très élevée.

- Le rhéostat permet de régler la vitesse.

- Le facteur de puissance est faible.

- Il présente une mauvaise commutation sous les balais qui engendre de nombreux parasites en radio.

-b- Moteur série compensé

- **Pour améliorer la commutation**, on rajoute un enroulement compensateur dont le flux s'oppose à celui de l'induit.

- Il a un bon fonctionnement aux faibles fréquences (16 à 25 HZ).

- **Ses propriétés se rapprochent de celles du moteur série à courant continu.**

-c- Moteur à répulsion

Le rotor induit est mis en court circuit par une liaison directe entre balais. **L'inducteur peut être alimenté sous n'importe quelle tension alternative.**

Les balais sont décalés de 0 à 90° (à gauche ou à droite) de la ligne neutre. Le moteur tourne en sens inverse de ce décalage, et la vitesse augmente avec ce décalage. (Au démarrage, les balais doivent être sur la ligne neutre ?).

Il est utilisé dans les laboratoires et ateliers : **bancs d'essais de petites génératrices, électrobobineuse,...**

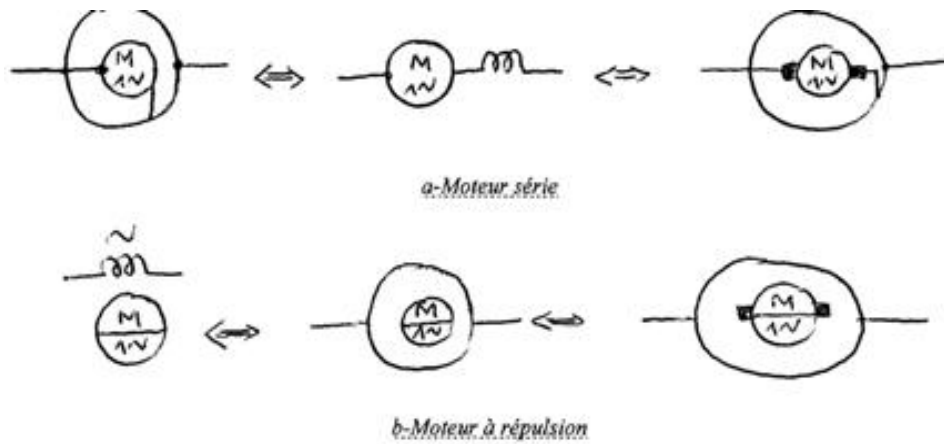


Figure 19 : représentation des moteurs monophasés à collecteur série et à répulsion

**-5-Moteur à courant continu**

**Contrairement au moteur monophasé à rotor bobiné, ici on joue sur la résistance de l'inducteur pour faire varier la vitesse.**

-a- Utilisation en faible puissance

C'est le cas des utilisations domestiques où on emploie principalement un moteur série à courant continu.

Cas du séchoir

Les résistances chauffantes sont branchées en parallèle sur l'enroulement inducteur. A l'aide d'un interrupteur 2 ou 3 positions, on choisit la puissance de chauffe, en mettant en service une ou plusieurs de ces résistances. **On joue donc sur la valeur de la résistance, et par conséquent sur celle du courant de l'inducteur.** Comme la vitesse du rotor est inversement proportionnelle au courant qui traverse l'inducteur, on en déduit que si le courant diminue, la vitesse augmente.

**Quand Rinducteur augmente → la vitesse augmente**

Cas du robot ménager

C'est exactement le même principe que celui du séchoir. La seule différence c'est qu'on dispose d'un potentiomètre qui permet de régler la vitesse, en jouant sur la valeur de la résistance.

