

### III-1 introduction :

De nos jours, les moteurs font partie de tous les processus de production. Pour cette raison, l'utilisation optimale de votre application devient de plus en plus importante en vue de garantir une exploitation rentable.

Comme les moteurs à bague ont un enroulement rotorique raccordé sur des bagues, la résistance de ce circuit peut être modifiée par l'introduction de résistances extérieures. En conséquence, le choix de la résistance rotorique de départ permet de résoudre pratiquement tous les problèmes de couple important au démarrage ou d'appel de courant sur le réseau et de concilier ces deux impératifs. Les différentes possibilités d'utilisation des moteurs asynchrones à rotor bobiné les rendent aptes à l'entraînement des machines à fort couple de démarrage

### III-2 Moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné à bagues :

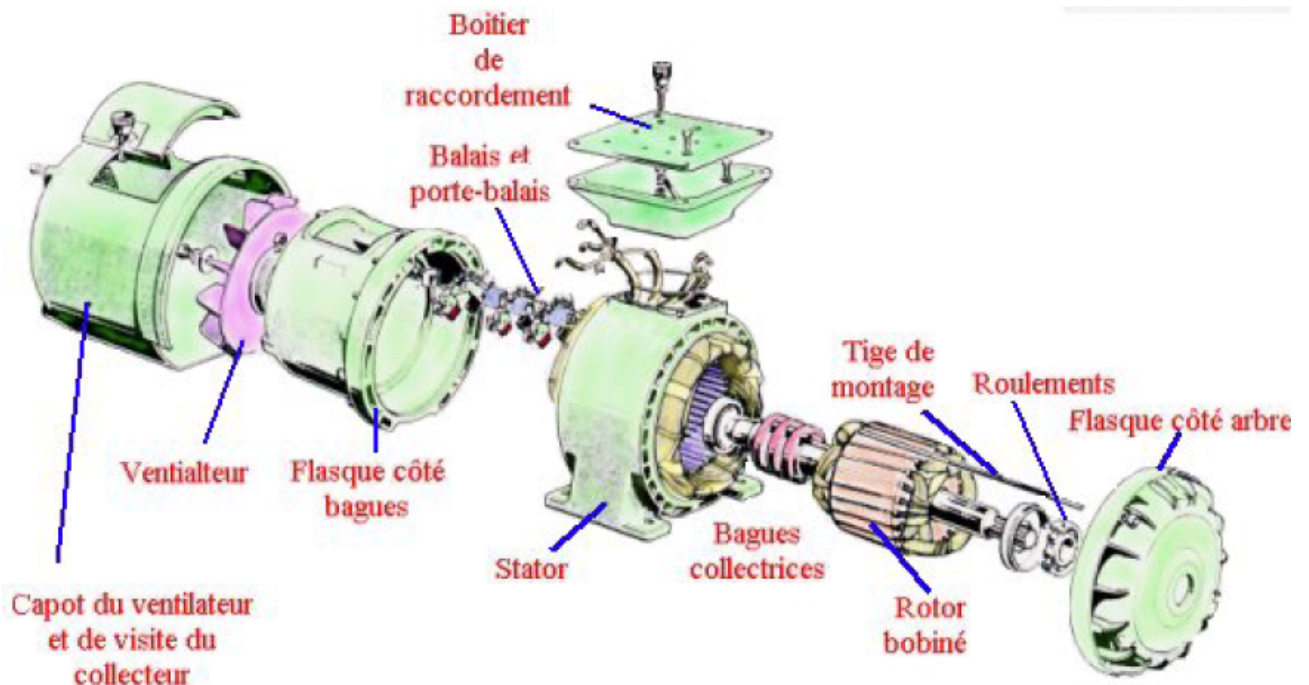


Figure III -1 : moteur asynchrone à bague

### - Fonctionnement, Constitution :

Dans des encoches pratiquées sur les tôles constituant le rotor, sont logés des enroulements identiques à ceux du stator. Généralement le rotor est triphasé. Une extrémité de chacun des enroulements est reliée à un point commun (couplage étoile). Les extrémités libres peuvent être raccordées sur un coupleur centrifuge ou sur trois bagues en cuivre isolées et solidaires du rotor.

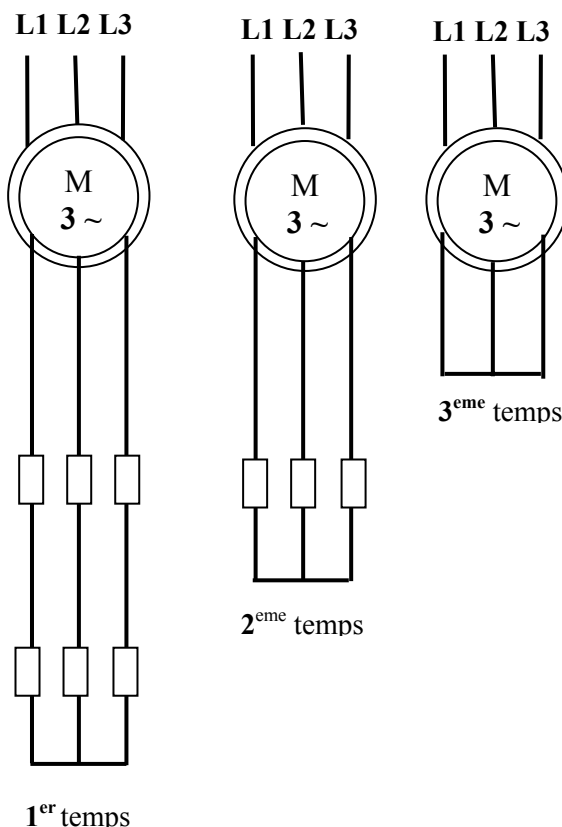
Sur les bagues viennent frotter des balais en graphite raccordés au dispositif de démarrage. En fonction de la valeur des résistances insérées dans le circuit rotorique, ce type de moteur peut développer un couple de démarrage s'élevant jusqu'à **2,5** fois le couple nominal ; la pointe d'intensité au démarrage est seulement égale à celle du couple.

