



جامعة وهران 2 محمد بن أحمد

Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي

Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Maintenance en Electromécanique

## MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

**Filière :** Electromécanique

**Spécialité :** Electromécanique Industrielle

### Thème

ETUDE DES DIFFERENTS TYPES DE DEMARRAGE DES  
MOTEURS ELECTRIQUES ET REALISATION DES  
SCHEMAS POUR BANCS D'ESSAI

Présenté et soutenu publiquement par :

**Nom :** MOHAMMED

**Prénom :** BABAOUMOUSSA

**Nom :** ILYES

**Prénom :** TAZEBINT

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
.....	.....	.....	Président
.....	.....	.....	Encadreur
.....	.....	.....	Examineur

2020/2021



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Notation :



# REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions ALLAH, notre créateur de nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.

Nous adressons le grand remerciement à notre encadreur qui a proposé le thème de ce mémoire, aussi pour ces conseils et ses orientations.

Nous avons également l'honneur de remercier l'administration du département d'électromécanique d'avoir facilité le processus de sélection du mémoire et de l'encadreur, ainsi que de l'organisation et la bonne coordination.

Un grand merci est adressé aux examinateurs d'avoir accepté la lecture et l'évaluation de notre mémoire.

Finalement, nous remercions tous ceux qui ont participé à la réalisation de ce mémoire.





# *Dédicace*

*À ma chère mère Fatima*

*À mon père Youcef*

*Dont le mérite, les sacrifices et les qualités*

*Humaines m'ont permis de vivre ce jour.*

*À mon frère abdlwahabe, anes.*

*À mes amis lesquelles avec qui j'ai partagé les meilleurs*

*Moments de ma vie et mes amis qui m'ont toujours*

*Encouragé.*

*ilyes*





## *Dédicace*

*A ma très chère mère 'Soaad'  
Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurais  
point te remercier comme il se doit. Ton  
affection me couvre, ta bienveillance me guide  
et ta présence à mes côtés a toujours été ma source  
de force pour affronter les différents obstacles.*



*A mon très cher père 'Saleh'  
Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir  
et m'encourager. Que ce travail traduit ma  
gratitude et mon affection.*

*med/oo*

# Sommaire

<i>Dédicace</i> .....	6
INTRODUCTION GENERALE : .....	18
<b>CHAPITRE I</b>	
1 - Généralités sur les machines Asynchrones : .....	20
1.2- Historique sur les moteurs Asynchrones : .....	20
1.3 Présentation : .....	21
1.4 Principes généraux : .....	21
1.5 Constitution des machines asynchrone : .....	22
1.5.1 Le stator : .....	22
1.5.2 Le Rotor : .....	24
1.5.2.1 Rotor à bagues : .....	24
1.5.2.2 Rotor à cage : .....	24
1.5.3 Les organes mécaniques : .....	25
1.5.3.1 la carcasse : .....	25
1.5.3.2 L'arbre : .....	25
1.5.3.3 Les paliers : .....	25
1.6 Principe de fonctionnement du moteur à induction : .....	25
1.6.1 Le glissement : .....	26
1.6.2 Bilan des puissances du moteur : .....	27
1.6.2.1 Description des pertes : .....	28
1.6.2.2 Description des Puissances : .....	29
1.6.2.2 Le rendement : .....	29
1.7 Caractéristique du moteur asynchrone : .....	30
1.7.1 Fonctionnement à vide : .....	30
1.7.2 Fonctionnement en charge : .....	30
1.7.3 Point de fonctionnement du moteur en charge : .....	31
1.7.4 Résumé des caractéristiques : .....	31
1.8 Couplage de la plaque à bornes : .....	32
1.9 Branchement du moteur sur le réseau : .....	32
a- Triphasé : .....	32
b-Mono phase : .....	33



1.10 Plaque signalétique : .....	34
1.11 Conséquences d'une variation de la tension ou de fréquence sur un moteur asynchrone : .....	34
1.11.1 Augmentation et diminution de la tension : .....	34
A- Vitesse : .....	34
B- Couple : .....	34
C- Courant de démarrage : .....	34
1.11.2 Augmentation ou diminution de la fréquence : .....	35
A- Vitesse : .....	35
B- Couple : .....	35
C- Courant de démarrage : .....	35
1.12 Conclusion : .....	35

## CHAPITRE II

A – Généralités Sur Les moteur synchrones : .....	37
2.1 DESCRIPTION ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT : .....	37
2.1.1Description : .....	37
2.1.2 Stator : .....	38
2.1.3 Rotor : .....	38
a• Rotor à aimant permanent : .....	38
b• rotor bobinée : .....	39
1. Rotor a pôles lisses : .....	39
2. Rotor à pôles saillants : .....	39
2.2 champ tournant : .....	40
a- une bobine parcourue par un courant électrique : .....	40
b- alimentation avec un système de courants triphasé : .....	40
C-Alimentation avec un système de courant monophasé : .....	41
2.3 Mode d'excitation des machines synchrones : .....	41
2.3.1 Mode d'excitation direct (auto-excité) : .....	41
1) Système d'excitation balais .....	41
2) L'excitation de l'inducteur principal. ....	41
2.3.2 Mode d'excitation indirect (indépendant) : .....	42
2.4 Connexions électriques : .....	42
2.5 SCHÉMA ÉQUIVALENT MONOPHASÉ D'UN MOTEUR SYNCHROME : .....	42
2.6 Bilan des puissances et rendement : .....	43
2.7 couplages de moteur synchrone : .....	45
2.8 symboles de moteur synchrone : .....	45
B - Généralités sur la machine à courant continu : .....	46



2.9 Principe de fonctionnement en moteur : .....	47
2.10 Constitution : .....	48
2.10.1 Inducteur : .....	49
2.10.1.1 Pôles principaux : .....	49
2.10.1.2 Pôles auxiliaires : .....	49
2.10.2 Induit (Le rotor) : .....	49
2.10.3 Collecteur : .....	50
2.10.4 Balai : .....	50
2.11 Force contre électromotrice : .....	51
2.12 Différents types de moteurs selon l'inducteur : .....	51
2.12.1 Moteurs à inducteur à aimant permanent : .....	51
2.12.2 Moteurs à inducteur bobiné : .....	52
2.12.2.1 Différents modes d'excitation d'un moteur à courant continu : .....	52
2.13 Bilan de la puissance : .....	56
2.13.1 Description des pertes : .....	57
2.13.1.1 pertes dans le fer : .....	57
Pertes par hystérésis : .....	57
Pertes par courants de Foucault : .....	57
2.13.1.2 pertes mécaniques : .....	58
2.13.1.3 Pertes constantes : .....	58
2.14 Rendement : .....	58
2.15 Variation de vitesse : .....	58
2.15.1 Différents modes de réglage de la vitesse d'un moteur à courant continu : .....	58
2.15.1.1 Par variation de la tension d'induit : .....	59
2.15.1.2 Par action sur le courant d'excitation : .....	59
2.16 Utilisation de la machine à courant continu : .....	59
2.17 Comparaison entre les différents types de moteurs : .....	60
2.18 Conclusion : .....	60

## CHAPITRE III

A - Introduction aux installations industrielles : .....	62
3.1 Constitution des installations : .....	62
3.1.1 Circuit de commande : .....	62
3.1.2 Circuit de puissance : .....	62
3.2 Les appareils de commande, de signalisation et de protection : .....	62
3.2.1 Disjoncteur : .....	62
3.2.2 Sectionneur : .....	63



3.2.3 Interrupteur sectionneur :.....	63
3.2.4 Fusible :.....	63
3.2.5 Relais thermique :.....	64
3.2.6 Le contacteur :.....	64
3.2.7 Capteur de fin de course : .....	64
3.2.8 Bloc auxiliaire temporisé : .....	65
3.2.9 Bloc de contacts auxiliaires :.....	65
3.2.9 Contacteur auxiliaire :.....	66
3.2.10 Lampes de signalisations : .....	66
3.3 conclusions :.....	66
<b>B - Procédés de démarrage des moteurs</b> .....	<b>67</b>
3.4 les moteurs asynchrones : .....	67
3.4.1 Les problèmes de démarrage des moteurs asynchrone triphasé :.....	67
3.4.2 Démarrage direct :.....	68
3.4.3 Démarrage semi-automatique à un seul sens de marche :.....	68
3.4.4 Démarrage direct semi-automatique à deux sens de marche : .....	69
3.4.5 Démarrage direct semi-automatique à deux sens de marche avec butées de fin de course : .....	70
3.4.6 Démarrage direct semi-automatique à deux sens de marche avec butées de fin de course et inversion de sens de rotation :.....	71
3.4.7 Limitation du courant de démarrage :.....	71
3.4.8 Démarrage étoile-triangle : .....	72
3.4.9 Démarrage étoile-triangle semi-automatique à un sens de marche : .....	73
3.4.10 Démarrage étoile-triangle semi-automatique à deux sens de marche :.....	74
3.4.11 Démarrage par élimination de résistances statoriques : .....	75
3.4.11.1 Démarrage par élimination de résistances statoriques à un seul sens de marche :.....	75
3.4.11.2 Démarrage par élimination de résistances statoriques à deux sens de marche :.....	76
3.4.12 Démarrage par élimination de résistances rotoriques :.....	76
3.4.12.1 Démarrage par élimination de résistances rotoriques à un seul sens de marche : .....	78
3.4.12.2 Démarrage par élimination de résistances rotoriques, deux sens de marche (démarrage en deux temps) :.....	79
3.4.13 Démarreurs électroniques :.....	80
3.5 démarrages des moteurs à courants continu :.....	81
3.5.1 Démarrage direct des moteurs à courant continu :.....	81
3.5.1.1 Démarrage manuel : .....	81
3.5.1.2 démarrage à contacteur :.....	82
3.5.2 Démarrage par élimination de résistances : .....	85
3.5.2.1 Démarrage manuel : .....	86

3.5.2.1 Démarrage automatique : .....	88
3.5.3 Le choix de démarrage : .....	90
3.6 Conclusion : .....	90

## CHAPITRE IV

Partie pratique : réalisation de planches pour bancs d'essais : .....	92
4.1- Représentation symbolique : .....	92
4.2- moteur asynchrone a cage : .....	99
4.2.1 démarrage à commande manuelle : .....	99
4.2.2 démarrage à commande manuelle : .....	100
4.2.3 démarrage direct par contacteur sous pleine tension : .....	101
4.2.4 démarrage direct par contacteur sous pleine tension : .....	102
4.2.5 démarrage par contacteur Etoile-triangle : .....	103
4.2.6 démarrage par contacteur Etoile-triangle : .....	104
4.2.7 démarrage par contacteur par élimination de résistance statorique : .....	105
4.2.8 démarrage par contacteur par élimination de résistance statorique : .....	106
4.2.9 démarrage par contacteur par auto transformateur : .....	107
4.2.10 démarrage par contacteur par auto transformateur : .....	108
4.3- moteur asynchrone rotor bobine : .....	109
4.3.1 démarrage par élimination de résistances ( rhéostat de démarrage) : .....	109
4.3.2 démarrage par coupleurs centrifuges : .....	110
4.3.3 démarrage par contacteur par élimination de résistances rotorique : .....	111
4.3.4- démarrage par contacteur par élimination de résistances rotorique : .....	112
4.4- différents types démarrage de moteurs à courant continu : .....	113
- Moteur à excitation shunt : .....	113
4.4.1- inversion de sens du marche : .....	113
4.4.1.1- inverser le sens du courant dans l'induit : .....	113
4.4.1.2- inverser le sens du courant dans l'inducteur : .....	114
4.4.1.3 inverseur et rhéostat de démarrage : .....	115
4.4.2 réglages de la vitesse : .....	116
A- par action sur le champ inducteur : .....	116
B- par action sur la tension aux bornes de l'induit : .....	117
-moteur a excitation série : .....	118
4.4.2 inversions du sens de marche : .....	118
4.4.2.1 inverser le sens du courant dans l'induit : .....	118
4.4.2.2 inverser le sens du courant dans les inducteurs : .....	119
4.4.3 réglages de la vitesse : .....	120

A- par action sur le champ inducteur : .....	120
B- par action sur la tension aux bornes de l'induit : .....	121
- moteur à excitation composée : .....	122
4.4.4 inversions du sens de marche : .....	122
4.4.4.1 inverser le sens du courant dans l'induit : .....	122
4.4.4.2 inverser le sens du courant dans l'inducteur : .....	123
4.4.4.3 emploi d'un démarreur inverseur : .....	124
4.4.5 réglages de la vitesse : .....	125
A- par action sur le champ inducteur : .....	125
B- par action sur la tension aux bornes de l'induit : .....	126
Conclusion générale .....	127
Référence.....	128

## Liste des figures

### CHAPTRE I

Figure 1 Création automatique action de champ tournant.....	21
Figure 2 Eléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écureuil.....	22
Figure 3 Enroulements statoriques d'une phase d'une machine à 4 pôles.....	23
Figure 4 principe d'un rotor bobiné .....	23
Figure 5 principe d'une cage d'écureuil .....	24
Figure 6 symboles d'une machine asynchrone .....	25
Figure 7 bilan des puissances du moteur .....	27
Figure 8 caractéristique du moteur asynchrone .....	30
Figure 9 Point de fonctionnement du moteur .....	31
Figure 10 la plaque à bornes .....	32
Figure 11 Couplage des moteurs 3 phasés.....	32
Figure 12 Couplage des moteurs mono phases .....	33
Figure 13 Couplage des moteurs mono phasés .....	34

## CHAPTRE II

Figure 14 fonctionnement du moteur synchrone .....	38
Figure 15 Rotor a pôles lisses .....	39
Figure 16 Rotor à pôles saillants.....	40
Figure 17 une bobine parcourue par un courant électrique .....	40
Figure 18 alimentation avec un système de courants triphasé.....	40
Figure 19 Alimentation avec un système de courant monophasé .....	41
figure 20 schéma équivalent monophasé d'un moteur synchrone.....	42
Figure 21 Bilan des puissances .....	43
Figure 22 couplages de moteur synchrone .....	45
Figure 23 symboles de moteur synchrone .....	45
Figure 24 Principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu .....	48
Figure 25 Description de la machine à courant continu.....	48
Figure 26 Inducteur de la machine à courant continu .....	49
Figure 27 Rotor de la machine à courant continu .....	49
Figure 28 Collecteur .....	50
Figure 29 Balai.....	50
Figure 30 Moteurs à inducteur à aimant permanent.....	51
Figure 31 Différents modes d'excitations.....	52
Figure 32 Schéma du MCC à excitation série .....	52
Figure 33 Schéma équivalent du MCC à excitation série .....	52
Figure 34 Schéma de MCC à excitation shunt .....	54
Figure 35 Schéma équivalent du moteur à excitation séparée .....	54
Figure 36 Bilan de la puissance .....	56
Figure 37 les expressions de calcul, bilan de puissance .....	57
Figure 39 Caractéristique de réglage par variation de la tension d'induit .....	59

## CHAPTRE III

Figure 40 Disjoncteurs.....	62
Figure 41 sectionneur fusible .....	63
Figure 42 interrupteurs sectionneur .....	63
Figure 43 fusible.....	63
Figure 44 relais thermique .....	64

Figure 45 Capteur de fin de course .....	64
Figure 46 Bloc auxiliaire temporisé .....	65
Figure 47 Bloc de contacts auxiliaires .....	65
Figure 48 Contacteur auxiliaire .....	66
Figure 49 Lampes de signalisations .....	66
Figure 50 Démarrage semi-automatique à un seul sens de marche .....	68
Figure 51 Démarrage direct semi-automatique à deux sens de marche .....	69
Figure 52 Démarrage direct semi-automatique .....	70
Figure 53 Démarrage direct semi-automatique à deux sens de.....	71
Figure 54 Démarrage étoile-triangle .....	72
Figure 55 Démarrage étoile-triangle semi-automatique à un sens de marche.....	73
Figure 56 Démarrage étoile-triangle semi-automatique à deux sens de marche .....	74
Figure 57 Démarrage par élimination de résistances statoriques à un seul sens de marche .....	75
Figure 58 Démarrage par élimination de résistances statoriques à deux sens de marche .....	76
Figure 59 Démarrage par élimination de résistances rotoriques .....	77
Figure 60 Démarrage par élimination de resisance rotoriques à un seul sens de marche.....	78
Figure 61 Démarrage par élimination de résistances rotoriques à double sens de marche .....	79
Figure 62 Démarreurs électroniques.....	80
Figure 63 Interrupteur pour démarrage manuel.....	81
Figure 64 fonctionnement du démarrage manuel .....	82
Figure 65 Schéma d'un démarreur à contacteur non inverseur.....	83
Figure 66 Schéma d'un démarreur à contacteur inverseur.....	84
Figure 67 Schéma de branchement .....	87
Figure 68 Schéma développé d'un démarreur par élimination de résistances .....	88

## CHAPTRE IV

Figure 68 symbole de signalisation et contact élèctrique .....	92
Figure 69 nature de courant et conducteurs et des bornes de connexions.....	93
Figure 70 repérage des appareil dans les schémas .....	94
Figure 71 machine asynchrone et à courant continue .....	95
Figure 72 bornes des appareils .....	96
Figure 73 auxiliaires de commande.....	97
Figure 74 autotransformateur.....	98
Figure 75 fusible et organe de commande.....	98

## Liste des tableaux

Tableau 1	Domaine d'application et caractéristiques du MCC à excitation série [5].....	53
Tableau 2	Domaine d'application du MCC à excitation composée.....	54
Tableau 3	Domaine d'application du MCC à excitation séparée .....	56
Tableau 4	Comparaison entre les différents types des moteurs .....	60
Tableau 5	Principe du démarrage par élimination de résistance .....	86

# Liste des symboles

$\Omega$  : vitesse synchrone de rotation du champ tournant en rd/s.

$\omega$  : pulsation de courant alternatifs en rd/s.

$p$  : nombre de pair de pôles.

$f$  : la fréquence de l'alimentation.

$\Omega_r$  : vitesse de rotation du rotor.

$g$  : le glissement.

$P_a$  : puissance absorbé.

$I$  : courant de ligne.

$\cos\varphi$  : facteur de puissance.

$P_{gs}$  : pertes par effet joules au stator.

$R$  : résistance entre deux bornes du stator.

$P_f$  : pertes fer.

$P_m$  : puissance mécanique.

$T_m$  : le couple électromagnétique du moment.

$P_c$  : pertes collective.

$T_p$  : couple de perte.

$P_u$  : puissance utile.

$C_e$  : couple électromagnétique totale.

$m$  : nombre de phase de la machine.

$\omega_{sys}$  : vitesse de synchrone.

$R_r$  : résistance du rotor par phase.

$I_r$  : courant induit dans le rotor.

$N_s$  : vitesse de rotation de champ dans le stator.

$N_r$  : vitesse de rotation du champ dans le rotor.

$V$  : tension simple.

$L$  : inductance d'une bobine.

$E$  : force électromotrice.

$Q$  : VAR puissance réactive.



g : courant simple.

K : constante de kapp dépendant de la machine.

N : nombre de conducteurs dans un enroulement.

B: l'induction magnétique.

F : force électromagnétique.

a : nombre de paires de voies de l'enroulement.

Rt : résistance totale du moteur.

U : tension aux bornes de l'induit.

Ue : tension aux bornes de l'inducteur.

I : courant dans l'induit.

ie : courant de l'inducteur.

R : résistance aux bornes de l'induit.

r : résistance aux bornes de l'inducteur.

Cf : couple de frottement.

A : coefficient de frottement visqueux.

C : moment du couple mécanique.

Ph : perte par hystérésis.

Pf : perte par courant de foucault.

Ra : résistance d'induit.

Ia : courant d'induit.

Radd : résistance de rhéostat.

Id : courant de démarrage.

Cd : couple de démarrage.

Cm : couple nominal.

Rd : résistance totale de démarrage.

Id : courant de démarrage.

$\varphi$  : flux max passant par une spire.

# INTRODUCTION GENERALE :

## GENERALITE :

Les moteurs électriques sont de nos jours, à l'exception des dispositifs d'éclairage, les récepteurs les plus nombreux dans les industries et les installations tertiaires. Leur fonction, de convertir l'énergie électrique en énergie mécanique, leur donne une importance économique toute particulière qui fait qu'aucun concepteur d'installation ou de machine, aucun installateur et aucun exploitant ne peut les ignorer, à savoir :

- Le Moteur Électrique Asynchrone.
- Le Moteur Électrique Synchrone.
- Le Moteur Électrique à Courant Continu.

L'objectif du thème après une présentation des divers types de moteurs électriques et leurs principes de fonctionnement et son bilan de puissance, et d'étudier les différents types de schémas synoptiques de démarrage du moteur asynchrone et à courant continu.

Le présent mémoire est organisé de la manière suivante :

- Le premier chapitre : présentations du moteur asynchrone.
- Le deuxième chapitre : présentations des moteurs Synchrone et à Courant continu.
- Le troisième chapitre : A -Introduction aux installations industrielles

B -les différents procédés de démarrage (principes).

- le quatrième chapitre : est la partie pratique : réalisation des planches pour bancs d'essai pédagogiques.

Notre but, dans un premier temps était la réalisation de bancs d'essai pédagogiques pour faire démarrer les différents moteurs asynchrones de notre institut. Devant l'inexistence de moyens (châssis, contacteurs, relais, boîte à boutons poussoirs, fin de course, sectionneurs, bobines filaires, attaches outillages, etc...) et vu le manque de temps, nous avons été contraints de préparer les différents planches pratiques de schéma de câblage, la réalisation pourra se faire par un prochain binôme, l'année suivante.

Notre travail s'est contenté de simulations des différents démarrages théoriques sur schémas électriques.

# Chapitre I

## 1 - Généralités sur les machines Asynchrones :

La machine asynchrone, connue également sous le terme « anglo-saxon » de machine à induction, ou Le moteur asynchrone triphasés notamment les moteurs à cage sont les plus utilisés dans l'industrie et au-delà d'une certaine puissance dans les applications du bâtiment tertiaire. De plus, bien que leur commande par des équipements à contacteurs soit parfaitement adaptée pour un grand nombre d'applications, l'emploi de matériels électroniques en constante progression élargit leur champ d'application [1].

C'est le cas pour contrôler le démarrage et l'arrêt avec les démarreurs-ralentisseurs progressifs, comme lorsqu'un réglage précis de la vitesse est également nécessaire avec les variateurs-régulateurs de vitesse.

Toutefois, les moteurs asynchrones à bagues sont utilisés pour certaines applications de forte puissance dans l'industrie et les moteurs asynchrones monophasés restent adaptés pour des applications de puissances limitées plutôt pour les applications industrielles.

L'utilisation des moteurs synchrones dits sans balais ou à aimants permanents associés à des convertisseurs se généralise dans les applications nécessitant de fortes performances, notamment en couple dynamique (au démarrage ou aux changements de régime), et en précision et plage de vitesse.

### 1.2- Historique sur les moteurs Asynchrones :

Historiquement le dix-neuvième siècle fût l'époque des grandes découvertes en Electrotechnique dont les bases Fondamentales ont été établies (1820--1830) par des hommes de science parmi lesquels on peut citer, OERSTED, AMPERE, BIOT, SAVART, LAPLACE, OHM, FARADAY ; Plus tard en (1873) MAXWELL formalisa les lois de L'électromagnétisme moderne dans son ouvrage fameux ; "Treatise on Eelectricity and Magnétisme".

Mais ce n'est qu'à partir de (1870) que l'électrotechnique industrielle s'affirma notamment grâce à la production d'énergie électrique par les génératrices à courant continu (dynamos) de gramme et de siemens. Ensuite, dans les années (1880), furent conçus les alternateurs et les transformateurs polyphasés. Les premiers devaient concurrencerai détrôner les dynamos pour la production de l'électricité, enfin les travaux du yougoslave TESLA et de l'italien FERRARIS complétèrent les systèmes a courants alternatifs polyphasés par la conception et la construction des machines d'induction ou asynchrones en (1888). [2]

Les moteurs asynchrones couvrent actuellement l'essentiel de besoins de la transformation d'énergie électrique en énergie mécanique, A titre d'exemple, elles sont utilisées pour la quasi-totalité des fonctions auxiliaires d'une centrale de production électrique ; ils sont généralement de même dans les procédés industriels. L'étude de ces Machines acquit donc une grande importance.



### 1.3 Présentation :

La machine se compose de deux pièces principales :

- Le stator est relié au réseau ou un variateur de vitesse
- Le rotor est constitué de conducteurs en court-circuit qui sont parcourus par des courants induits par le Champ magnétique créé par les courants statoriques.

Cette machine peut, selon sa construction, être reliée à un réseau monophasé ou polyphasé (généralement triphasé car c'est celui de la distribution).

La machine asynchrone est la machine électrique la plus utilisée dans le domaine des puissances supérieures quelques kilowatts car elle offre alors le meilleur rapport qualité prix. Surtout depuis l'apparition dans les années 1980 de variateurs permettant de faire varier la fréquence de rotation du moteur dans une large gamme.

### 1.4 Principes généraux :

Action d'un champ tournant sur un circuit fermé :

Rappelons l'expérience élémentaire suivante :

Soit un disque conducteur suspendu entre les pôles d'un aimant comme l'indique la figure (1.a) Lorsque l'aimant est entraîné à une vitesse  $N_a$ , on peut constater que le disque entre lui-même en rotation à une vitesse  $N_r < N_a$  En tournant, l'aimant crée, en effet, dans le disque des variations de flux qui produisent des f.e.m. et des courants de Foucault. Ces courants étant placés dans le champ de l'aimant, il apparaît des forces de Laplace qui entraînent le disque en rotation.

L'aimant peut être remplacé par un système de trois bobines triphasées créant un champ tournant et le disque par un groupe S de spires en court-circuit comme l'indique la figure (1.b). Ce dernier montage constitue un Moteur élémentaire dont on peut voir les premières propriétés il démarre seul dès l'apparition du champ tournant ; il tourne dans le même sens que le champ, mais à une vitesse inférieure.

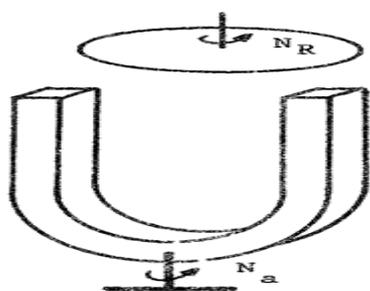


Fig. (1.a)

Action d'un champ

Tournant par aimant

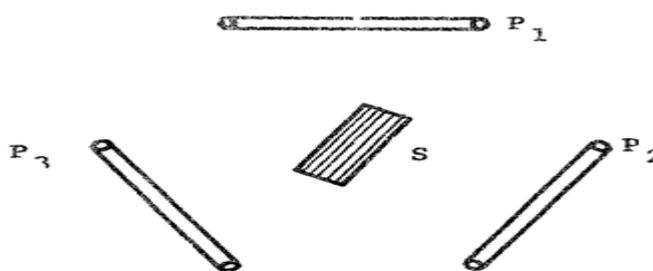


Fig. (1.b)

action d'un champ tournant

par bobine

Figure 1 Création automatique action de champ tournant

## 1.5 Constitution des machines asynchrone :

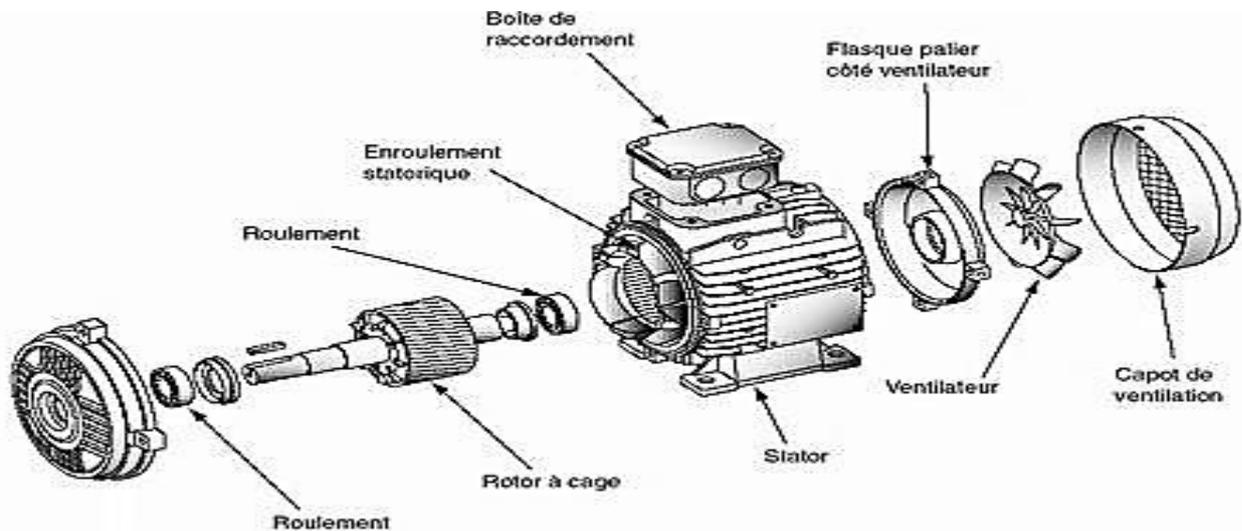
La machine asynchrone est constituée des principaux éléments montrés sur la **Figure 2** :

- Le stator est une partie fixe constituée de disques en tôles magnétiques portant les enroulements

Chargés de magnétiser l'entrefer.

- Le rotor est la partie tournante constituée de disques en tôles magnétiques empilés sur l'arbre de la machine portant un enroulement.

- Les organes mécaniques permettant la rotation du rotor et le maintien des différents sous-ensembles.



**Figure 2** Eléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écureuil

### 1.5.1 Le stator :

Il est constitué d'un enroulement bobiné réparti dans les encoches du circuit magnétique. Le circuit magnétique est schématisé en **Figure 3**. Il est constitué d'un empilage de tôles minces découpées par des encoches parallèles à l'axe de la machine dont l'épaisseur varie entre 0÷50mm pour minimiser les pertes dans le circuit magnétique. Un bobinage statorique peut être décomposé en deux parties : les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines. Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer le champ magnétique qui est à l'origine de la conversion électromagnétique. Les têtes de bobines permettent, quant à elles, la fermeture des courants en organisant une circulation judicieuse des courants d'un conducteur d'encoche à l'autre, afin d'obtenir une répartition sinusoïdale des forces magnétomotrices et du flux et limiter les ondulations du couple électromagnétique. [3]

La **figure (3)** représente un stator, comporte un bobinage triphasé, dont chaque phase ne comporte qu'une bobine occupant deux encoches diamétralement opposées, les trois phases sont identiques mais décalées entre elle de  $2\pi/3$ . Cet enroulement (bobines), est alimenté en triphasé par l'intermédiaire de la plaque à bornes ce qui permet de l'alimenter en étoile ou en triangle, et Possède p paires de pôles, [4].

$$\Omega_s = \frac{w}{p}$$

$\Omega_s$  : vitesse synchrone de rotation du champ tournant en  $\text{rad.s}^{-1}$ .

$w$  : pulsation des courants alternatifs en  $\text{rad.s}^{-1}$ .  $w = 2.p.f$

$P$  : nombre de paires de pôles

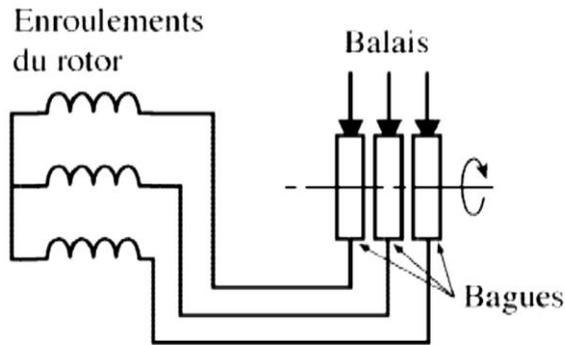


Figure 3 Enroulements statoriques d'une phase d'une machine à 4 pôles

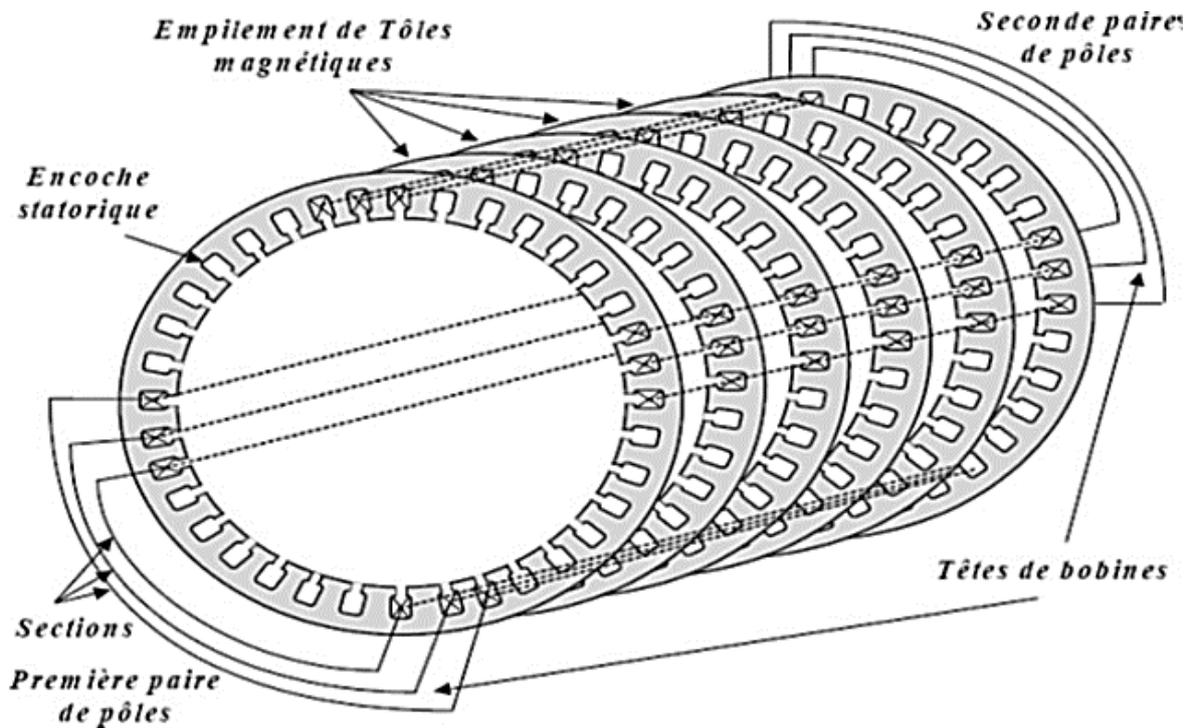


Figure 4 principe d'un rotor bobiné

### 1.5.2 Le Rotor :

Le circuit magnétique rotorique est constitué de tôles d'acier qui sont, en général, de même origine que celles utilisées pour la construction du stator. Les rotors de machines asynchrones peuvent être de deux types : bobinés ou à cage d'écureuil.

#### 1.5.2.1 Rotor à bagues :

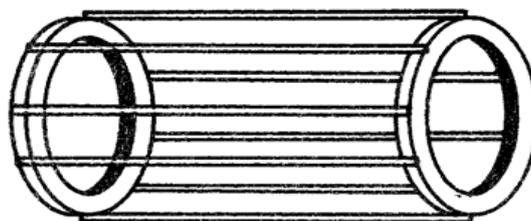
Ce rotor à pôle lisse comporte dans ces rainures un enroulement identique à celui du stator, les trois phases sont branchées en étoile ce qui permet d'insérer un rhéostat dans leur circuit, ce rhéostat qui est mis en marche normale et permet d'assurer des meilleures conditions de démarrage comme présenté sur la **figure (4)**.

#### 1.5.2.2 Rotor à cage :

L'enroulement est remplacé par des barres de cuivre ou d'aluminium logées dans des encoches, et réunies à leurs extrémités par deux couronnes de cuivre ou d'aluminium. Ces cages comportant généralement des barreaux décalés afin de réduire les harmoniques d'encoches, il en résulte une légère diminution de la F.E.M induite par le champ tournant statorique dans ces barreaux. Un tel rotor comme présente à la **figure (5)** est très robuste, depuis sa construction est particulièrement économique.

La cage étant généralement réalisée avec l'aluminium que l'on coule dans les encoches préparées à l'avance. En effet il n'est pas nécessaire d'isoler les barres et la masse du rotor, car les courants induits s'établissent surtout dans les barres, et leur étude théorique est identique à celle des moteurs à bagues.

Si  $N$  désigne le nombre des barres d'une cage, les extrémités des barres, étant en court-circuit par les flasques. Un rotor à cage est assimilable à un rotor à bagues qui aurait  $q=N$  phases si la cage tourne dans un champ bipolaire alors qu'il a  $q= N / p$  phases si la cage tourne à un champ  $2p$  pôles.



**Figure 5 principe d'une cage d'écureuil**

Par comparaison avec les moteurs à bagues, les moteurs à cage ont l'avantage d'être robustes et du coût plus faible. Il n'est pas possible de faire varier la résistance de leur rotor. Ce qui rend défavorable les conditions de démarrage quand on l'alimente à tension et à fréquence constantes. On remédie à cet inconvénient en utilisant soit des rotors à double cage, soit des rotors à une seule cage, soit des moteurs à encoches très profondes : barres « lames de sabre », [5].

• **Entrefer :**

L'entrefer est l'espace entre le stator et le rotor.

• **Symboles :** la figure (6) présente les symboles des moteurs à cage d'écureuil et à rotor bobiné par la suite



Figure 6 symboles d'une machine asynchrone

**1.5.3 Les organes mécaniques :**

1.5.3.1 la carcasse :

sert de support, elle joue le rôle d'enveloppe et assure la protection contre l'environnement extérieur.

1.5.3.2 L'arbre :

est un organe de transmission. Il comprend une partie centrale qui sert de support au corps du rotor et un bout d'arbre sur lequel est fixé un demi-accouplement. Il est supporté par un ou plusieurs paliers.

1.5.3.3 Les paliers :

qui permettent de supporter et de mettre en rotation l'arbre rotorique, sont constitués de flasques et de roulements à billes insérés à chaud sur l'arbre, les flasques, moulés en fonte, sont fixés sur le carter statorique grâce à des boulons ou des tiges de serrage.

- **L'entrefer :** L'entrefer est l'espace entre le stator et le rotor [6].

**1.6 Principe de fonctionnement du moteur à induction :**

Les courants statoriques créent un champ magnétique tournant dans le stator. La fréquence de rotation de ce champ est imposée par la fréquence des courants statoriques, c'est -à-dire que sa vitesse de rotation est proportionnelle à la fréquence de l'alimentation électrique, la vitesse de ce champ tournant est appelée vitesse de synchronisme.

L'enroulement au rotor est donc soumis à des variations de flux (du champ magnétique). Une force électromotrice induite apparaît qui crée des courants rotoriques. Ces courants sont responsables de l'apparition d'un couple qui tend à mettre le rotor en mouvement afin de s'opposer à la variation de flux : loi de Lenz. Le rotor se met donc à tourner pour tenter de suivre le champ statorique [7].

### 1.6.1 Le glissement :

On a :  $\Omega_s = 60f/P$  (I.1)

$p$  :le nombre de paires de pôles de la machine

$f$  :la fréquence de l'alimentation

$\Omega_s$ : vitesse de rotation de synchronisme du champ tournant .

$\Omega_r$  : vitesse de rotation du rotor .

Le glissement correspond à la différence de vitesse entre le rotor et le champ statorique exprimée sous la forme d'un pourcentage de la vitesse de synchronisme.

$$g = (\Omega_s - \Omega_r)/\Omega_s \quad (I.2)$$

Le glissement est toujours faible, de l'ordre de quelques pour-cent :de 2 % pour les machines les plus grosses à 6 ou 7 % pour les petites machines triphasées, il peut atteindre 10 % pour les petites machines monophasées.