-b- Utilisation en moyenne puissance

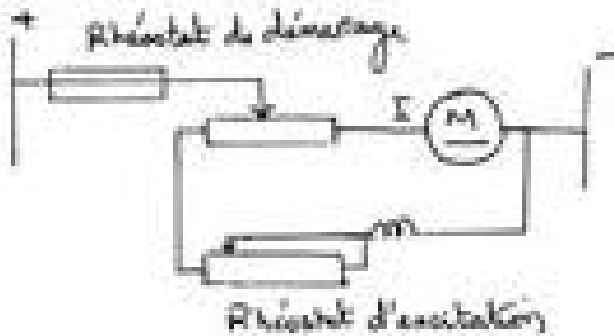
On applique le même principe que pour les faibles puissances : faire varier le courant de l'inducteur pour faire varier la vitesse. On utilise pour cela un rhéostat pour faire varier la résistance de l'inducteur.

-b-1-Moteur shunt

Comme la résistance de l'enroulement est faible, on aura un trop fort appel de courant au démarrage, qui risque de « griller » l'induit. Pour limiter ce courant  $I_d$  trop élevé, on utilise un rhéostat de démarrage. En supprimant progressivement le rhéostat, on augmente progressivement la tension de l'induit jusqu'à la valeur nominale  $U_n$ .

Quant à l'inducteur, on peut l'alimenter sans problème à pleine tension dès le démarrage.

**Pour faire varier le courant et donc la vitesse, on rajoute un deuxième rhéostat (dit de champ ou d'excitation) en série avec l'enroulement inducteur.**

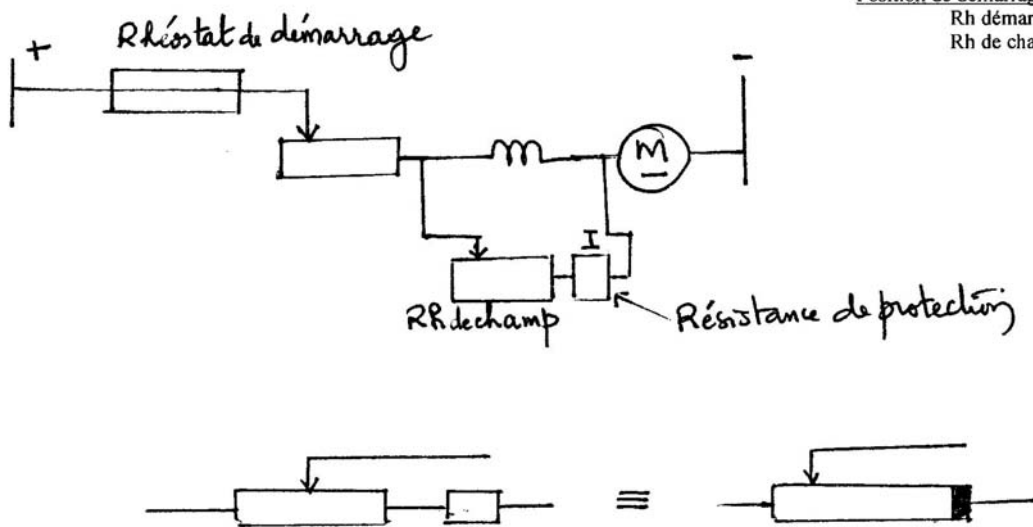


Position de démarrage :  
 $R_h \text{ démarrage} = \max$   
 $R_h \text{ excitation} = 0$

Cette liaison évite toute coupure par mauvais contact

Figure 20 : changement de vitesse pour un moteur shunt à courant continu

-b-2-Moteur série



Position de démarrage :  
 $R_h \text{ démarrage} = \max$   
 $R_h \text{ de champ} = \max$