Le stator est identique à celui d'un moteur à rotor à cage, donc toutes les explications relatives au champ tournant restent valables. [8]

### III-3 Démarrage des moteurs à bagues :

#### III-3-1 Démarrage rotorique à résistances :

Un moteur à bagues ne peut démarrer en un temps, enroulements rotoriques court-circuités, sans provoquer des points de couple et de courant inadmissibles. Il est nécessaire tout en alimentant le stator sous la pleine tension du réseau, d'insérer dans le circuit rotorique un ensemble de résistances qui seront ensuite court-circuitées progressivement.



Le calcul de la résistance insérée dans chaque phase permet de déterminer de façon rigoureuse la courbe couple vitesse obtenue : pour un couple donné la vitesse est d'autant plus basse que la résistance est élevée. Il en résulte que celle-ci doit être insérée en totalité au moment du démarrage et que la pleine vitesse est atteinte lorsqu'elle est entièrement court-circuitée. [1]

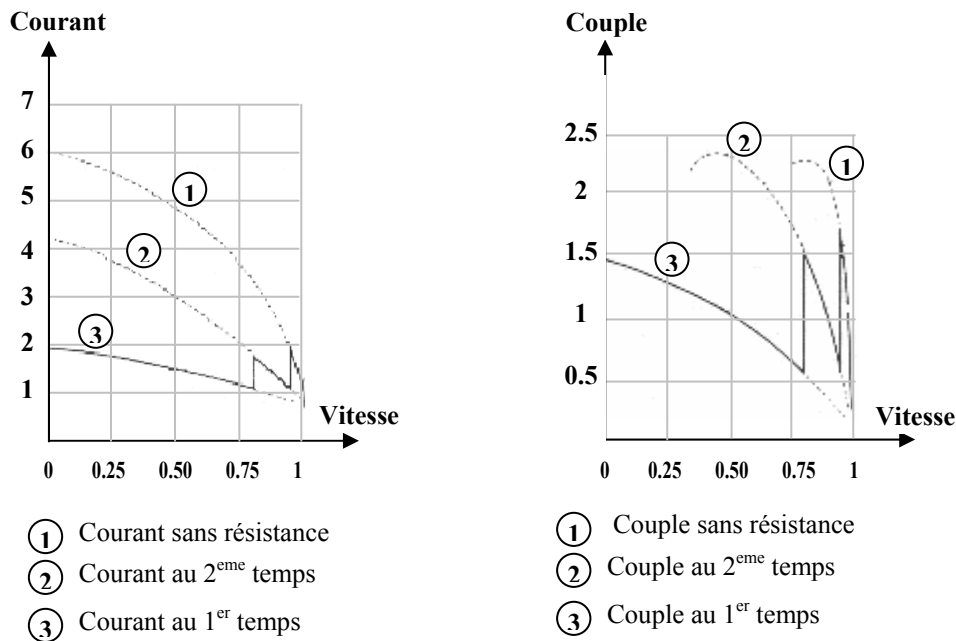


Figure III -2 : caractéristiques couple/courant en fonction de la vitesse

Le courant absorbé est sensiblement proportionnel au couple fourni ou, du moins, n'est que peu supérieur à cette valeur théorique. Par exemple pour un couple initial de démarrage égale à  $2 \text{ Cn}$ , la pointe de courant sera d'environ  $2 \text{ In}$ . Cette pointe est donc considérablement plus faible et le couple maximal de démarrage plus élevé qu'avec un moteur à cage pour lequel les valeurs typiques sont de l'ordre de  $6 \text{ In}$  pour  $1.5 \text{ Cn}$ . Le moteur à bagues, avec un démarrage rotorique. S'impose donc dans tous les cas où les pointes de courant doivent être minimales et pour toutes les machines démarrant à pleine charge.

Par ailleurs, ce type de démarrage est extrêmement souple, car il est facile d'ajuster le nombre et l'allure des courbes représentant les temps successifs aux impératifs mécaniques ou électriques (couple résistant. valeur de l'accélération, pointe maximale de courant. etc...). [1]

### III-3-2 Calcul du rhéostat de démarrage :

Comparer au moteur à cage, le moteur à bagues a l'avantage de permettre le réglage de la résistance des enroulements rotoriques, au cours de démarrage du moteur, à l'aide d'un rhéostat figure (III -3)

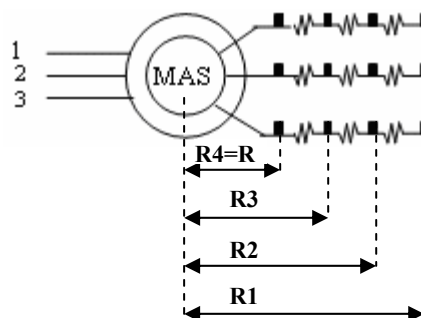
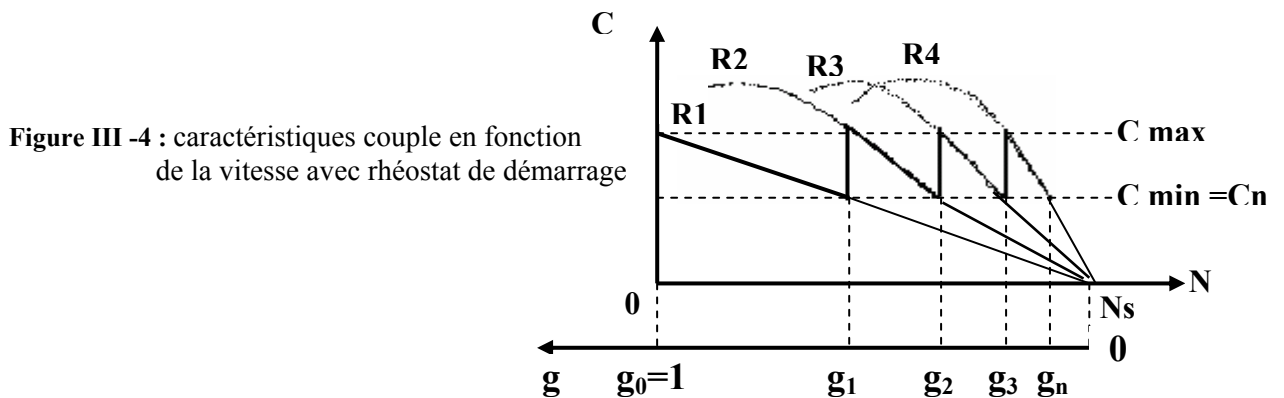