Examinons les différents cas possibles :

- $g = 0$  pour  $\Omega_r = \Omega_s$  il n'y a pas de couple.
- $g < 0$  pour  $\Omega_r > \Omega_s$  la machine fonctionne en génératrice.
- $g > 0$  pour  $\Omega_r < \Omega_s$  la machine fonctionne en moteur.
- $g = 1$  pour  $\Omega_r = 0$  la machine est à l'arrêt ou à l'instant du début du démarrage.
- $g > 1$  pour  $\Omega_r < 0$  la vitesse de rotation est l'inverse de celle du champ tournant le moteur fonction en mode de freinage,

$$g = (\Omega_s - \Omega_r) / \Omega_s = (N_s - N_r) / N_s \quad (I.3)$$



1.6.2 Bilan des puissances du moteur :

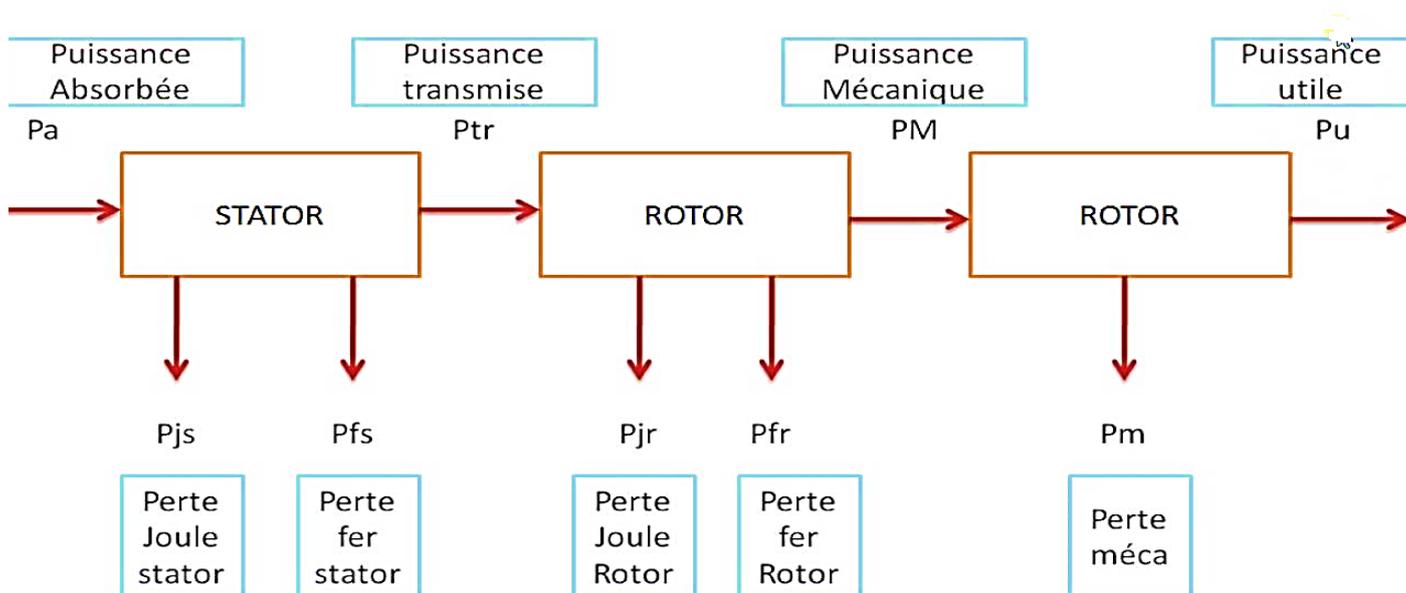
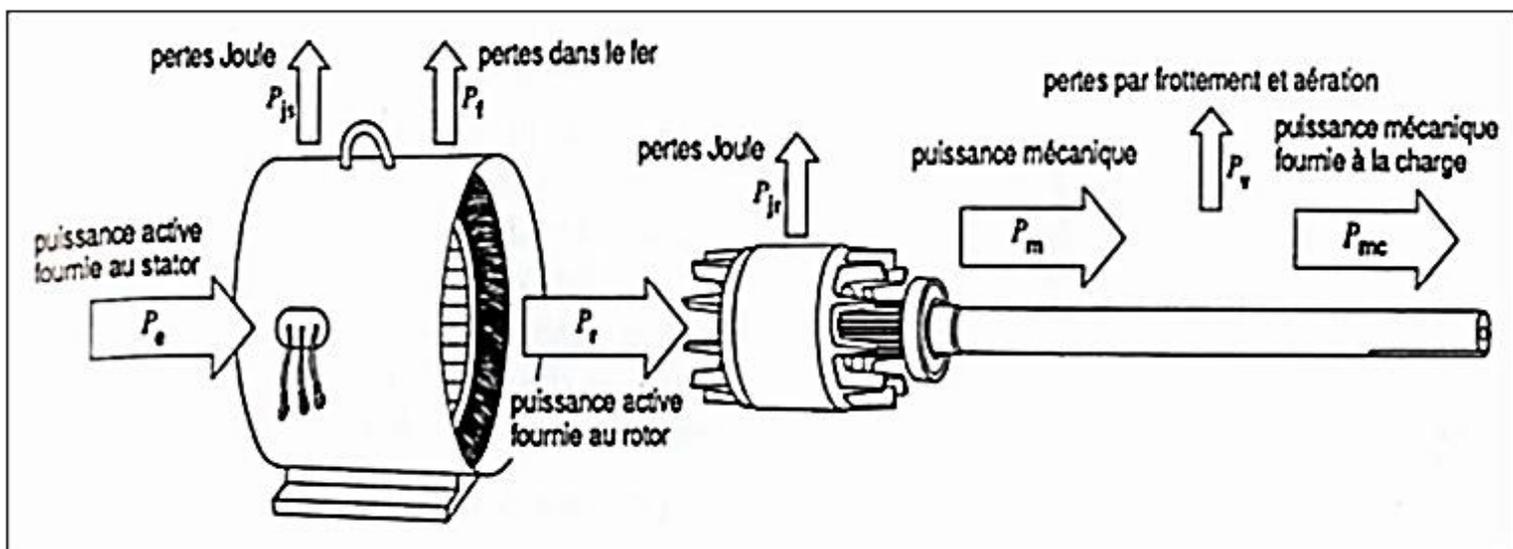


Figure 7 bilan des puissances du moteur

Un moteur asynchrone triphasé constitue un récepteur triphasé équilibré et la puissance qu'il reçoit est, quel que soit le couplage :

- PUISSANCE ABSORBE (WATT)

$$P = \sqrt{3} U I \cos \varphi = \sqrt{3} U_j \cos \varphi$$

I : courant en ligne

Pour mesurer cette puissance, on utilise la méthode des deux wattmètres (ou un wattmètre triphasé).

### 1.6.2.1 Description des pertes :

Les pertes par effet joules au stator sont :

$$P_{js} = 3/2RI^2 \quad (I.5)$$

R : résistance entre deux bornes du stator

Les pertes fer au stator ( $P_{fs}$ ) ne dépendent que de la tension U et de la fréquence f et sont donc constantes si le moteur est couplé au réseau.

Une partie de la puissance (1 à 2 %) est perdue dans le stator sous forme de pertes dans le fer ( $P_{fs}$ ) et de pertes dans le cuivre dues à l'effet joules ( $P_{js}$ ). La puissance restante est alors transmise au rotor par le champ tournant sous la forme de puissance électromagnétique :

$$P_{tr} = P_a - (P_{js} + P_{fs}) \quad (I.6)$$

Le rotor utilise cette puissance à deux fins, une partie est gaspillée par l'effet joule dans les enroulements du rotor (résistance propre rhéostat extérieur si celui-ci n'est pas en court-circuit), l'autre partie se trouve en puissance mécanique  $P_m$  disponible sur l'arbre de moteur [8].

Les forces qui s'exercent sur les conducteurs du rotor tournent à la vitesse  $\Omega_s$  : elles glissent sur le rotor qui, lui, ne tourne qu'à la vitesse  $\Omega_r$ .

L'action de l'ensemble des forces électromagnétiques se réduit à un couple électromagnétique résultant de moment  $T_{em}$  (N.m).

$$T_{em} = P_{em} / \Omega_s \quad (I.7)$$

Le couple électromagnétique de moment  $T_{em}$  entraîne le rotor à la vitesse  $\Omega_r$ . Il lui communique donc la puissance mécanique totale  $P_M$ .

$$P_M = T_{em} \cdot \Omega_r = (P_{tr} \cdot \Omega_r) / \Omega_s = P_{tr}(1-g) \quad (I.8)$$

Pertes par effet joules et pertes dans le fer au rotor :  $P_{jr}$  et  $P_{fr}$  Les pertes par effet joules et les pertes dans le fer au rotor :  $P_{jr}$  et  $P_{fr}$  représentent la différence entre  $P_{tr}$  et  $P_M$ . Elles sont dues aux courants induits. Elles ne sont pas mesurables car le rotor est court-circuité. On les calcule donc :

$$P_{jr} + P_{fr} = P_{tr} - P_M = P_{tr} - P_{tr}(1-g) = g \cdot P_{tr} \quad (I.9)$$

$$P_{jr} \approx g \cdot P_{tr} \quad (I.10)$$

Les pertes fer du rotor sont négligeables.

La vitesse de rotation variant peu en marche normale, les pertes mécaniques  $P_m$  sont pratiquement constantes.

$$P_m = P_u - P_M \quad (I.11)$$



Les pertes collectives ne dépendent que de U, f et n. Comme ces grandeurs sont généralement constantes, les pertes fer au stator et les pertes mécaniques le sont aussi.

$$P_c = p_{fs} + p_m \quad (I.12)$$

On définit le couple de perte :

$$T_p = p_c / \Omega_s \quad (I.13)$$

Le couple de perte est une grandeur constante quelle que soit la vitesse et la charge de la machine

### 1.6.2.2 Description des Puissances :

- Puissance utile :

Le couple utile est :

$$P_u = P_M - p_m \quad (I.14)$$

### 1.6.2.2 Le rendement :

Le rendement d'un moteur asynchrone est la puissance de sortie sur la puissance d'entrée alors est le rapport de la puissance utile à la puissance absorbée.

$$\eta = P_u / P_a \quad (I.15)$$

- Expression du couple  $C_e = \frac{\omega_m \times R_r \times I_r^2}{g \omega_{syn}} \quad (I.16)$

Avec:

$C_e$  : couple électromagnétique total. En j /rd ;

m : nombre de phase de la machine ;

$\omega_{syn}$  : la vitesse de synchronisme en rd /s ;

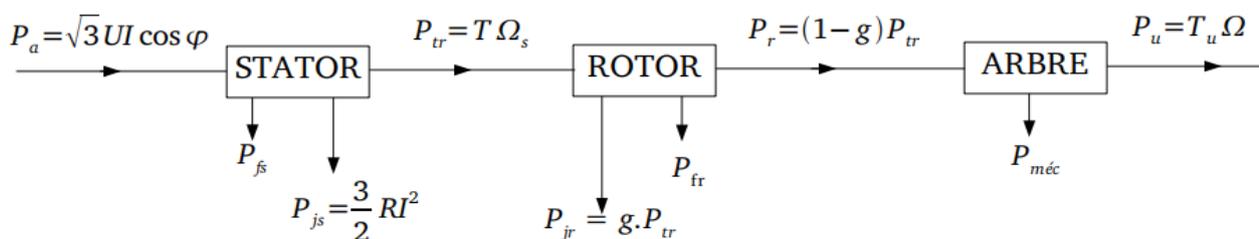
$R_r$  : résistance du rotor par phase en  $\Omega$  ;

$I_r$  : courant induit dans le rotor .valeur efficace par phase en A .

On peut aussi exprime le couple électromagnétique en fonction de la vitesse de rotation  $\omega_m$

$$C_e = \frac{m \times (1-g) \times R_r I_r^2}{g \omega_m} \quad (I.17)$$





## 1.7 Caractéristique du moteur asynchrone :

### 1.7.1 Fonctionnement à vide :

A vide le moteur n'entraîne pas de charge.

Conséquence : le glissement est nul est le moteur tourne à la vitesse de synchronisme.

A vide :  $g = 0$  et donc  $N_s = N_r$  (I.18)

Autres observations :

Le facteur de puissance à vide est très faible ( $<0,2$ ) et le courant absorbée reste fort (P est petit et Q est grand).

On parle alors de courant réactif ou magnétisant (ils servent à créer le champ magnétique).

### 1.7.2 Fonctionnement en charge :

Le moteur fournit maintenant de la puissance active, le stator appelle un courant actif.

**Remarque :** le moteur asynchrone est capable de démarrer en charge, [10].

Caractéristique mécanique  $C_u = f(n)$  :

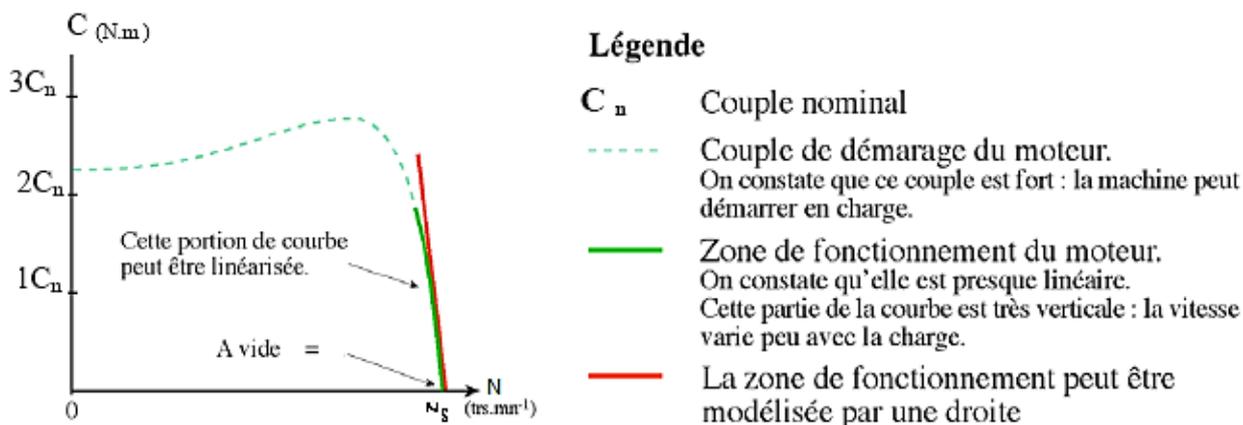


Figure 8 caractéristique du moteur asynchrone [11]

### 1.7.3 Point de fonctionnement du moteur en charge :

Le couple varie avec la fréquence de rotation pour le moteur et pour la charge entraînée. Les caractéristiques du moteur et de la charge se croisent au point de fonctionnement pour lequel les couples moteur et résistant sont identiques, comme le présente la **figure (9)**. La courbe du couple résistant dépend de la charge.

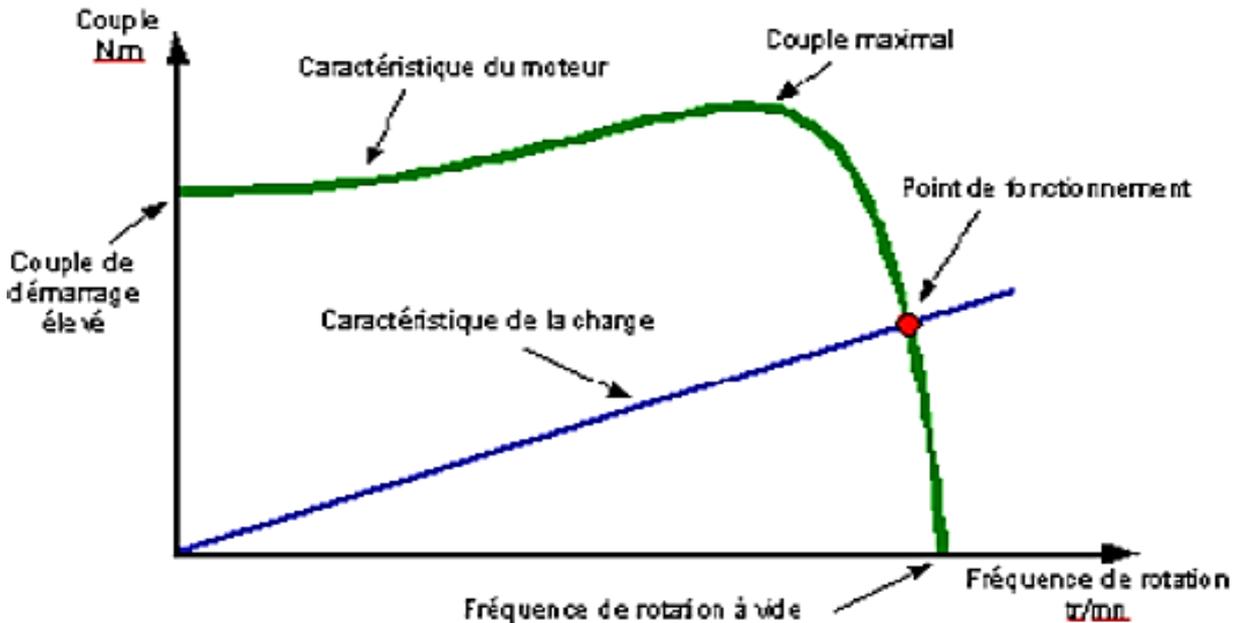


Figure 9 Point de fonctionnement du moteur

### 1.7.4 Résumé des caractéristiques :

- A vide, le courant est non négligeable, mais la puissance absorbée est surtout réactive (Q).
- Le couple et le courant de démarrage sont importants.
- La machine asynchrone peut démarrer en charge.

La vitesse du champ tournant est :  $N_s = f / p$  (f la fréquence du courant et p le nombre de paires de pôles).

- Le glissement est le rapport entre la vitesse du champ et celle du rotor :

$$g = (N_s - N_r) / N_s$$

- A vide :  $g = 0$  et donc  $N_s = N_r$
- Quelle que soit la charge la vitesse de rotation varie très peu ( $N_r \approx N_s$ ), [12].

### 1.8 Couplage de la plaque à bornes :

Le branchement des bobines sur le réseau se fait au niveau de la plaque à borne située sur le dessus de Moteur.

On dispose ainsi de 6 connexions, un pour chacune des extrémités des trois bobines. Les bornes sont reliées aux bobines selon la **figure (10)** ci-dessous.

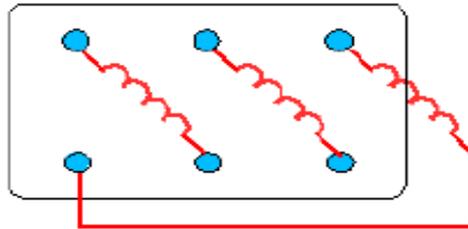


Figure 10 la plaque à bornes

### 1.9 Branchement du moteur sur le réseau :

#### a- Triphasé :

Il n'est pas toujours possible de brancher un moteur asynchrone en étoile ou en triangle.

Avec le branchement étoile, la tension à la borne de chacune des bobines est 220 V. Dans le montage en triangle, chacune des bobines est alimentée en tension nominale de réseau (380 V), [12]. la **figure (11)** ci-dessous présente le couplage des moteurs.

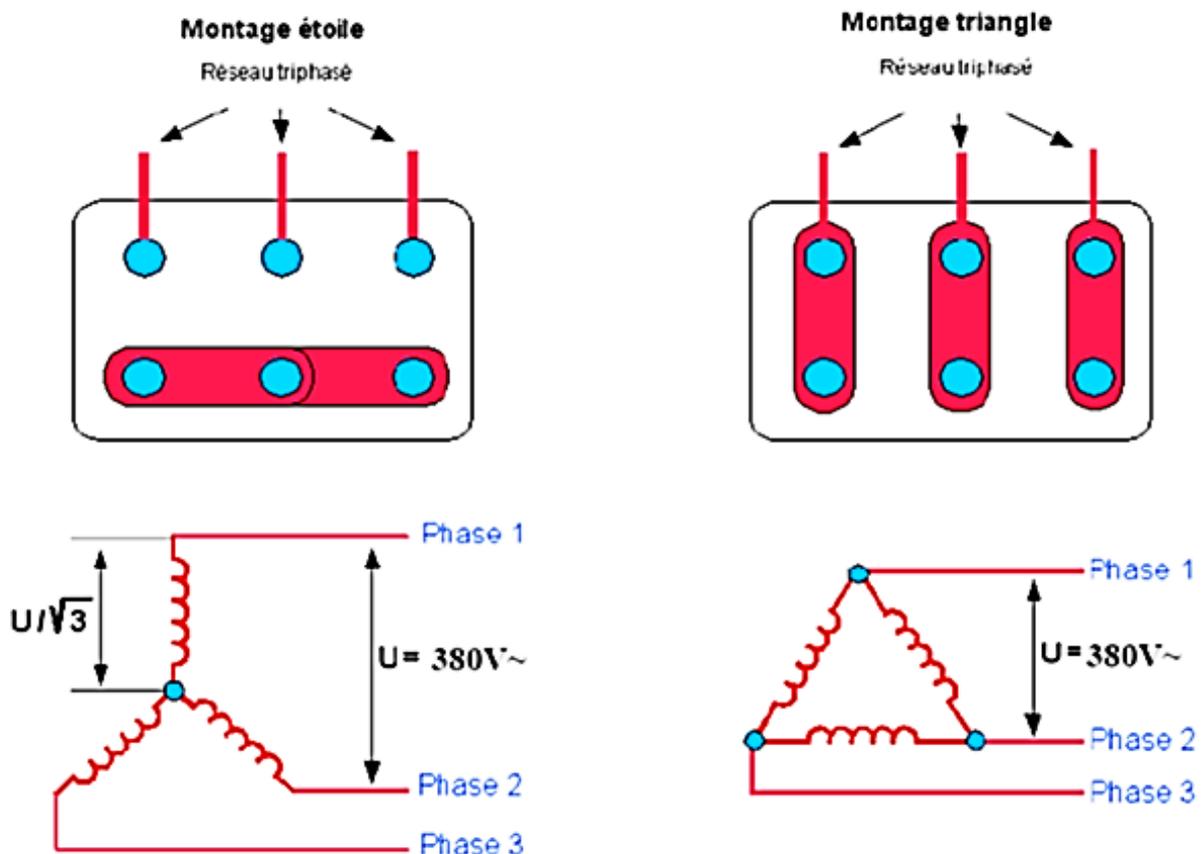


Figure 11 Couplage des moteurs 3 phasé

• **Exemple :**

- sur une plaque signalétique d'un moteur on lit : 380 Y / Δ 220
- le réseau est en 220 / 380 V

De la plaque signalétique on déduit que la tension nominale d'une phase du moteur est de 220 V. Si on branche, ce moteur en triangle, la tension au borne d'une phase sera de 380 V ce qui est trop élevé.

• **Conclusion :**

Ce moteur peut être brancher uniquement en étoile sur le réseau 220 / 380 V.

• **Remarque :** il s'agit en fait d'un vieux moteur. Actuellement tous les moteurs supportent 380 V Par phase. Ils supportent même souvent 400 V et 415 V, car le réseau évolue progressivement vers ces tensions, [9].

**b-Mono phase :**

C en fonction de la puissance du moteur

550W	30μF 400V
750W	32μF 400V
1100W	47μF 400V
1500W	75μF 400V
2200W	90μF 400V

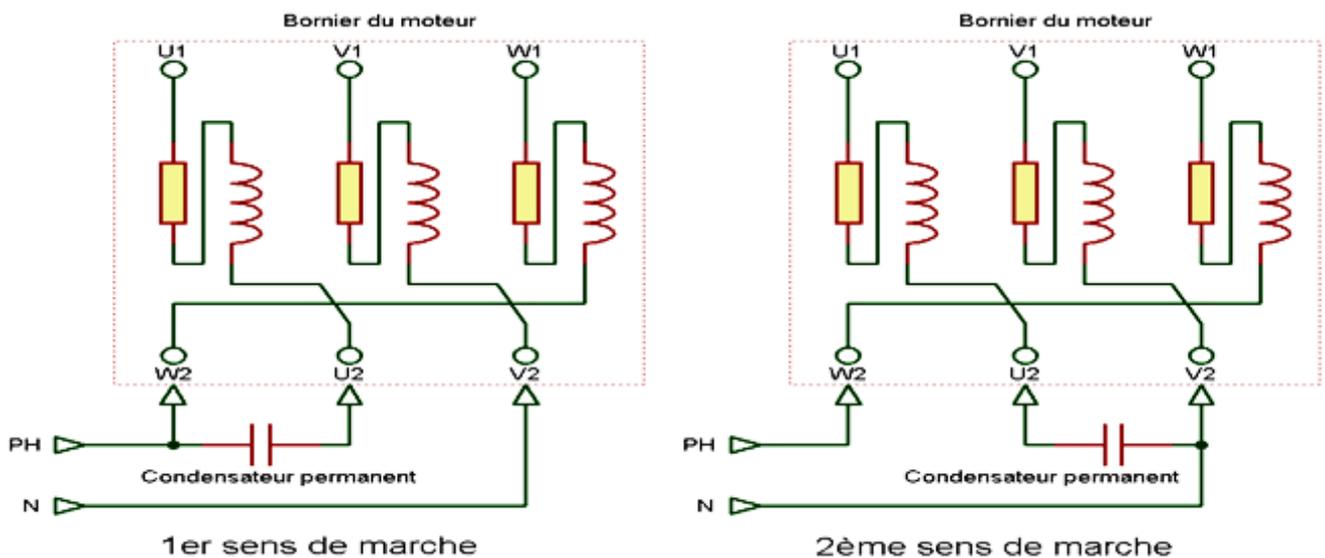


Figure 12 Couplage des moteurs mono phase

### 1.10 Plaque signalétique :

La plaque signalétique c'est la carte d'identité d'un moteur, tous les renseignements utiles y sont répertoriés. Il est intéressant de connaître la signification des différents symboles, chiffres, abréviation.

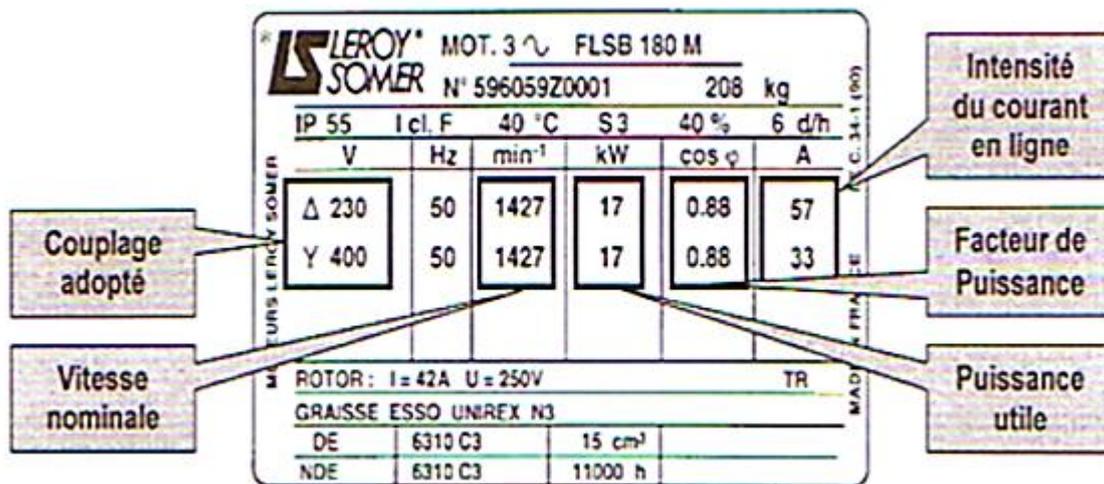


Figure 13 Couplage des moteurs mono phasés

### 1.11 Conséquences d'une variation de la tension ou de fréquence sur un moteur asynchrone :

#### 1.11.1 Augmentation et diminution de la tension :

A- Vitesse :

Lors des variations de tension la vitesse au synchronisme n'est pas modifiée. Mais sur un moteur en charge une augmentation de la tension entraîne une diminution du glissement et par la même l'accélération du moteur. Ce phénomène est limité par la saturation de la machine par contre si la tension d'alimentation décroît le moteur tourne plus lentement.

B- Couple :

Le couple étant proportionnel au carré de la tension, il augmente lorsque la tension est plus élevée. Inversement, il diminue considérablement lorsque la tension est plus élevée.

Si le moteur a été calculé trop juste, il peut ne pas démarrer, ou même caler et il risque d'être détérioré en cas de chute de tension persistante

C- Courant de démarrage :

Il varie proportionnellement à la tension d'alimentation donc, si celle-ci est plus élevée, le courant absorbé au moment du démarrage augmente, par contre, si la tension diminue, le courant de démarrage diminue également. Le courant en régime établi varie d'ailleurs de façon analogue.

### 1.11.2 Augmentation ou diminution de la fréquence :

#### A- Vitesse :

Sur un moteur asynchrone, nous l'avons vu précédemment, la vitesse de synchronisme est proportionnelle à la fréquence. Cette propriété est souvent utilisée pour faire fonctionner à très grande vitesse des moteurs spécialement conçus pour une alimentation par exemple en 400 Hz (rectifieuses, appareils de laboratoire ou chirurgicaux, etc.....).

Il est possible également d'obtenir une vitesse variable par réglage de puissance par exemple de 6 à 50Hz (rouleaux transporteurs. Appareils de levage. etc.....).

#### B- Couple :

A tension constante, le courant de démarrage est inversement proportionnel au carré de la fréquence. Si celle-ci augmente, le couple développé par le moteur diminue considérablement. Inversement, si la fréquence décroît, le couple croît.

#### C- Courant de démarrage :

A tension constante, le courant de démarrage varie en sens inverse de la fréquence. De ce fait, il augmente, si la fréquence diminue en inversement. Il en est de même du courant en régime établi. Cette variation de couple et de courant sont le plus souvent gênantes.

En pratique, pour les éviter, il est conseillé de varier la tension d'alimentation proportionnellement à la fréquence, [1].

### 1.12 Conclusion :

Dans ce premier chapitre nous avons exhibé un aperçu général sur les machines électriques et spécialement les moteurs électriques asynchrone en suite nous avons donnés une image globale sur son principe de fonctionnement et ses propriétés de base de leurs Constitution, ainsi que le bilan de puissance.

Le principal inconvénient de cette machine reste celui de la présence de balais-collecteurs qui la rend moins robuste et qui nécessite un entretien régulier.

# Chapitre

# II



## A – Généralités Sur Les moteur synchrones :

Le terme machine synchrone regroupe toutes les machines dont la vitesse de rotation de l'arbre de sortie est égale à la vitesse de rotation du champ tournant. Pour obtenir un tel fonctionnement, le champ magnétique rotorique est généré soit par des aimants, soit par un circuit d'excitation. La position du champ magnétique rotorique est alors fixe par rapport au rotor, ce qui impose en fonctionnement normal une vitesse de rotation identique entre le rotor et le champ tournant statorique.

En effet, cette famille de machine regroupe plusieurs sous familles, qui vont de l'alternateur de plusieurs centaines de mégawatts au moteur de quelques watts, en passant par les moteurs pas à pas. Néanmoins, la structure de toutes ces machines est relativement proche. Le stator est généralement constitué de trois enroulements triphasés répartis, tel que les forces électromotrices générées par la rotation du champ rotorique soient sinusoïdales où trapézoïdales. Il existe trois grandes familles de rotor, ayant pour rôle de générer le champ magnétique rotorique. Les rotors bobinés à pôles lisses, les rotors bobinés à pôles saillants ainsi que les rotors à aimants.

Dans ce chapitre, nous allons parler sur le moteur synchrone (principe, constitution, fonctionnement ...).

### 2.1 DESCRIPTION ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

#### 2.1.1 Description :

La machine synchrone se compose d'un stator et d'un rotor séparés par un entrefer. Son principe de fonctionnement, consiste en l'interaction entre un champ tournant au stator et un champ tournant au rotor. Concrètement aux machines synchrones, la fréquence des courants dans l'induit est liée à la vitesse de rotation et au nombre de paires de pôles par la relation :

$$\Omega = \frac{2\pi f}{p} \quad (2.1)$$

présente les machines synchrones comme celles dont la vitesse de rotation de l'axe de sortie est égale à la vitesse de rotation du champ tournant, c'est-à-dire, la machine tourne en synchronisme avec le champ tournant, après le démarrage. Le champ rotorique est généré soit par des aimants, soit par un circuit d'excitation.

Les caractéristiques principales des machines synchrones, selon :

- Accélération rapide
- Ondulations de couple réduites
- Les moteurs synchrones peuvent travailler avec un facteur de puissance proche à 1. Ils peuvent contribuer donc à redresser le facteur de puissance global de l'installation électrique.
- La vitesse des moteurs synchrones est constante quelle que soit la charge (cela est intéressant dans certaines applications, comme le cas des ascenseurs par exemple)
- Elle peut supporter des chutes de tension important sans décrocher.

Le stator des machines synchrones est presque toujours le même. Un stator constitué de trois enroulements triphasés répartis, de manière que l'on génère une force électromotrice triphasée. Le stator, notamment en forte puissance, est identique à celui d'une machine asynchrone.



## Moteurs synchrones

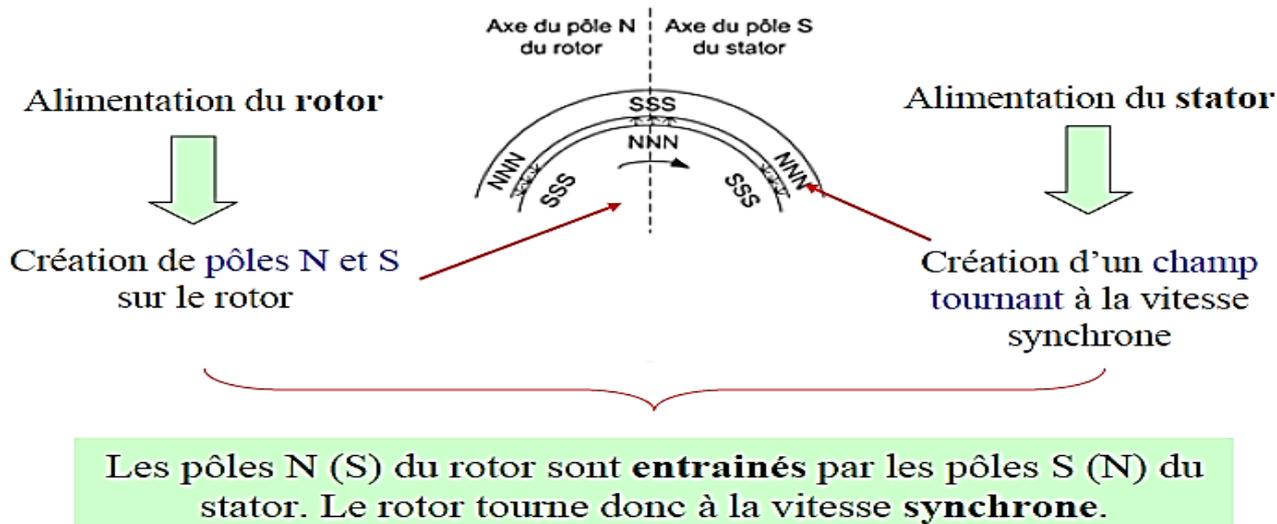


Figure 14 fonctionnement du moteur synchrone

### 2.1.2 Stator :

Le stator est habituellement l'induit (siège de la transformation de puissance). Le stator est constitué d'un bobinage triphasé généralement couplé en étoile, produisant  $p$  paires de pôles. Les bobinages sont insérés dans des encoches au sein de culasse en ferrite.

### 2.1.3 Rotor :

De la même manière, l'inducteur est généralement le rotor. C'est la partie tournante (pour des machines de faible puissance, c'est un aimant permanent), sinon c'est un électroaimant qui alimenté (excité) en courant continu, génère  $p$  paires de pôles. Il existe des rotors à pôles saillants avec un nombre de pôles élevé (c'est pour des machines tournantes à faible vitesse), on a aussi des pôles lisses ou entrefer constant, qui sont adoptés pour les alternateurs de forte puissance donc la fréquence de rotation est élevée (turbo alternateur).

#### a• Rotor à aimant permanent :

C'est la machine synchrone brushless, c'est une machine sans balai, donc aimants permanents permet-elle le plus utilisé car elle présente plusieurs avantages:

- Pas de pertes au rotor
- Pas besoin de bobinage et de balais au rotor
- Un rotor plus léger (car aimants plus légers que les bobinages) servomoteurs à faible inertie donc très réactifs
- Pour les faibles dimensions, induction plus importante .

Autrefois, cette technologie ne permettait pas de réaliser des machines de très fortes dimensions (cout trop important) mais avec les progrès réalisés sur les aimants, on observe une montée en puissance de ces moteurs.

Les aimants utilisés sont généralement soit des ferrites (faible induction mais bon marché) ou du Samarium cobalt (forte induction mais couteux)

**b• rotor bobiné :**

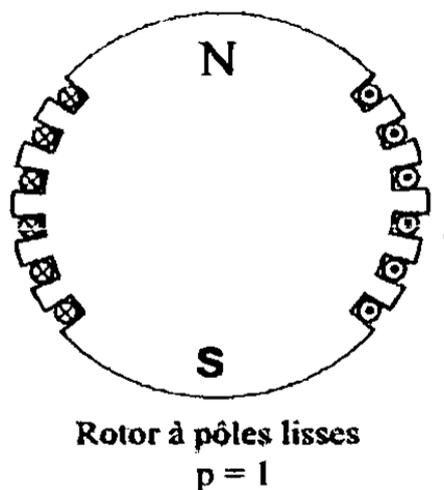
Le rotor porte, dans les encoches disposées à sa périphérie, un enroulement parcouru par un courant continu. Lorsque que l'inducteur est bobine, il est nécessaire de conserver des balais afin de l'alimenter (mais cette fois sans commutation). Le courant continu provient du système d'excitation. Le rotor excité, en tournant produit un champ tournant avec lui. Ce champ tournant engendre des forces électromotrices dans chacune des phases de l'enroulement du stator.

Les pôles sont alternativement nord et sud, leur nombre total  $2p$  est toujours paire. Certains rotors n'ont que 4 pôles, il en est qui en possèdent plusieurs dizaines. Si les différentes phases du stator sont fermées sur un circuit extérieur, elles sont parcourues par des courants alternatifs. L'ensemble de ces courants produit un champ tournant dans le même sens et à la même vitesse que le rotor. Le champ du rotor est proportionnel au courant d'excitation ; le champ du Stator est proportionnel au courant dans les phases de l'enroulement du stator

Il existe 2 types d'inducteurs :

**1. Rotor a pôles lisses :**

Caractéristiques : faible nombre des pole – faible diamètre – grand longueur.

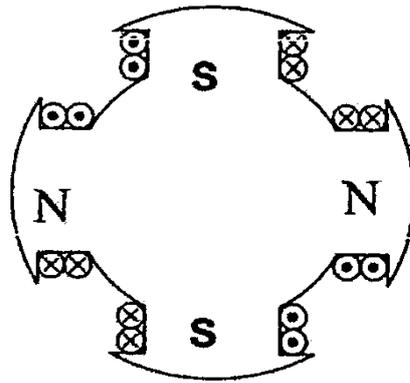


**Figure 15 Rotor a pôles lisses**

**2. Rotor à pôles saillants :**

Tournant moins vite, et de ce fait fournissant moins de puissance, il est utilisé dans les centrales hydrauliques et les groupes électrogènes **figure (16)**

Caractéristiques : nombre des pole élevés- diamètre élevés-faible longueur.



Rotor à pôles saillants  
 $p = 2$

Figure 16 Rotor à pôles saillants

## 2.2 champ tournant :

a- une bobine parcourue par un courant électrique :

C'est un électro-aimant avec 2 pôles : nord -sud un courant électrique alternatif crée un champ magnétique alternatif.



Figure 17 une bobine parcourue par un courant électrique

b- alimentation avec un système de courants triphasé :

Si l'on dispose à  $120^\circ$  l'une de l'autre 3 bobines identiques couplées en étoile et alimentée s avec un réseau de courants triphasés de fréquence 50Hz, la phase 2 étant en retard sur la phase 1 de  $120^\circ$  et la phase 3 en retard sur la phase 2 de  $120^\circ$  successivement les bobines 1 puis 2 puis 3 sont parcourues par un courant électrique alternatif Au milieu des 3 bobines, on a successivement un pôle Nord sur la bobine 1 puis 2 puis 3, puis Sud puis etc...

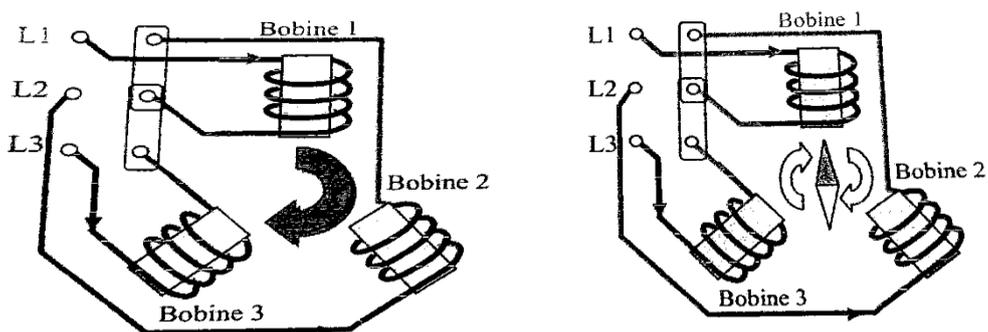


Figure 18 alimentation avec un système de courants triphasé

-Si l'on place au milieu des 3 bobines ainsi alimentées une aiguille aimantée, elle se met à tourner dans le sens horaire à la fréquence de rotation de 50 tours par seconde. Cette fréquence de rotation est la même que celle des courants dans les bobines : c'est la fréquence de rotation du champ tournant : on l'appelle fréquence de synchronisme notée  $N_s$  Figure (18).

-Si l'on inverse l'ordre de deux phases alimentant les bobines, on inverse le sens de rotation du champ tournant et l'aiguille aimantée tourne en sens inverse mais toujours à la même fréquence.

-Si l'on supprime deux des phases par exemple en coupant l'alimentation des bobines 2 et 3, seule la bobine 1 reste alimentée par un courant monophasé, l'aiguille aimantée continue de tourner dans le sens où elle a été lancée et à la même fréquence de synchronisme.

C-Alimentation avec un système de courant monophasé :

Si on alimente deux bobines branchées en série en respectant bien le sens des enroulements, avec un courant alternatif monophasé de fréquence 50 Hz, on crée entre les bobines un champ alternatif de même fréquence. Une aiguille placée dans ce champ vibre mais ne tourne pas. Si elle est lancée dans un sens ou dans l'autre, elle se met à tourner à la fréquence de synchronisme. En fait tout ce passe comme si il existait deux champs tournants en sens inverse et dont la somme des amplitudes serait égale à l'amplitude du champ monophasé alternatif (Fig.2.6).

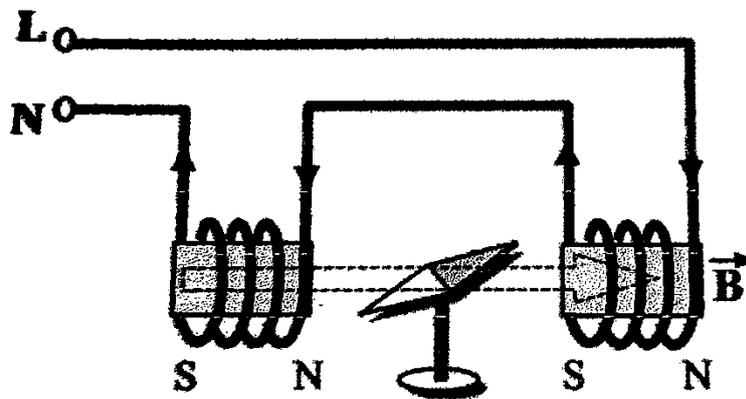


Figure 19 Alimentation avec un système de courant monophasé

### 2.3 Mode d'excitation des machines synchrones :

Il ya deux modes d'excitation :

#### 2.3.1 Mode d'excitation direct (auto-excité) :

L'énergie nécessaire à l'excitation de la machine synchrone est prélevée à l'enroulement de l'induit, le redressement du courant alternatif obtenu depuis l'induit étant assuré par des redresseurs à semi-conducteurs commandés (thyristors). Il existe deux systèmes :

- 1) Système d'excitation balais  
-bagues assurant la liaison électrique entre l'induit est l'inducteur.
- 2) L'excitation de l'inducteur principal.

est assurée par une excitatrice, dont l'induit est monté sur l'arbre de l'alternateur et l'inducteur fixe. Le redressement du courant d'excitation est assuré par des redresseurs semi – conducteurs tournants, ce système est dit : système sans balais-bagues [14].