Figure 21 : changement de vitesse pour un moteur série à courant continu

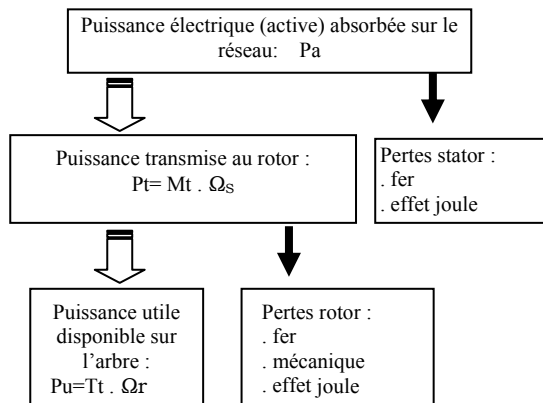
**ANNEXES**

**1- RAPPEL DES FORMULES APPLIQUEES AUX MOTEURS A COURANT CONTINU**

-1- $E' = K n \Phi$	$E'$ : force contre électromotrice produite
-2- $I = (U - E')/R_a$	$\Phi$ : flux inducteur par pôle
-3- $n = (U - R_a I) / K \Phi$	$K$ : constante dépendant du moteur
-4- $M = K \Phi I$ $= P_u / \omega = P_u(w)/1,03n$	$n$ : vitesse de rotation du moteur en tr/mn (tours par minute)
-5- $P_u = M \omega$ $P_u(w) = 1,03 \cdot M \cdot n$ $Kg.m.tr/mn$	$I$ : courant absorbé par l'induit
	$U$ : tension continue du réseau aux bornes du moteur
	$R_a$ : résistance de l'induit
	$M$ : moment du couple moteur de l'induit, (exprimé en kg.m)
	$P_u$ : puissance utile du moteur en w (watt)
	$\omega$ : vitesse angulaire en rd/s (radians par secondes)

**2- RAPPEL SUR LE BILAN DES PUISSANCES EN ALTERNATIF**

• **Bilan des puissances**



Couple transmis au rotor:  $T_t = P_u / \Omega_r$

Rendement industriel :  $\eta = P_u / P_a$

Rendement du rotor :  $\eta_r = 1 - g$

La **puissance nominale**  $P_n$  portée sur la plaque signalétique du moteur correspond à la puissance utile  $P_u$

- **Puissance apparente** :  $S = \sqrt{P_a^2 + Q^2}$  (absorbée du réseau)

avec :

$S$  puissance apparente en voltampères

$P_a$  puissance active en watts

$Q$  puissance réactive en vars

$\cos\phi = P_a / S$  : facteur de puissance du circuit

- **Vitesse du champ tournant ou vitesse de synchronisme:**

$$\Omega_s = w = 2\pi f / n_s$$

$$n_s = f/p$$

avec :  $\Omega_s$  et  $w$  : vitesse angulaire en rad/s

- **Vitesse rotorique, glissement**

Le rotor tourne à une vitesse  $\Omega_r$  inférieure à la vitesse de synchronisme  $\Omega_s$ .

La différence  $\Omega_s - \Omega_r$  est dite *vitesse de glissement*, et le glissement  $g$  est défini par:

- **Puissance active**

- En continu :  $P_a = UI$

- En monophasé :  $P_a = UI \cos\phi$

- En triphasé :  $P_a = UI \sqrt{3} \cos\phi$

avec :

$P_a$  puissance active en watts

$U$  tension en volt (entre phases en triphasé)

$I$  intensité du courant en ampères

$\cos\phi$  facteur de puissance du circuit

- **Puissance réactive**

- En monophasé :  $Q = UI \sin\phi$

- En triphasé :  $Q = UI \sqrt{3} \sin\phi$

avec :

$Q$  puissance réactive en vars

$U$  tension en volt (entre phases en triphasé)

$I$  intensité du courant en ampères

$\cos\phi$  facteur de puissance du circuit

- **Puissance utile** :  $P_u = P_a \cdot \eta$

avec :

$P_u$  puissance utile disponible sur l'arbre du moteur (= puissance nominale  $P_n$ ), exprimée en Watt (machine asynchrone)

ou en Volt Ampère (moteur synchrone)

$P_a$  puissance active absorbée sur le réseau

$\eta$  rendement du moteur

$n_s$  : vitesse en tr/s

$p$  : nombre de paires de pôles du moteur

$f$  : fréquence du réseau en Hz

$$g = (\Omega_s - \Omega_r) / \Omega_s = 1 - \Omega_r / \Omega_s = 1 - n_r / n_s$$

### **-3- APPAREILS MIS EN ŒUVRE DANS UN EQUIPEMENT DE DEMARRAGE**

Tout système de démarrage se doit de limiter l'intensité absorbée par le moteur, tout en maintenant les performances mécaniques conformes au cahier de charges, de l'ensemble « moteur - machine entraînée ».