Figure III -3 : démarrage du moteur à bague à l'aide d'un rhéostat

Pour le calcul de rhéostat, on procède comme pour le moteur shunt à courant continu. En premier lieu, on se fixe une valeur minimale du couple, au dessous de laquelle on ne doit pas descendre, au cour de démarrage, pour que celui-ci soit suffisamment rapide, généralement, on choisit pour cette valeur, le couple nominal  $C_n$  du moteur.

En suite, on se donne la valeur maximale de couple, à ne pas dépasser, pour que le courant ne prenne, a aucun moment, une valeur excessive, le plus souvent, cette valeur  $C_m$  est environ le double du couple nominale, soit :  $C_m \approx 2 C_n$



Au décollage ( $g = g_0 = 1$ ), il faudra que la résistance totale des enroulements rotoriques ait une valeur convenable  $R_1$  qu'il s'agit de calculer d'une manière que  $C$  ait la valeur  $2 C_n$  que nous avons choisie.

Alors le moteur démarre, accélère, le glissement diminue et se fixe à une valeur  $g_1$  tandis que le couple prend la valeur  $C_n$ .

En passant sur le plant suivant du rhéostat, si chaque phase de circuit rotorique prend la nouvelle résistance  $R_2$  convenable (inférieure à  $R_1$ ), le couple prend la valeur maximale  $2 C_n$ , le rotor accélère a nouveau, son glissement passe de la valeur  $g_1$  a la valeur  $g_2$  figure (III -4) quand le couple reprend sa valeur nominale  $C_n$  et, de proche en proche, on arrive au régime normal avec suppression du rhéostat.

Pour calculer les résistances successives  $R_1, R_2, R_3, \dots$  et accessoirement les glissement  $g_1, g_2, \dots$ , il suffit de se reporter à l'expression générale de couple.

Pour simplifier les notations, nous désignerons par  $r$  la résistance d'une phase du rotor (quand le rhéostat de démarrage est en court-circuit) et par  $R$  la résistance d'une phase (y compris la résistance du rhéostat de démarrage).

Dans cette relation, on peut déduire les deux règles d'application suivantes :

- A tension d'alimentation constante, le couple ne change pas pour des valeurs égale de la résistance  $R' = R/g$ .
- En marche normale, le couple est pratiquement proportionnel au glissement. [2]

Soit  $n$  le nombre de plots du rhéostat figure (III -3), comme le couple est proportionnel au glissement, on a comme relation :

$$C_m / C_n = g_{n-1} / g_n = K \quad (\text{III -1})$$

Par ailleurs, en vertu de la première règle, on peut écrire les deux relations suivantes :

$$\frac{R_1}{1} = \frac{R_2}{g_1} = \dots = \frac{R_{n-1}}{g_{n-2}} = \frac{R_n}{g_{n-1}} \quad (\text{III -2})$$

$$\frac{R_1}{g_1} = \frac{R_2}{g_2} = \dots = \frac{R_{n-1}}{g_{n-1}} = \frac{R_n}{g_n}$$

Par division de la première relation par la deuxième, on a :

$$g_1 = g_n / g_{n-1} = 1 / k, \quad g_2 = g_1^2 = 1 / k^2, \dots$$

Soit :

$$g_1 = 1/k, \quad g_2 = 1/k^2, \dots, \quad g_n = 1/k^n$$

d'où :

$$n = - \log g_n / \log k. \quad (\text{III -3})$$

Comme le nombre de plots est forcément un nombre entier, on doit calculer la valeur définitive du rapport  $K$ , valeur qui est légèrement inférieure à la précédente.

On a alors deux possibilités :

- Soit maintenir le couple minimal à la valeur de couple nominal et adopter un couple maximale un peu plus faible que le précédent.
- Soit maintenir le couple maximal à sa valeur précédente et adopter un couple minimal légèrement supérieur au couple nominal.

Après avoir représenté le graphe de démarrage, on peut déterminer les différents glissements (avec les vitesse correspondantes) par le calcul ou par la méthode graphique, connaissant la résistance de rotor ( $R_r = r$ ), on peut déterminer les résistances globales sur les différents plots :

$$R_1 = R_r / g_{n-1} = r / g \quad R_n = R_{n-1} g_n / g_{n-1} = R_{n-1} / K \quad (\text{III -4})$$

On déduit les résistances des  $n-1$  sections, [2].

### III-3-3 Détermination de temps de démarrage :

Si l'on se reporte au graphe du démarrage figure (III -4), on constate le durées de démarrage sont plus longues sur les premier plots que sur les derniers. C'est ainsi que, si on manipule trop rapidement un rhéostat de démarrage, on peut provoquer des surintensités qui peuvent, soit endommager le moteur, soit actionner le disjoncteur si le moteur est bien protégé.