**2.3.2 Mode d'excitation indirect (indépendant) :**

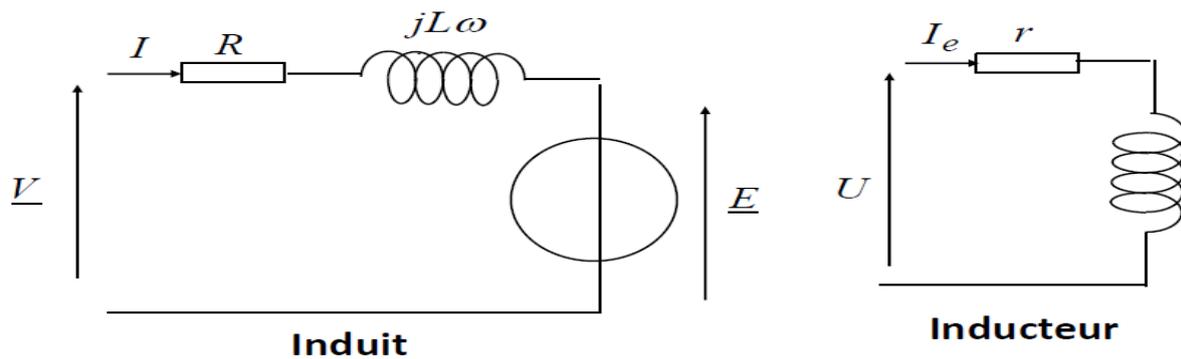
L'énergie nécessaire à l'alimentation de l'enroulement d'excitation est fournie par une source indépendante de la machine, par exemple, en utilisant une génératrice à courant continu [15].

**2.4 Connexions électriques :**

Les enroulements du stator : alimentation par un système triphasé équilibré de tensions, ces enroulements peuvent être connectés en étoile ou en triangle.

Les enroulements du rotor : alimentés par du courant continu (ou aimants permanents).

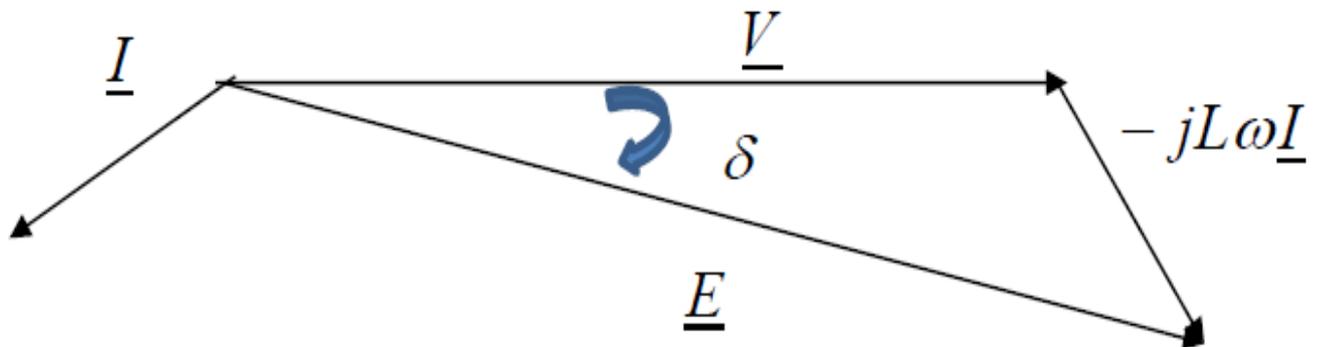
**2.5 SCHÉMA ÉQUIVALENT MONOPHASÉ D'UN MOTEUR SYNCHRONE :**



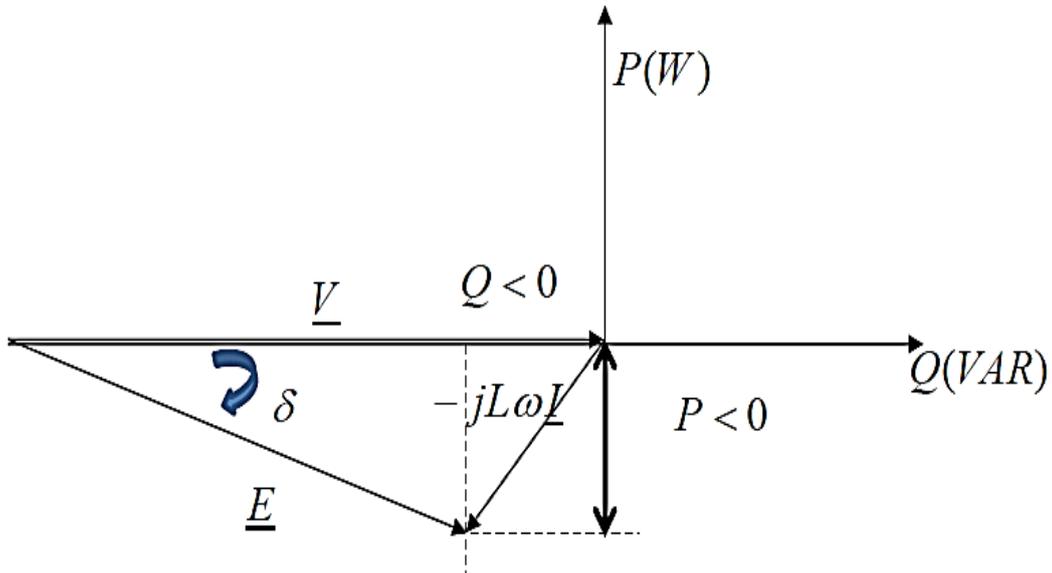
**Figure 20 SCHÉMA ÉQUIVALENT MONOPHASÉ D'UNE MOTEUR SYNCHRONE**

$$\underline{V} = \underline{E} + jL\omega\underline{I} \quad (2.2)$$

Le diagramme de moteur synchrone en négligeant R



Le moteur synchrone surexcité absorbant de la puissance active sur le réseau tout en lui fournissant de la puissance réactive.



2.6 Bilan des puissances et rendement :

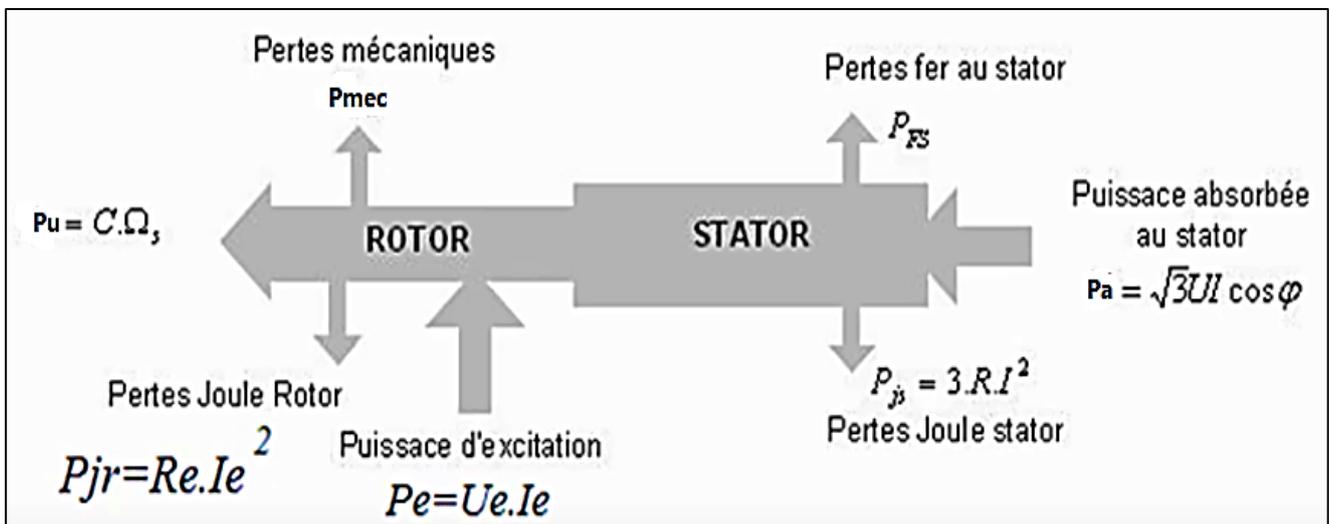
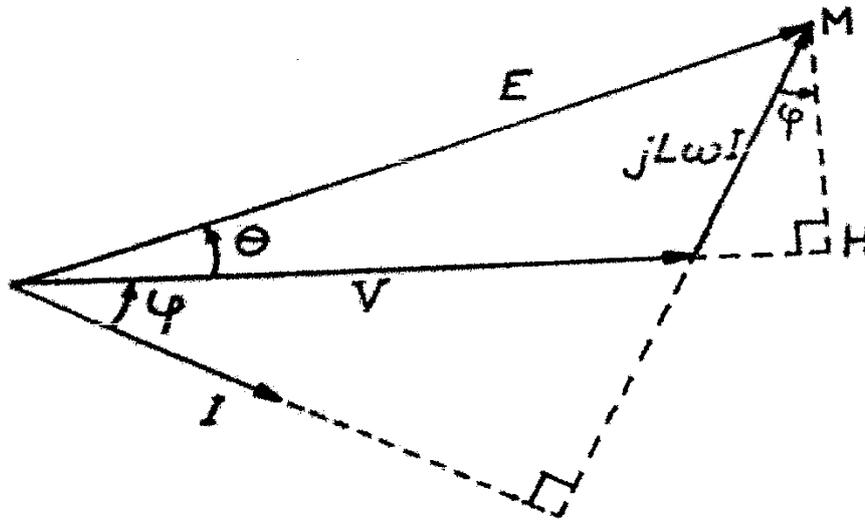


Figure 21 Bilan des puissances

$$\eta = \frac{P_a - P_{js} - P_{fs} - P_{mec} - P_{jr}}{P_a + P_e} = \frac{P_u}{P_a} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$P_{\text{constantes}} = P_{\text{collectives}} = P_f + P_{mec} \dots\dots\dots(2.4)$$

Diagramme de Behn-eschenburg simplifié pour le calcul du couple électromagnétique de moteur synchrone.



On a  $HM = L\omega I \cdot \cos\varphi = E \sin\varphi$  ET  $Pu = C \cdot \Omega_s \approx \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$

$$I = \frac{HM}{L\omega \cdot \cos\varphi}, \quad Pu = \frac{\sqrt{3} \cdot U}{L\omega} HM$$

Le couple peut s'écrire

$$C = \frac{\sqrt{3} \cdot U}{L\omega \Omega_s} HM \quad \text{avec} \quad \Omega_s = \frac{\omega}{p}$$

$$C = \frac{Pu}{\Omega_s} \approx \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot P \cdot E \cdot \sin\varphi}{L \cdot \omega \cdot \omega} \dots\dots\dots (2.5)$$

**Rendement :**

$$\eta_{\text{moteur}} = \frac{Pu}{Pa} = \frac{C \cdot \Omega_s}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi} \dots\dots\dots (2.6)$$

Le module de la fem dépend du champ magnétique créé par l'inducteur

$$E = K \times N \times f \times \varphi$$

Avec

K : constante de Kapp dépendant de la machine

N : nombre de conducteurs dans un enroulement

f : fréquence d'alimentation

$\varphi$  : flux passant par une spire

## 2.7 couplages de moteur synchrone :

Deux couplages sont possibles : Etoile (Y) qui impose une tension simple à chaque enroulement ou triangle ( $\Delta$ ) qui impose une tension composée à chaque enroulement

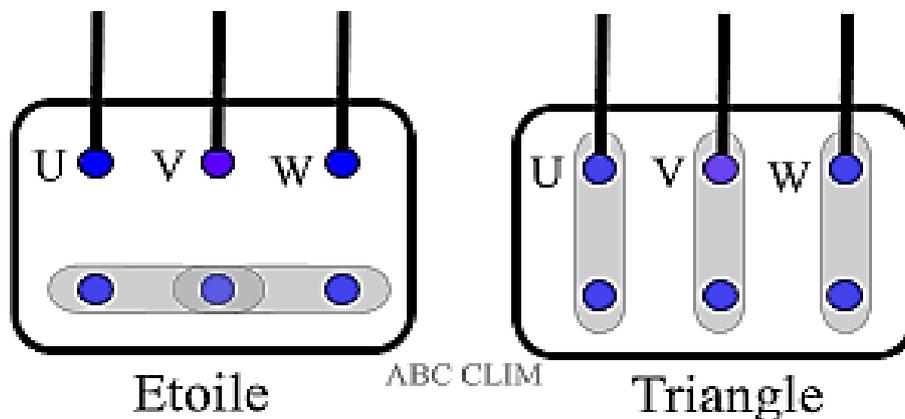


Figure 22 couplages de moteur synchrone

## 2.8 symboles de moteur synchrone :

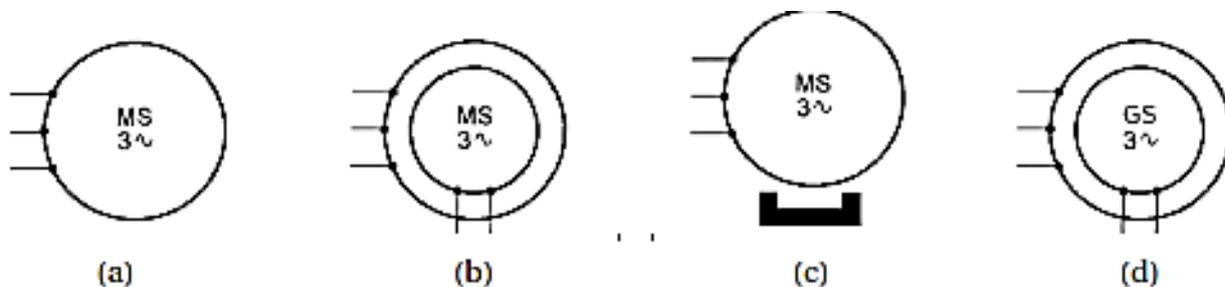


Figure 23 symboles de moteur synchrone

- (a) moteur synchrone,
- (b) moteur synchrone triphasé à rotor bobiné,
- (c) moteur synchrone triphasé à aimants,
- (d) alternateur triphasé à rotor bobiné.

## B - Machine à courant continu

### Généralités :

L'emploi des moteurs à courant continu est sans équivalent dans le domaine des très faibles puissances (jouets, perceuses miniatures,...). Il est en particulier presque obligatoire dans les équipements des automobiles (essuie-glaces, ventilateurs, lève-vitres, démarreurs, ...). Dans le domaine industriel, on trouve des moteurs à courant continu de puissance moyenne dans les applications à vitesse variable. En ce qui concerne les fortes puissances, les limitations technologiques liées à l'alimentation en puissance électrique du rotor font qu'ils sont maintenant supplantés par les moteurs synchrones auto-pilotés qui possèdent globalement les mêmes caractéristiques mécaniques.

La propriété essentielle des moteurs à courant continu est leur remarquable capacité de variation de vitesse. Celle-ci peut, en régime permanent, être réglée sans difficulté dans un rapport 1 à 1000. Cette gamme de variation est bien supérieure à celle que l'on peut obtenir avec les autres moteurs électriques, même associés à des dispositifs électroniques. Elle est sans commune mesure avec ce que peuvent assurer les moteurs thermiques.

La variation de vitesse des moteurs à courant continu s'effectue maintenant presque exclusivement grâce à la variation de la tension d'alimentation. Là encore, c'est l'intervention de l'électronique de puissance qui a permis de profiter pleinement des possibilités de ces moteurs. Les dispositifs, devenus usuels que sont, d'une part les redresseurs commandés à thyristors et d'autre part, les hacheurs, sont en mesure de fournir ces tensions variables à partir, respectivement, du secteur alternatif ou d'une source de tension continue fixe. Mais les moteurs à courant continu sont coûteux. A puissance égale, le prix d'un moteur à courant continu est plus de deux fois celui d'un moteur asynchrone de même puissance.

Considérations particulières (sécurité, autonomie, nature de l'alimentation disponible), ce n'est que lorsqu'on a un besoin impérieux de réaliser un entraînement à vitesse très largement variable qu'il faut utiliser un moteur à courant continu. Actuellement, même ce créneau est grignoté par les moteurs asynchrones qui, associés à des onduleurs autonomes permettent l'entraînement à vitesse variable à des coûts tout à fait compétitifs.

Le domaine d'utilisation privilégié des moteurs à courant continu est celui de la traction électrique (traction automobile, chariots élévateurs, traction ferroviaire). Ce sont alors des moteurs "série".

On emploie aussi les moteurs à courant continu dans les asservissements de vitesse très performants. En effet, pour asservir à une grandeur de commande même constante la vitesse d'un moteur dont la charge varie, il faut pouvoir agir sur cette vitesse de manière à être capable de rattraper les écarts entre la grandeur de consigne et la vitesse effective. Ainsi, les platines de chaînes Hi-Fi sont équipées de moteurs à courant continu et non de moteurs asynchrones monophasés.

On trouve encore des moteurs à courant continu dans les fabriques de papier (où les différents moteurs agissant sur une même feuille de papier sont asservis les uns aux autres), dans les laminoirs (où les phases de ralentissement et d'inversion du sens de rotation sont extrêmement fréquents), dans beaucoup d'ascenseurs, de machines-outils et de servomécanismes de grandes performances.

En 1870 un Bricoleur chez l'orfèvre Christofle, Zénobe Gramme (1826-1901), après avoir observé les faiblesses des machines Alliance de son employeur, met au point la première dynamo Industrielle.

En 1871, il fonde la Société des machines magnétoélectriques Gramme avec son ami Hippolyte Fontaine [16].

En 1879 Ernst Werner Siemens développe un premier tramway sur rail à Berlin (une locomotive, 3 petits wagons chacun chargés de 6 personnes).

En 1899 La voiture électrique du belge Jenatzy décroche le record du monde de vitesse et atteint les 105,9 km/h à Achères le 6 mai 1899. Son nom restera également associé à la conception de plusieurs voitures électriques ou mixtes.

Au cours du XXe siècle, la machine à courant continu est restée incontournable dans de nombreuses applications :

- La traction qui demande un fort couple à très basse vitesse.
- Le domaine de la vitesse variable.
- Les systèmes embarqués alimentés par batteries.

## 2.9 Principe de fonctionnement en moteur :

Le fonctionnement de moteur à courant continu est basé sur le principe des forces de Laplace :

Un conducteur de longueur (L), placé dans un champ magnétique et parcouru par un courant, est soumis à une force électromagnétique. Le champ créé par l'inducteur agit sur les conducteurs de l'induit : Chacun des (N) conducteurs de longueur (L) placé dans le champ (B) et parcouru par un courant (I) est le siège d'une force électromagnétique perpendiculaire au conducteur :

$$F = B \cdot I \cdot L \cdot \sin \alpha \quad (3.1)$$

F : force électromagnétique(N)      I : courant(A)

B : champ magnétique(T)

Ces forces de Laplace exercent un couple proportionnel à l'intensité (I) et au flux ( $\Phi$ ) sur le rotor. Le moteur se met à tourner à une vitesse proportionnelle à la tension d'alimentation (V) et, inversement proportionnelle au flux ( $\Phi$ ).

Au passage de tout conducteur de l'induit sur la ligne neutre, le courant qui le traverse change de sens grâce au collecteur. Le moteur conserve le même sens de rotation. Pour inverser le sens de rotation du moteur, il convient d'inverser le sens du champ produit par l'inducteur par rapport au sens du courant circulant dans l'induit :

- Soit on inverse la polarité de la tension d'alimentation de l'induit.
- Soit on inverse la polarité d'alimentation du circuit d'excitation [17].

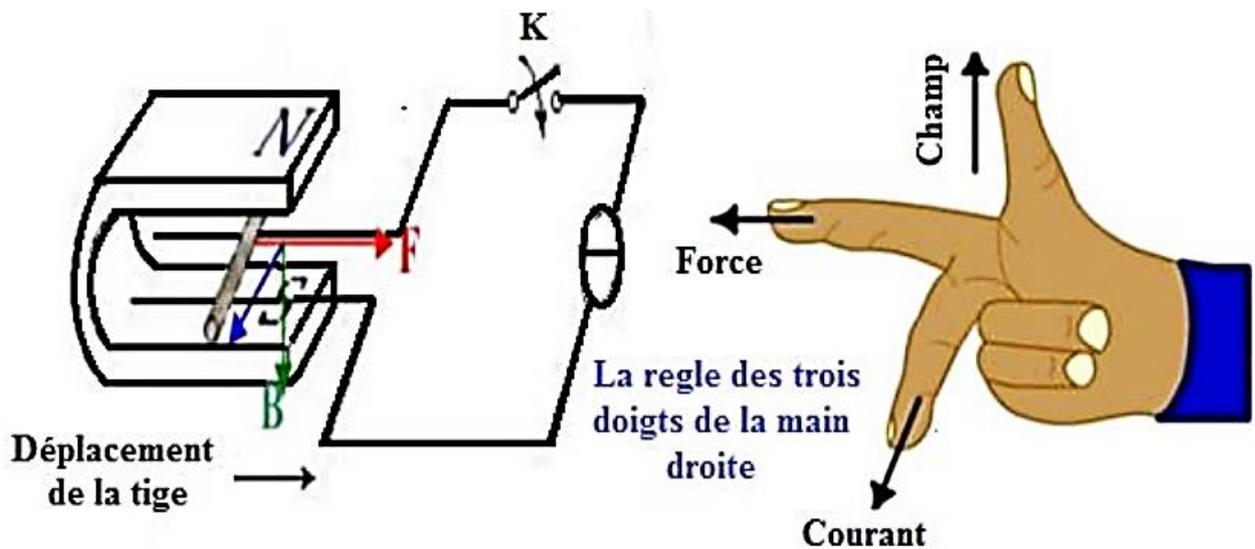


Figure 24 Principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu

### 2.10 Constitution :

La machine à courant continu est constituée de trois parties principales :

- L'inducteur.
- L'induit.
- Le dispositif collecteur / balais.

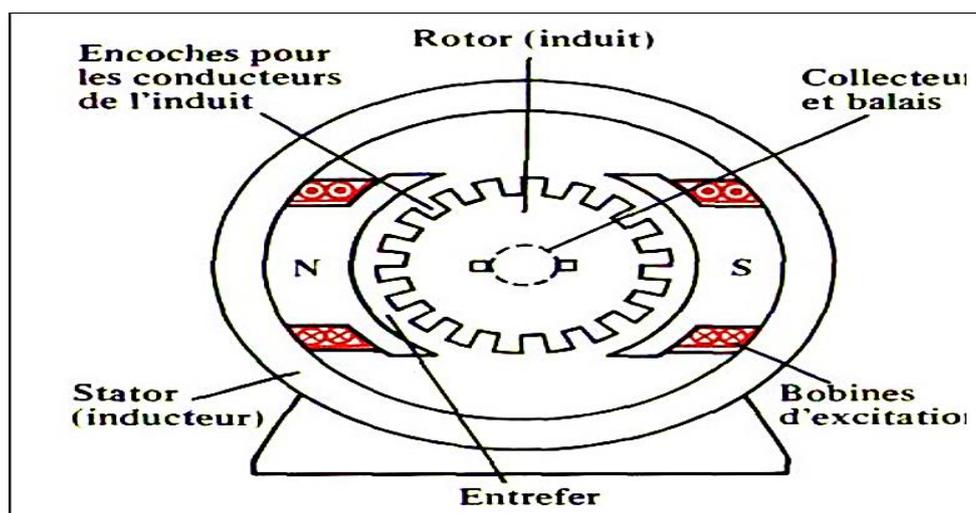


Figure 25 Description de la machine à courant continu

### 2.10.1 Inducteur :

L'inducteur est la partie fixe du moteur, il est constitué :

#### 2.10.1.1 Pôles principaux :

Destinés à créer le flux magnétique principal, qui peuvent être constitués d'aimants permanents ou de pièces polaires associées des enroulements inducteurs par un courant continu [18].

#### 2.10.1.2 Pôles auxiliaires :

Ils sont placés entre les pôles principaux selon les axes inter polaires dits axes neutres, le flux qu'ils produisent améliore la commutation. Ils réduisent les étincelles aux balais, ces étincelles étant produites par le renversement du sens de courant dans les sections court circuitées par les balais. L'enroulement de ces pôles est en série avec l'enroulement d'induit [19].

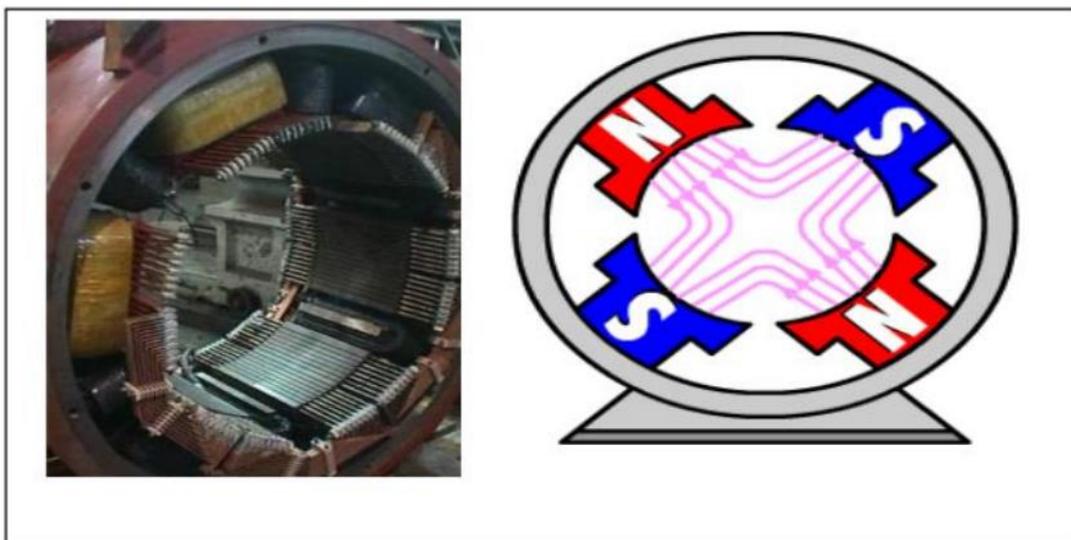


Figure 26 Inducteur de la machine à courant continu

### 2.10.2 Induit (Le rotor) :

Le rotor est constitué d'encoches dans les quelles est enroulé un bobinage de (N) conducteurs alimentés en courant continu (I) via le collecteur [17].

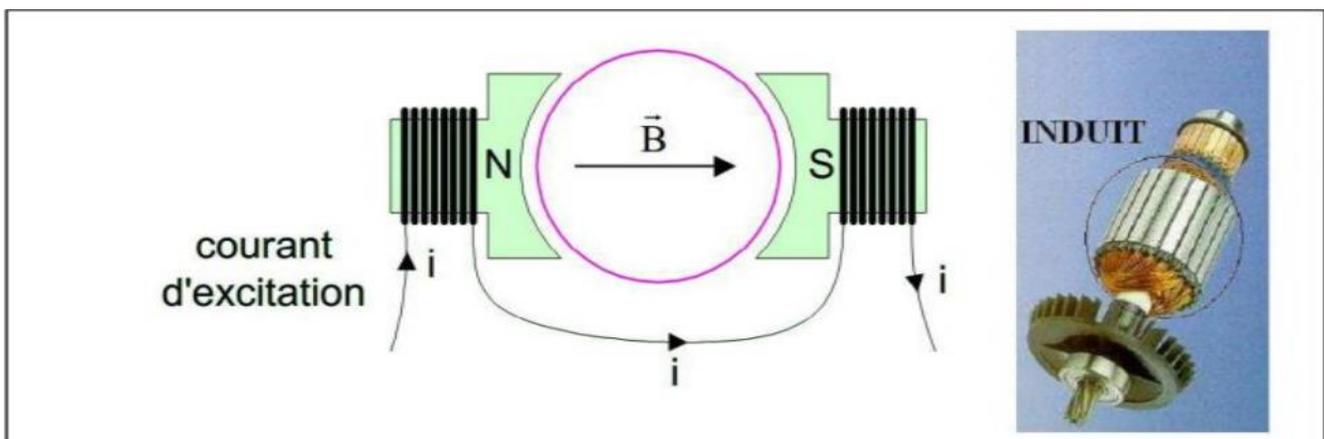
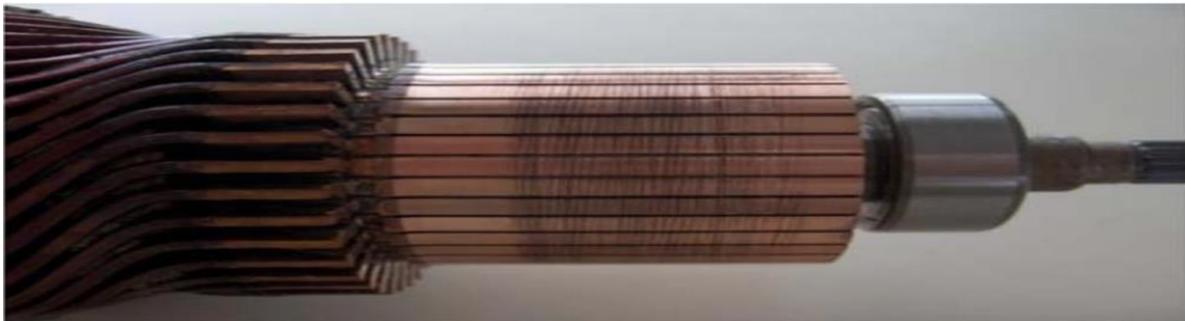


Figure 27 Rotor de la machine à courant continu

### 2.10.3 Collecteur :

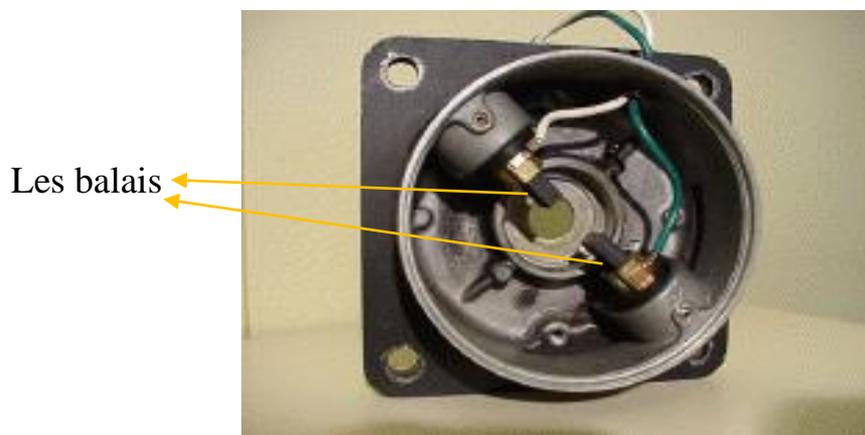
Le collecteur est le constituant critique des machines à courant continu. C'est un ensemble de lames de cuivre, isolées latéralement les unes des autres et disposées suivant un cylindre, en bout de rotor. Ces lames sont réunies aux conducteurs de l'induit. Le collecteur a pour fonction d'assurer la commutation du courant d'alimentation dans les conducteurs de l'induit [20].



**Figure 28 Collecteur**

### 2.10.4 Balai :

Fixés sur la carcasse par le biais de portes balais, ils sont en carbone ou en graphite permettent l'alimentation de l'induit (partie en rotation) grâce à un contact glissant entre les lames du collecteur reliées aux conducteurs de l'induit et le circuit électrique extérieur. Ils sont constitués de petits cubes ayant une surface de contact de quelques mm<sup>2</sup> à quelques cm<sup>2</sup>, en graphite pur ou en alliage, qui doivent résister à des conditions d'utilisation sévères (courants élevés, températures élevées, frottements, arc, atmosphères chargées ou très sèches).



**Figure 29 Balai**

### 2.11 Force contre électromotrice :

La force contre électromotrice f.c.e.m (E) est la tension produite par le rotor (l'induit) lors de sa rotation dans le flux magnétique produit par la partie fixe (l'inducteur). Elle dépend des éléments de construction de la machine.

$$E = \frac{P}{a} N \cdot n \cdot \Phi \quad (3.2)$$

P : nombre de pair de pôles de la machine.

N : nombre de conducteurs actifs de la périphérie de l'induit.

a : nombre de paires de voies de l'enroulement entre les deux balais.

n : fréquence de rotation de l'induit (en tr/s).

$\Phi$  : flux sous un pôle de la machine en Webers.

$$E = K \cdot \Omega \cdot \Phi \quad (3.3)$$

Avec :

$$K = \frac{P}{2\pi a} N \quad (3.4)$$

### 2.12 Différents types de moteurs selon l'inducteur :

On distingue deux types de moteurs à courant continu :

#### 2.12.1 Moteurs à inducteur à aimant permanent :

Il n'y a pas de circuit inducteur, le flux inducteur est produit par un aimant permanent. Tous les moteurs à courant continu de faible puissance et les micromoteurs sont des moteurs à aimant permanent.

Ils représentent maintenant la majorité des moteurs à courant continu. Ils sont très simples à l'utilisation [18].

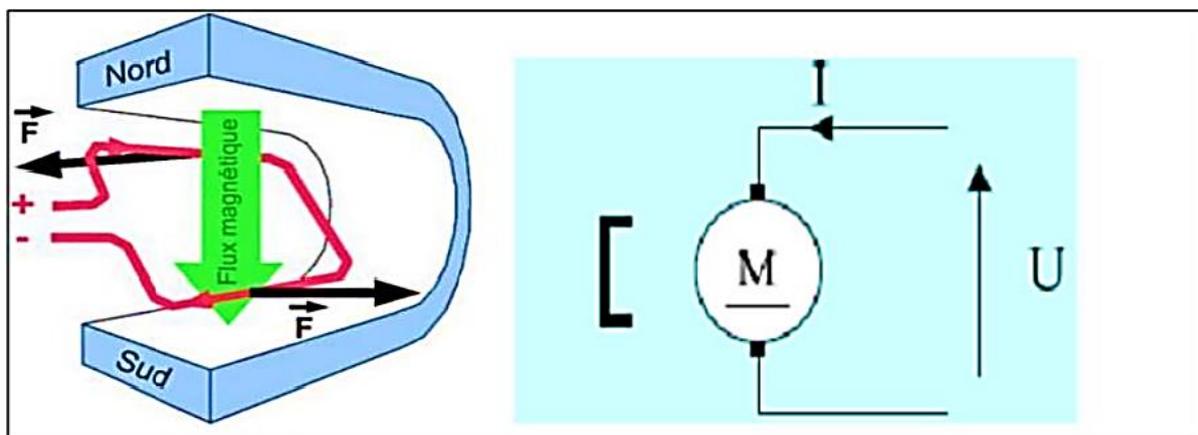


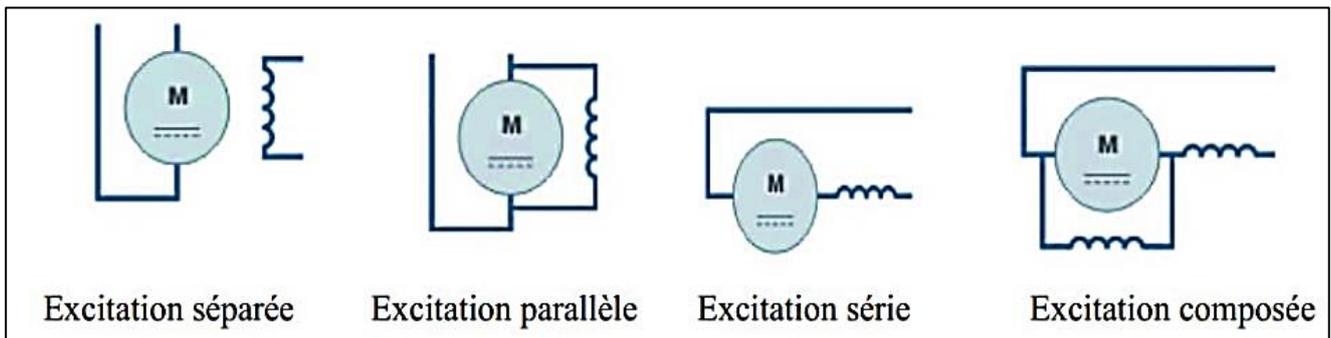
Figure 30 Moteurs à inducteur à aimant permanent

**2.12.2 Moteurs à inducteur bobiné :**

**2.12.2.1 Différents modes d'excitation d'un moteur à courant continu :**

L'inducteur d'un moteur à courant continu peut être branché de diverses façons. La machine est à excitation séparée (ou indépendante) quand l'inducteur et l'induit sont reliés à des sources différentes. La machine est à excitation liée, lorsque l'inducteur et l'induit sont alimentés à partir de la même source. Quatre possibilités existent alors.

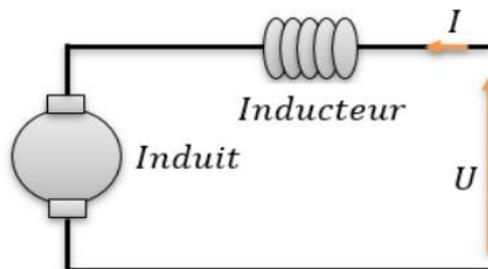
- L'excitation parallèle (ou shunt).
- L'excitation série.
- L'excitation composée.
- L'excitation séparée.



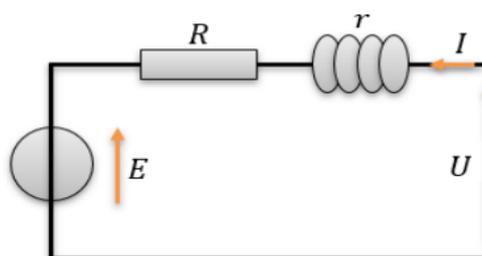
**Figure 31 Différents modes d'excitations**

➤ Moteur à excitation série

Pour le moteur à courant continu à excitation série, l'induit et l'inducteur sont branchés en série, ce qui donne le schéma suivant Figure (32), et donc le schéma équivalent suivant (modèle de Thévenin) Figure (33).



**Figure 32 Schéma du MCC à excitation série**



**Figure 33 Schéma équivalent du MCC à excitation série**

$R_t$  est la résistance totale du moteur, elle est égale à la somme des résistances d'induit  $R$  et d'inducteur  $r$  :

$$R_t = R + r \quad (3.5)$$

$R_t$  se mesure en mesurant  $r$  et  $R$  indépendamment l'une de l'autre.

Remarque Le moteur à excitation série ne doit jamais fonctionner à vide car si  $I \rightarrow 0, \Omega \rightarrow \infty$  La machine risque l'emballement.

### ➤ Domaine d'application et Caractéristiques

Caractéristiques	Domaine d'application
<ul style="list-style-type: none"> <li>-L'inducteur connecté en série avec l'induit.</li> <li>- Le moteur série est un autorégulateurs de puissance.</li> <li>- possède un fort couple de démarrage mais risque l'emballement à vide.</li> <li>- Le couple du moteur série ne dépend pas de la tension d'alimentation.</li> <li>-Le couple résistant croit rapidement avec la vitesse.</li> <li>- La vitesse décroît quand la charge augmente.</li> <li>-Supporte bien les surcharges.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-engins de levage (grues, palans, ponts roulants).</li> <li>-ventilateurs.</li> <li>- pompes centrifuges.</li> <li>- traction.</li> </ul>

Tableau 1 Domaine d'application et caractéristiques du MCC à excitation série [5].

### ➤ Moteur à excitation shunt

L'enroulement d'excitation shunt est connecté en parallèle sur l'alimentation du moteur, il possède les mêmes propriétés que le moteur à excitation séparée du fait que, dans les deux cas l'inducteur constitue un circuit extérieur à celui de l'induit. Le circuit électrique est représenté par la **Figure (34)** .

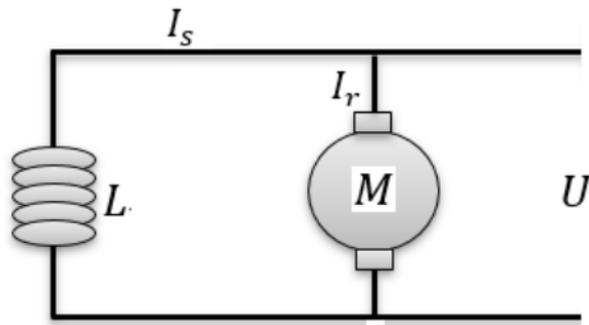


Figure 34 Schéma de MCC à excitation shunt

➤ **Domaine d'application et Caractéristiques**

Caractéristiques	Domaine d'application
<ul style="list-style-type: none"> <li>-L'inducteur et l'induit sont <b>branchés en parallèle</b>.</li> <li>-Vitesse constante quel que soit la charge.</li> <li>- Le moteur shunt est un autorégulateur de vitesse.</li> </ul>	Machines-outils, appareil de levage (ascenseur).

Tableau 2 Domaine d'application du MCC à excitation composée

➤ **Moteur à excitation séparée**

L'alimentation de l'enroulement inducteur est prise sur une source indépendante de la source de l'induit comme l'indique la **Figure (35)** [21].