Le démarrage du moteur peut être direct, par paliers, progressif, variable suivant une loi de vitesse.

Les deux premières solutions font appel à une technologie électromécanique, la dernière à la technologie électronique. Dans tous les cas l'équipement du circuit terminal moteur (dit « circuit de démarrage »), est une association d'appareils qui satisfait les quatre fonctions principales suivantes:

- *Sectionnement* : pour isoler cette partie par rapport au circuit amont et permettre les interventions de maintenance en toute sécurité.
- *Protection contre les courts-circuits* : avec une détection suivie d'une coupure rapide pour éviter la détérioration de l'installation.
- *Commutation* : dont la commande peut être manuelle, semi-automatique ou automatique.
- *Protection contre les surcharges* : avec une détection et une coupure qui doivent éviter que toute élévation intempestive de la température du moteur n'entraîne la détérioration de ses isolants.

FONCTIONS	SOLUTIONS FONCTIONNELLES	DESIGNATION DES APPAREILS					
		SECTION-NEUR	FUSIBLE	DISJONCTEUR	RELAIS THERMIQUE	CONTACTEUR	VARIATEUR ELECTRONIQUE
SECTIONNEMENT	* par pôles spécifiques * avec les pôles de puissance	●		●			
PROTECTION CONTRE LES COURTS-CIRCUITS	* par fusibles * par déclencheur magnétique		●	●			
COMMUTATION	* à commande manuelle * à commande automatique * à commande électronique			●		●	●
PROTECTION CONTRE LES SURCHARGES	Par déclencheur thermique				●		

### **-4- ASSOCIATIONS D'EQUIPEMENTS DE DEMARRAGE**

Les associations d'équipements de démarrage les plus utilisées pour alimenter des moteurs triphasés sont au nombre de trois.

#### **-a- Association sectionneur à fusibles + contacteur + relais thermique**

C'est le schéma classique de commande des machines asynchrones (cf. figure 6.19 volume 3).

Quand on ouvre le sectionneur, la mise à l'arrêt du circuit de puissance est effectuée par le circuit de commande, à cause de l'ouverture préalable des contacts de pré coupure insérés dans le circuit de commande avant les contacts principaux du circuit de puissance (cf. paragraphe I-3 volume 3).

Il en est de même en cas de surintensité, qui provoque d'abord l'ouverture du circuit de commande (grâce aux contacts auxiliaires du relais thermique).

**-b- Association disjoncteur-moteur + contacteur**

Un seul appareil assure le sectionnement (disjoncteur), la protection contre les courts-circuits (déclencheur magnétique), et la protection contre les surcharges (déclencheur thermique réglable) : c'est le disjoncteur-moteur magnéto-thermique.

Avec cette association, la surintensité provoque directement l'ouverture du circuit de puissance, contrairement au cas précédent où l'ouverture (et donc l'arrêt) du circuit de puissance suite à une surintensité se fait *indirectement* via le circuit de commande et le contacteur.