Pour déterminer le temps requis pour atteindre une vitesse constante, il faut connaître les caractéristiques de couple, du moteur et de la charge, puis procéder à une intégrale par méthode graphique ou numérique. [2]

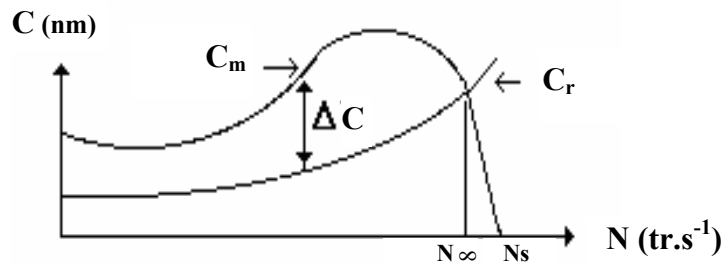


Figure III -5 : caractéristiques de couple du moteur à bague

$$C_m - C_r = K \, d\Omega / dt \quad (\text{III -5})$$

Avec :

**K** : désigne le moment d'inertie de l'ensemble tournant.

**C<sub>m</sub>** : couple moteur.

**C<sub>r</sub>** ; couple résistant.

On en déduit :

$$t_1 - t_0 = 2\pi K \int_{N_0}^{N_1} \frac{dN}{C_m - C_r} \quad (\text{III -6})$$

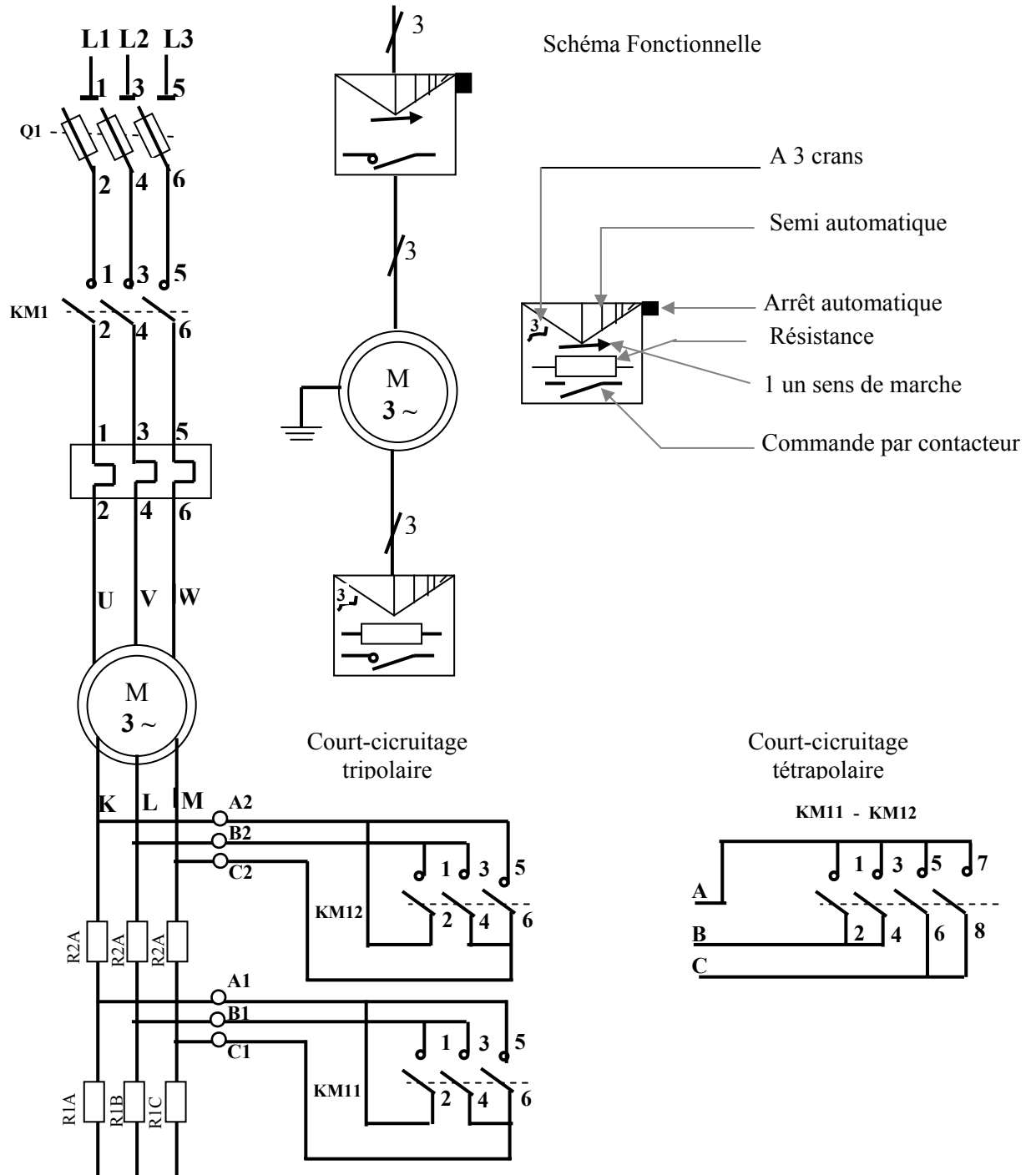
Dans la pratique, comme la fonction  $\frac{1}{C_m - C_r}$  est généralement difficile à intégrer on

utilise une méthode graphique en créant des intervalles pour lesquels on remplace cette fonction par sa valeur moyenne, on a :

$$t_1 - t_0 = 2\pi K \frac{(N_1 - N_0)}{(C_m - C_r)_{\text{moy}}} \quad (\text{III -7})$$

### III-3-4 Démarrage par élimination des résistances rotoriques (1 sens de marche)

- Circuit de puissance :