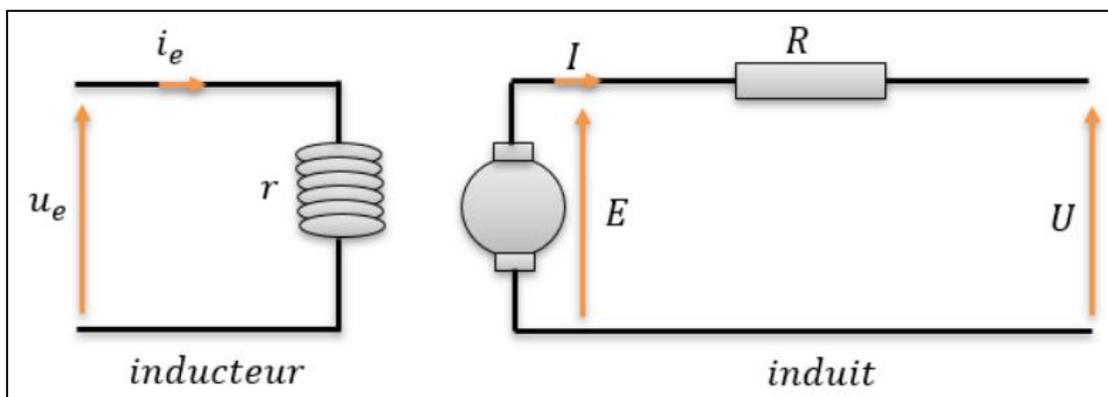


Figure 35 Schéma équivalent du moteur à excitation séparée

Régime transitoire (pour l'induit)

- L'équation électrique :  $U_a(t) = R_a I_a(t) + L_a \frac{dI_a(t)}{dt} + e(t) \dots$  (3.6)

$$e(t) = K_e \omega(t) \quad (3.7)$$

Régime permanent (pour l'induit)

- Équation électrique à l'induit :  $U = e + R \cdot I_a$  (3.8)

- Équation électrique à l'inducteur :  $U_e = r \cdot I_e$  (3.9)

- L'équation mécanique :  $J \frac{d\Omega}{dt} = C_m(t) - C_f(t) - C_r(t)$  (3.10)

$$C_m(t) = K_c I(t) \quad (3.11)$$

$$C_f(t) = A \cdot \omega(t) \quad (3.12)$$

Avec les notations suivantes :

U : tension aux bornes de l'induit en V

U<sub>e</sub> : tension aux bornes de l'inducteur en V

I : courant dans l'induit en A

i<sub>e</sub> : courant dans l'inducteur en A

R : résistance aux bornes de l'induit en Ω

r : résistance aux bornes de l'inducteur en Ω

E : force électromotrice en V

J : moment d'inertie en kg.m<sup>2</sup>

C<sub>f</sub> : couple de frottement en N.m

A : coefficient de frottement visqueux en m.N.rad<sup>-1</sup>. S

➤ Domaine d'application et Caractéristiques

Caractéristiques	Domaine d'application
-L'inducteur est alimenté par une source indépendante. -Grande souplesse de commande. -Large gamme de vitesse. Utilisé en milieu industriel, associé avec un variateur électronique de vitesse et surtout sous la forme moteur d'asservissement.	-Machines-outils. -moteur de broche, d'axe. -Machines spéciales.

Tableau 3 Domaine d'application du MCC à excitation séparée

2.13 Bilan de la puissance :

On peut représenter le bilan des puissances mises en jeu dans un moteur à courant continu en fonctionnement nominal par une flèche qui rétrécit au fur et à mesure que la puissance diminue [22].

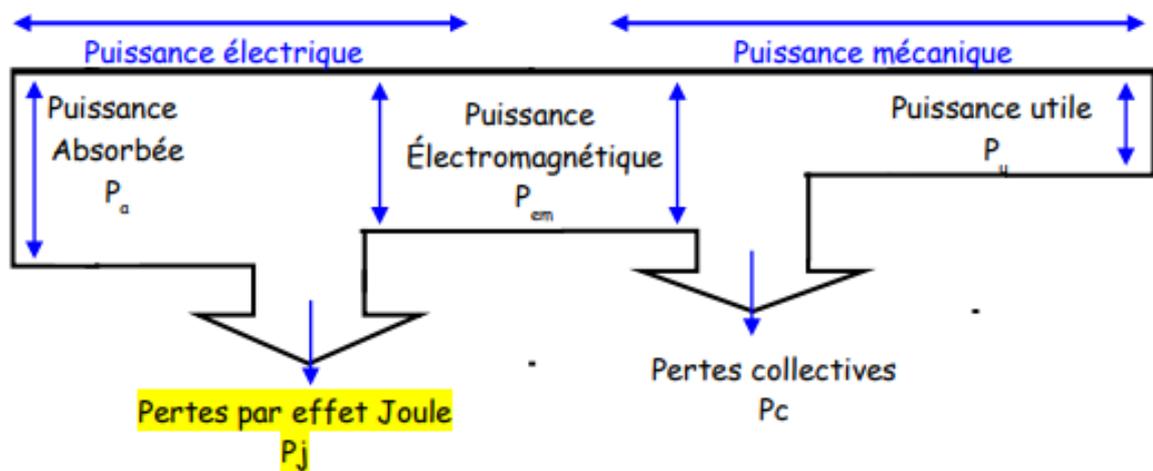


Figure 36 Bilan de la puissance

Toutes les puissances mises en jeu dans ce bilan peuvent être calculées à partir des relations qui suivent. Le moteur reçoit une puissance  $P_a$ , produit de la tension, appliquée sur les bornes de l'induit et de l'intensité du courant qui le traverse

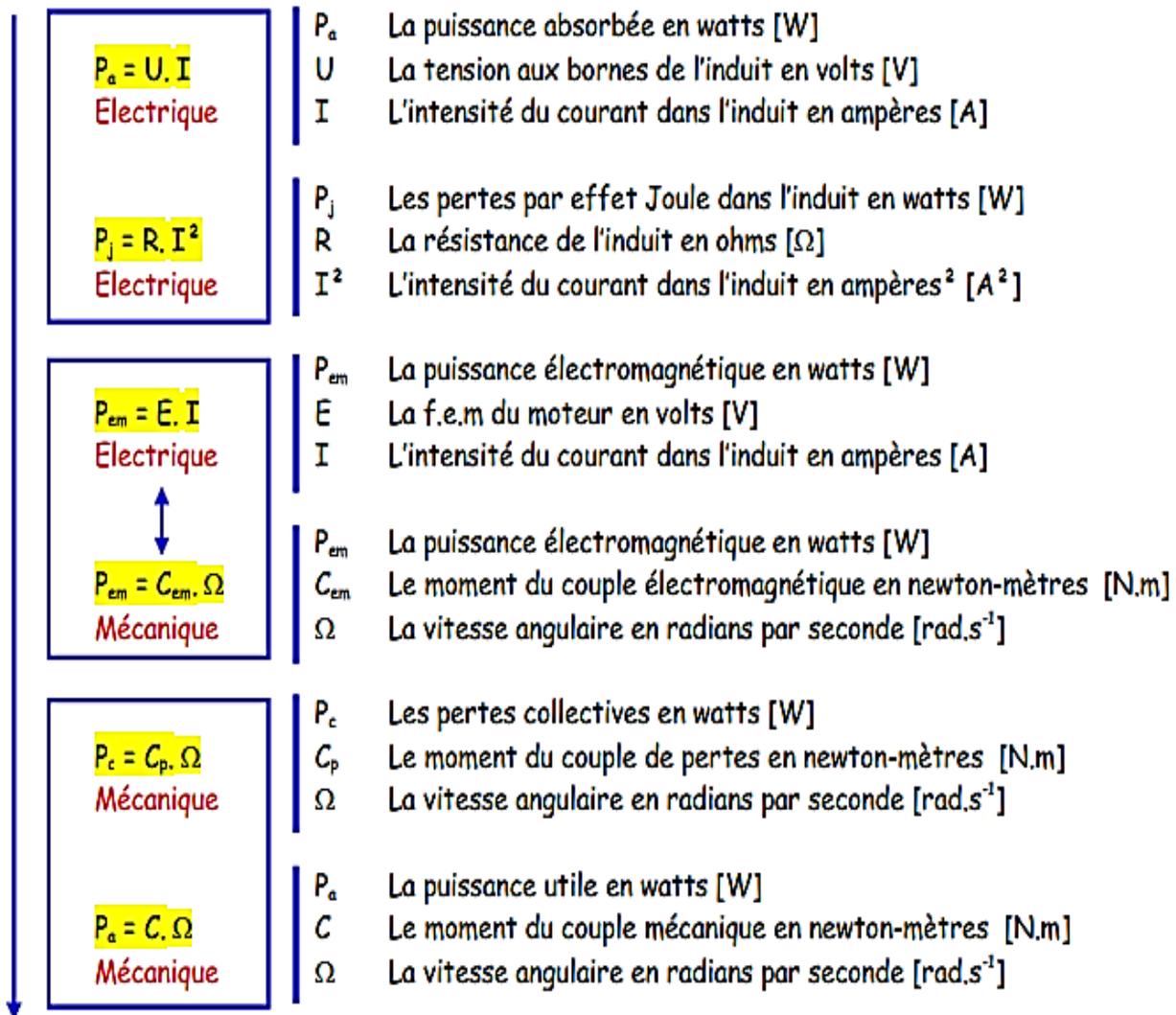


Figure 37 les expressions de calcul bilan de puissance

### 2.13.1 Description des pertes :

#### 2.13.1.1 pertes dans le fer :

Elles sont dues aux phénomènes d'hystérésis et de courants de Foucault dans la masse du circuit ferromagnétique de l'induit Elles sont fonction du champ magnétique et de la vitesse de rotation. On les appelle aussi pertes magnétiques. [23]

Pertes par hystérésis :

Elles sont proportionnelles à la vitesse et à peu près proportionnelles au carré de l'induction :

$$P_h = k_1 \cdot n B^2 \quad (3.13)$$

Pertes par courants de Foucault :

sont proportionnelles au carré de la vitesse et de l'induction :

$$P_f = k_2 \cdot n^2 B^2 \quad (3.14)$$

Lorsque le flux est à peu près indépendant de I (indépendant ou shunt), l'ensemble de ces pertes l'est aussi. Il n'en est pas de même s'il y a un inducteur série.

### 2.13.1.2 pertes mécaniques :

Elles sont produites par la ventilation et les divers frottements (frottements de l'arbre dans les paliers sur le collecteur).

Ces pertes sont à peu près indépendantes de la charge, donc de I, par contre elles dépendent de la vitesse.

Elles sont donc les mêmes à vide qu'en charge sauf pour le moteur série dont la vitesse varie beaucoup.

Si la vitesse n'est pas trop élevée on peut admettre la proportionnalité  $P_m = kn$ , sinon il faut tenir compte d'un terme du second degré

$$P_m = kn + k'n^2 \quad (3.15)$$

### 2.13.1.3 Pertes constantes :

La somme des pertes dans le fer et des pertes mécaniques est appelée pertes collectives ou pertes constantes.

$$P_c = P_m + P_h + P_f \quad (3.16)$$

## 2.14 Rendement :

Les moteurs à courant continu consomment une partie de l'énergie absorbée pour leur fonctionnement. L'énergie mécanique fournie sera toujours plus petite que l'énergie électrique absorbée. Le rapport entre l'énergie fournie et l'énergie absorbée est le rendement.

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad (3.17)$$

## 2.15 Variation de vitesse :

Pour faire varier la vitesse d'un moteur à courant continu, on peut agir sur la tension aux bornes de l'induit. La tension d'induit est directement proportionnelle à la vitesse de rotation. La puissance varie mais le couple reste constant. On dit alors que l'on fait de la variation de vitesse à couple constant.

### 2.15.1 Différents modes de réglage de la vitesse d'un moteur à courant continu :

La relation de la vitesse d'un moteur à courant continu (à excitation shunt ou séparée) est donnée Par :

$$N = \frac{U - R_a I_a}{K \Phi} \quad (3.18)$$

En explorant cette relation, il apparait clairement quatre possibilités pour le réglage de la vitesse :

- ✓ Action sur  $R_a$  (réglage rhéostatique).
- ✓ Action sur  $\Phi$  (réglage par le flux).
- ✓ Action sur  $U_a$  (réglage par la tension).
- ✓ Action sur le courant d'excitation.

### 2.15.1.1 Par variation de la tension d'induit :

Le flux est mis à sa valeur nominale. En appliquant des tensions faibles par rapport à la tension nominale, on obtient une famille de caractéristique parallèles.

Ce mode de réglage permet de réduire la vitesse et il est excellent du point de vue technique et économique, car aucune énergie n'est gaspillée.

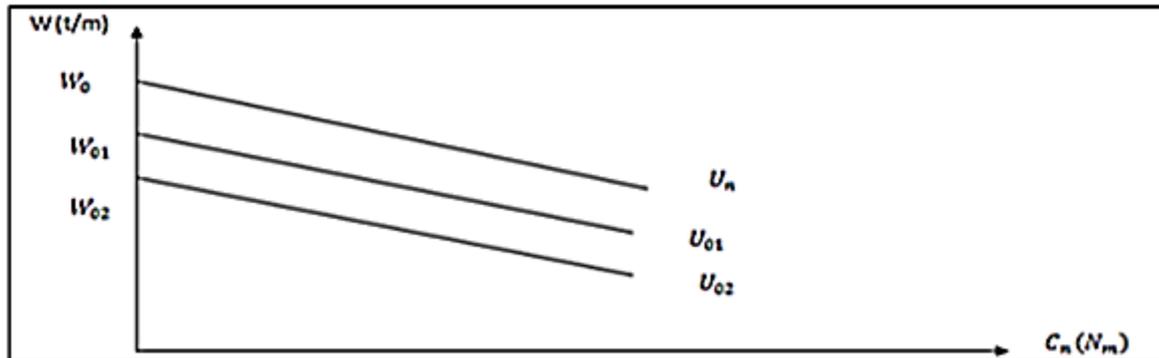


Figure 38 Caractéristique de réglage par variation de la tension d'induit

### 2.15.1.2 Par action sur le courant d'excitation :

A tension  $U$  constante, la vitesse du moteur est inversement proportionnelle au flux et donc au courant d'excitation ( $i_e$ ). L'action sur le courant d'excitation permet donc essentiellement d'accroître la vitesse à partir du point de fonctionnement nominal jusqu'à la vitesse maximale supportable par le moteur [24].

## 2.16 Utilisation de la machine à courant continu :

Le moteur série est intéressant quand la charge impose d'avoir un gros couple, au démarrage et à faible vitesse de rotation.

Le moteur séparé est particulièrement adapté aux entraînements de machines nécessitant des vitesses réglables (action sur la tension) et présentant un couple important en basse vitesse (machines-outils).

- Démarreur (automobile ...).
- Moteur de traction (locomotive, métro ...).
- Appareils de levage.
- Ventilateurs, pompes centrifuges, compresseurs, pompes à piston.
- Machines-outils à couple variable ou à mouvement alternatif (étaux-limeurs, raboteuses).

**2.17 Comparaison entre les différents types de moteurs :**

Les types du moteur	Avantages	Inconvénients
Moteur à courant continu	<ul style="list-style-type: none"> <li>-couple élevé au démarrage.</li> <li>-contrôle du couple et de la vitesse indépendants.</li> <li>-vitesse de rotation stable et précise.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-dissipation d'énergie (rotor) difficile à évacuer.</li> <li>-collecteur :</li> <li>-Cout élevé.</li> <li>-Complexité de fabrication.</li> <li>-Durée de vie limitée.</li> </ul>
Moteur synchrone	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pas de collecteur.</li> <li>-Rendement très élevé.</li> <li>-Faible inertie.</li> <li>-Durée de vie élevée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-fonctionnement en boucle fermée.</li> <li>-commande électronique complexe et couteuse</li> <li>-cout élevé.</li> </ul>
Moteur asynchrone	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Robustesse,Fiabilité</li> <li>-Durée de vie élevée</li> <li>-Cout faible 6Couple non nul au démarrage</li> <li>-Son rendement est proche de 99%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Inertie élevée</li> <li>-Commande électronique complexe en variation de vitesse</li> <li>-Demande un fort couple lors du démarrage Difficulté de fonctionnement à faible vitesse</li> </ul>

Tableau 4 Comparaison entre les différents types des moteurs

**2.18 Conclusion :**

Dans ce deuxième chapitre nous avons exhibé un aperçu général sur les machines électriques et spécialement les moteurs électriques, (synchrone, continu) en suite nous avons donné une image globale sur son principe de fonctionnement et ses propriétés de base de leurs Constitution, ainsi que le bilan de puissance.

Nous avons présenté aussi les différentes parties des moteurs (synchrone, continue), avec une explication brève de son principe de fonctionnement et les différentes modes d'excitation de cette machine

Nous avons terminé ce chapitre par une comparaison entre les différents types de moteurs.

# Chapitre

# III



## **A - Introduction aux installations industrielles :**

Une installation électrique est un ensemble d'éléments qui a pour but d'amener en toute sécurité l'énergie électrique aux récepteurs.

L'installation doit assurer la protection des personnes et des matériels contre tous les risques ayant pour origine l'électricité.

### **3.1 Constitution des installations :**

Les installations industrielles des automatismes sont constituées de deux parties distinctes appelées : circuit de commande et circuit de puissance.

#### **3.1.1 Circuit de commande :**

Il comporte l'appareillage nécessaire à la commande des récepteurs de puissance. On trouve :

- La source d'alimentation
- Un appareil d'isolement (sectionneur).
- Une protection du circuit (fusible, disjoncteur).
- Un appareil de commande ou de contrôle (bouton poussoir, détecteur de grandeur physique).
- Organes de commande (bobine du contacteur).

La source d'alimentation et l'appareillage du circuit de commande ne sont pas nécessairement celle du circuit de puissance, elle dépend des caractéristiques de la bobine.

#### **3.1.2 Circuit de puissance :**

Il comporte l'appareillage nécessaire aux fonctionnements des récepteurs de puissance suivant un automate bien défini. On trouve :

- Une source de puissance (généralement réseau triphasé)
- Un appareil d'isolement (sectionneur).
- Une protection du circuit (fusible, relais de protection).
- Appareils de commande (les contacts de puissance du contacteur).
- Des récepteurs de puissances (moteurs).

## **3.2 Les appareils de commande, de signalisation et de protection :**

### **3.2.1 Disjoncteur :**

C'est un appareil de protection qui comporte deux relais, relais magnétique qui protège contre les courts-circuits et un relais thermique qui protège contre les surcharges.



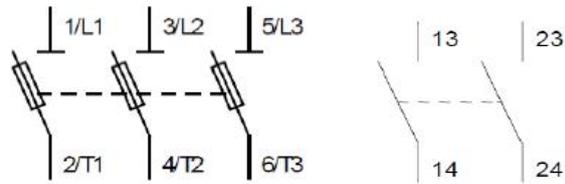
Figure 39 Disjoncteurs

### 3.2.2 Sectionneur :

Sa fonction : Assurer le sectionnement (séparation du réseau) au départ des équipements. Dans la plupart des cas il comporte des fusibles de protection.



Sectionneur fusible



Symboles : en circuit de puissance et en circuit de commande

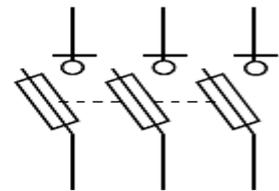
Figure 40 sectionneur fusible

Le pouvoir de coupure est le courant maximal qu'un appareil de sectionnement peut interrompre sans aucun endommagement. Le sectionneur n'a pas de pouvoir de coupure, il doit être manipulé à vide.

### 3.2.3 Interrupteur sectionneur :



Interrupteur sectionneur



Symbole

Figure 41 interrupteurs sectionneur

### 3.2.4 Fusible :

C'est élément comportant un fil conducteur, grâce à sa fusion, il interrompe le circuit électrique lorsqu'il est soumis à une intensité du courant qui dépasse la valeur maximale supportée par le fil.



Cartouche fusible cylindrique et à couteaux



Symbole

Figure 42 fusible

Il existe plusieurs types de fusibles :

- ✓ **gF** : fusible à usage domestique, il assure la protection contre les surcharges et les courts-circuits.
- ✓ **gG** : fusible à usage industriel. Protège contre les faibles et fortes surcharges et les courts-circuits. Utilisation : éclairage, four, ligne d'alimentation, ...
- ✓ **aM** : cartouche à usage industriel, pour l'accompagnement moteur, commence à réagir à partir de  $4 \cdot I_n$  ( $I_n$  est le courant prescrit sur le fusible), protège uniquement contre les courts-circuits.

Utilisation : Moteurs, transformateurs, ...

### 3.2.5 Relais thermique :

Le relais de protection thermique protège le moteur contre les surcharges.

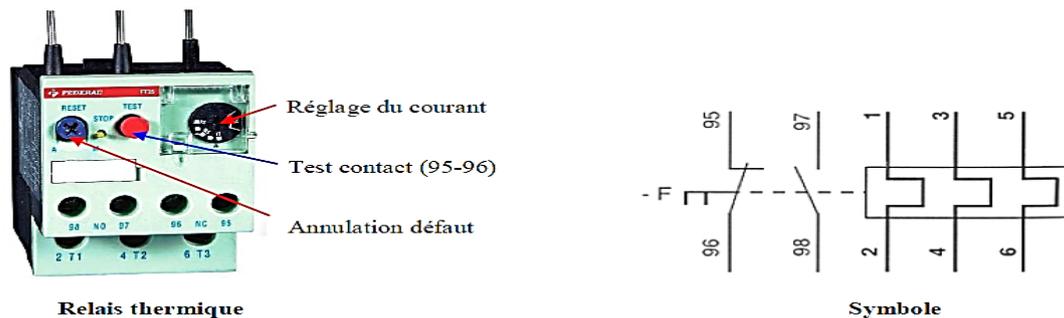


Figure 43 relais thermique

### 3.2.6 Le contacteur :

Le contacteur est un appareil de commande capable d'établir ou d'interrompre le passage de l'énergie électrique. Il assure la fonction COMMUTATION. En Technologie des Systèmes Automatisés ce composant est appelé Préactionneur puisqu'il se trouve avant l'actionneur dans la chaîne des énergies.

### 3.2.7 Capteur de fin de course :

Les interrupteurs de position mécanique ou capteur de fin de course coupent ou établissent un circuit lorsqu'ils sont actionnés par un mobile



Figure 44 Capteur de fin de course

### 3.2.8 Bloc auxiliaire temporisé :

Les blocs auxiliaires temporisés servent à retarder l'action d'un contacteur (lors de sa mise sous tension ou lors de son arrêt)

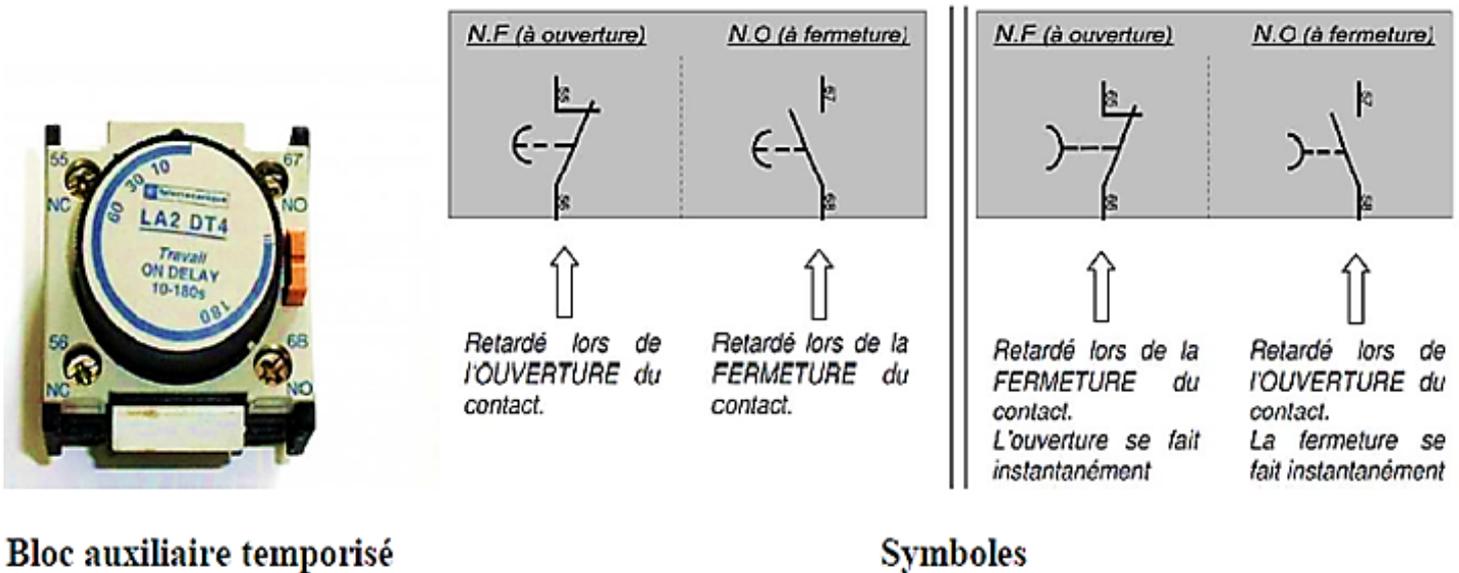


Figure 45 Bloc auxiliaire temporisé

### 3.2.9 Bloc de contacts auxiliaires :

Le bloc de contact auxiliaire est un appareil mécanique de connexion qui s'adapte sur les contacteurs. Il permet d'ajouter de 2 à 4 contacts supplémentaires au contacteur. Les contacts sont prévus pour être utilisés dans la partie commande des circuits. Ils ont la même désignation et repérage dans les schémas que le contacteur sur lequel ils sont installés (KA, KM...).

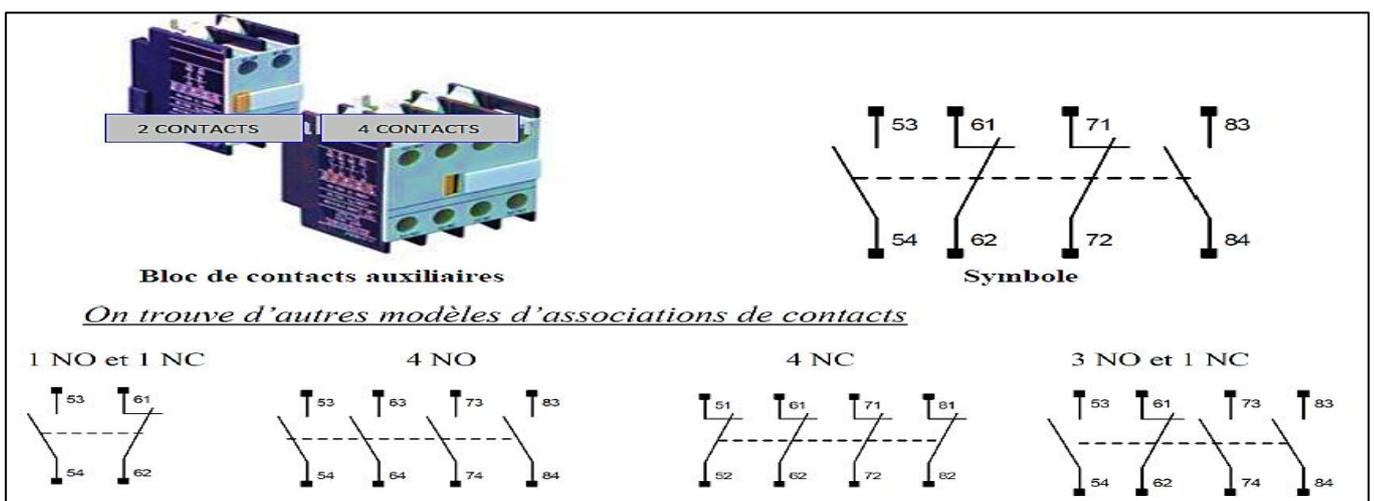


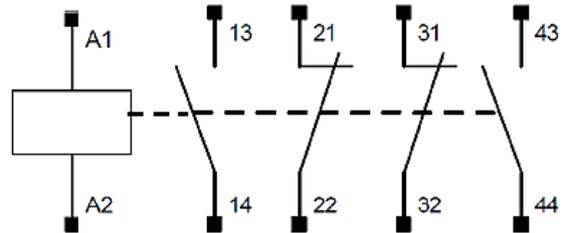
Figure 46 Bloc de contacts auxiliaires

### 3.2.9 Contacteur auxiliaire :

Il ne comporte que des contacts de commandes



Contacteur auxiliaire



Symbole

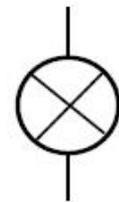
Figure 47 Contacteur auxiliaire

### 3.2.10 Lampes de signalisations :

Signalisation visuelle du fonctionnement normal du système, ou défauts [25].



Lampe de signalisation



Symbole

Figure 48 Lampes de signalisations

### 3.3 conclusions :

La protection des moteurs est une fonction essentielle pour la continuité du fonctionnement des machines. Le choix du dispositif de protection doit être fait avec rigueur. L'utilisateur aura tout intérêt à sélectionner les dispositifs intégrant une électronique de communication pour anticiper et prévenir les éventuels défauts. La recherche d'anomalies et la rapidité de remise en route seront ainsi grandement améliorées.

## **B - Procédés de démarrage des moteurs**

Pour réaliser un départ-moteur de façon correcte, il faut assurer les fonctions suivantes :

- Isoler c'est le rôle du sectionneur.
- Protéger la puissance contre les courts-circuits, pour cela on utilise des cartouches fusibles de type aM .
- Commander l'arrivée de l'énergie au moteur, c'est le rôle du contacteur.
- Protéger le moteur contre les surcharges, fonction assurée par le relais thermique.

### **3.4 les moteurs asynchrones :**

#### **3.4.1 Les problèmes de démarrage des moteurs asynchrone triphasé :**

Au moment du démarrage, le moteur asynchrone triphasé fonctionne comme un transformateur, dans lequel le primaire (stator) est sous une tension et le secondaire (rotor) est en court-circuit, l'intensité appelée est alors très grande. Suivant le type et la puissance du moteur, le courant de démarrage peut atteindre 4 à 10 fois le courant nominale de pleine charge. Cet appel de courant très important de courte durée que le moteur pourrait le supporter sans risque d'échauffement dangereux, par ailleurs il est un gêne pour la distribution d'énergie électrique et pour les utilisateurs en voisinage sur la même ligne, en provoquant des chutes de tension excessive, il est alors nécessaire de réduire ce courant de démarrage [26].

- Moteur à cage d'écureuil :

Pour ce type de moteur, le seul moyen pour réduire le courant de démarrage est de réduire la tension aux bornes du stator en utilisant plusieurs moyens par exemple le démarrage étoile-triangle.

- Moteur à rotor bobiné :

Il est possible de réduire le courant de démarrage, en insérant un rhéostat dans les enroulements rotoriques. Le courant rotoriques est sensiblement proportionnel au couple fourni dans l'équation suivante :  $C_d = 2C_n$  et  $I_d = 2 I_n$

Avec :

$I_d$  : courant de démarrage [A].

$C_d$  : couple de démarrage [Nm].

$C_n$  : couple nominal [Nm].



Le moteur a rotor bobiné ne peut pas démarrer en un seul temps (courant et couple inadmissible).

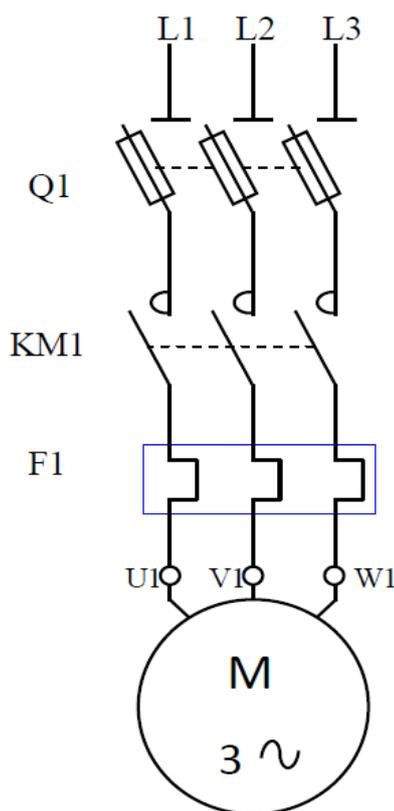
Il est recommandé d'employer les moteurs à rotor bobiné pour l'entraînement des machines de grande puissance et ceux exigent un grand couple de démarrage et les moteurs à cage sont plus économiques, plus robustes ; que les moteurs a rotor bobiné. La puissance est : Inferieur à 30 kW sous 4 pôles ; Supérieur à 30 kW, on utilise des moteurs à rotor bobiné [27].

### 3.4.2 Démarrage direct :

Dans ce procédé de démarrage, le moteur asynchrone est branché directement au réseau d'alimentation le démarrage s'effectue en un seul temps. Le courant de démarrage peut atteindre 4 à 8 fois le courant nominal du moteur. Le couple de décollage est important, peut atteindre 1,5 fois le couple nominal.

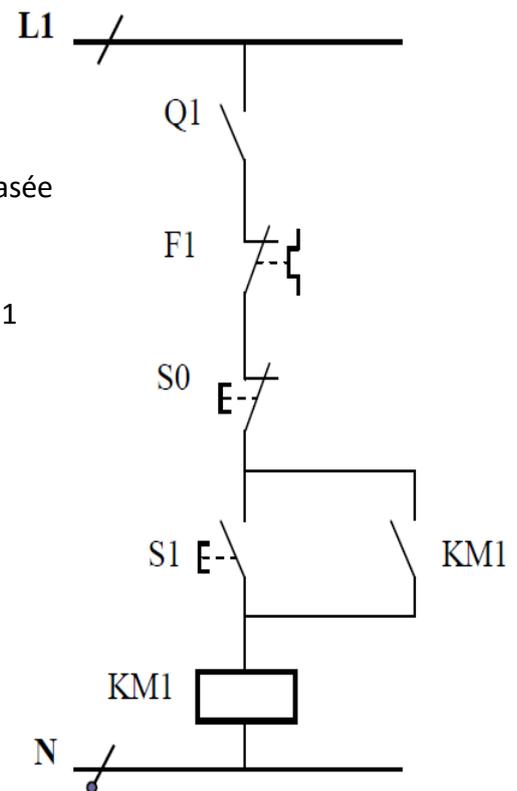
### 3.4.3 Démarrage semi-automatique à un seul sens de marche :

On veut démarrer un moteur asynchrone triphasé dans un sens de marche avec un bouton poussoir **S1** et l'arrêter par l'arrêter avec un bouton poussoir **S0**.



Circuit de puissance

L1, L2, L3 : alimentation triphasée  
 Q1 : sectionneur fusible  
 KM1 : contacteur principal 1  
 F1 : relais thermique  
 M : moteur triphasé



Circuit de commande

Figure 49 Démarrage semi-automatique à un seul sens de marche

### 3.4.4 Démarrage direct semi-automatique à deux sens de marche :

On veut démarrer un moteur asynchrone triphasé dans deux sens de rotation, par un bouton poussoir **S1** pour le sens 1, par un bouton poussoir **S2** pour le sens 2 et un bouton poussoir **S0** pour l'arrêt.

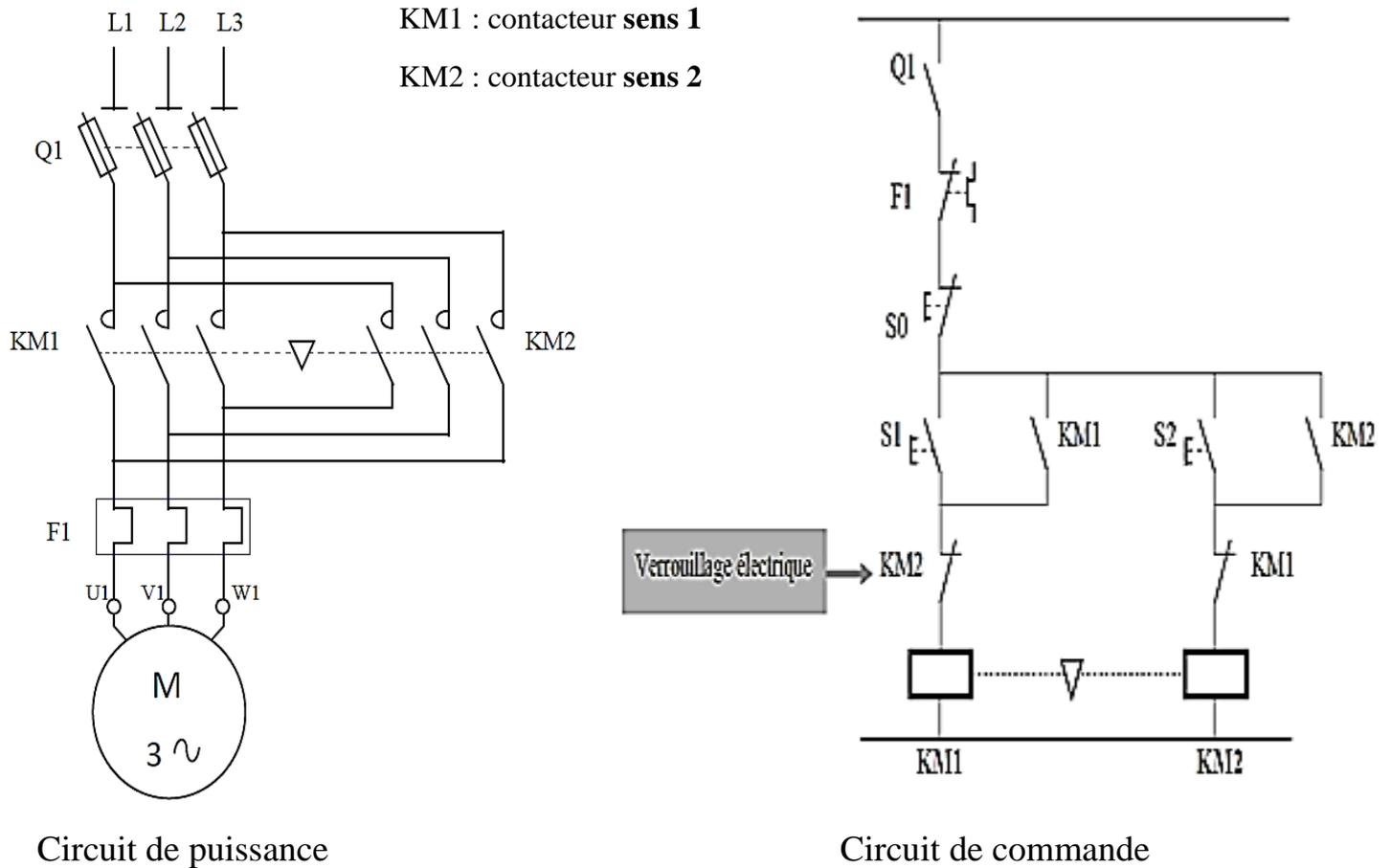
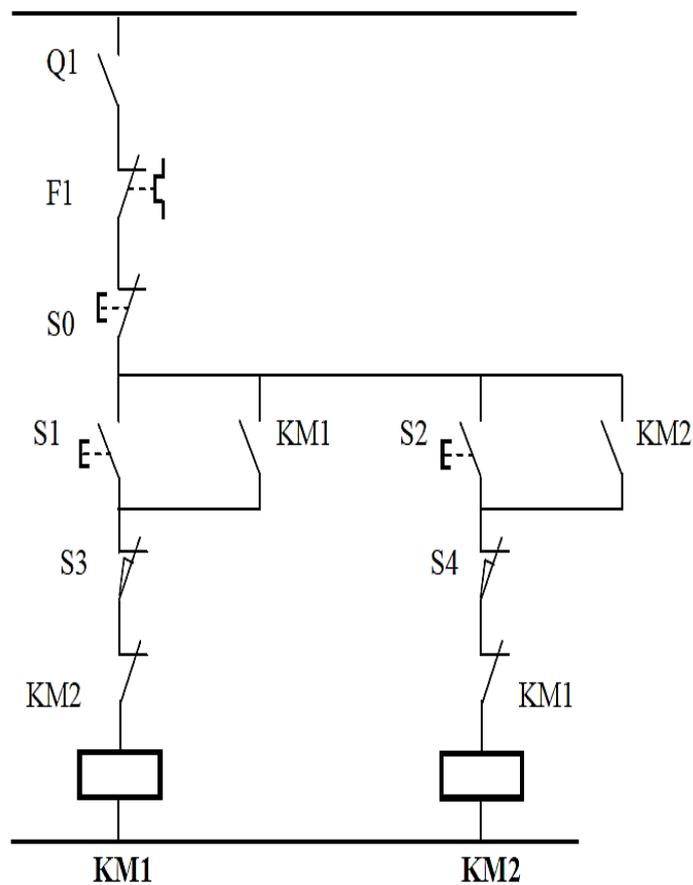


Figure 50 Démarrage direct semi-automatique à deux sens de marche

### 3.4.5 Démarrage direct semi-automatique à deux sens de marche avec butées de fin de course :

On veut démarrer un moteur asynchrone triphasé dans deux sens de rotation par l'action de deux boutons poussoirs, **S1** pour le sens 1, **S2** pour le sens 2. Chaque sens est arrêté par une butée de fin de course, respectivement **S3** pour le sens 1 et **S4** pour le sens 2. Un bouton poussoir **S0** arrête le moteur à n'importe quel instant.