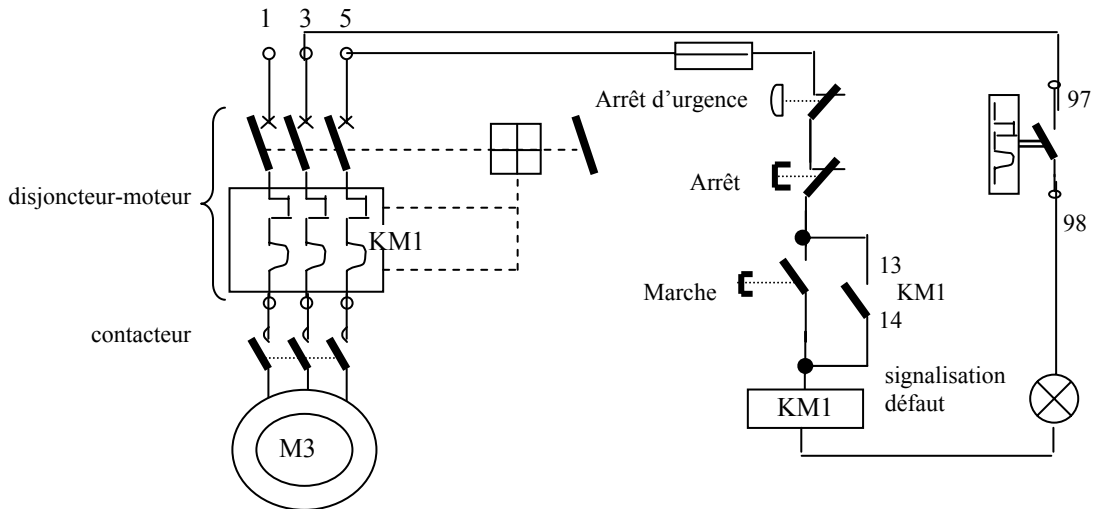


Figure 22- Commande d'un moteur asynchrone par disjoncteur-moteur + contacteur

**-c- Sectionneur-contacteur-disjoncteur intégral**

Ce appareil unique entre le réseau et le moteur (cf. figure 23) assure les 3 fonctions de sectionnement, protection et commutation.