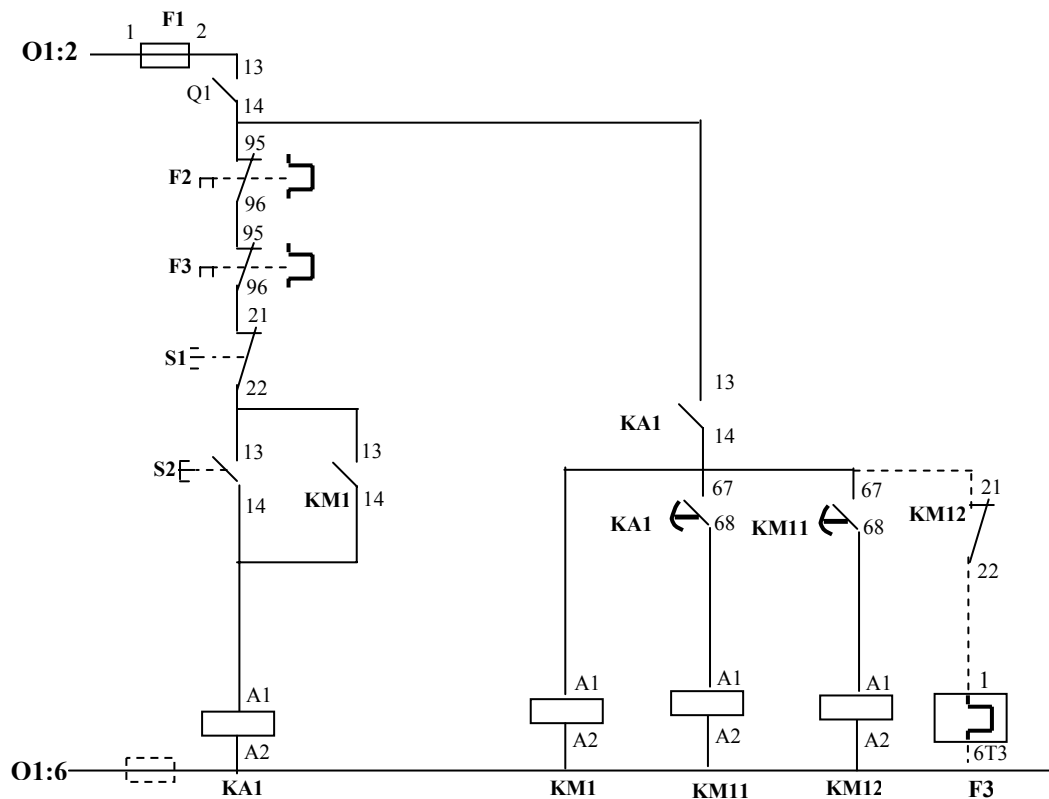
### Fonctionnement Circuit de puissance :

- Fermeture manuelle de **Q1**.
- Fermeture de **KM1**, mise sous tension du moteur
- Fermeture de **KM11**, court-circuitage d'une partie de la résistance.
- Accélération.
- Fermeture de **KM12**, court-circuitage totale de la résistance.
- Fin de démarrage.

### Particularités :

- **Q1** : calibre **In** moteur.
- **KM1**: calibre **In** moteur.
- **KM11** : nombre de pôles et calibre en fonction du couplage (tri ou tétra) de **I** rotorique du moteur à l'instant considéré et du service du contacteur.
- **KM12** : nombre de pôles et calibre en fonction du couplage et de **I** rotorique nominale de moteur
- **F2** calibre **In** moteur.

### - Circuit de commande :



**- Fonctionnement Circuit de commande :**

- Impulsion sur  $S_2$ .
- Excitation de  $KA1$ .
- Fermeture de  $KM1$  et alimentation de relais temporisateur thermique,  $F3$  par  $KA1$  (13-14).
- Auto alimentation de  $KA1$  par  $KM1$  (13-14).
- Fermeture de  $KM11$  par  $KA1$  (67-68).
- Fermeture de  $KM12$  par  $KM11$  (67-68).
- Elimination de  $F3$  par  $KM12$  (21-22).

**- Arrêt :**

- Impulsion sur  $S_1$ .
- Déclenchement de  $F2$  ou  $F3$ .
- Fusion fusible.

**Protection :**

- Fusible contre les courts-circuits.
- $F2, F3$ , relais thermique.

**Courant :**

$I_d < 2.5 I_n$
-----------------

(III -8)

**Couple :**

$C_d < 2.5 C_n$
-----------------

(III -9)

**Emploi :**

Ce procédé est employé pour des machines démarrant en pleine charge, avec des pointes de courant de faible amplitude. Ce moteur est analogue à un transformateur dont le primaire serait le stator et le secondaire, le rotor.

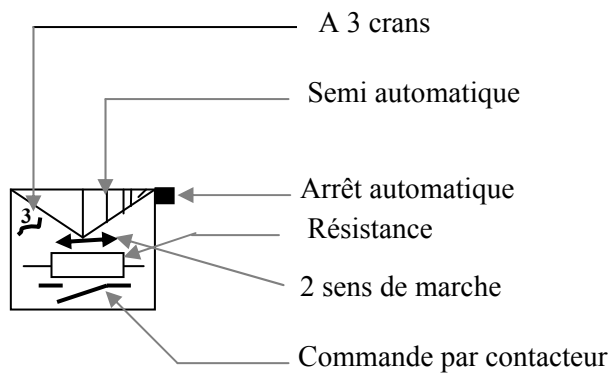
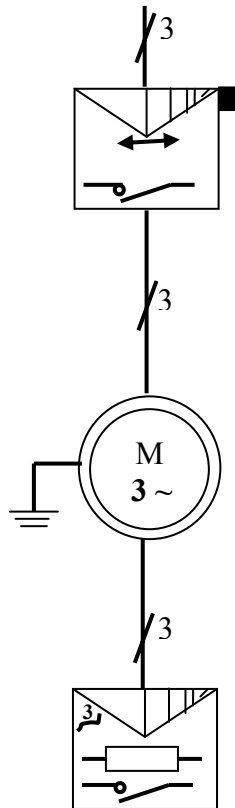
On limite le courant secondaire  $I_{d2}$  et par conséquent l'intensité absorbée au primaire, en insérant des résistances dans le circuit rotorique, que l'on élimine au fur et à mesure de la montée en vitesse du moteur. [5]