Circuit de puissance : Même circuit de puissance qu'en 1.4



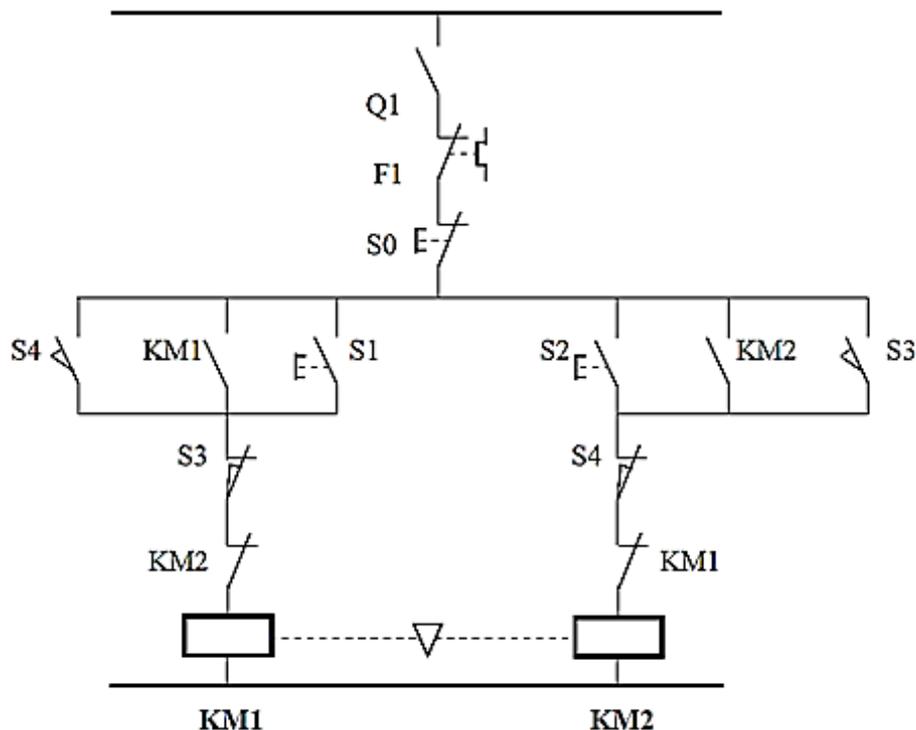
Circuit de commande

**Figure 51 Démarrage direct semi-automatique à deux sens de marche avec butées de fin de course**

### 3.4.6 Démarrage direct semi-automatique à deux sens de marche avec butées de fin de course et inversion de sens de rotation :

Dans ce cas de démarrage, la butée **S3** ou **S4**, une fois actionnée, elle change le sens de marche du moteur.

Circuit de puissance : Même circuit de puissance qu'en 1.4



Circuit de commande

Figure 52 Démarrage direct semi-automatique à deux sens de marche avec butées de fin de course et inversion de sens de rotation

### 3.4.7 Limitation du courant de démarrage :

Contrairement au démarrage direct, le démarrage des moteurs moyennes et fortes puissances nécessite l'utilisation de procédés de limitation de courant de démarrage tout en maintenant les performances mécaniques de l'ensemble « moteur-machine entraînée ». Il existe deux types d'actions :

➤ **Action sur le stator** Consiste à réduire la tension aux bornes des enroulements statoriques. On peut réaliser le démarrage par :

- Couplage étoile-triangle,
- Élimination des résistances statoriques,
- Utilisation d'un autotransformateur.

➤ **Action sur le rotor** : Consiste à augmenter la résistance rotorique au démarrage.

On peut réaliser le démarrage par :

- Élimination des résistances rotoriques,
- Utilisation des moteurs à cages multiples ...

Ce procédé de démarrage est accompagné en plus de la réduction du courant de démarrage, d'une augmentation du couple de démarrage. Ce type de démarrage est utilisé pour les moteurs fortes puissances.

### 3.4.8 Démarrage étoile-triangle :

Le démarrage s'effectue en deux temps :

- **1er temps** : chaque enroulement du stator est alimenté sous une tension réduite en utilisant le couplage Y. Il est le temps nécessaire pour que la vitesse du moteur atteigne environ 80% de sa vitesse nominale.
- **2ème temps** : chaque enroulement du stator est alimenté par sa tension nominale changeant le couplage au triangle.

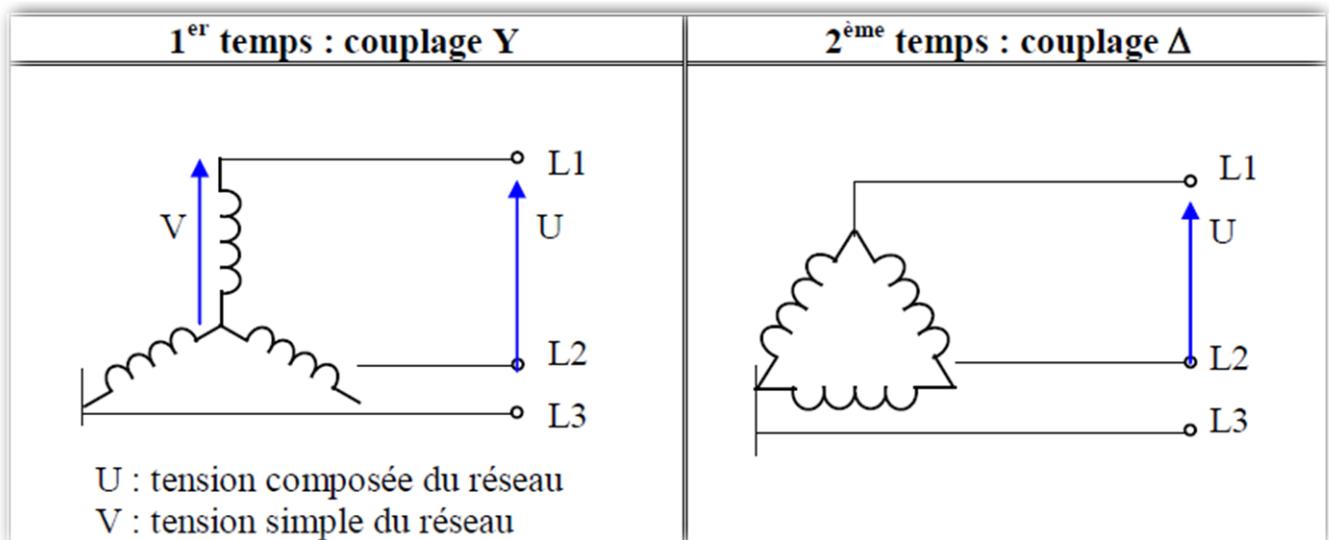


Figure 53 Démarrage étoile-triangle

Ce type de démarrage est utilisé pour les moteurs à **couplage** Δ lors de leur fonctionnement normal.

**Exemple** :

Un moteur 400V/690V sur un réseau 230V/400V.

### 3.4.9 Démarrage étoile-triangle semi-automatique à un sens de marche :

On veut démarrer un moteur asynchrone triphasé en étoile-triangle dans un sens de rotation par un bouton poussoir **S1** et arrêter par un bouton poussoir **S0**.

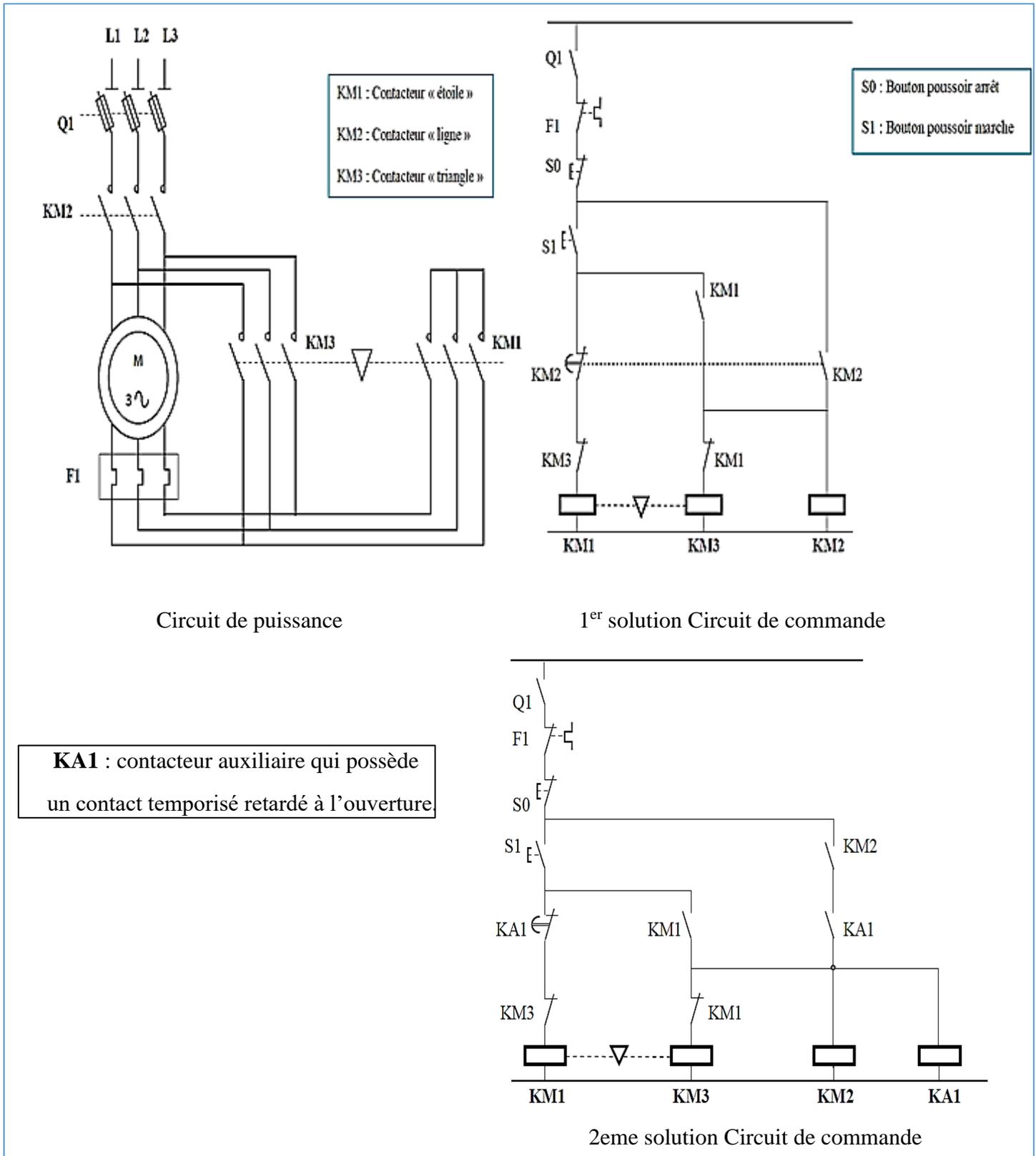
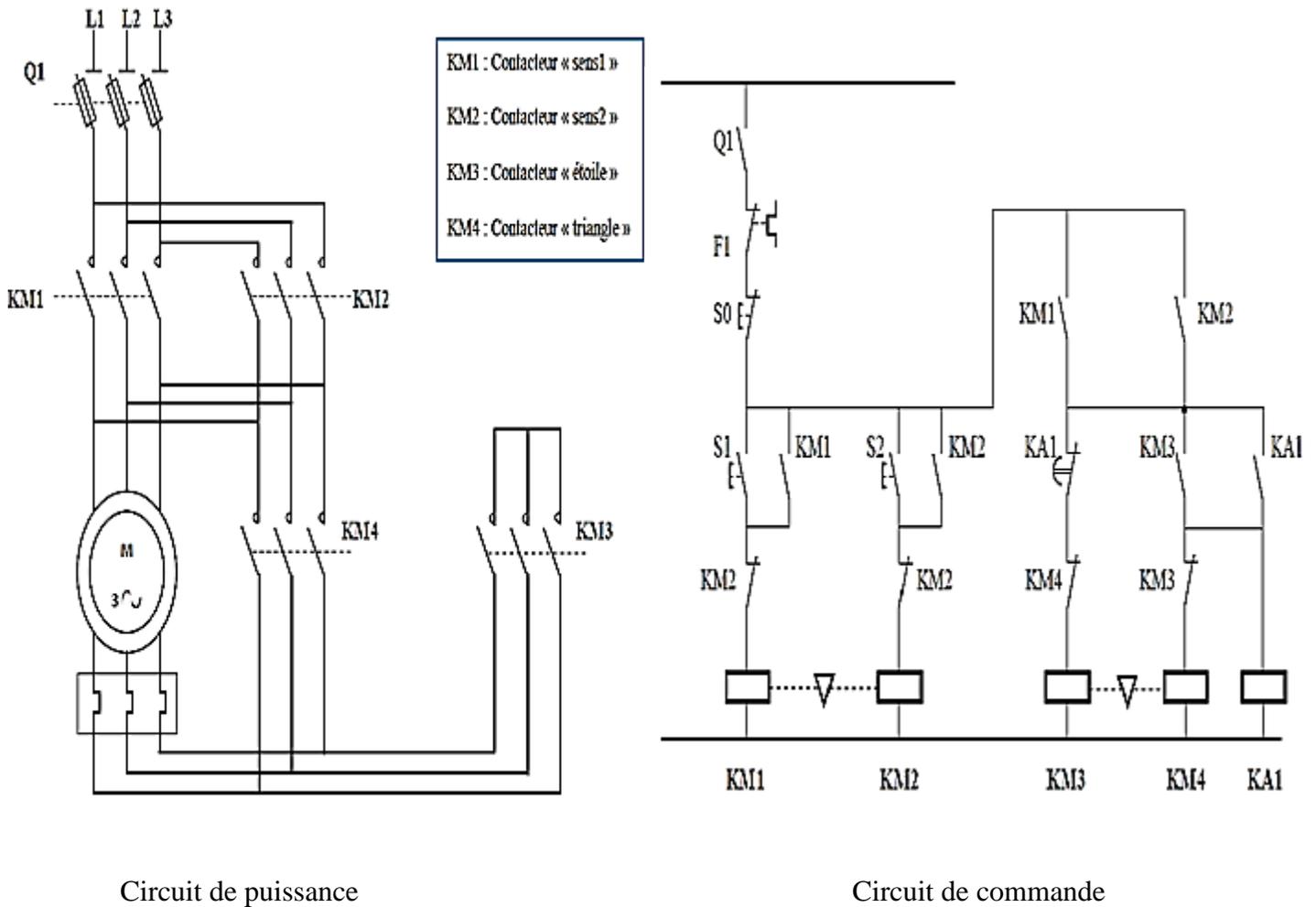


Figure 54 Démarrage étoile-triangle semi-automatique à un sens de marche

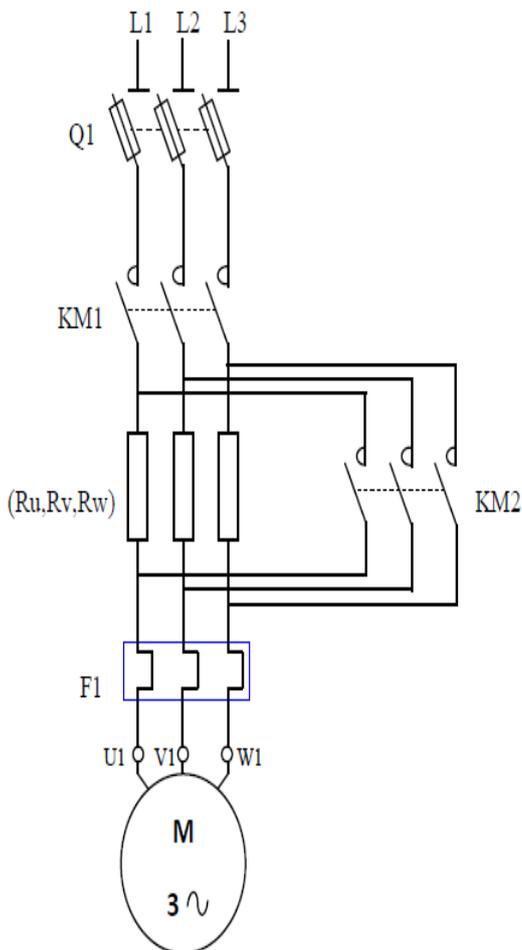
**3.4.10 Démarrage étoile-triangle semi-automatique à deux sens de marche :**



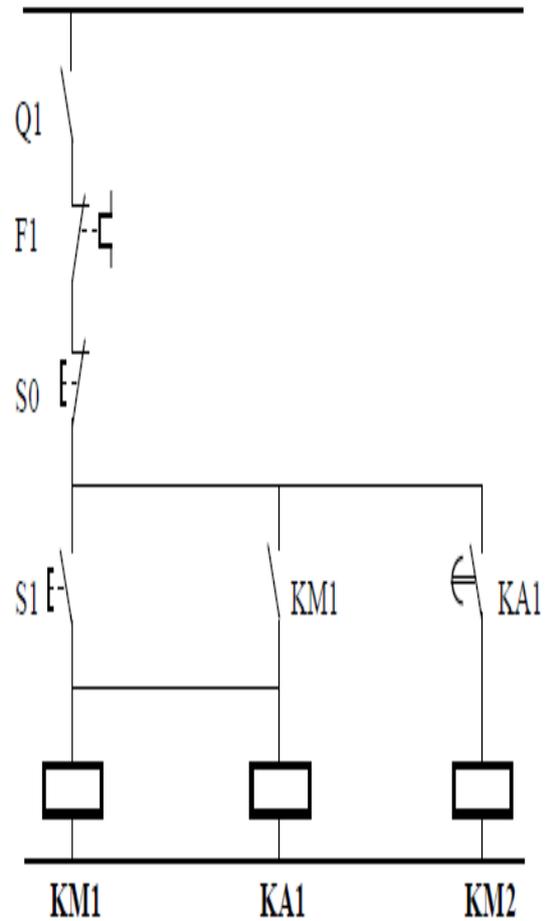
**Figure 55 Démarrage étoile-triangle semi-automatique à deux sens de marche**

**3.4.11 Démarrage par élimination de résistances statoriques :**

**3.4.11.1 Démarrage par élimination de résistances statoriques à un seul sens de marche :**



KM1 : contacteur « ligne »  
 KM2 : contacteur de court-circuit des résistances (Ru, Rv, Rw).

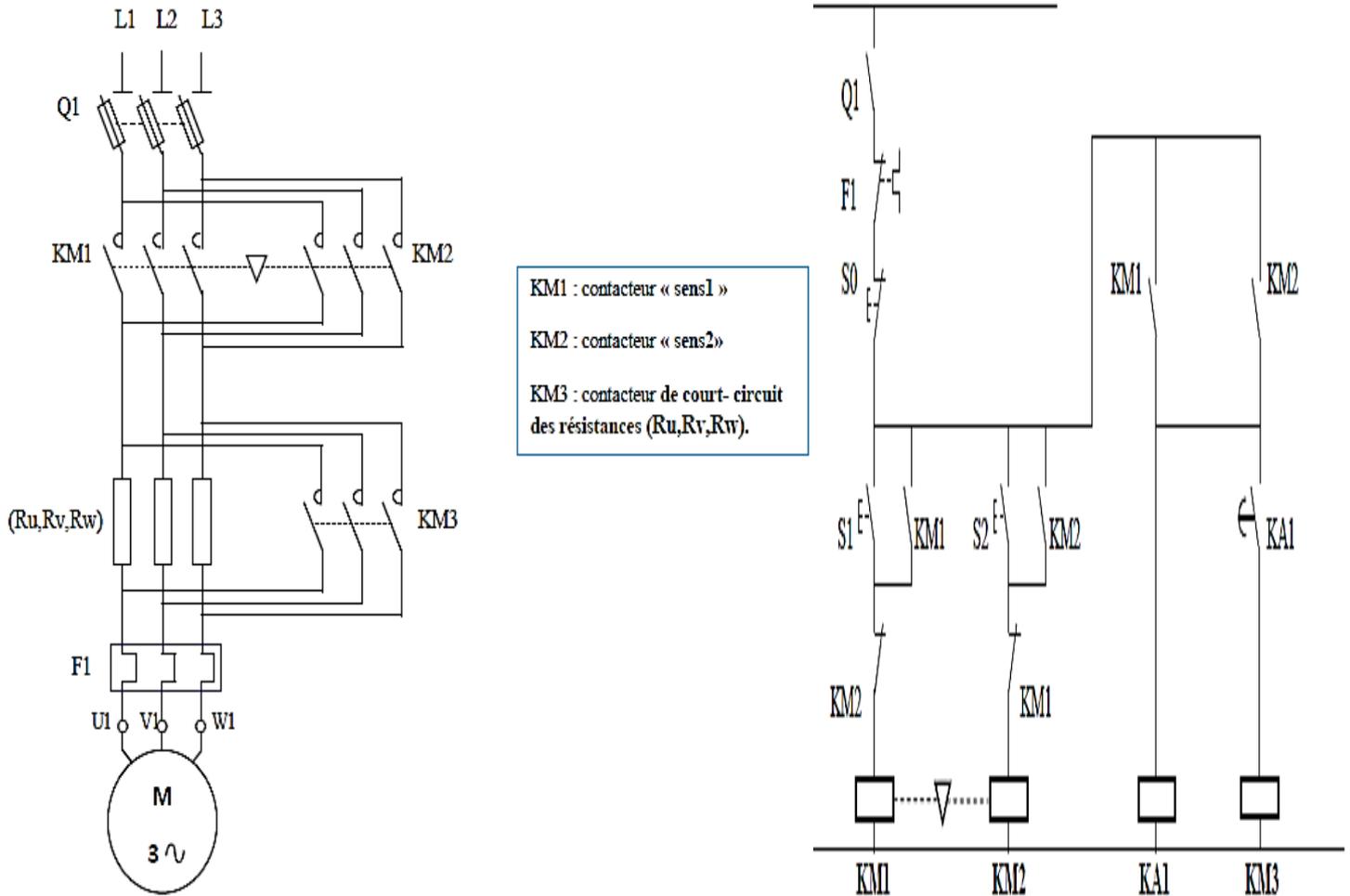


Circuit de puissance

Circuit de commande

**Figure 56 Démarrage par élimination de résistances statoriques à un seul sens de marche**

**3.4.11.2 Démarrage par élimination de résistances statoriques à deux sens de marche :**



Circuit de puissance

Circuit de commande

**Figure 57 Démarrage par élimination de résistances statoriques à deux sens de marche**

**3.4.12 Démarrage par élimination de résistances rotoriques :**

Ce type de démarrage est utilisé pour les moteurs à rotor bobiné dont les enroulements sont couplés en Y, et les trois sorties sont soudés à des bagues fixées sur l'arbre du moteur auxquels on peut insérer des résistances à l'aide de balais frotteurs.

Ce démarrage consiste à alimenter le stator du moteur par la tension nominale et éliminer les résistances rotoriques en plusieurs temps (3 temps au minimum).

-1<sup>er</sup> temps : On insère la totalité des résistances dans les enroulements du rotor.

-2<sup>ème</sup> temps : On diminue la résistance du circuit rotor en éliminant une partie des résistances insérées.

-3<sup>ème</sup> temps : On élimine toutes les résistances rotoriques en court-circuitant les enroulements du rotor.

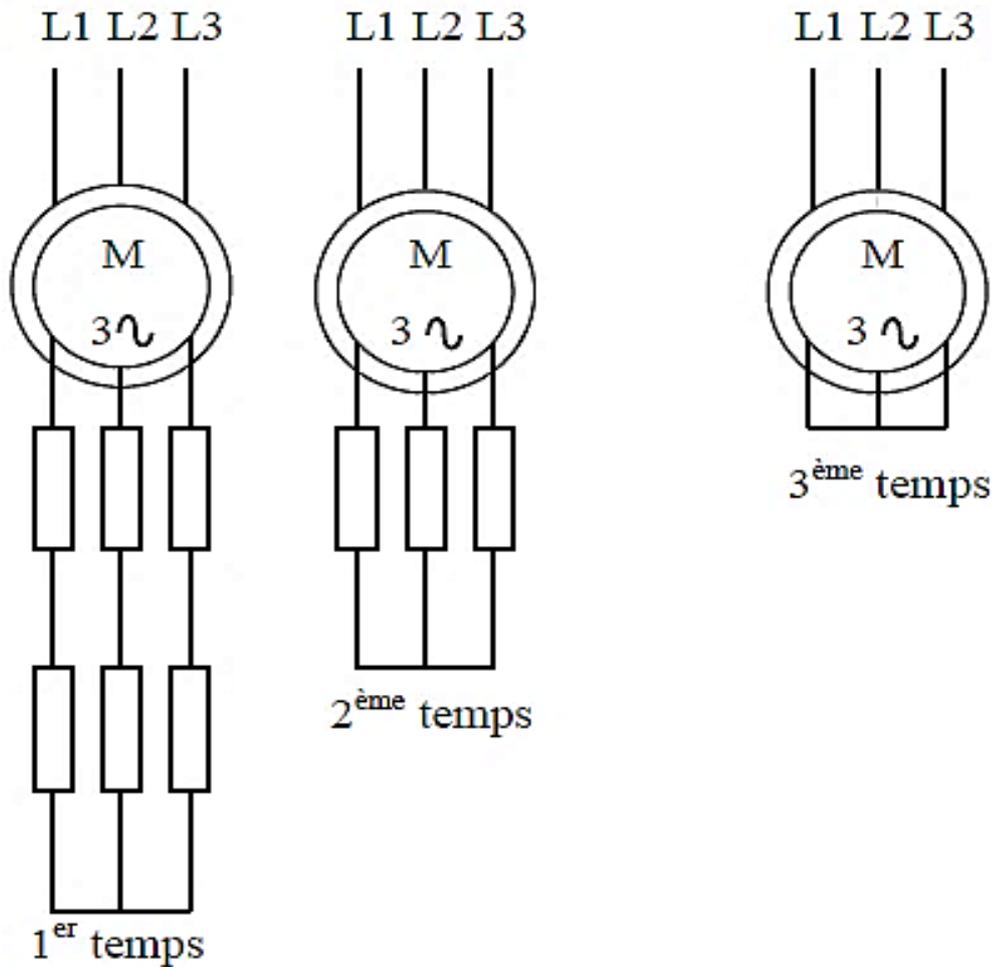
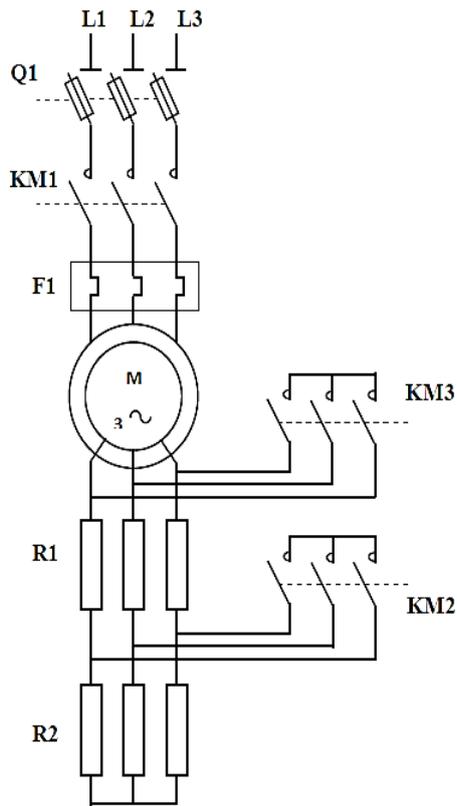


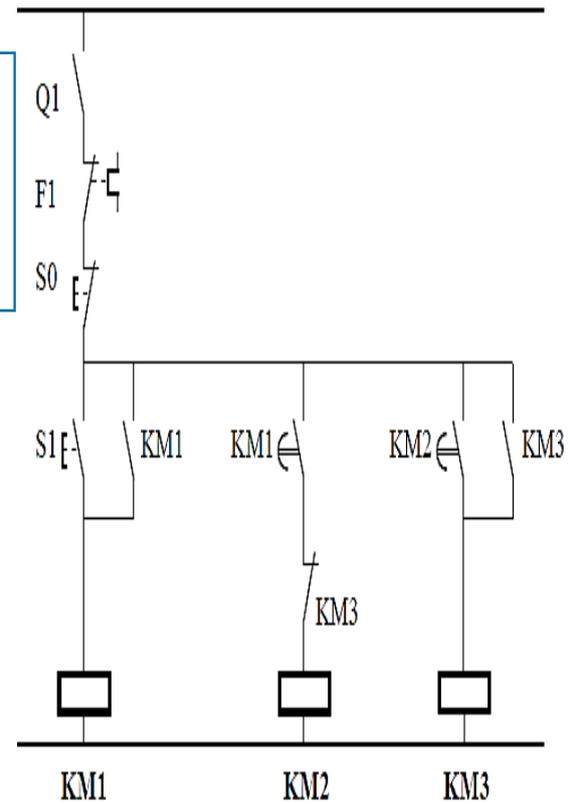
Figure 58 Démarrage par élimination de résistances rotoriques

3.4.12.1 Démarrage par élimination de résistances rotoriques à un seul sens de marche :



Circuit de puissance

KM1 : contacteur « ligne »  
 KM2 : contacteur « 2<sup>ème</sup> temps »  
 KM3 : contacteur « 3<sup>ème</sup> temps »  
 R1 et R2 : deux groupes de résistances  
 M : moteur à rotor bobiné



1ere solution Circuit de commande

2eme solution Circuit de commande :

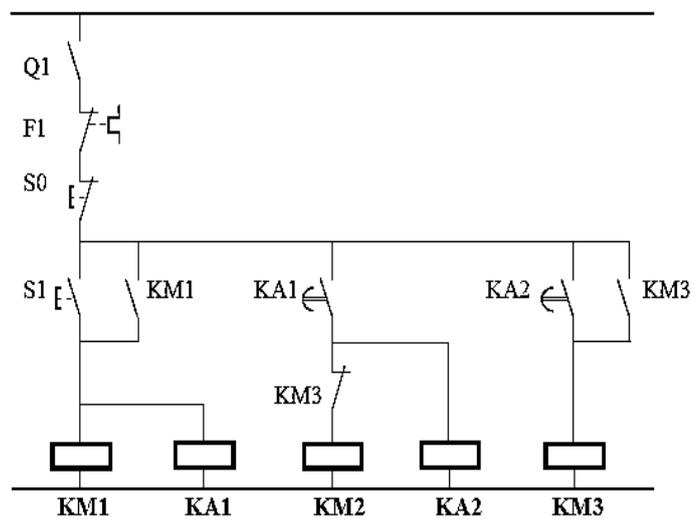
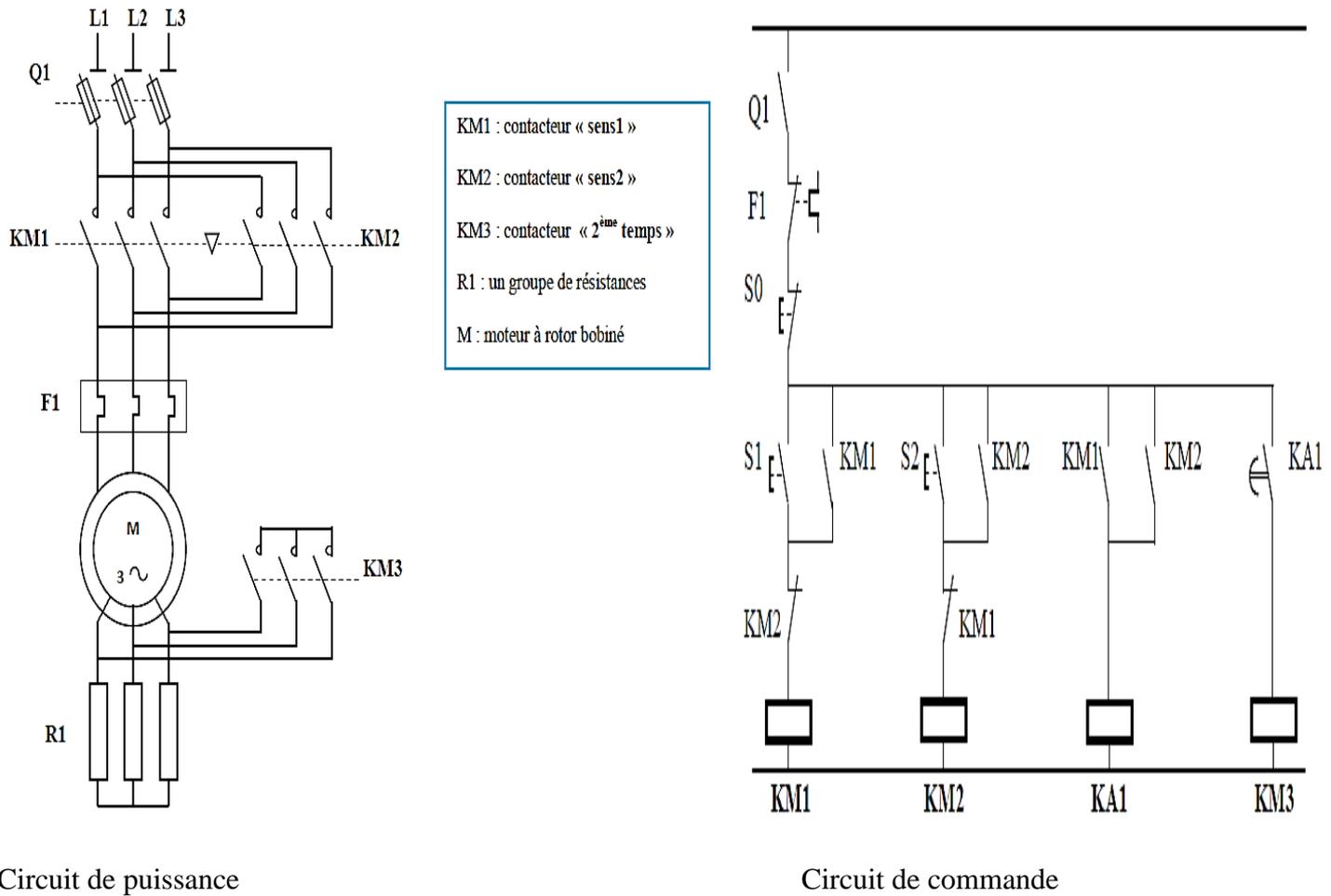


Figure 59 Démarrage par élimination de résistances rotoriques à un seul sens de marche

**3.4.12.2 Démarrage par élimination de résistances rotoriques, deux sens de marche (démarrage en deux temps) :**



**Figure 60 Démarrage par élimination de résistances rotoriques, double sens de marche (démarrage en deux temps)**

### 3.4.13 Démarreurs électroniques :

Permettre le démarrage et éventuellement la variation de vitesse du moteur tout en le protégeant contre toute surintensité et emballement.

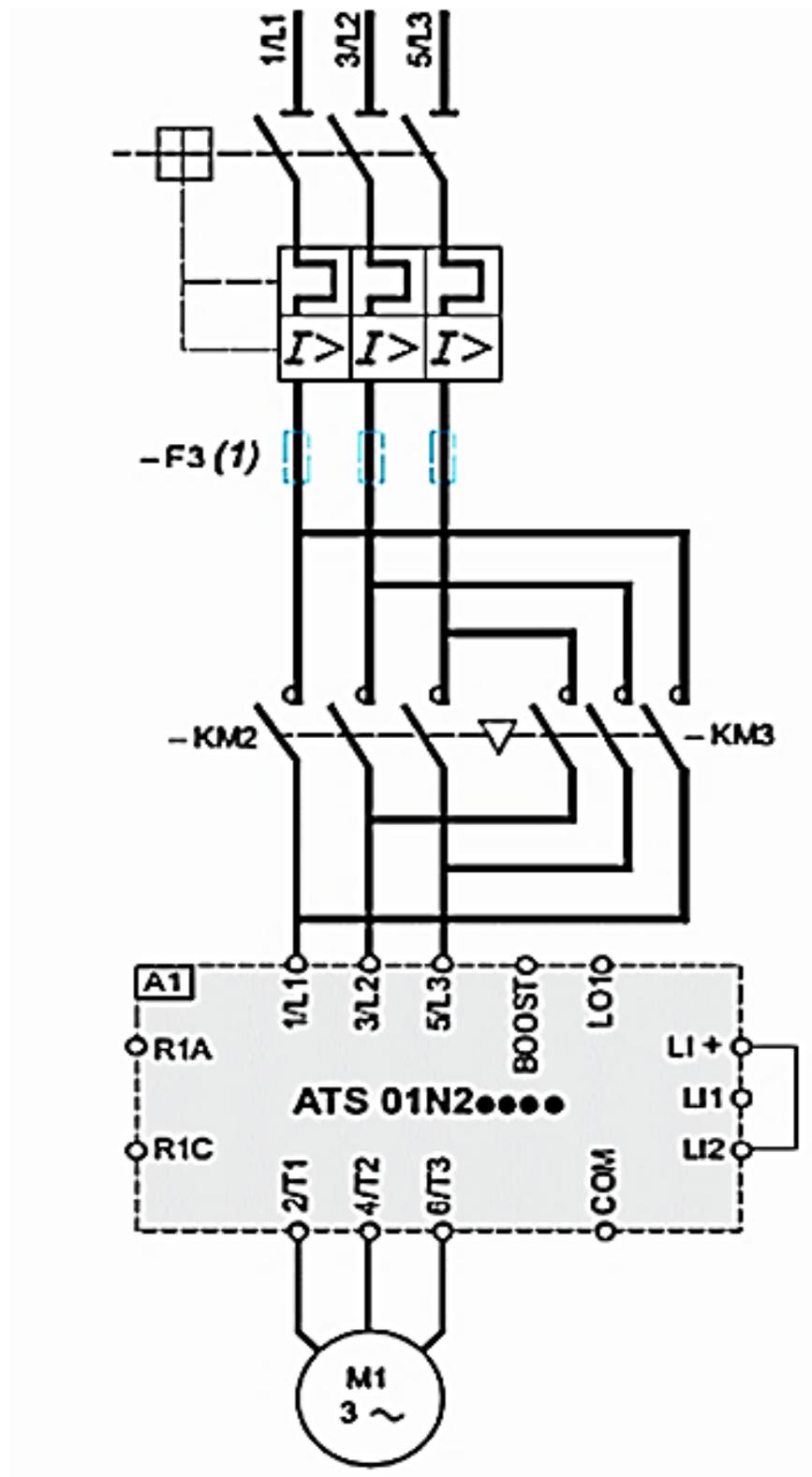


Figure 61 Démarreurs électroniques

### 3.5 démarrages des moteurs à courants continu :

#### 3.5.1 Démarrage direct des moteurs à courant continu :

Les moteurs à courant continu de faible puissance peuvent être connectés

Directement à la source d'alimentation, donc à pleine tension, du fait que le courant et le couple du démarrage sont faibles.

Il existe deux types de démarrage :

- a. le démarrage manuel
- b. le démarrage à contacteur.

##### 3.5.1.1 Démarrage manuel :

Le démarrage manuel convient aux moteurs de puissance allant jusqu'à une dizaine de kW.

❖ Construction : Les démarreurs manuels sont généralement

Constitués d'un interrupteur sectionneur.

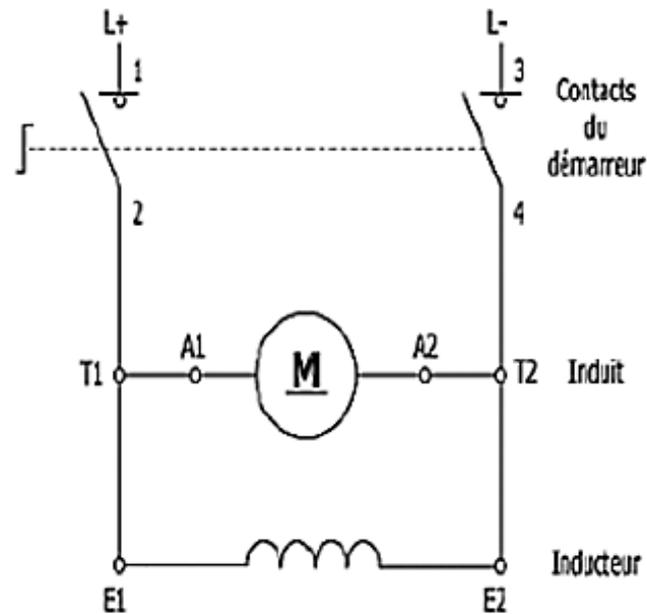
Ces démarreurs sont contenus dans un boîtier.



**Figure 62 Interrupteur pour démarrage manuel**

Un démarreur manuel se branche dans le circuit de puissance du moteur. **la figure (63)** Représente le schéma de branchement d'un démarreur manuel pour un moteur à courant continu. Les points identifiés par la lettre "L" du démarreur sont connectés à la source, tandis que ceux marqués par la lettre "T" sont connectés au moteur.

Schéma de branchement d'un interrupteur sectionneur pour démarrage manuel :



**Figure 63 fonctionnement de démarrage manuel**

En tournant la poignée du démarreur manuel de la position O à la position I, on ferme les contacts placés dans le circuit de puissance. Le moteur démarre.

L'arrêt du moteur se fera également de façon manuelle en plaçant la poignée de commande sur O.

L'inconvénient de ce montage réside dans le fait que le moteur n'est pas protégé contre les surcharges. Pour assurer une bonne protection, il faut adjoindre au démarreur un disjoncteur magnétothermique adapté qui coupera l'alimentation en cas de surcharge ou de court-circuit ou utiliser un démarreur à contacteur.