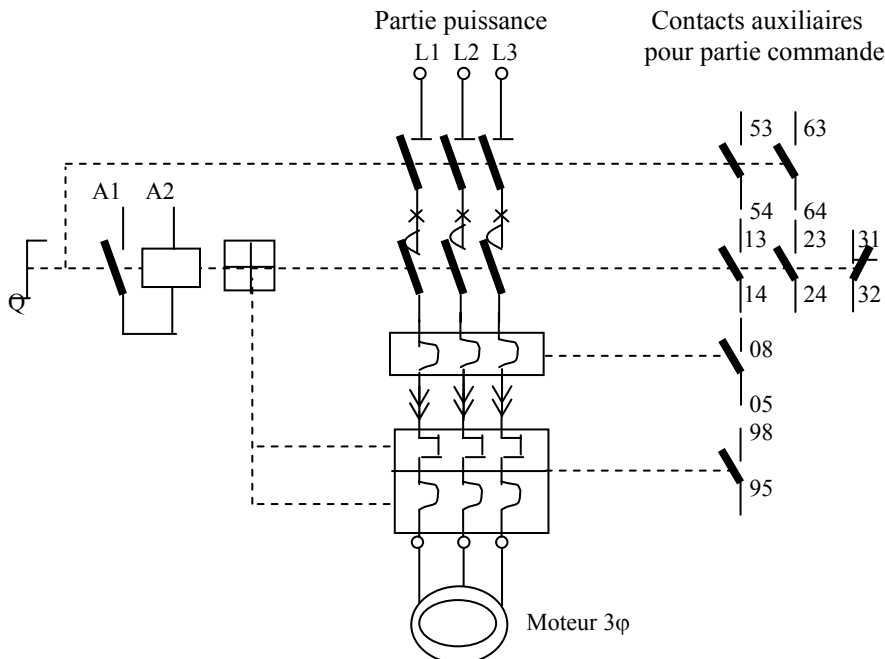


Figure 23 - Schéma de principe du disjoncteur différentiel intégral



**5- COMPARAISON DES DIFFERENTS PROCEDES DE DEMARRAGE DES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES**

	MOTEURS À ROTOR À CAGE				MOTEURS À ROTOR BOBINE
	DÉMARRAGE DIRECT	DÉMARRAGE ÉTOILE-TRIANGLE	DÉMARRAGE STATORIQUE	DÉMARRAGE PAR AUTO-TRANSFORMATEUR	DÉMARRAGE ROTORIQUE
<b>COUPLE DE DÉMARRAGE</b>	Imposé par le moteur $T_D$	Imposé par le moteur $T'_D = \frac{1}{3} \times T_D$	Suivant demande de l'utilisateur $T'_D < T_D$	Suivant demande de l'utilisateur $T'_D < T_D$	Suivant demande de l'utilisateur $T'_D < T_{Max}$
<b>INTENSITÉ DE DÉMARRAGE</b>	Imposé par le moteur $I_D$	Imposé par le moteur $\frac{1}{3} \times I_D$	Suivant le couple demandé $I_D \times \frac{T'_D}{T_D}$	Suivant le couple demandé $I_D \times \frac{T'_D}{T_D}$	Suivant le couple demandé $1,2 I_n \times \frac{T_D}{T_n}$
<b>DURÉE DU DÉMARRAGE (valeur typique)</b>	2 à 3 s.	3 à 7 s.	7 à 12 s.	7 à 12 s.	3 temps : 2,5 s, 4 et 5 temps: 5s.
<b>AVANTAGES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Appareillage simple.</li> <li>- Bon marché</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relativement économique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Démarrage progressif.</li> <li>- Pas de courants transitoires pendant le démarrage.</li> <li>- Choix du couple en fonction de la machine entraînée.</li> <li>- Couple moteur croissant pendant le démarrage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Démarrage progressif.</li> <li>- Choix du couple en fonction de la machine entraînée.</li> <li>- Prix intéressant pour les puissances &gt; 75 kW.</li> <li>- Appel de courant réduit.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pour un couple donné la pointe de courant est nettement plus faible que dans les autres types de démarrage.</li> <li>- Démarrage progressif.</li> <li>- Prix intéressant pour les puissances &gt; 75 kW.</li> </ul>
<b>INCONVÉNIENTS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Démarrage brutal.</li> <li>- Pointe de courant élevée au démarrage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limité aux démarrages à vide ou sous faible charge.</li> <li>- Courants transitoires importants au moment du passage d'étoile en triangle.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- À couple égal, appel de courant plus élevé qu'avec les démarrages étoile-triangle et par autotransformateur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prix élevé pour les puissances &lt; 35 kW.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prix élevé du moteur.</li> <li>- Entretien des balais et des bagues.</li> </ul>
<b>EMPLOI PRÉCONISÉ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Petites machines.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Machine démarant à vide.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Machine à forte inertie ne présentant pas de problème de couple.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Machine de forte puissance ou à forte inertie nécessitant une réduction impérative de l'appel de courant au démarrage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Machines démarant en charge ou en démarrage progressif.</li> </ul>

$T_D$  : couple de démarrage sous tension réduite.



**7- CATEGORIES OU CLASSES D'EMPLOI**

a- En courant alternatif

\*Classe AC1: charges non inductives ou faiblement inductives:  $\cos \varphi \geq 0.95$  et  $I_d=1.5I_n$  (cas des fours à résistances par exemple). Elle concerne l'utilisation domestique du contacteur.

\*Classe AC2: moteurs à bagues ayant un mode de marche par à coups. Régit également le démarrage et le freinage en contre-courant.

$\cos \varphi = 0.65$  et le courant de démarrage égal 2.5 à 4 fois  $I_n$ .

\*Classe AC3: moteurs à cage dont la coupure s'effectue moteur lancé. C'est la catégorie d'utilisation la plus courante du moteur asynchrone.  $\cos \varphi = 0.35$  à  $0.65$  et  $I_d = 5$  à  $7$  fois  $I_n$ .