### III-3-5 Démarreur inverseur rotorique 3 temps :

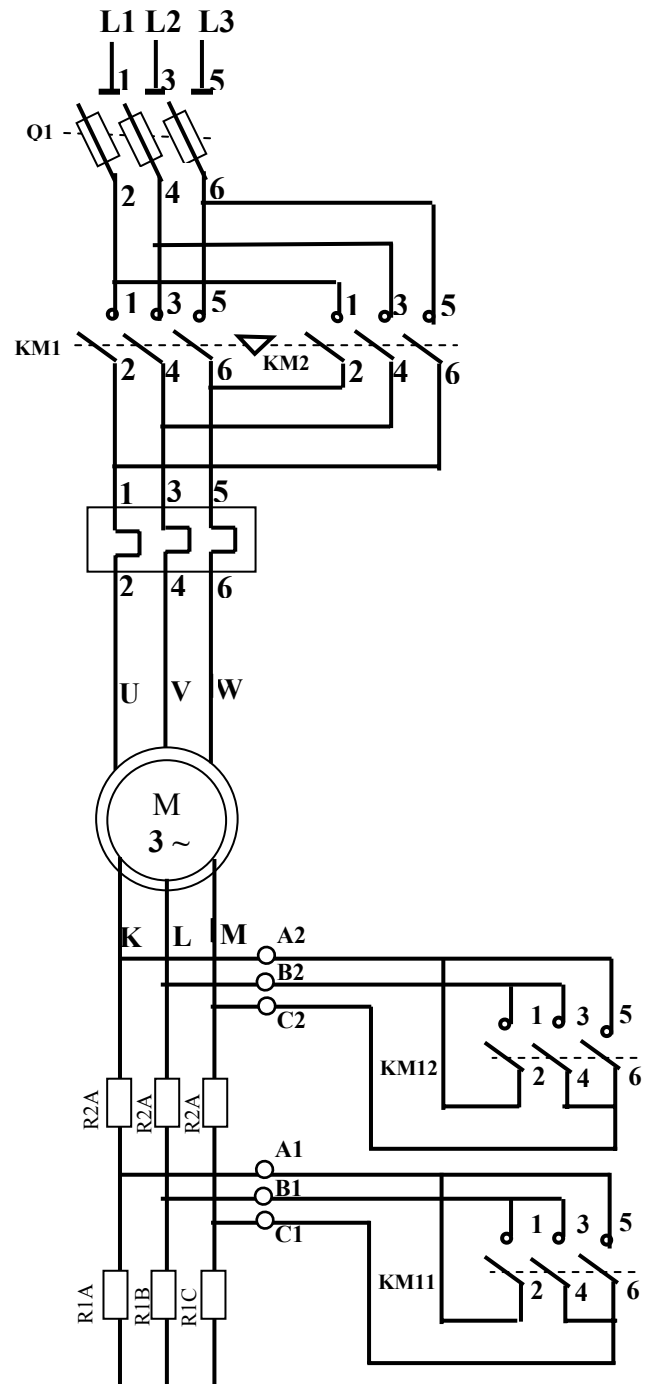
#### Commande par boutons-poussoirs

Avec bloc de contacts temporisés sur le contacteur KM11

Schéma Fonctionnelle



Circuit de puissance



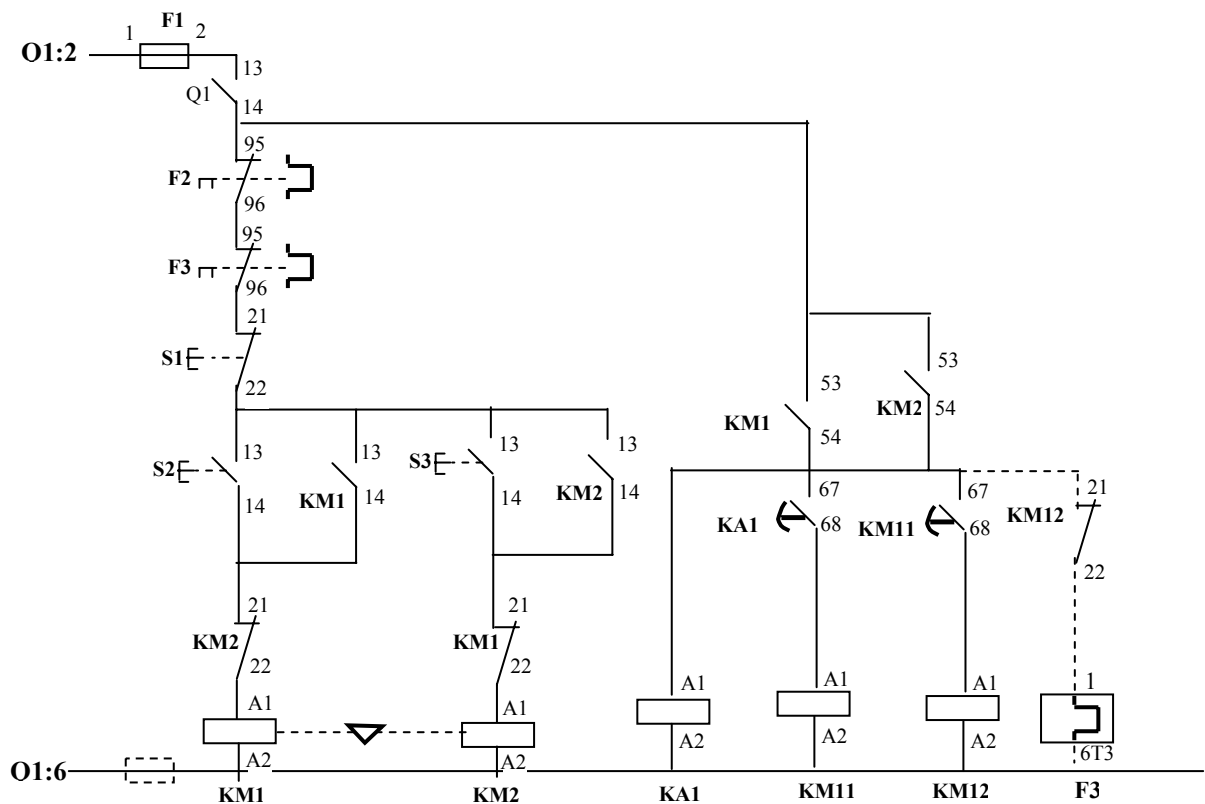
### Fonctionnement Circuit de puissance :

- Fermeture manuelle de **Q1**.
- Fermeture de **KM1** ou **KM2** choix du sens de rotation mise sous tension du moteur.
- Fermeture de **KM11** court-circuitage d'une partie de la résistance accélération.
- Fermeture de **KM12** court-circuitage total de la résistance.
- Fin de démarrage.