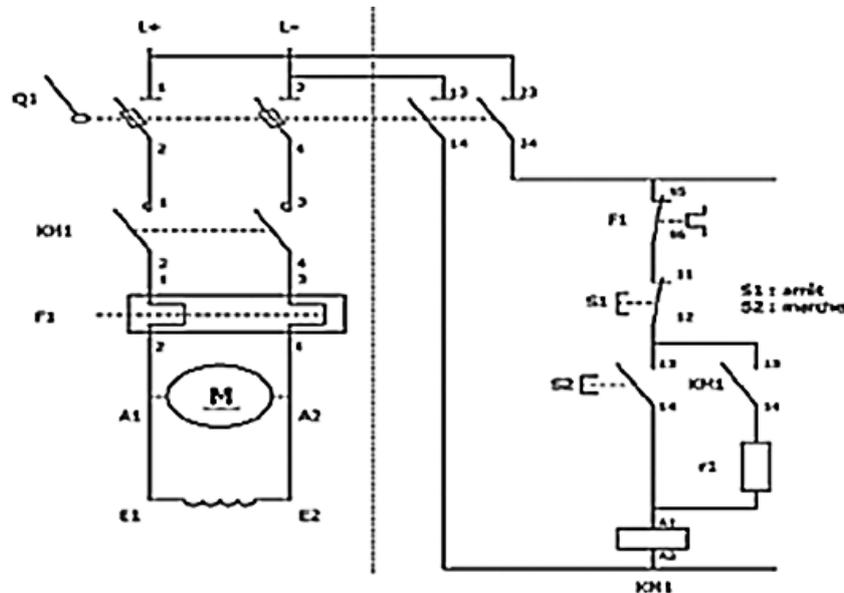
### 3.5.1.2 démarrage à contacteur :

#### ➤ Démarrage à contacteur non inverseur :

Les démarreurs à contacteur sont les démarreurs de moteurs à pleine tension les plus fréquemment employés en industrie. On les utilise lorsqu'on désire commander un moteur à distance à l'aide d'un poste de commande à bouton-poussoir ou lorsque la puissance du moteur excède la capacité maximale des démarreurs manuels.

#### ➤ Démarreur non inverseur :

Rappelez-vous qu'un démarreur non inverseur est constitué d'un contacteur et d'un relais thermique et parfois d'un poste de commande de marche-arrêt. **La figure (64)** vous montre les circuits de commande et de puissance d'un moteur commandé par un démarreur à contacteur non inverseur. Le moteur ne tournera donc que dans un sens de rotation.



**Figure 64 Schéma d'un démarreur à contacteur non inverseur**

Lorsqu'on appuie sur le bouton-poussoir S2 de marche, on alimente la bobine KM1 du contacteur, ce qui ferme les contacts KM1 de puissance et le contact auxiliaire KM1. Ainsi, le moteur démarre.

En relâchant le bouton-poussoir, le moteur continue à tourner du fait que la bobine KM1, commandant la fermeture des contacts principaux, demeure excitée par l'intermédiaire du contact auxiliaire KM1 (13-14), appelé aussi contact de maintien ou d'auto-alimentation.

Pour arrêter le moteur, on appuie sur le bouton-poussoir S1 d'arrêt, ce qui coupe l'alimentation de la bobine KM1 qui, à son tour, relâche les contacts principaux, coupant l'alimentation du moteur. Si une baisse de tension apparaît ou une coupure de l'alimentation se produit, un moteur commandé par un démarreur à contacteur s'arrête puisque la bobine n'est plus alimentée et ses contacts principaux et auxiliaires sont ouverts. De plus, contrairement au démarreur manuel, lorsque l'alimentation est rétablie, le démarreur à contacteur ne permet pas au moteur de redémarrer tout seul. Pour mettre le moteur en marche, il faut donc appuyer de nouveau sur le bouton-poussoir S2 de marche.

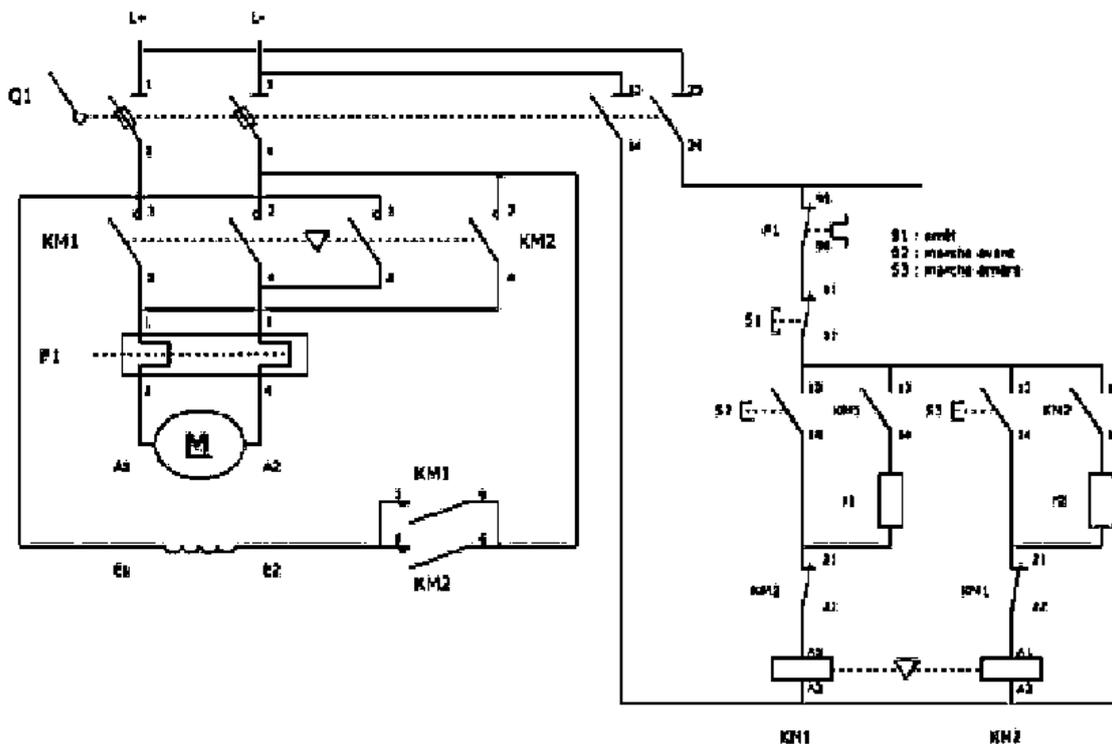
Une surcharge peut également provoquer l'arrêt du moteur. Les éléments chauffants du relais thermique F1 provoquent en cas de surcharge l'ouverture du contact F1 (95-96) du circuit de commande. Ce contact agit comme le bouton poussoir d'arrêt et stoppe le moteur.

### ❖ Démarrage à contacteur inverseur :

Rappelez-vous qu'un démarreur inverseur est constitué :

- d'un contacteur commandant la marche avant KM1 ;
- d'un contacteur commandant la marche arrière KM2 ;
- d'un relais thermique F1.

La Figure suivante vous montre les circuits de commande et de puissance d'un moteur commandé par un démarreur inverseur. Le moteur tournera donc dans les deux sens de rotation.



**Figure 65 Schéma d'un démarreur à contacteur inverseur**

Si l'on appuie sur le bouton-poussoir S2 "avant", on alimente la bobine KM1, ce qui provoque :

- la fermeture des deux contacts de puissance KM1 ;
- la fermeture du contact auxiliaire KM1 (13-14) ;
- l'ouverture du contact auxiliaire KM1 (21-22).

Le moteur démarre. Le courant suit le circuit L+, Q1 (1-2), KM1 (1-2), F1 (1-2), A1, A2, F1 (4-3), KM1 (4-3), Q1 (4-3), L-.

Si l'on relâche le bouton-poussoir "avant", le moteur continue à tourner puisque la bobine demeure excitée, par le biais de son auxiliaire KM1 (13-14) placé en parallèle avec le bouton-poussoir "avant", gardant ses contacts de puissance fermés.

Si l'on appuie sur le bouton-poussoir S1 "arrêt", on coupe l'alimentation de la bobine KM1 qui relâche ses contacts de puissance et auxiliaire, ce qui entraîne l'arrêt du moteur.

Si l'on appuie sur le bouton-poussoir S3 "arrière", on alimente la bobine KM2, ce qui provoque :

- la fermeture des deux contacts de puissance KM2 ;
- la fermeture du contact auxiliaire KM2 (13-14) ;
- l'ouverture du contact auxiliaire KM2 (21-22).

Le courant dans le moteur suit le circuit :

L+, Q1 (1-2), KM2 (1-2), F1 (3-4), A2, A1, F1 (2-1), KM2 (4-3), Q1 (4-3), L-,

Au lieu de celui de la marche avant. Le sens du courant d'induit étant inversé, le moteur change de sens de rotation.

En appuyant sur le bouton-poussoir "arrêt", on coupe l'alimentation de toutes les bobines et le moteur s'arrête.

### 3.5.2 Démarrage par élimination de résistances :

On ne peut brancher directement à la source d'alimentation que des moteurs de faible puissance.

Pour les moteurs puissants, le courant au démarrage peut atteindre des valeurs très élevées de l'ordre de 20 à 30 fois le courant nominal du moteur, surintensité inacceptable pour le réseau d'alimentation. Il existe différentes solutions pour réduire cette intensité de démarrage.

La résistance de l'induit étant très faible, le courant est donc très important. Pour limiter ce courant à une valeur raisonnable (1, 2 à deux fois le courant nominal), on va brancher en série avec l'induit une résistance additionnelle comme cela est montré sur la partie c de **tableau 5C**.

Cette résistance est appelée résistance de démarrage R. Après un certain temps de démarrage, le moteur a atteint une vitesse suffisante et donc une f.c.é.m. E' suffisantes pour nous retrouver dans le cas d de la figure suivante<sup>5</sup>. Le courant a considérablement diminué puisque E' n'est plus nulle, on peut donc éliminer R pour terminer le démarrage et nous retrouver dans le cas a.

- Principe du démarrage par élimination de résistance :

Dans la pratique, R sera constituée de plusieurs résistances en série que nous éliminerons progressivement les unes après les autres au fur et à mesure que le courant diminue. C'est cette élimination qui peut se faire manuellement ou de façon automatique et qui constitue "le démarrage par élimination de résistance".

Mais attention ! Il ne faut en aucun cas que cette résistance n'affecte le courant inducteur, car une diminution de ce courant conduirait à un emballement du moteur.

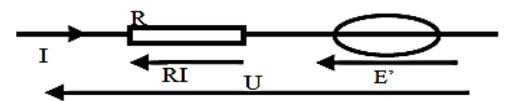
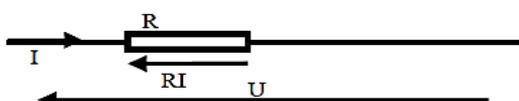
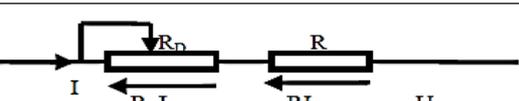
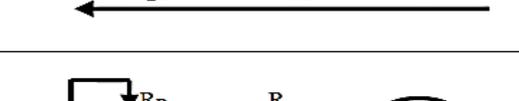
		Expression du courant	Schéma équivalent
a)	Fonctionnement normal	$I = \frac{U - E'}{R}$	
b)	Début du démarrage direct	$I_D = \frac{U}{R}$	
c)	Début du démarrage direct avec résistance	$I_D = \frac{U}{R + R_D}$	
d)	Fin du démarrage avec résistance	$I = \frac{U - E'}{R + R_D}$	

Tableau 5 Principe du démarrage par élimination de résistance

### 3.5.2.1 Démarrage manuel :

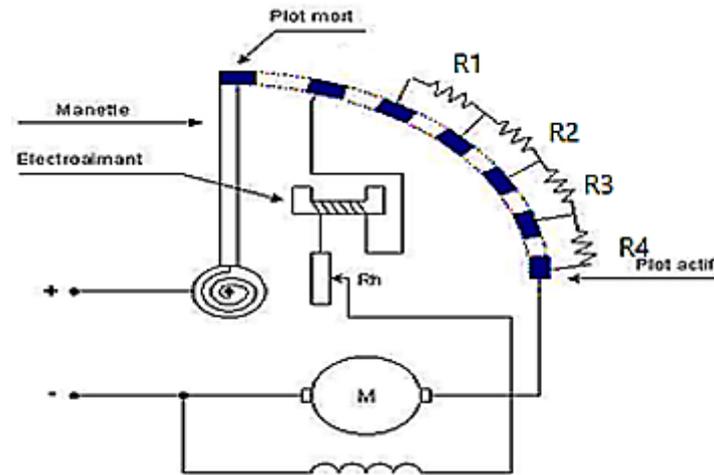
Le principe du démarreur manuel est simple. Il permet d'insérer la série de résistances dans le circuit de l'induit au démarrage. Le courant induit est donc diminué. Progressivement, on met manuellement hors-circuit ces résistances. Ainsi, le courant augmente et la vitesse du moteur atteint sa valeur nominale.

- Construction :

Le démarreur manuel est composé des éléments suivants :

- une série de résistances raccordées sur des plots en cuivre ;
- une manette avec contact électrique se déplaçant sur les plots ;
- une bobine de maintien de la manette.

La figure suivante vous montre le schéma d'un démarreur raccordé à un moteur à courant continu à excitation shunt.



**Figure 66 Schéma de branchement**

Lorsque la manette de contact 1 est sur le plot mort M, le circuit du moteur est ouvert. Le moteur est à l'arrêt. Lorsqu'on déplace la manette du plot M au plot N à l'aide de la poignée 2, la tension du réseau est alors appliquée aux bornes du champ shunt et de la bobine de maintien branchée en série. Un courant circule dans le circuit de l'induit en passant par toutes les résistances du démarreur R1, R2, R3 et R4. Il est donc diminué ou limité par la somme des quatre résistances et la résistance de l'induit.

On déplace ensuite la manette du plot N au plot 1. Remarquez que le courant n'est plus limité que par les trois résistances R2, R3 et R4 et la résistance de l'induit. Ce courant a donc augmenté, ce qui provoque l'augmentation de la vitesse. Lorsque la manette est sur le plot 2, le courant est limité par les résistances R3, R4 et celle de l'induit. Puis, quand la manette se trouve sur le plot 3, le courant augmente puisqu'il n'est limité que par la résistance R4 et celle de l'induit. Lorsqu'on passe sur le plot 4, le courant d'induit n'est plus limité que par sa propre résistance. Ainsi, le démarrage est terminé et toute la tension d'alimentation est appliquée aux bornes du moteur. Il est fortement déconseillé de laisser la manette trop longtemps sur le même plot. Les résistances employées pour le démarrage ne sont pas faites pour endurer les courants de démarrage. La bobine de maintien, étant excitée, retient la manette sur le dernier plot. Ainsi, toute la tension du réseau est appliquée au moteur. Cette bobine joue un autre rôle important, celui de protéger le champ shunt. Étant en série avec le champ shunt, lorsque celui-ci s'ouvre (accidentellement), la bobine n'est plus alimentée. Par conséquent, elle perd son aimantation et relâche la manette qui revient à sa position initiale sur le plot M. Ainsi, l'alimentation du moteur est coupée.

Rappelez-vous que pour le démarrage du moteur, on déplace la manette sur les résistances de démarrage pour limiter le courant d'induit (courant d'armature). Pour contrôler la vitesse du moteur, on utilise plutôt un rhéostat de champ.

### 3.5.2.1 Démarrage automatique :

La technique de démarrage par résistance consiste à installer une résistance en série avec l'induit durant la période de démarrage. La Figure suivante vous montre le schéma développé d'un démarreur automatique par élimination de résistances [28].

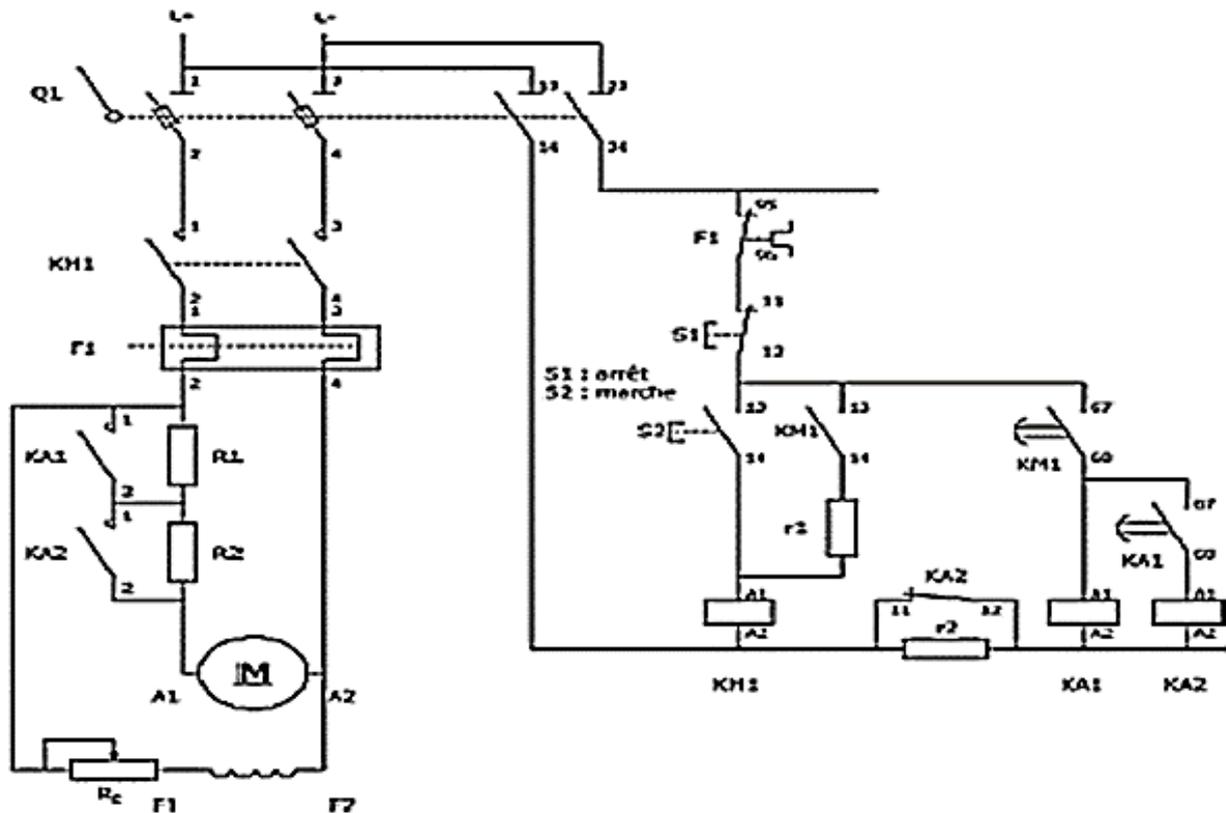


Figure 67 Schéma développé d'un démarreur par élimination de résistances

Le démarreur par élimination de résistances se compose des éléments suivants :

- un contacteur KM1 avec un contact auxiliaire F instantané et un contact F Temporisé au travail ;
- un relais KA1 avec un contact F instantané et un contact F temporisé au travail ;
- un relais KA2 avec un contact O et un contact F ;
- deux résistances de démarrage R1 et R2 ;
- un relais thermique.

En actionnant le bouton-poussoir S2 "marche", on alimente la bobine du contacteur KM1. Cela provoque la fermeture de ses contacts de puissance.

Le contact auxiliaire KM1 (13-14) maintient l'alimentation de la bobine KM1 lorsque le bouton-poussoir de marche est relâché et met en service la résistance d'économie r1 qui diminue le courant dans la bobine KM1.

La période de temporisation correspondant au premier temps de démarrage commence à cet instant :

- le courant, dans le circuit de puissance, est limité par les résistances de démarrage R1 et R2 en série avec l'induit ;
- la tension appliquée au moteur est faible mais suffisante pour que le moteur commence à tourner. Au fur et à mesure que le moteur accélère, le courant dans le moteur diminue. Ce l'entraîne une chute de tension moins importante dans la résistance de démarrage, donc une tension plus grande au moteur. Lorsque la première période de temporisation est terminée, le contact KM1 (67-68) se ferme, ce qui permet d'alimenter la bobine du relais KA1. La fermeture du contact de puissance KA1 (1-2) court-circuite la première résistance de démarrage R1, permettant ainsi l'application d'une tension, plus grande au moteur.

Le deuxième temps de démarrage commence à cet instant [29] :

- Le courant dans le moteur n'est plus limité que par la résistance de démarrage R2 ;
- Le moteur reçoit donc une tension plus importante continuant ainsi son accélération.

Lorsque la deuxième période de temporisation est terminée, le contact KA1 (67- 68) se ferme, ce qui permet d'alimenter la bobine du relais KA2. La fermeture du contact de puissance KA2 (1-2) court-circuite la deuxième résistance de démarrage R2 permettant ainsi l'application de la pleine tension au moteur et terminant ainsi la phase de démarrage. Le contact KA2 (11-12), en s'ouvrant met en service la résistance d'économie r2 des bobines KA1 et KA2.

La commande du bouton-poussoir S1 "arrêt" coupe l'alimentation des bobines KM1, KA1, KA2, entraînant le retour des contacts à leur position de repos, ce qui provoque l'arrêt du moteur. Cette méthode donne un démarrage très doux, car la chute de tension dans les résistances, élevée au début, diminue à mesure que la vitesse augmente. L'inconvénient de cette méthode réside dans le couple moteur qui est faible au démarrage puisqu'il est proportionnel au courant d'induit, réduit au démarrage.

La norme NF C 15-100 définit la section utile des câbles d'alimentation en fonction de leur longueur et de l'intensité. Habituellement, le courant de démarrage des moteurs à courant continu est limité à 1.5 fois le courant nominal. Ceci pour éviter une surchauffe ment excessif dans les enroulements du moteur dû à un courant très élevé. Au démarrage, la force contre- électromotrice (f.c.é.m.) est nulle, tandis que le courant est limité par la résistance de l'induit et les résistances de démarrage de sorte qu'on peut établir l'équation suivante :

$$R_d = (U/105 * I_n) - R_a \dots \dots \dots (2.1)$$

### 3.5.3 Le choix de démarrage :

Le choix de démarrage est conditionné par des critères économiques et techniques qui sont :

- Les caractéristiques mécaniques.
- Les performances recherchées.
- La nature du réseau d'alimentation électrique.
- L'utilisation du moteur existant dans le cas d'un rééquipement.
- La politique de maintenance de l'entreprise.
- Le coût de l'équipement.

Le choix d'un démarreur est lié :

- au type d'utilisation : souple au démarrage.
- à la nature de la charge à entraîner.
- au type de moteur asynchrone et à courants continu.
- à la puissance de la machine.
- à la puissance de la ligne électrique.
- à la gamme de vitesse requise pour l'application [28].

### 3.6 Conclusion :

Dans ce partie de chapitre nous avons exposé une étude sur les différents types de démarrages des moteurs (asynchrone. Synchrone. Courant continu).

Nous avons présenté chaque type de démarrage par une figure illustrée.



# Chapitre

# IV



Partie pratique : réalisation de planches pour bancs d'essais :

4.1- Représentation symbolique :

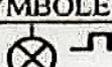
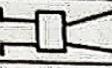
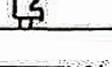
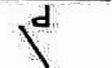
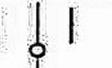
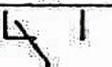
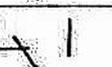
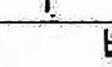
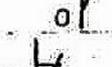
SIGNALISATION:			
SYMBOLE	DESIGNATION	SYMBOLE	DESIGNATION
	lampe de signalisation ou d'éclairage		voyant lumineux clignotant
	avertisseur		sirène
	sonnerie		ronfleur
	starter (tube à gaz avec bilame)		voyant electro-mecanique
	sonnerie à un coup		sifflet a commande electrique
CONTACTS ELECTRIQUES			
	contact a fermeture (auxiliaire)		contact a ouverture
	contacteur (1 pole)		discontacteur (1 pole)
	disjoncteur (1 pole)		rupteur (1 pole)
	sectionneur (pole)		interrupteur (1 pole)
	interrupteur-sectionneur (1 pole)		sectionneur a fusibles (1 poles)
	interrupteur-sectionneur a ouverture automatique (1 pole)		contact a 2 directions avec position d'ouverture
	contact a 2 positions sans verrouillage		contact a 2 positions avec verrouillage
	contacts representes en position actionnee		interrupteur de position F a fermeture, O a ouverture
	contact a fermeture retarde a la fermeture		contact a ouverture retarde a l'ouverture
	contact a fermeture rotarde & l'ouverture		contact a ouverture retarde a la fermeture
	contact a fermeture retarde a l'ouverture et a la fermeture		contact bidirectionnel
	contact a mercure a 2 directions . retour automatique		contact a 2 positions a retour automatique a la position mediane (gauche) maintenue (droite)
	contact a fermeture a inertia commande brusque par variation de vitesse		contact a mercure a 2 positions commande par variation de vitesse retour automatique

Figure 68 symbole de signalisation et contact électrique

NATURE DES COURANTS ET POLAIRES

SYMBOLE	DESIGNATION	SYMBOLE	DESIGNATION
	courant alternatif	+	polarité positive
		-	polarité négative
<sup>1</sup> 	courant alternatif monophasé		courant continu (02 variantes)
			
<sup>3</sup> 	courant alternatif triphasé		terre
<sup>3</sup> 50 Hz 	courant alternatif triphasé 50 Hz		masse
	courant ondulé ou redressé		machines ou appareils utilisables en continu ou alternatif

CONDUCTEURS , BORNES ET CONNEXIONS

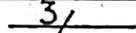
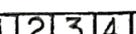
	conducteur		conducteur neutre
	canalisation à 3 conducteurs . représentation multifilaire		canalisation à 3 conducteurs . représentation unifilaire (2 variantes)
	conducteur de terre		conducteur relié à la masse
	borne de connexion (2 variantes)		contact glissant
	croisement sans connexion		croisement avec connexion
	conducteur ou faisceau flexible		derivation (le point peut être supprimé)
	bornier de connexion		barrette de connexion
	fiche de prise de courant		fiche et prise associées
	prise de courant femelle		connecteur mâle-mâle
	connecteur avec fiche de dérivation		fiche et prise de courant tripolaire représentation unifilaire

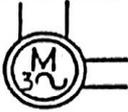
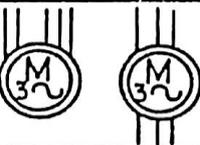
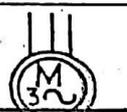
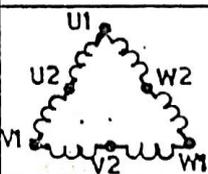
Figure 69 nature de courant et conducteurs et des bornes de connexions

REPERAGE DES APPAREILS DANS UN SCHEMA DEVELOPPE :

DESIGNATION	REPERE	DESIGNATION	REPERE
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alternateur ;</li> <li>- Batterie d'Accumulateur;</li> <li>- Générateur .</li> </ul>	<b>G</b>	<p>Appareil mécanique de connexion pour circuit de puissance :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-sectionneur ;</li> <li>- disjoncteur;</li> <li>- interrupteur-sectionneur.</li> </ul>	<b>Q</b>
<p>Appareil mécanique de connexion pour circuit de commande :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-interrupteur- sélecteur ;</li> <li>-bouton poussoir ;</li> <li>-commutateur ;</li> <li>- interrupteur de position</li> </ul>	<b>S</b>	<p>Les contacteurs et relais auxiliaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- les contacteurs et relais auxiliaires temposisés ;</li> <li>- auxiliaires et contacteurs à accrochage ;</li> <li>- relais polarisé.</li> </ul>	<b>KA</b>
Transformateur	<b>T</b>	Contacteur de puissance	<b>KM</b>
<p>Dispositif de protection :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- coupe -circuit a fusible ;</li> <li>- parafoudre ;</li> <li>- relais thermique ;</li> <li>- relais magnétique ;</li> <li>- relais magnétothermique</li> </ul>	<b>F</b>	<p>Appareil mécanique actionné électriquement:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- électro-aimant ;</li> <li>-embrayage ;</li> <li>-frein électro-mécanique .</li> </ul>	<b>Y</b>
<p>Avertisseurs</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Lumineux</li> <li>-Sonore</li> </ul>	<b>H</b>	Moteur	<b>M</b>
Condensateurs	<b>C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Résistance ;</li> <li>- Shunt ;</li> <li>- Thermistance ;</li> <li>- Potentiomètre;</li> <li>- Résistance variable ;</li> <li>- Varistance .</li> </ul>	<b>R</b>

Figure 70 repérage des appareils dans les schémas

MACHINES ASYNCHRONES :

SYMBOLE	DESIGNATION	SYMBOLE	DESIGNATION
	moteur asynchrone monophasé		moteur asynchrone monophasé avec phase auxiliaire sortie
	moteur asynchrone à rotor à cage		moteur asynchrone à rotor à cage stator (couple en étoile)
	moteur asynchrone à rotor à cage ( stator couplé en triangle)		moteur asynchrone triphase à rotor en court-circuit avec 6 bornes au stator
	moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné (a bagucs)		moteur asynchrone monophasé à rotor à bagucs
	moteur asynchrone triphasé avec démarreur automatique		moteur asynchrone triphasé stator en étoile, avec démarreur automatique dans le rotor
	moteur linéaire asynchrone (déplacement dans un seul sens)		moteur asynchrone à 02 vitesses ( à couplage de pôle )

MACHINES A COURANT CONTINU :

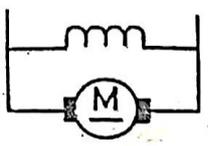
	machine à courant continu (représentation général) = M(moteur) ; = G(génératrice) (induit)	1  2 	inducteur d'une machine à courant continu  1-shunt 2- série
	moteur à courant continu à excitation série		moteur à courant continu à excitation shunt
	moteur à courant continu à excitation composée (courte dérivation)		moteur à courant continu à excitation composée (longue dérivation)

Figure 71 machine asynchrone et a courant continu

MARQUAGE DES BORNES DES APPAREILS :

norme NF C 63-030 , NF C 63-031 , -032,-033 , 034

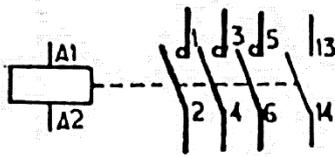
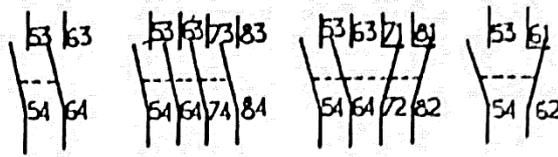
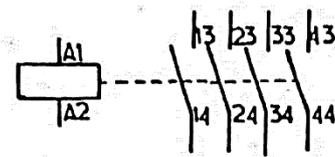
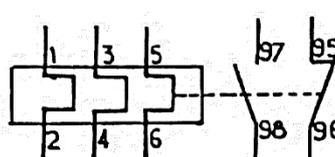
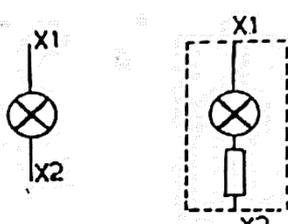
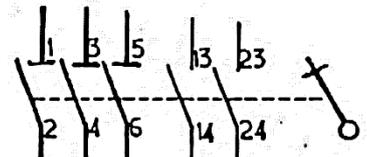
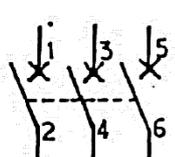
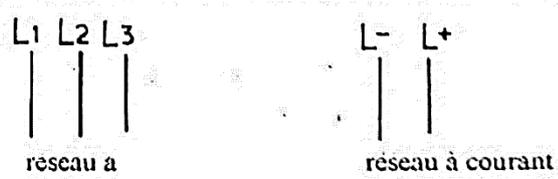
<p style="text-align: center;"><b>Contacteur</b></p>  <p>(A1-A2) : bobine + 3 contacts de puissance + 1 contact auxiliaire</p>	<p style="text-align: center;"><b>blocs additifs : contacts des circuits auxiliaires</b></p>  <p>2F                  4F                  2F+20                  1F+10</p>
<p style="text-align: center;"><b>Relais</b></p>  <p>(A1,A2): bobine + 4 contacts (F) auxiliaires</p>	<p style="text-align: center;"><b>blocs additifs : contacts auxiliaires temporisés</b></p>  <p>temporisé au travail                  temporisé au relâchement</p>
<p style="text-align: center;"><b>Relais de protection thermique</b></p> 	 <p style="text-align: right;">lampe témoin</p>
 <p>Sectionneur : les contacts de puissance (1-2),(3,4) (5-6) les contact de commande (13-14):(23-24)</p>	 <p style="text-align: center;"><b>Bouton poussoir</b> (13-14) à fermeture                  (21-22) à ouverture</p>
<p style="text-align: center;"><b>Disjoncteur</b></p> 	 <p style="text-align: center;"><b>Interrupteur de position</b> (13-14) à fermeture                  (21-22) à ouverture</p>
<p style="text-align: center;"><b>Fusible</b></p> 	 <p style="text-align: center;">réseau a 3 fils                  réseau à courant continu</p>

Figure 72 bornes des appareils

AUXILIAIRES DE COMMANDES:

SYMBOLE	DESIGNATION	SYMBOLE	DESIGNATION
	contact à fermeture (commande manuelle)		contact à ouverture commande manuelle
	bouton poussoir à fermeture (retour automatique)		bouton poussoir à ouverture (retour automatique)
	tirette à ouverture (retour automatique)		bouton poussoir à coup de poing
	auxiliaire manuelle de commande actionnée par clé		bouton à fermeture actionné par tirette (retour automatique)
	bouton rotatif 1- contact à fermeture 2- contact à ouverture		commutateur à 2 positions stables (pousser-tirer)
	commutateur à 3 circuits indépendants		commutateur unipolaire à plusieurs positions (ici 8)
	commutateur unipolaire à 4 directions avec chevauchement		commutateur unipolaire à 3 directions
	commutateur unipolaire multidirectionnel à 5 positions (2 <sup>ème</sup> position libre)		commutateur unipolaire à 4 directions de mise en parallèle
diagramme de position		4 positions d'un commutateur représenté en position 2	

Figure 73 auxiliaires de commande

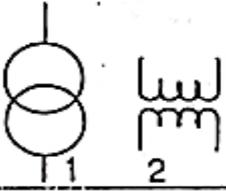
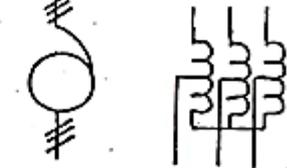
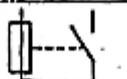
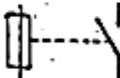
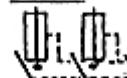
SYMBOLE	DESIGNATION	SYMBOLE	DESIGNATION
	transformateur à 2 enroulements (2 variantes) 1- pour les schémas unifilaires 2- pour les schémas multifilaires		transformateur à 3 enroulements monophasés (2 variantes)
	auto-transformateur monophasé (2 variantes)		auto-transformateur triphasé (2 variantes)

Figure 74 autotransformateur

COUPES -CIRCUIT A FUSIBLES .

SYMBOLE	DESIGNATION	SYMBOLE	DESIGNATION
	fusible (symbole général)		fusible noirce à l'extrémité indiquant la partie qui reste sous tension après fusion
	fusible à percuteur		fusible à percuteur avec circuit de signalisation fusion à extrémité commune
	fusible à percuteur avec circuit de signalisation fusion indépendant		fusible à percuteur avec ouverture automatique de l'interrupteur par fusion d'un fusible

ORGANES DE COMMANDE:

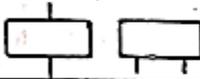
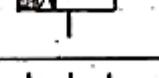
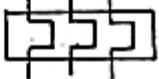
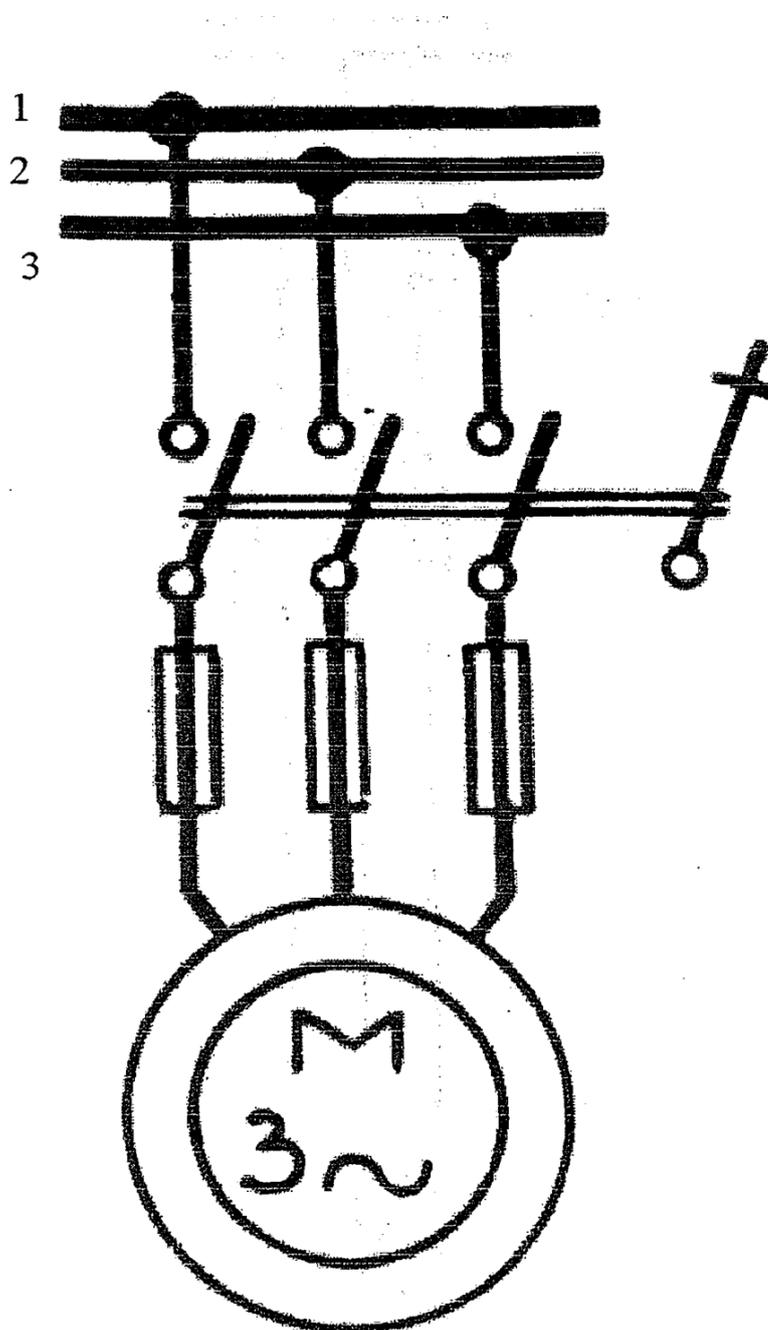
	organe de commande électromagnétique symbole général (2 var)		organe de commande électromagnétique d'un relais polarisé
	organe de commande d'un relais à un seul enroulement		organe de commande électromagnétique d'un relais à 2 enroulements
	organe de commande électromagnétique d'un relais à courant alternatif		organe de commande d'un relais retardé au travail
	organe de commande électromagnétique d'un relais retardé au repos		organe de commande électromagnétique d'un relais retardé au relâchement et au travail
	organe de commande électromagnétique d'un relais à verrouillage mécanique		organe de commande d'un relais thermique
	organe de commande d'un relais magnétique		organe de commande d'un relais magneto-thermique

Figure 75 fusible et organe de commande

## 4.2-moteur asynchrone a cage :

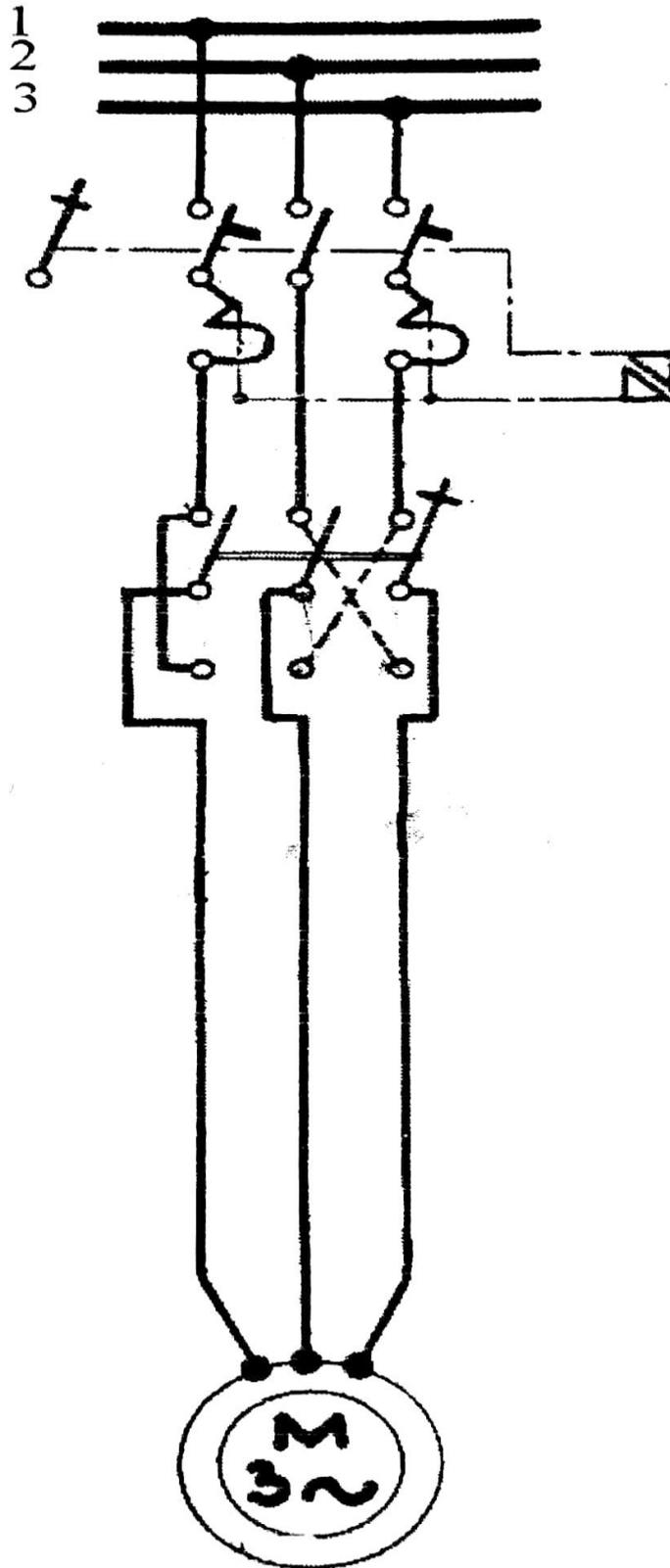
### 4.2.1 démarrage à commande manuelle :