\*Classe AC4: moteur à cage ayant un mode de marche par à coups, démarrage et arrêts fréquents, freinage en contre-courant, inversion du sens de marche.  $\cos \varphi = 0.35$  à  $0.65$  et  $I_d = 5$  à  $7$  fois  $I_n$ .

b-En courant continu

\*Classe DC1: fonctionnement dans les mêmes conditions que AC1.  $\tau = L/R \leq 1$  ms.

\*Classe DC2: moteur shunt, démarrage et coupure moteur lancé.  $I_d = 2.5 I_n$ .  $\tau = 7.5$  ms

\*Classe DC3:moteur shunt, démarrage et marche par à coups, freinage en contre-courant (amortissement par inversion du sens du courant).  $I_d = 2.5 I_n$ .  $\tau \leq 2$  ms.

\*Classe DC4: moteur série, même utilisation que DC2.  $I_d = 2.5 I_n$ .  $\tau \leq 10$  ms.

\*Classe DC5: moteur série, même utilisation que DC3.  $I_d = 2.5 I_n$ .  $\tau \leq 7.5$  ms.

Caractéristiques principales des contacteurs série D (doc. Telemecanique)

CONTACTEURS (alimentation du circuit de commande en courant alternatif)			LC1 D09	LC1 D12	LC1 D18	LC1 D25	LC1 D32	LC1 D40	LC1 D50	LC1 D65	LC1 D80	LC1 D95	
<b>Nombre de Pôles</b>			3	3-4	3	3-4	3	3-4	3	3-4	3-4	3	
<b>Courant assigné d'emploi (Ie)</b> (U≤440 v)	En AC-3, $\theta \leq 55^\circ\text{c}$	<b>A</b>	9	12	18	25	32	40	50	65	80	95	
	En AC-1, $\theta \leq 40^\circ\text{c}$	<b>A</b>	25	25	32	40	50	60	80	80	125	125	
<b>Pouvoir assigné de fermeture</b>			<b>A</b>	250	250	300	450	550	800	900	100 0	110 0	120 0
<b>Pouvoir assigné de coupure</b>	220-380-415-440 v	<b>A</b>	250	250	300	450	550	800	900	1000	1100	1100	
	500 v	<b>A</b>	175	175	250	400	450	800	900	1000	1000	1100	
	660-690 v	<b>A</b>	85	85	120	180	180	400	500	630	640	640	
<b>Courant temporaire admissible</b>  Si le courant était au préalable nul depuis 15 min  avec $\theta \leq 40^\circ\text{c}$	Pendant 1s	<b>A</b>	210	210	240	380	430	720	810	900	990	990	
	Pendant 5s	<b>A</b>	130	130	185	290	340	420	520	660	800	800	
	Pendant 10s	<b>A</b>	105	105	145	240	260	320	400	520	640	640	
	Pendant 30s	<b>A</b>	76	76	105	155	175	215	275	340	420	420	
	Pendant 1 min	<b>A</b>	61	61	84	120	138	165	208	260	320	320	
	Pendant 3 min	<b>A</b>	44	44	58	80	92	110	145	175	210	210	
	Pendant 10 min	<b>A</b>	30	30	40	50	60	72	84	110	135	135	
<b>Protection par fusibles</b> contre les courts- circuits U ≤440v	Circuit moteur (aM)	<b>A</b>	12	16	20	40	40	40	63	80	80	100	
	Avec relais thermique (gG)	<b>A</b>	20	25	35	63	80	100	100	100	125	160	
	Sans moteur (gG)	<b>A</b>	25	25	32	40	50	60	80	80	125	125	