### Particularités :

- **Q1** : calibre **In** moteur.
- **KM1-KM2** : calibre **In** moteur.
- **KM11** : nombre de pôles et calibre en fonction du couplage (tri ou tétra) de **I** rotorique du moteur à l'instant considéré et du service du contacteur.
- **KM12** : nombre de pôles et calibre en fonction du couplage et de **I** rotorique nominale de moteur
- **F2** calibre **In** moteur.

### Circuit de commande



**Fonctionnement Circuit de commande :**

- Impulsion sur **S2** ou **S3**.
- Fermeture de **KM1** ou de **KM2**.
- Verrouillage de **KM2** ou **KM1** (21-22).
- Auto alimentation de **KM1** ou **KM2** (13-14).
- Fermeture de **KA1** par **KM1** ou **KM2** (53-54), et alimentation du relais temporisateur thermique **F3**.
- Fermeture de **KM11** par **KA1** (67-68).
- Fermeture de **KM12** par **KM11** (67-68).
- Elimination de **F3** par **KM12** (21-22).

**Arrêt :**

- Par impulsion sur **S1**.
- Déclenchement **F2**, **F3**.
- Fusions fusibles.

**Protection :**

- Par fusible contre les courts circuits.
- Par relais thermique **F2**.
- Par relais **F3** contre les démarrages longs, fréquents et incomplets. [5]

### III-4 Moteur à démarreur centrifuge, (un sens de marche) :

#### Principe :

Sur l'arbre est calé un démarreur à résistances multiples  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , dont la mise en court est réalisée automatiquement et progressivement par des contacteurs centrifuges **CP1**, **CP2** et , qui se ferment successivement sous l'action de la force centrifuge ou à certaines vitesses bien déterminées .

La mise en vitesse n'est pas liée au temps, bien à la vitesse elle-même. [5]

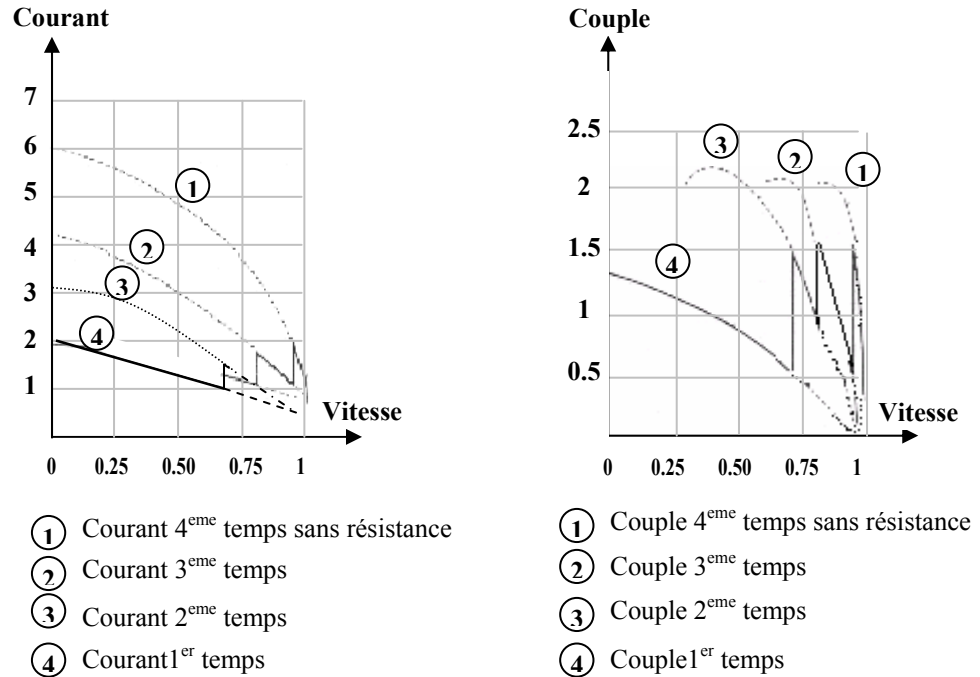
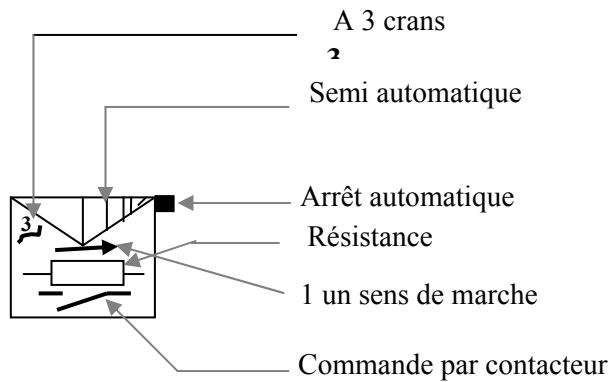
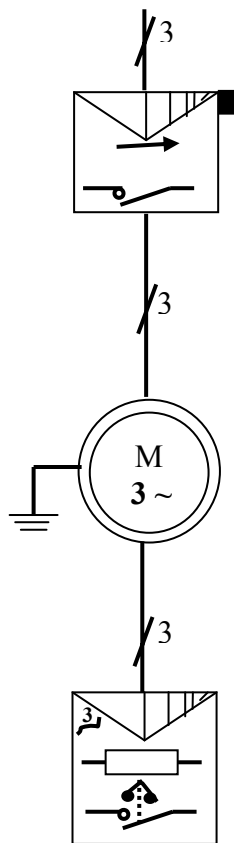