March-arrêt



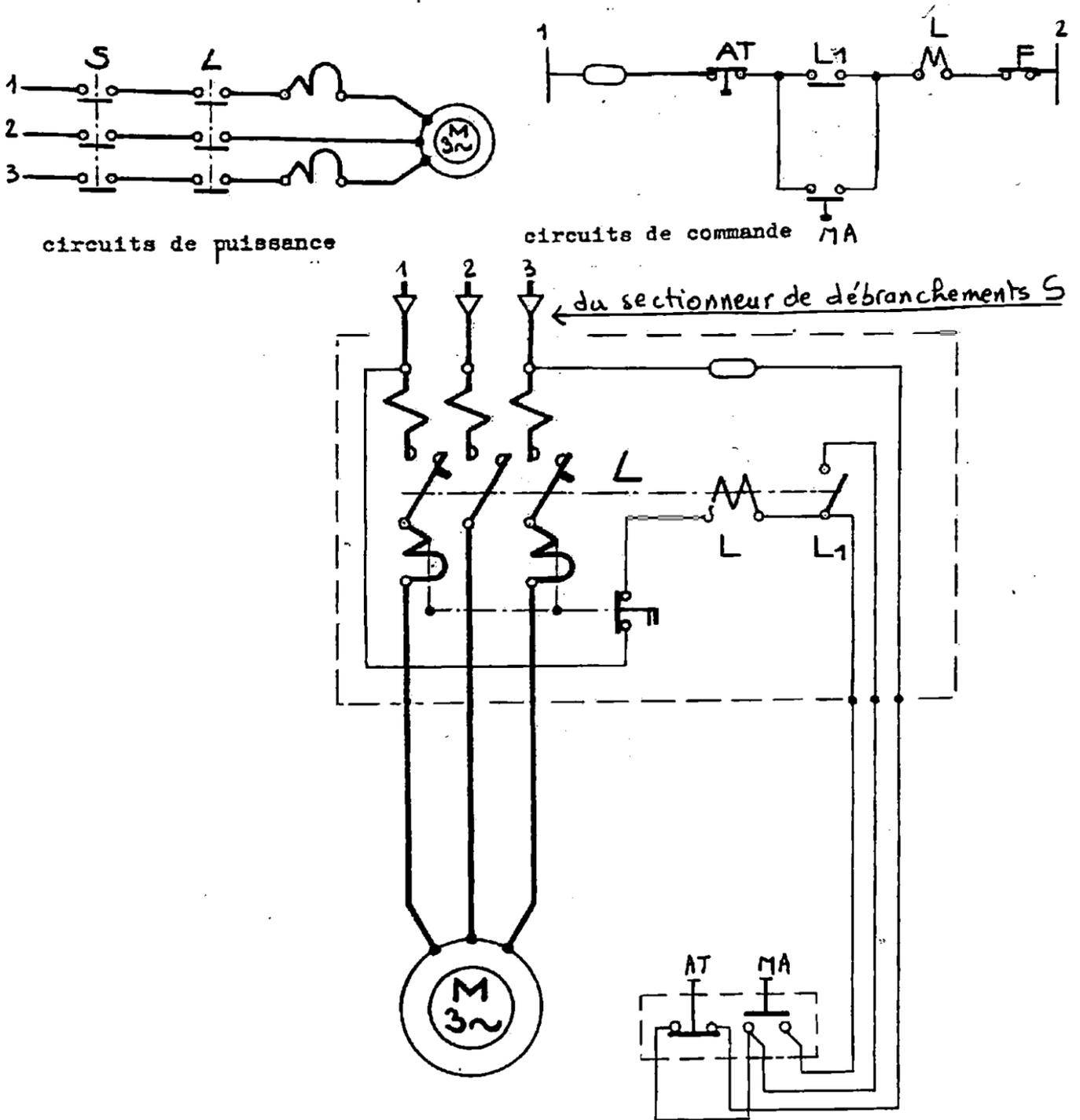
### 4.2.2 démarrage à commande manuelle :

March avant-arrêt-March arrière



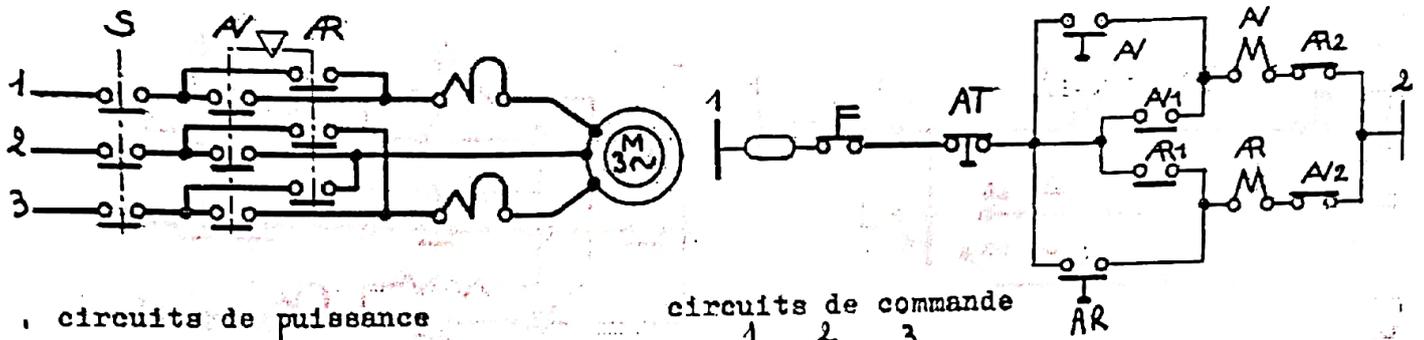
### 4.2.3 démarrage direct par contacteur sous pleine tension :

March- arrêt



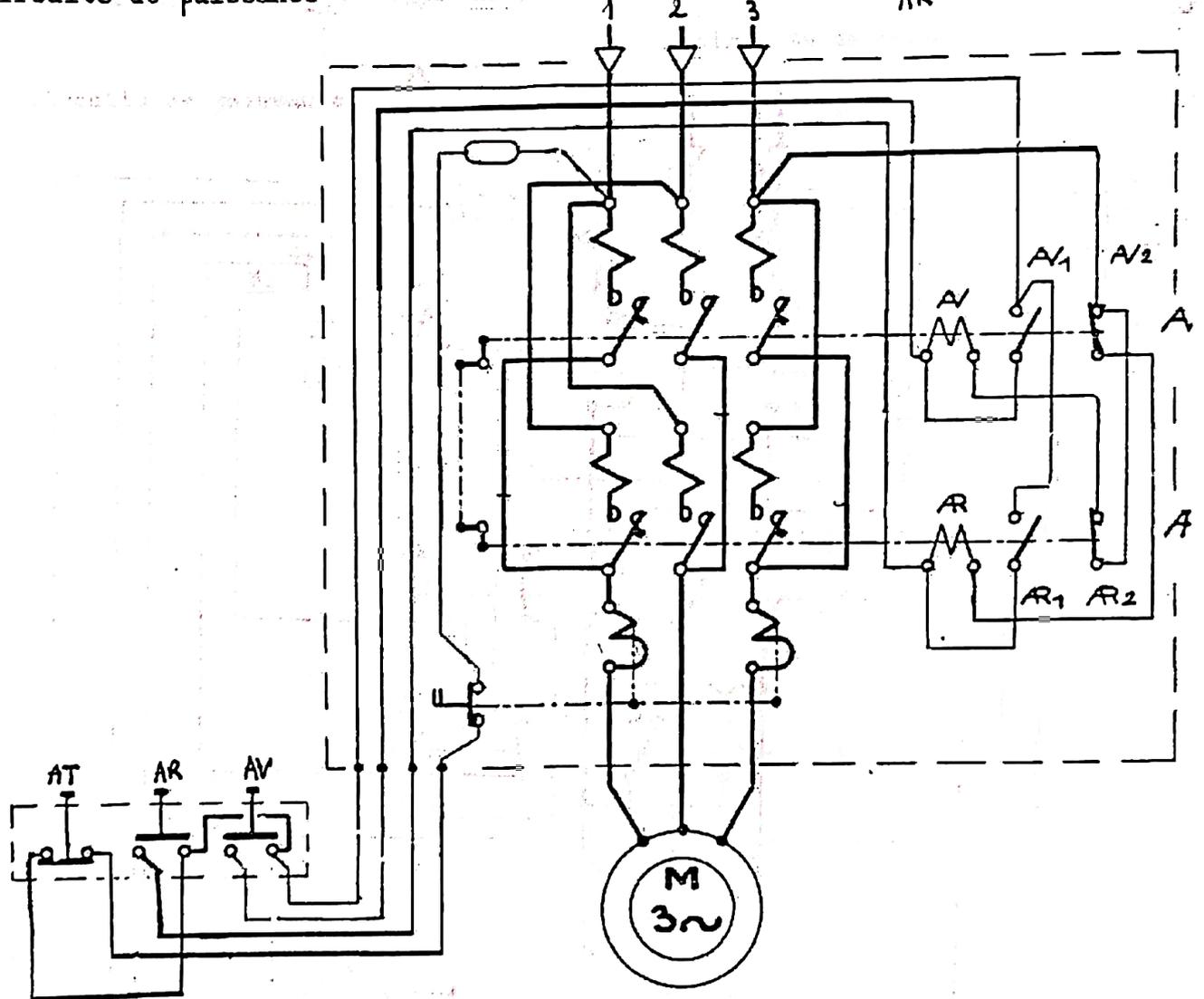
4.2.4 démarrage direct par contacteur sous pleine tension :

March avant-arrêt-March arrière



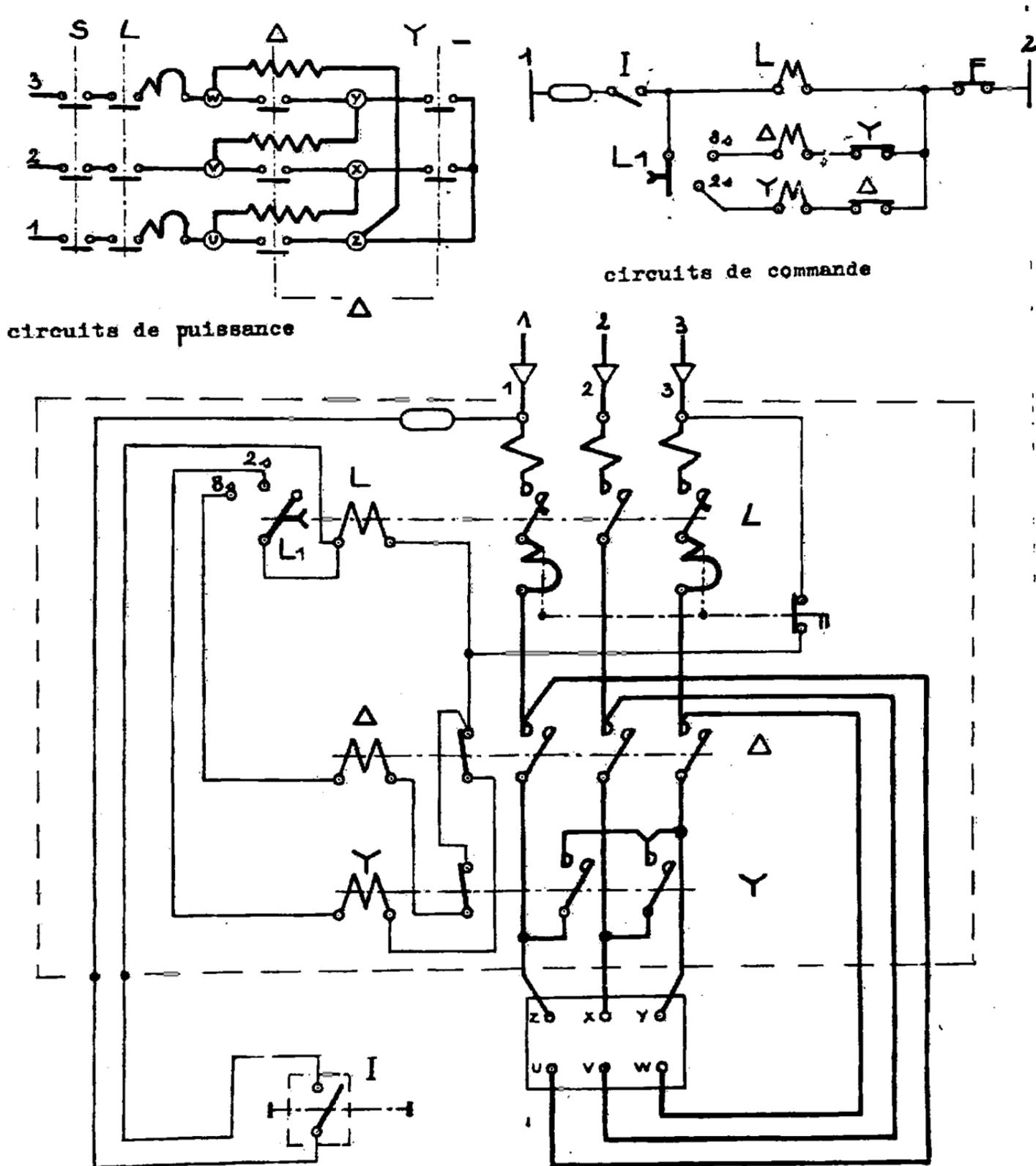
circuits de puissance

circuits de commande



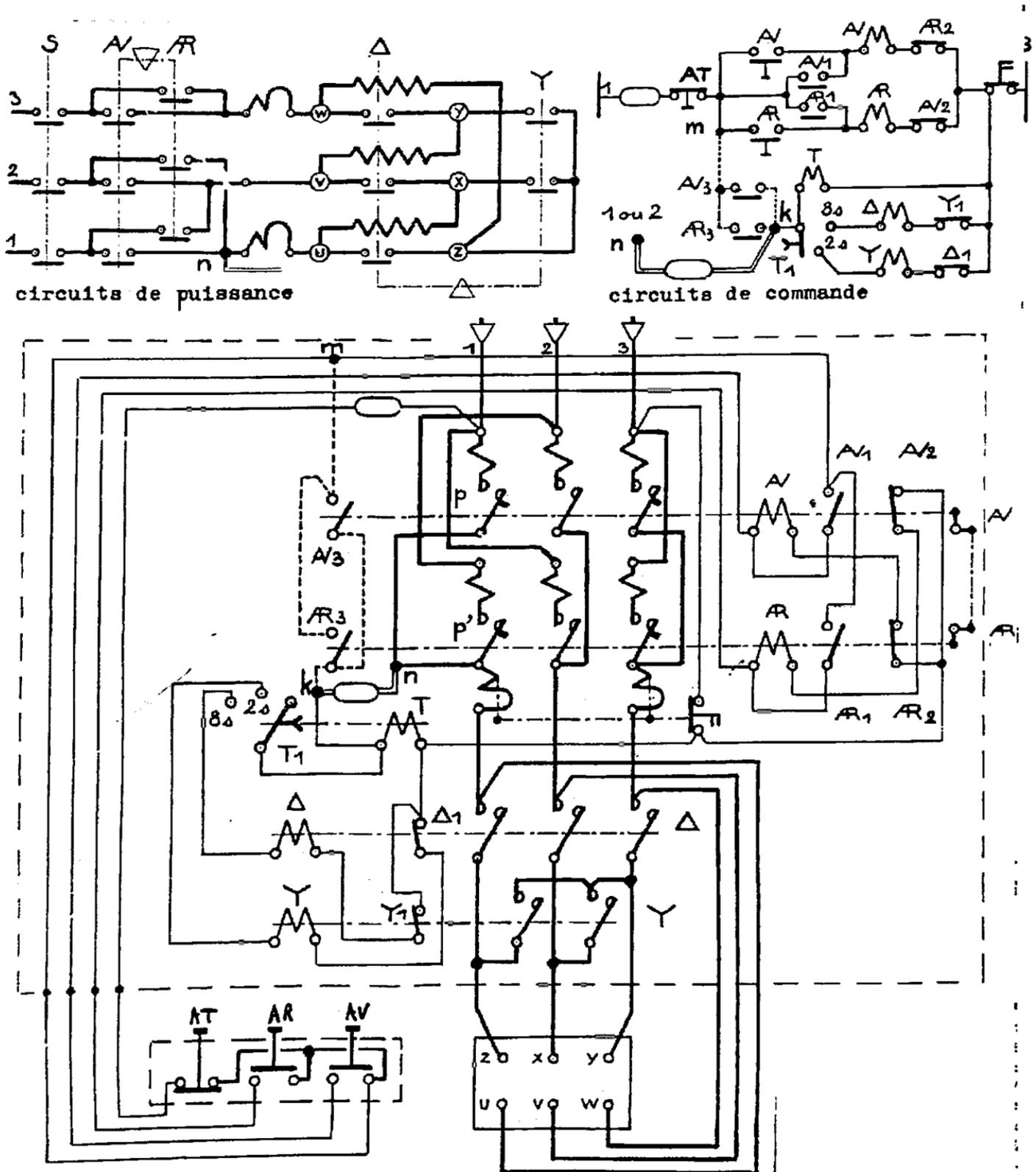
### 4.2.5 démarrage par contacteur Etoile-triangle :

March-arrêt



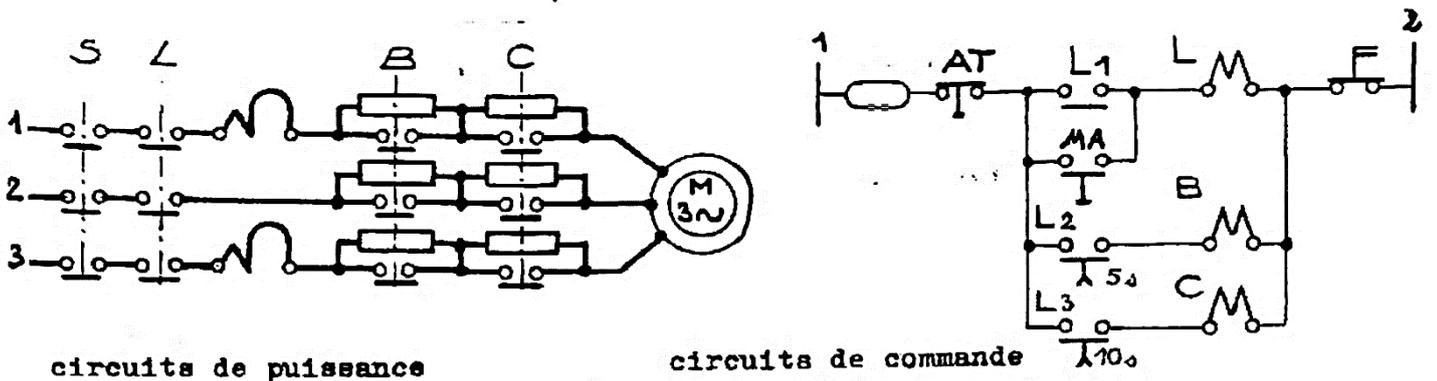
### 4.2.6 démarrage par contacteur Etoile-triangle :

March avant-arrêt-March arrière



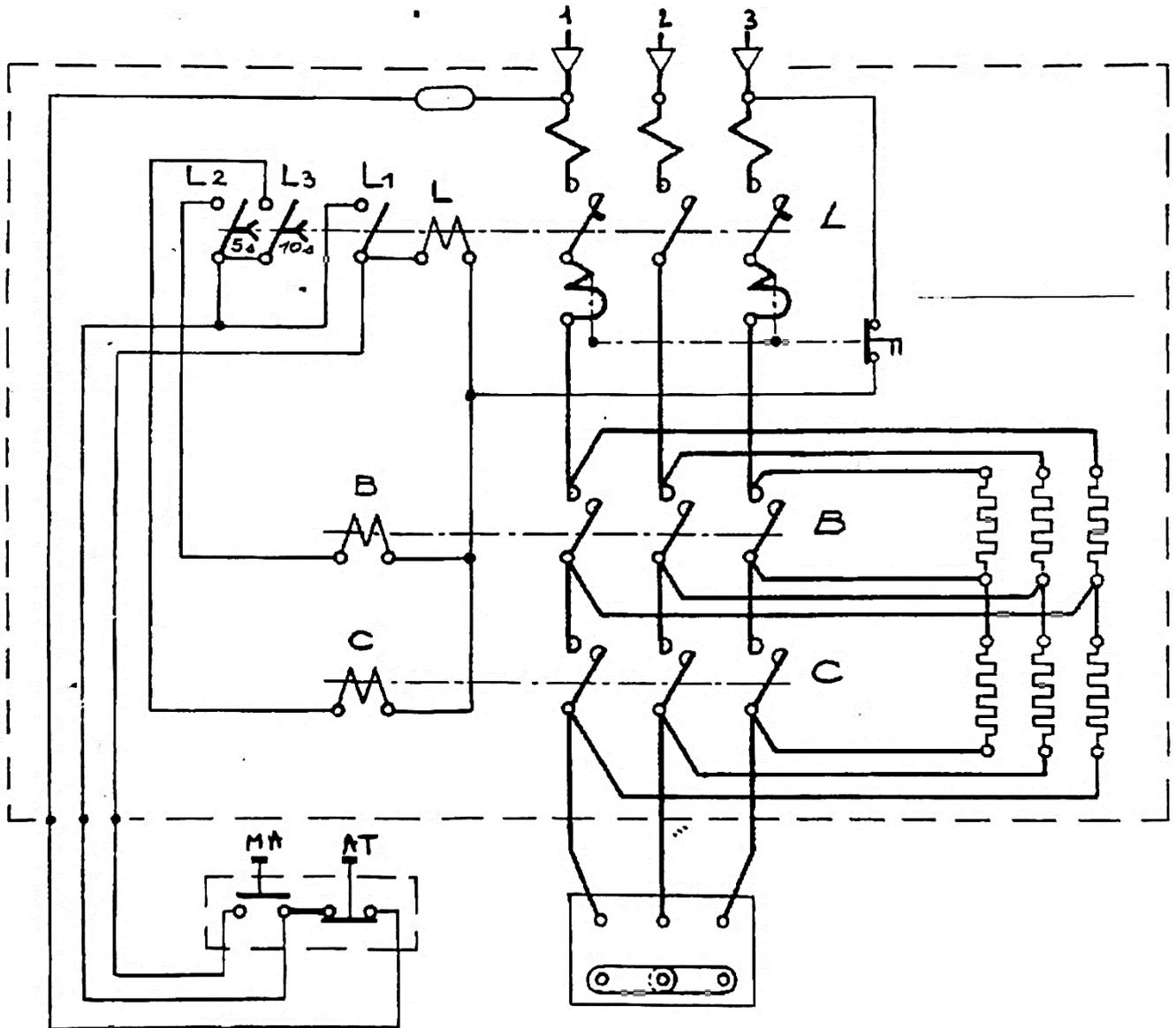
### 4.2.7 démarrage par contacteur par élimination de résistance statorique :

March-arrêt



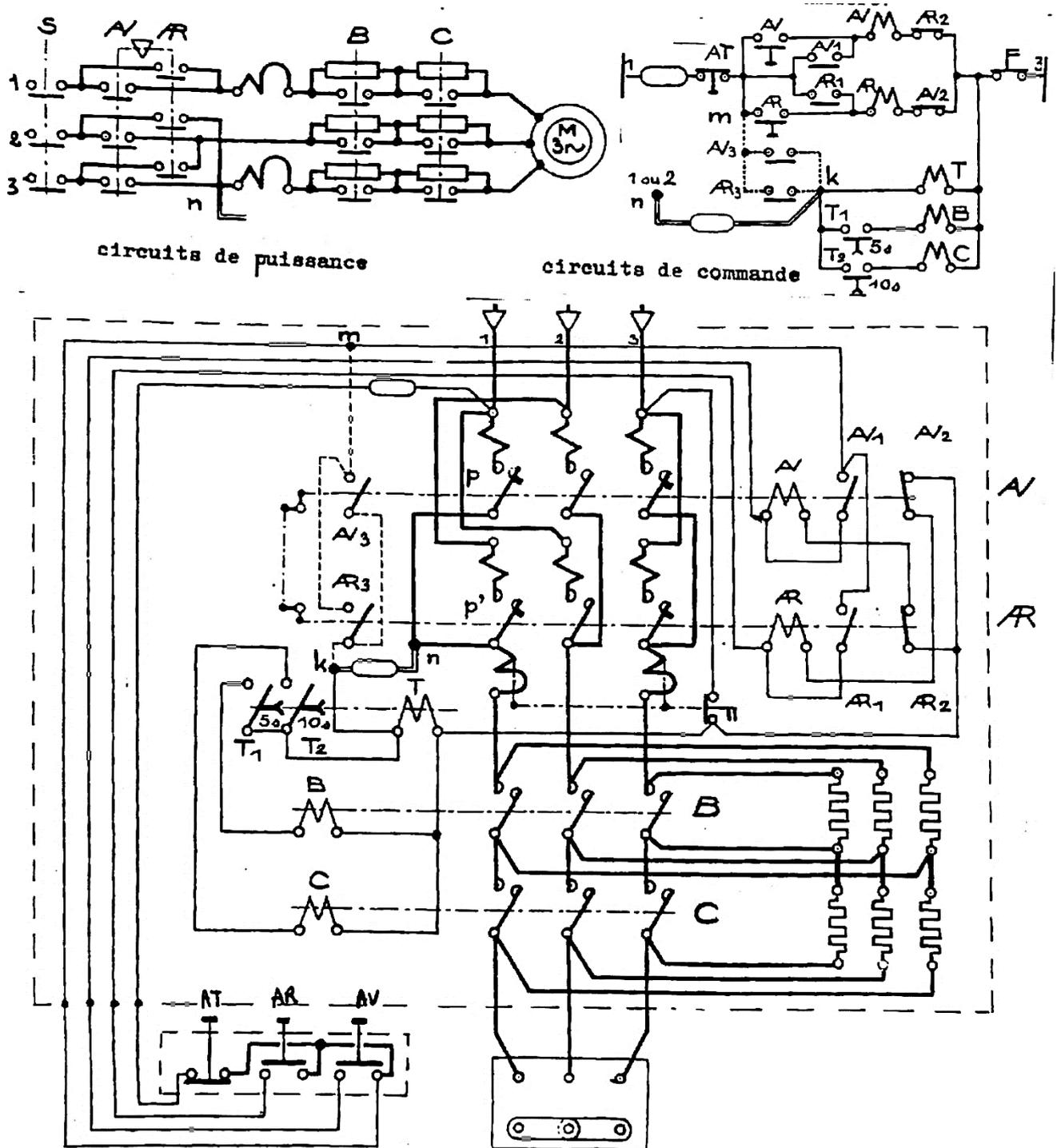
circuits de puissance

circuits de commande



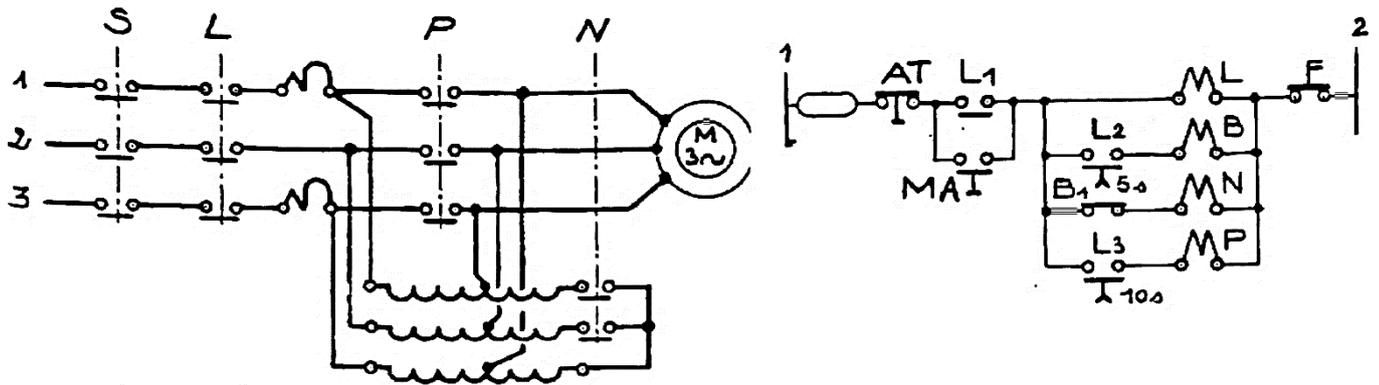
4.2.8 démarrage par contacteur par élimination de résistance statorique :

March avant-arrêt-March arrière.



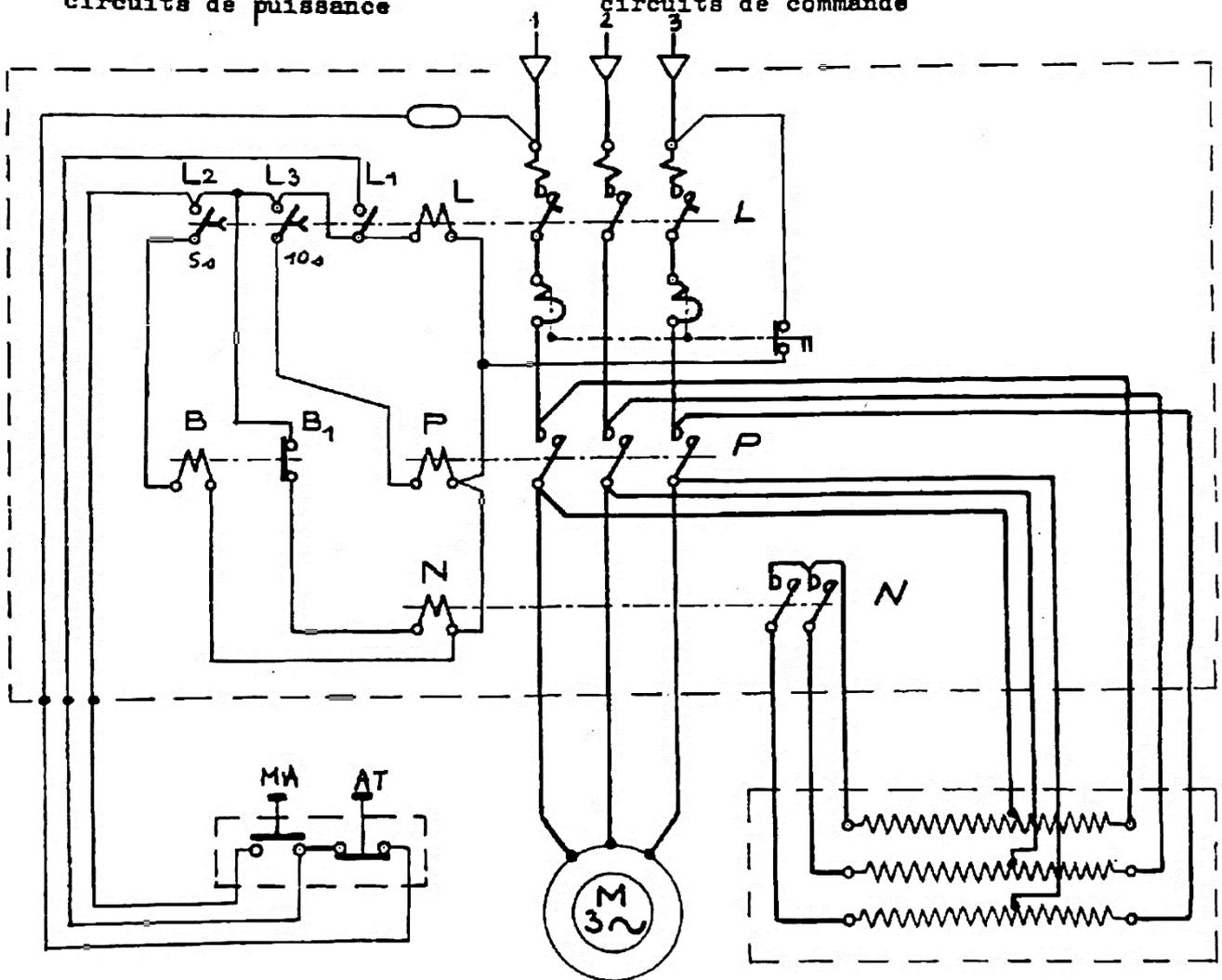
### 4.2.9 démarrage par contacteur par auto transformateur :

Marche - arrêt



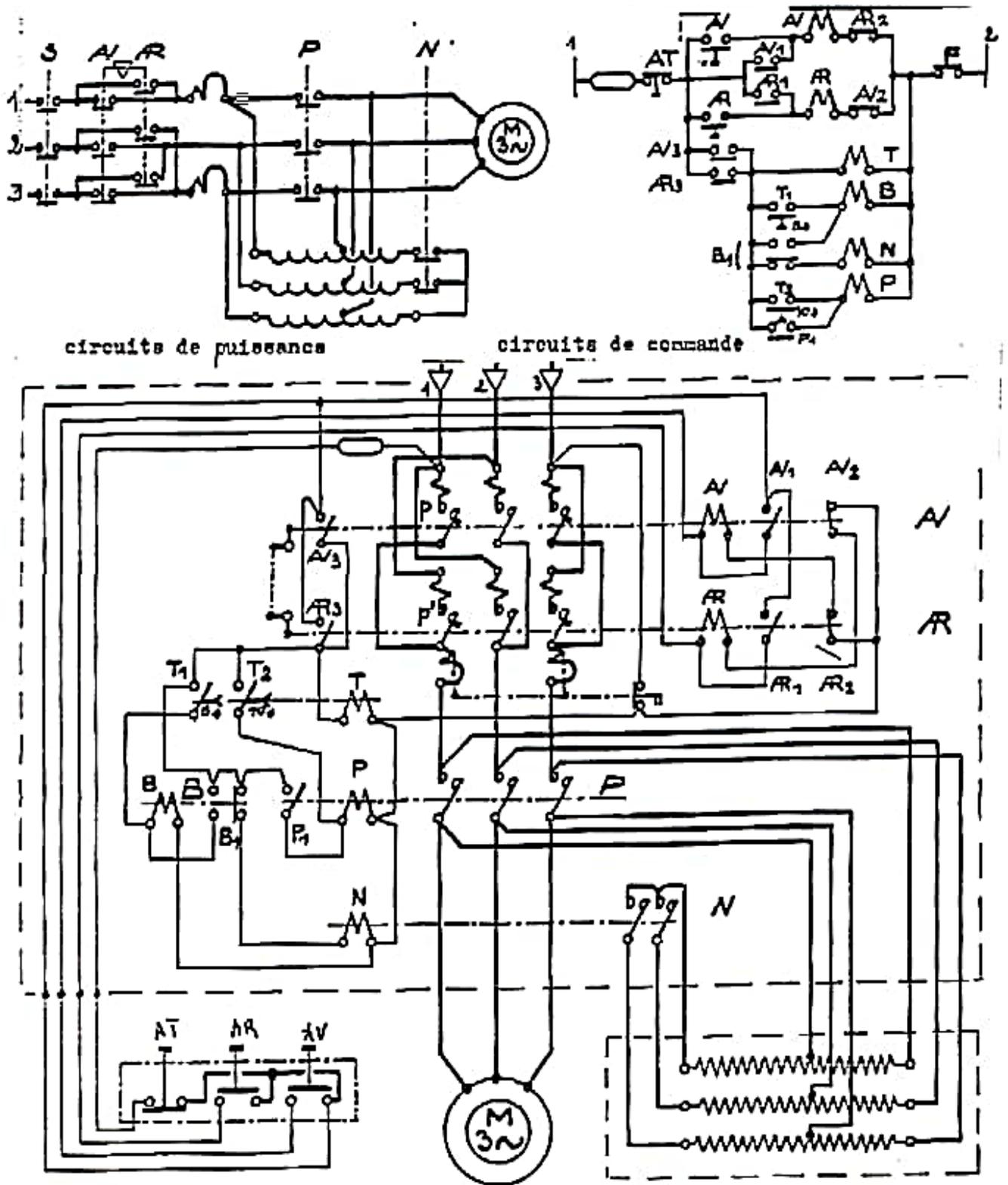
circuits de puissance

circuits de commande



4.2.10 démarrage par contacteur par auto transformateur :

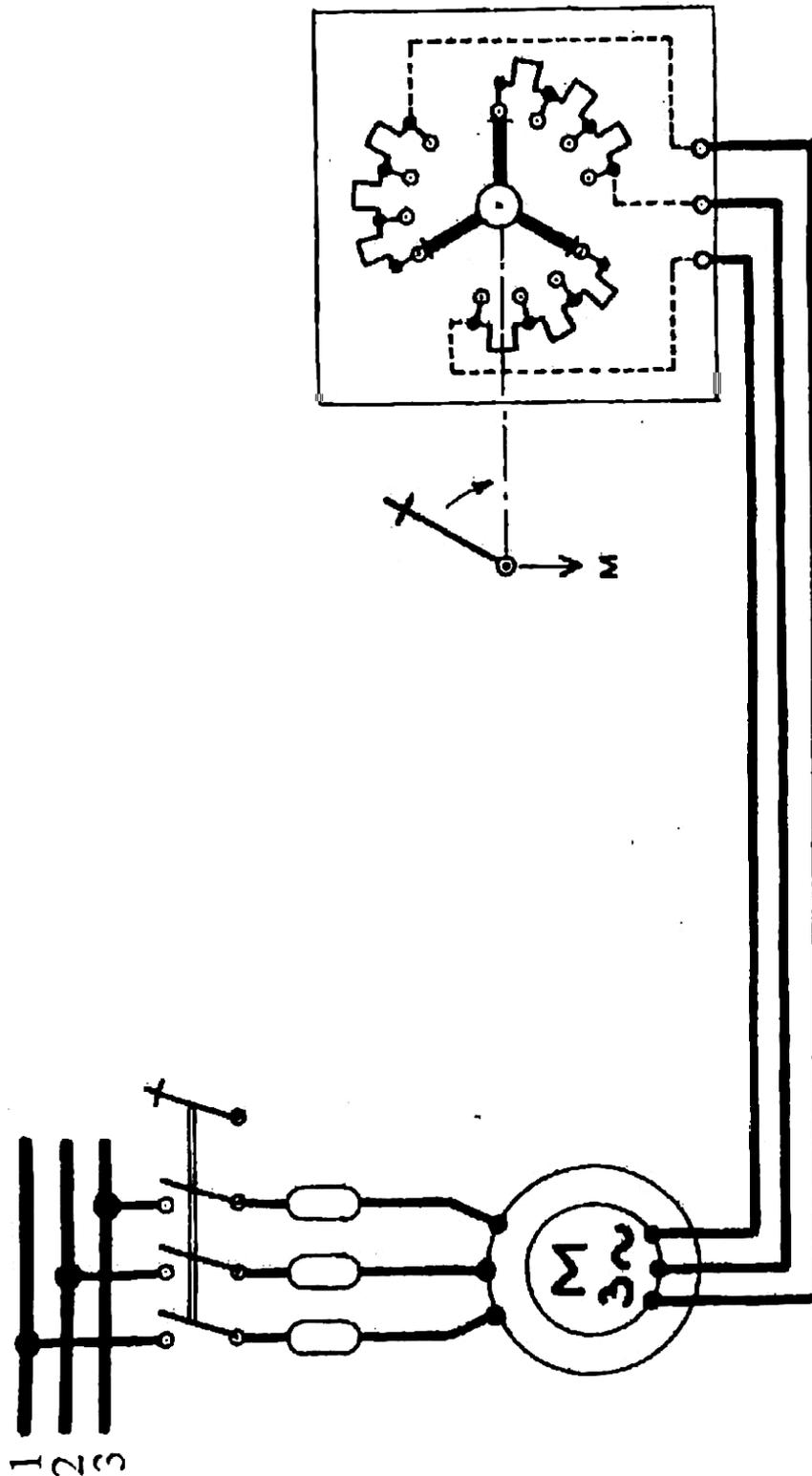
March avant-arrêt-March arrière.