## **8- GUIDE DE CHOIX DES CONTACTEURS (Série D)**

### **EN FONCTION DE LA CATEGORIE D'EMPLOI (doc. Telemecanique)**

#### **EMPLOI EN CATEGORIE AC-1**

CONTACTEURS		LC1 D09	LC1 D12	LC1 D18	LC1 D25	LC1 D32	LC1 D40	LC1 D50	LC1 D65	LC1 D80	LC1 D95	
<b>Courant d'emploi maximal</b> suivant IEC 947-1 (pour une fréquence de 600 cycles de manœuvres par heure)												
Avec section de câble		mm <sup>2</sup>	4	4	6	6	10	16	25	25	50	50
Courant d'emploi suivant la température Ambiante	≤40°C	A	25	25	32	32	50	60	80	80	125	125
	≤55°C	A	20	20	26	26	44	55	70	70	100	100
	≤70°C	A	17	17	22	22	35	42	56	56	80	80
<b>Augmentation du courant d'emploi par mise en parallèle des pôles</b>												
Appliquer alors aux courants ci-dessus les coefficients suivants qui tiennent compte d'un partage souvent inégal du courant entre les pôles :												
2 pôles en parallèle : $k = 1,6$ 3 pôles en parallèle : $k = 2,25$ 4 pôles en parallèle : $k = 2,8$												

#### **EMPLOI EN CATEGORIE AC-3**

CONTACTEURS		LC1 D09	LC1 D12	LC1 D18	LC1 D25	LC1 D32	LC1 D40	LC1 D50	LC1 D65	LC1 D80	LC1 D95	
<b>Courant et puissance d'emploi</b> (température ambiante ≤55°C)												
Courant d'emploi maximal	≤440 v	A	9	12	18	25	32	40	50	65	80	95
Puissance nominale d'emploi P (puissances normalisées des moteurs)	220/230 v	kW	2,2	3	4	5,5	7,5	11	15	18,5	22	25
	240 v	kW	2,2	3	4	5,5	7,5	11	15	18,5	22	25
	380/400 v	kW	2,2	3	4	5,5	7,5	11	15	18,5	22	25
	415 v	kW	4	5,5	7,5	11	15	18,5	22	30	37	45
	440 v	kW	4	5,5	9	11	15	22	25	37	45	45
	500 v	kW	4	5,5	9	11	15	22	30	37	45	45
	660/690 v	kW	5,5	7,5	10	15	18,5	30	33	37	45	45
<b>Fréquence maximale de cycle de manœuvres</b> (en fonction de la puissance d'emploi et du facteur de marche) ( $\theta \leq 55^\circ\text{C}$ )												
Facteur de marche	Puissance d'emploi	LC1 D09	LC1 D12	LC1 D18	LC1 D25	LC1 D32	LC1 D40	LC1 D50	LC1 D65	LC1 D80	LC1 D95	
≤ 85 %	P	1200	1200	1200	1200	1000	1000	1000	1000	750	750	
≤ 85 %	0,5 P	3000	3000	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2000	2000	
≤ 25 %	P	1800	1800	1800	1800	1200	1200	1200	1200	1200	1200	

#### **EMPLOI EN CATEGORIE AC-2 et AC-4 (Ue ≤ 690 v)**

		LC1 D09	LC1 D12	LC1 D18	LC1 D25	LC1 D32	LC1 D40	LC1 D50	LC1 D65	LC1 D80	LC1 D95	
<b>Courant coupé maximal</b> (en fonction de la fréquence maximale de cycles de manœuvres et du facteur de marche) ( $\theta \leq 55^\circ\text{C}$ )												
De (150 et 15%) à (300 et 10%)		A	30	40	45	75	80	110	140	160	200	200
De (150 et 20%) à (600 et 10%)		A	27	36	40	67	70	96	120	148	170	170
De (150 et 30%) à (1200 et 10%)		A	24	30	35	56	60	80	100	132	145	145
De (150 et 55%) à (2400 et 10%)		A	19	24	30	45	50	62	80	110	120	120
De (150 et 85%) à (3600 et 10%)		A	16	21	25	40	45	53	70	90	100	100
* Ne pas dépasser la fréquence maximale de cycles de manœuvres mécaniques.												
* Pour les températures supérieures à 55°C, utiliser dans les tableaux de choix, une valeur de la fréquence maximale de cycles de manœuvres égale à 80% de la valeur réelle.												