Figure III - 6 : - : caractéristiques couple/courant en fonction de la vitesse

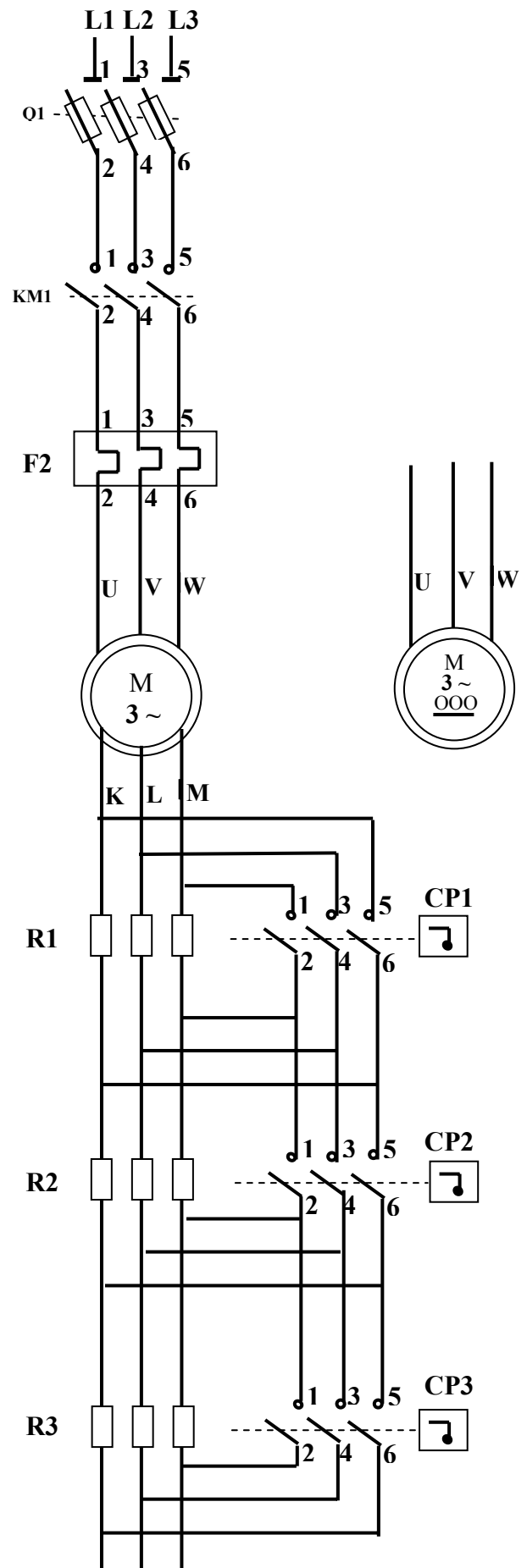
## Schéma Fonctionnelle



### Fonctionnement circuit de puissance :

- Fermeture manuelle de **Q1**.
- Fermeture de **KM1**.
- Fermeture de **CP3**, puis **CP2** et enfin **CP1**.

## Circuit de puissance

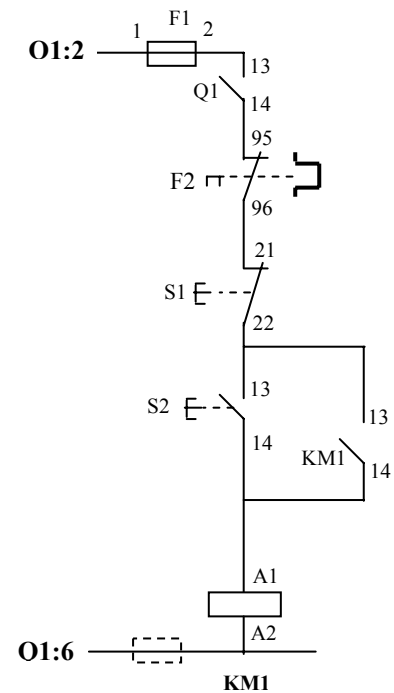


**Fonctionnement circuit de commande :**

- Impulsion sur **S2**.
- Excitation de **KM1**.
- Fermeture de **KM1** (13-14).

**Arrêt :**

- Impulsion sur **S1**.
- Déclenchement de **F2**.
- Fusion fusibles.

**Circuit de commande****Protection :**

- Fusibles contre les courts-circuits
- Relais thermique contre les surcharges.

**Courant :**

$$I_d < 2,5 I_n$$

(III -10)

**Couple :**

$$C_d = 1.6 C_n$$

Pour toutes machines d'usage général (machine outils, pompes, ventilateurs).

$$C_d = 2.2 C_n$$

Pour des machines nécessitant un fort couple de démarrage (Compresseur à moteur MT).

(III -11)

$$C_d > 2.2 C_n$$

Pour les grandes machines à grande inertie (levage, broyeur, manutention maritime).

**Inconvénients :**

- Interdiction de redémarrer avant arrêt complet du moteur.
- Durée de démarrage longue entre **4 à 5 s**.
- Risque de dérèglement des contacts.
- Pas de possibilité de réglage de la vitesse.
- Pas de possibilité de freinage électrique, par contre courant ou par injection de courant continu.

**Emploi :**

- Pour de puissances de **5.5 à 700KW** et plus.
- Turbines, concasseurs, broyeurs, montes charge géants, levage et manutention maritime. [5]

***III-5 Conclusion :***

D'après l'étude de ce type de moteur et ces différents modes de démarrage, on constate que la résistance de ce circuit peut être modifiée par l'introduction de résistances extérieures.

Dans le chapitre suivant on fait une étude sur les démarreurs électronique utiliser pour le démarrage.