**4.3- moteur asynchrone rotor bobine :**

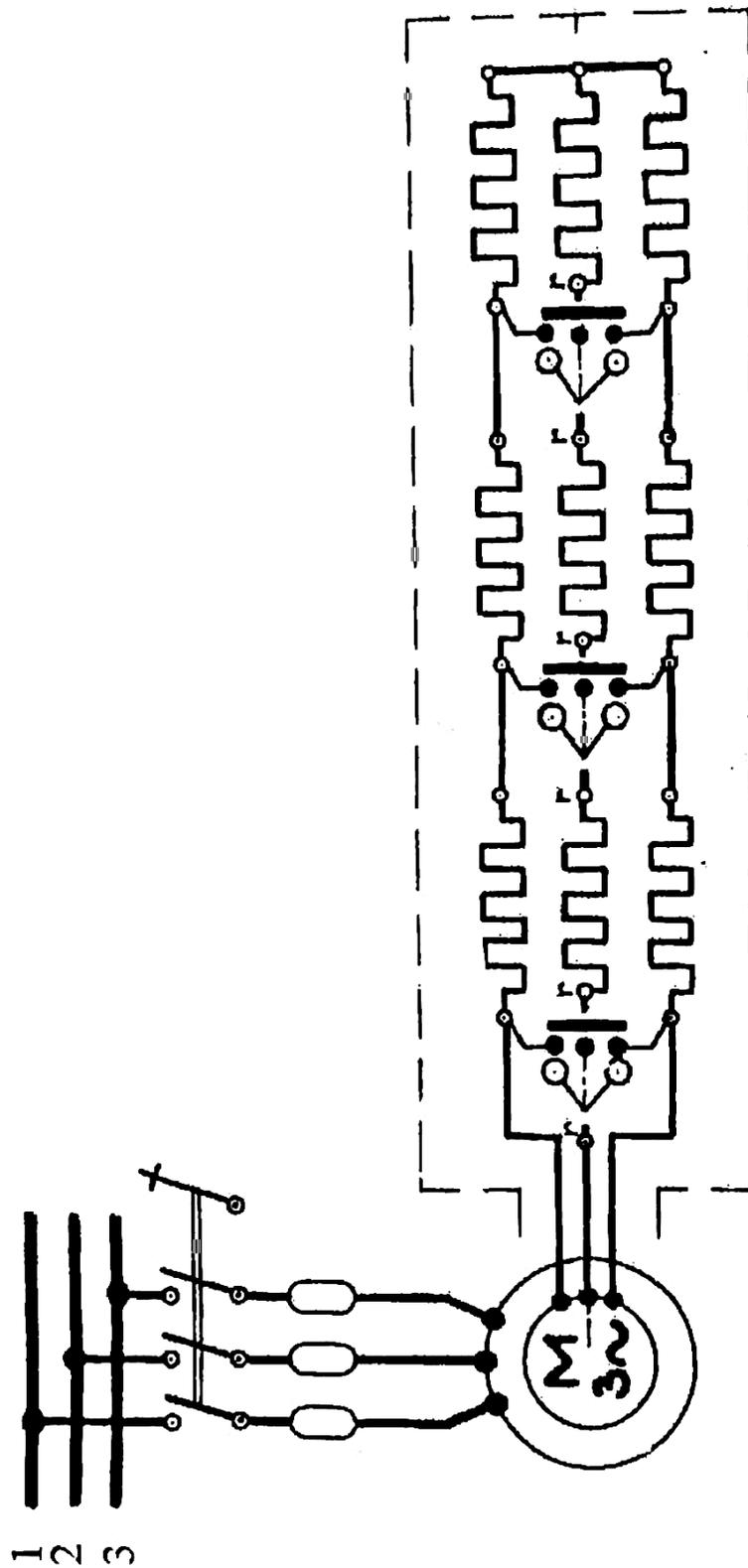
**4.3.1 démarrage par élimination de résistances ( rhéostat de démarrage) :**

March-arrêt



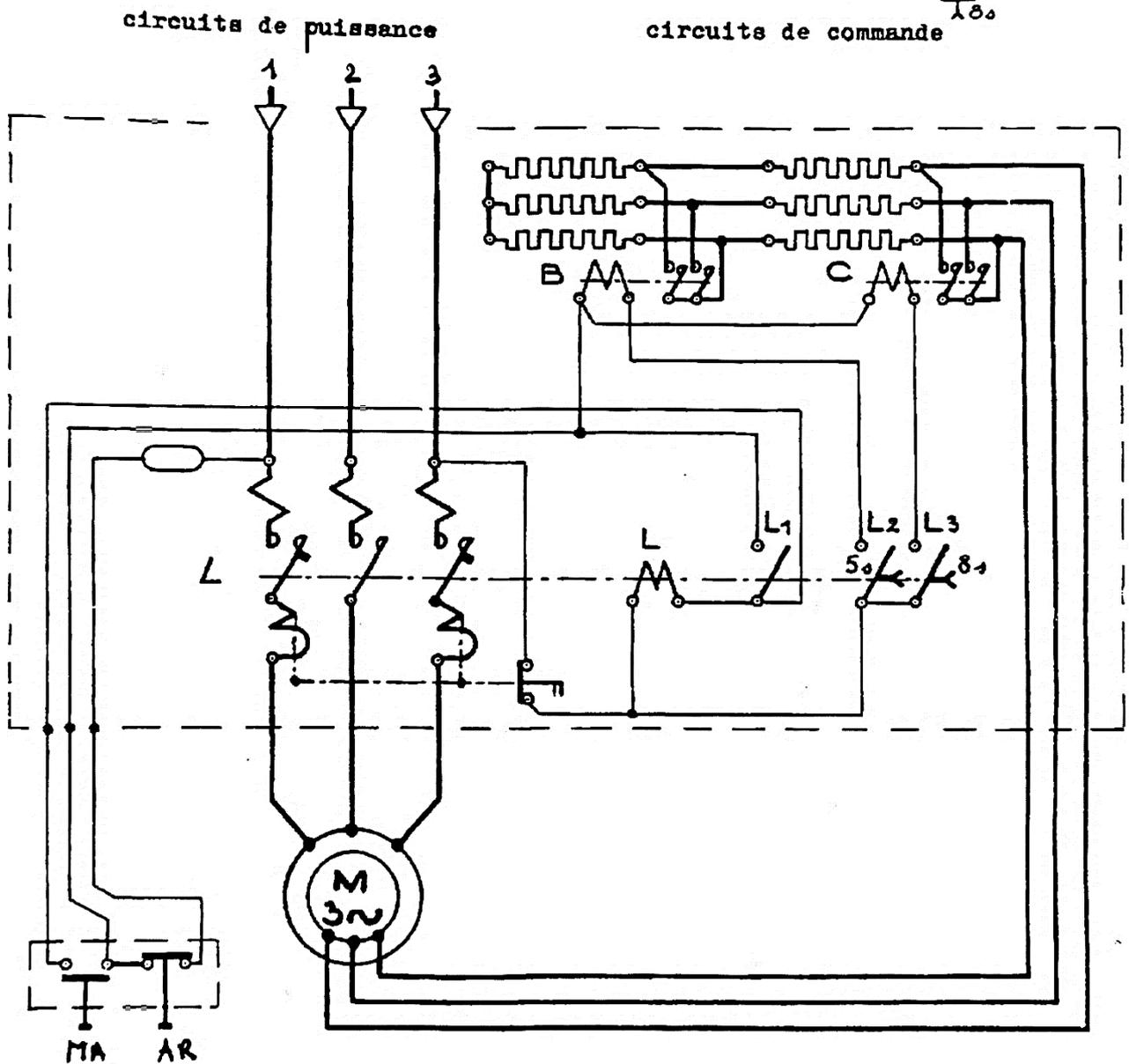
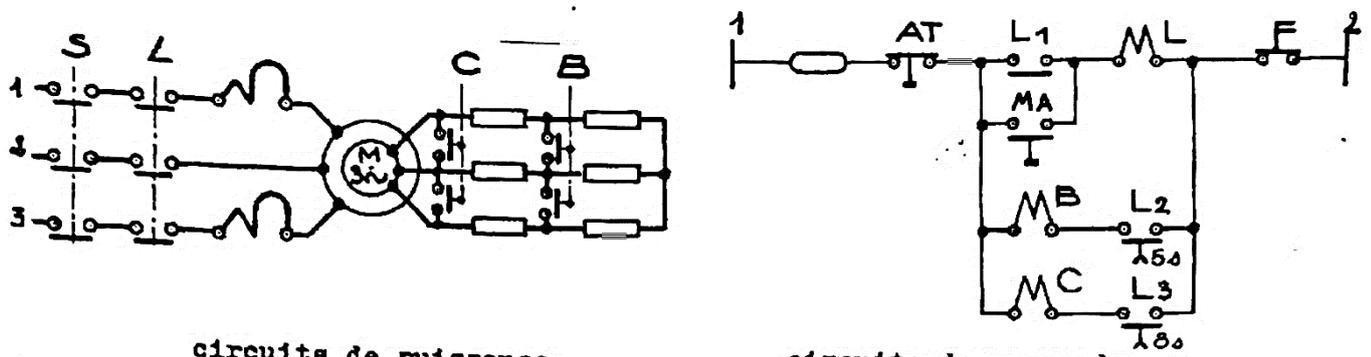
### 4.3.2 démarrage par coupleurs centrifuges :

March-arrêt



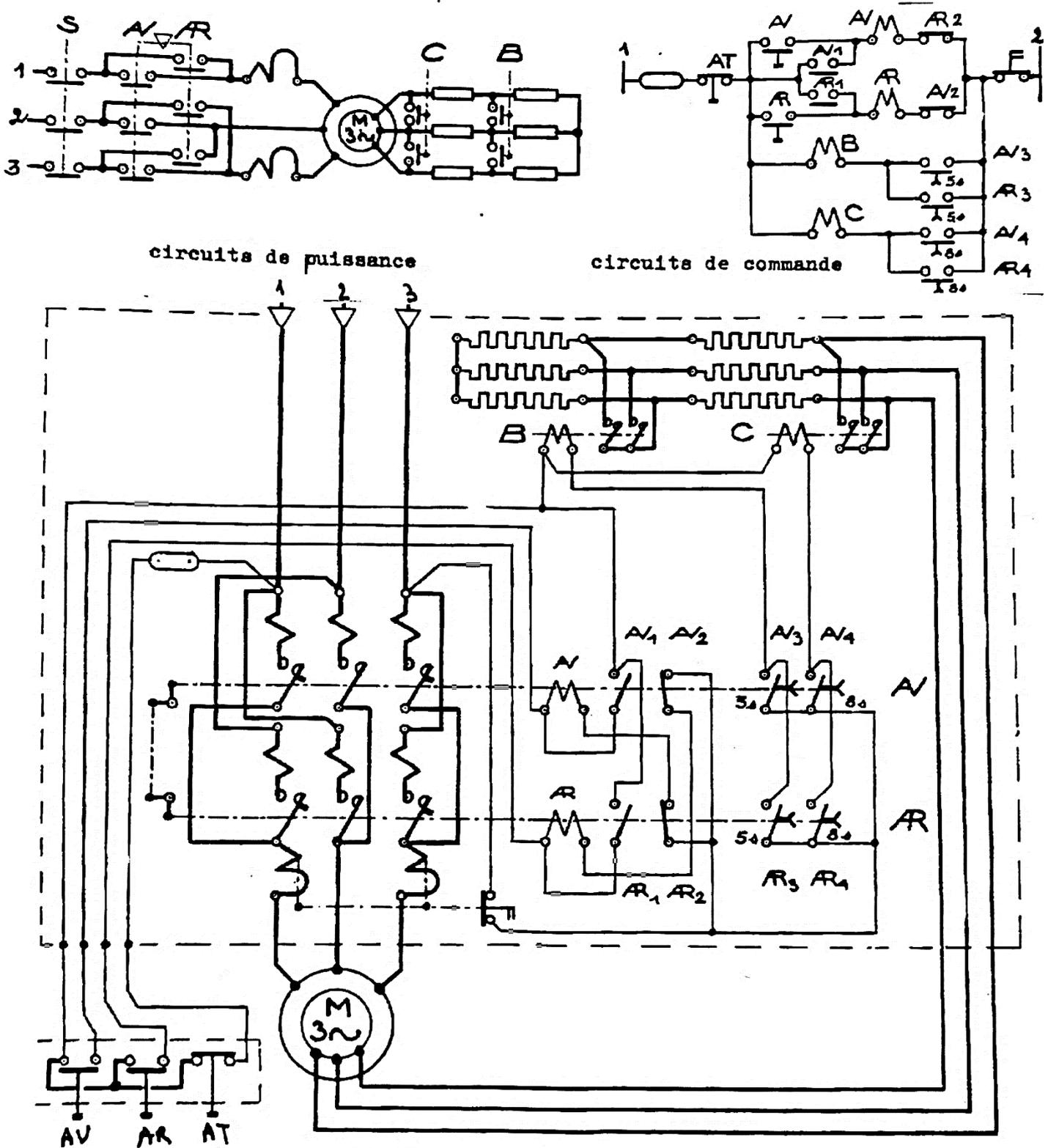
### 4.3.3 démarrage par contacteur par élimination de résistances rotorique :

March-arrêt



4.3.4- démarrage par contacteur par élimination de résistances rotorique :

March avant-arrêt-March arrière

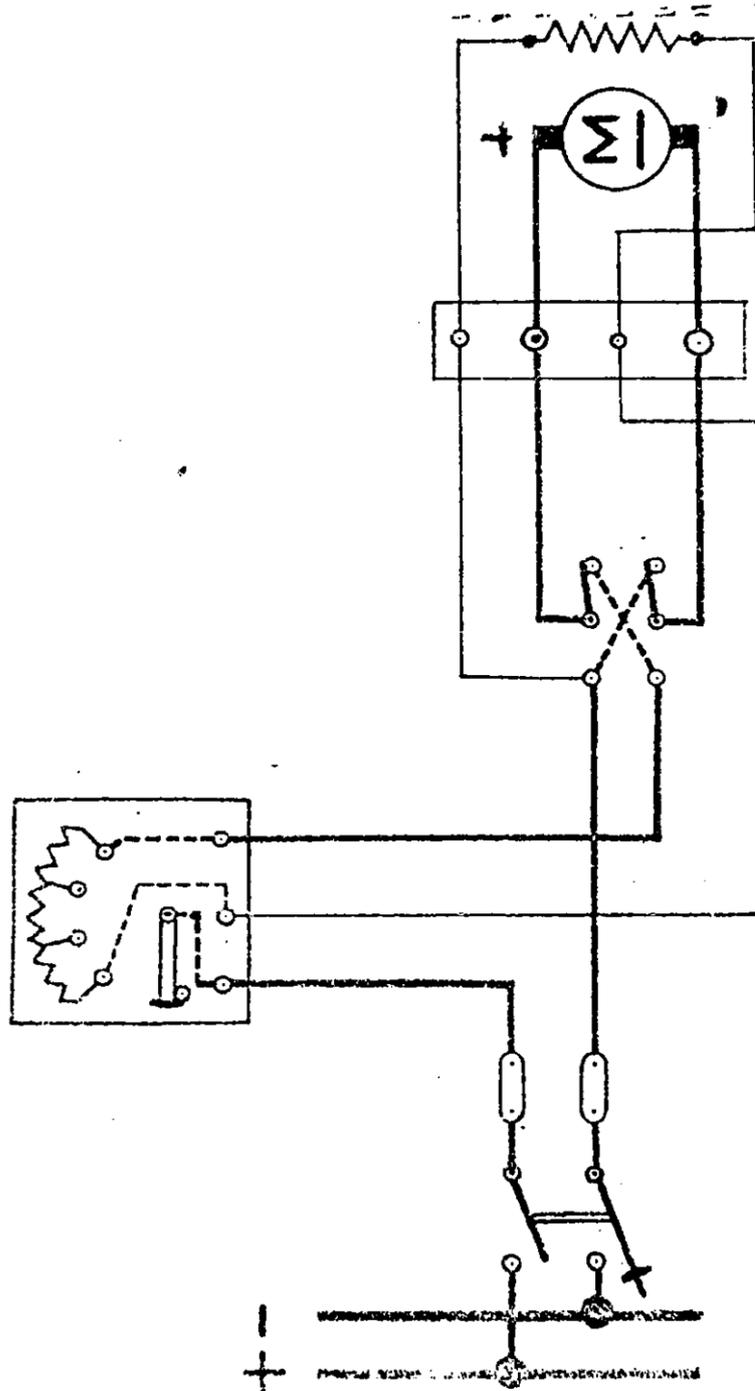


**4.4- différents types de démarrage de moteur à courant continu :**

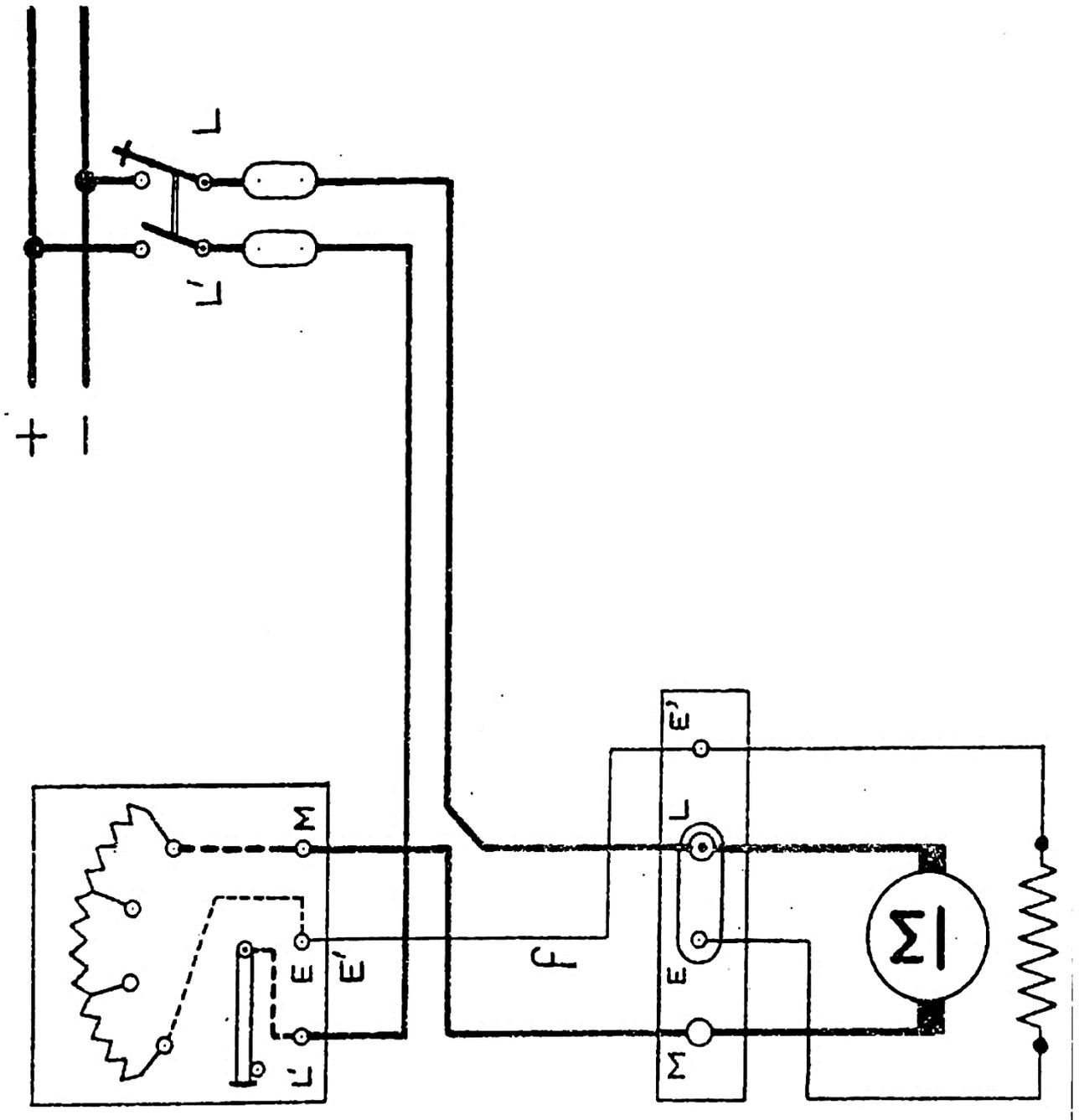
- Moteur à excitation shunt :

**4.4.1-inversion de sens du marche :**

**4.4.1.1-inverser le sens du courant dans l'induit :**



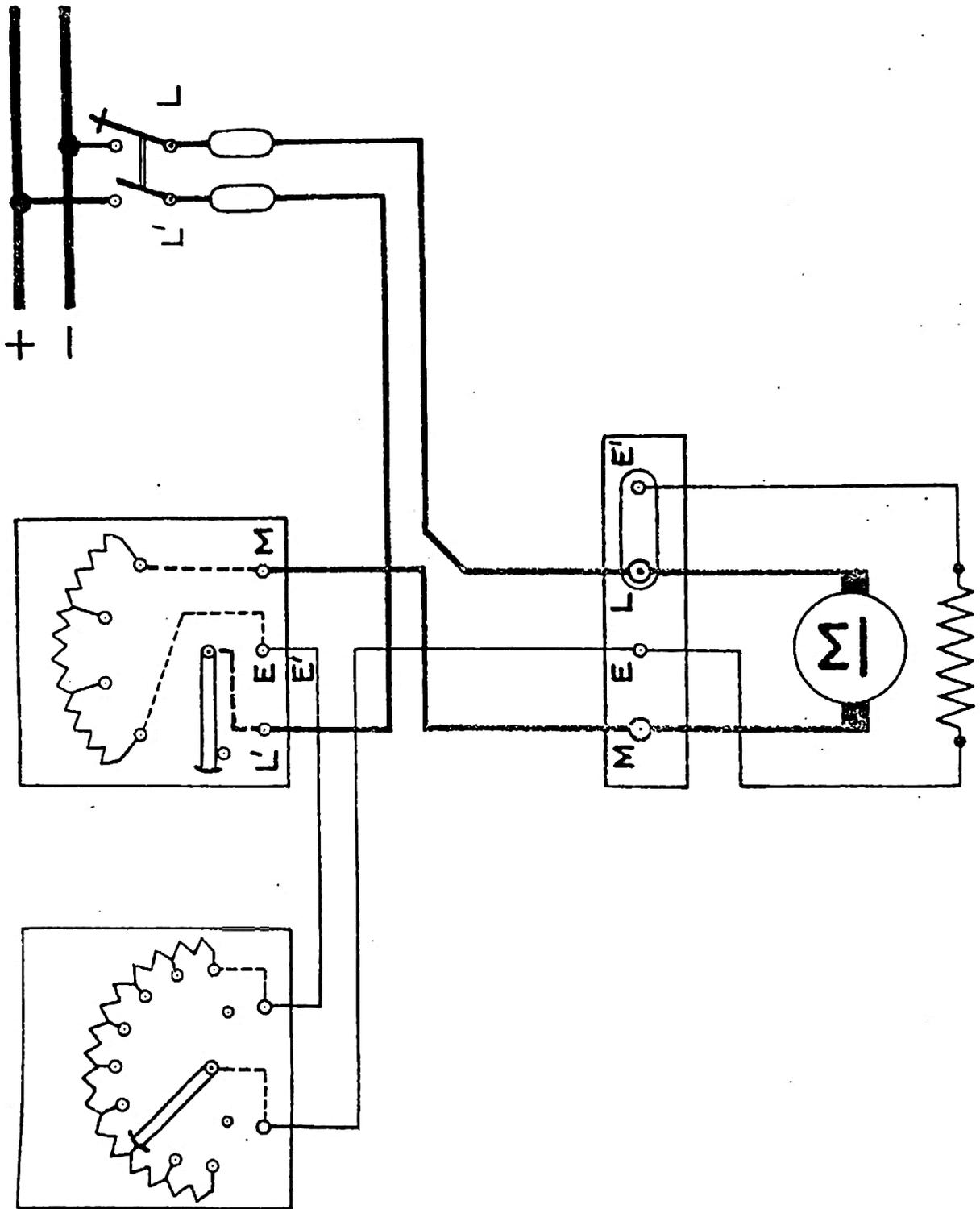
4.4.1.2- inverser le sens du courant dans l'inducteur :



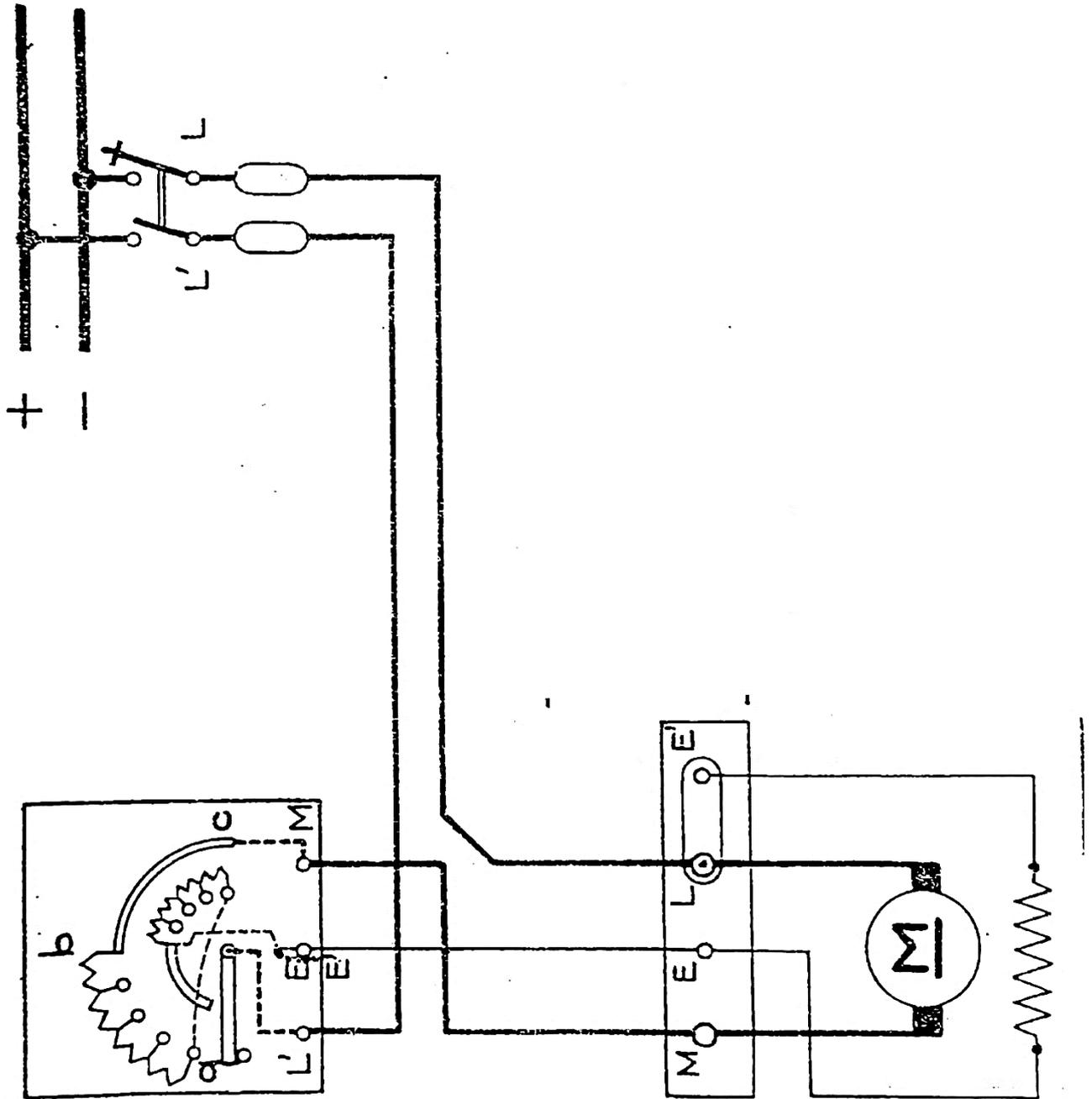


4.4.2 réglages de la vitesse :

A- par action sur le champ inducteur :



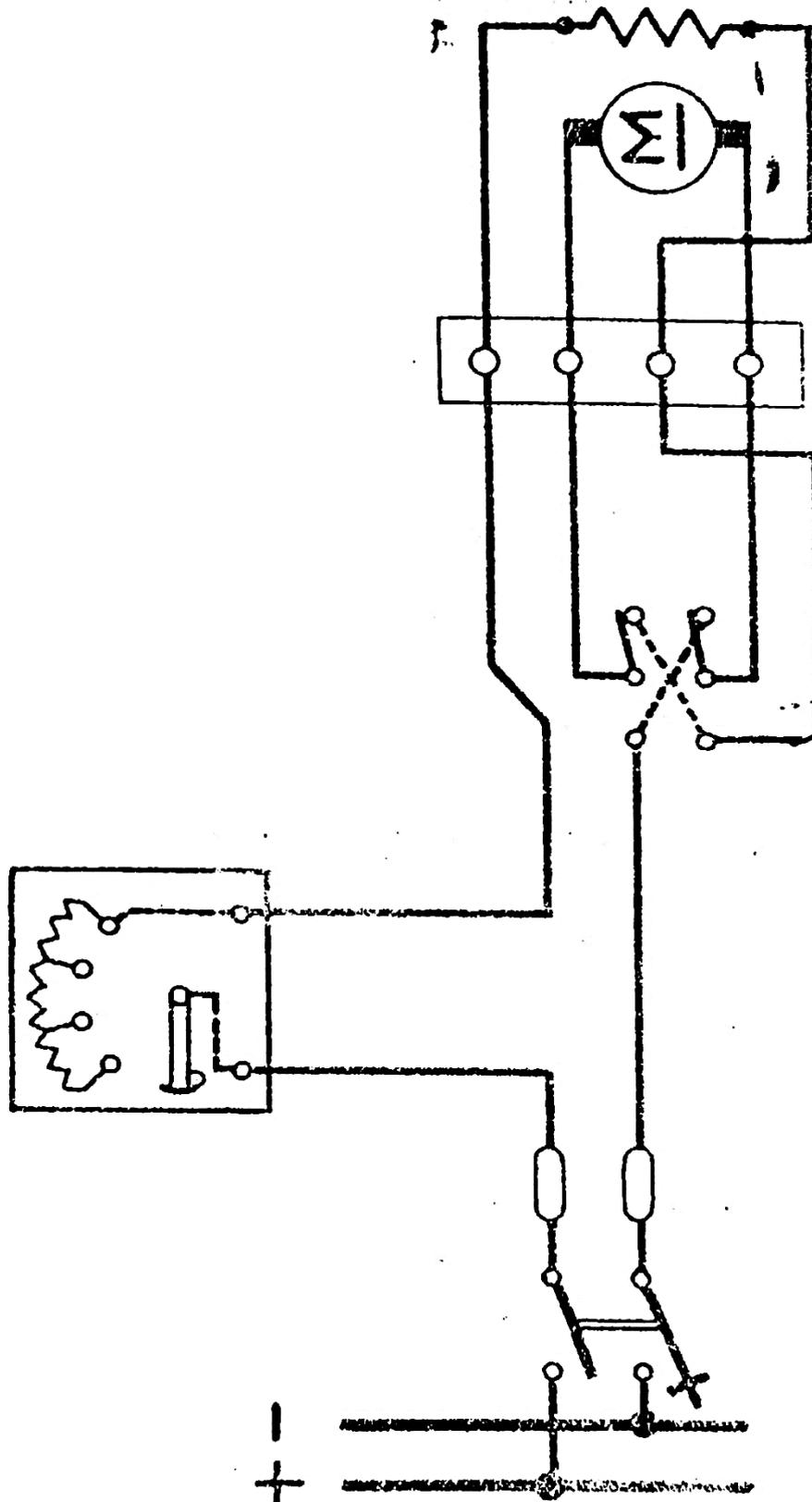
**B- par action sur la tension aux bornes de l'induit :**



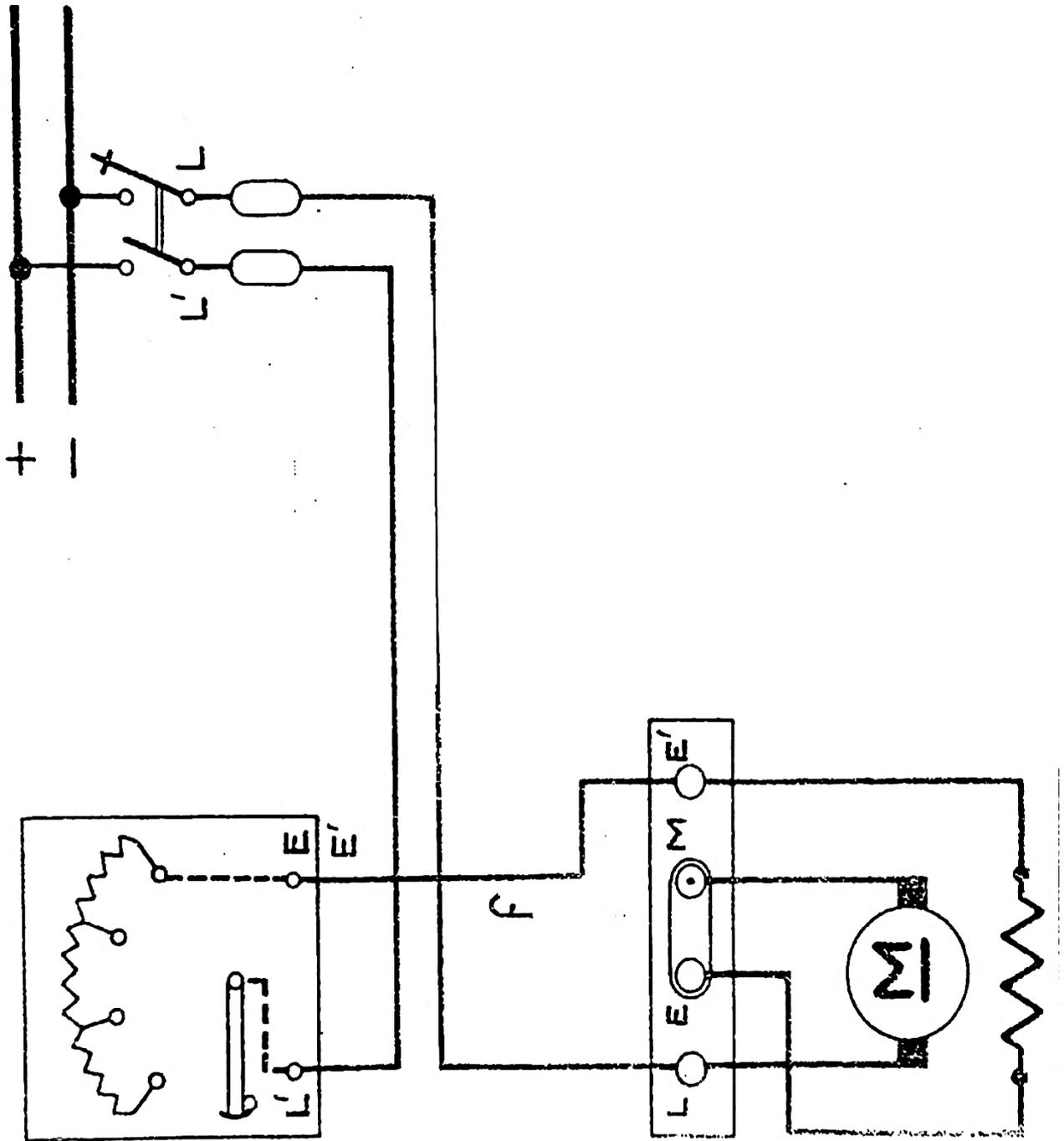
-moteur a excitation série :

4.4.2 inversions du sens de marche :

4.4.2.1 inverser le sens du courant dans l'induit :

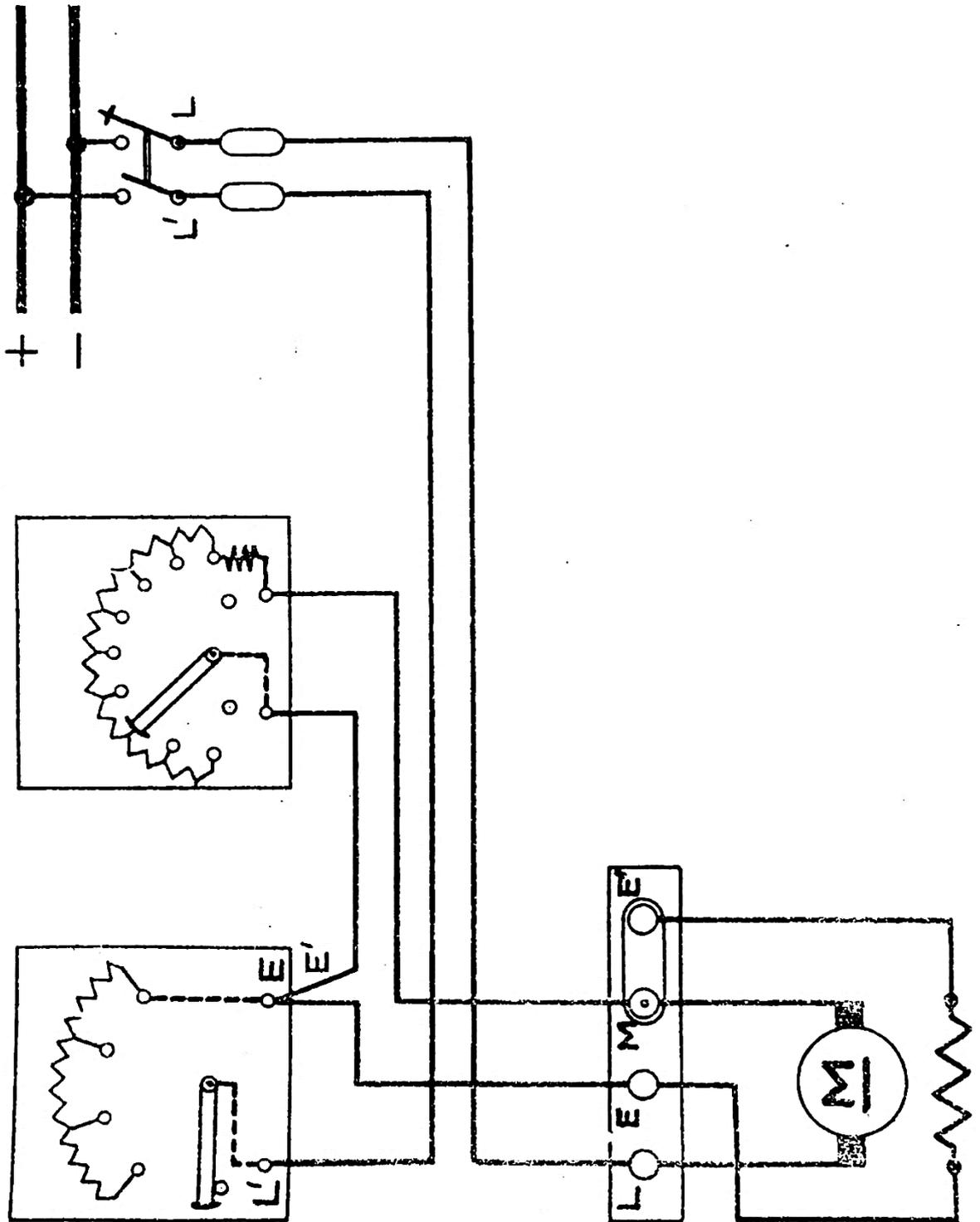


4.4.2.2 inverser le sens du courant dans les inducteurs :

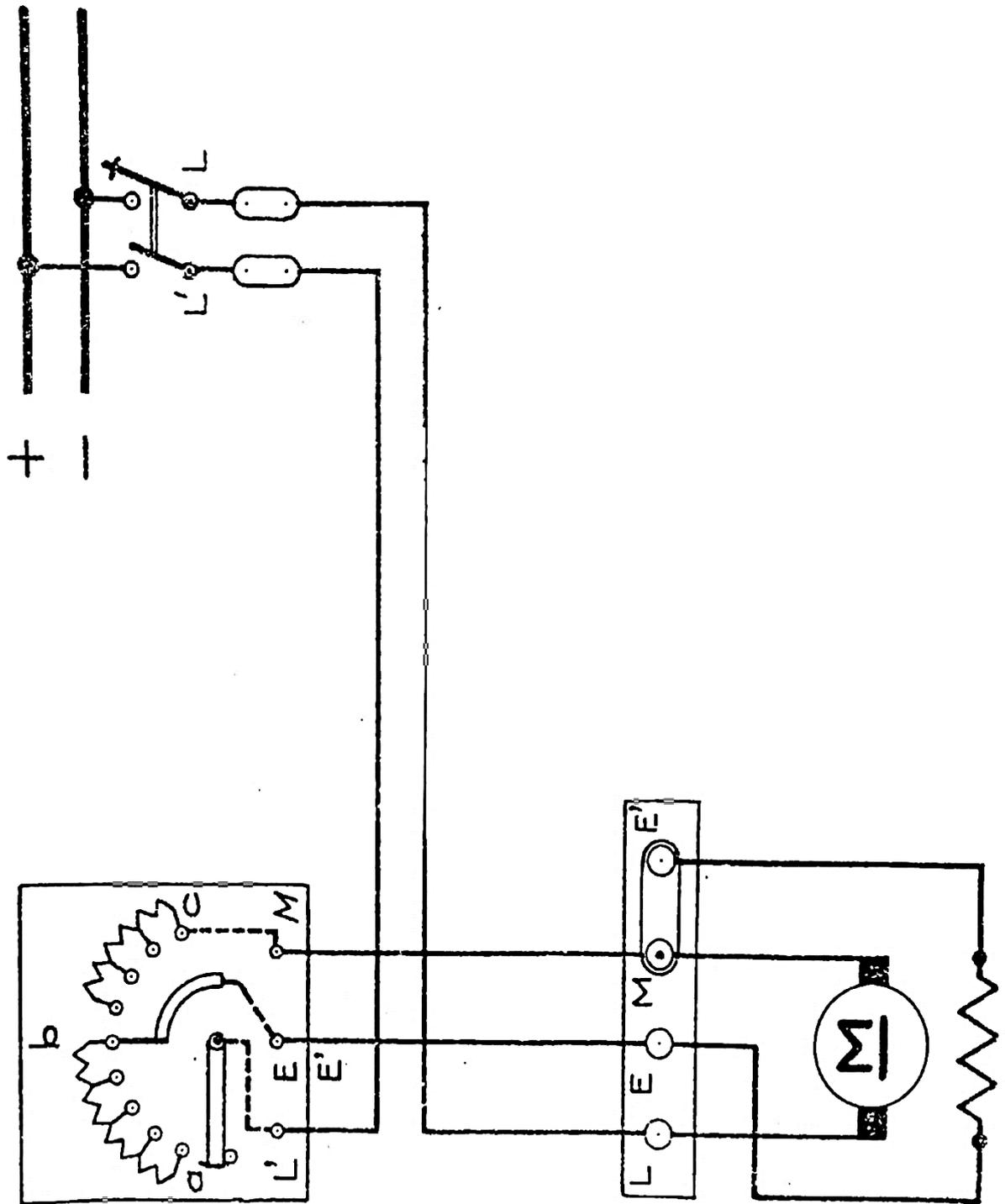


### 4.4.3 réglages de la vitesse :

A- par action sur le champ inducteur :



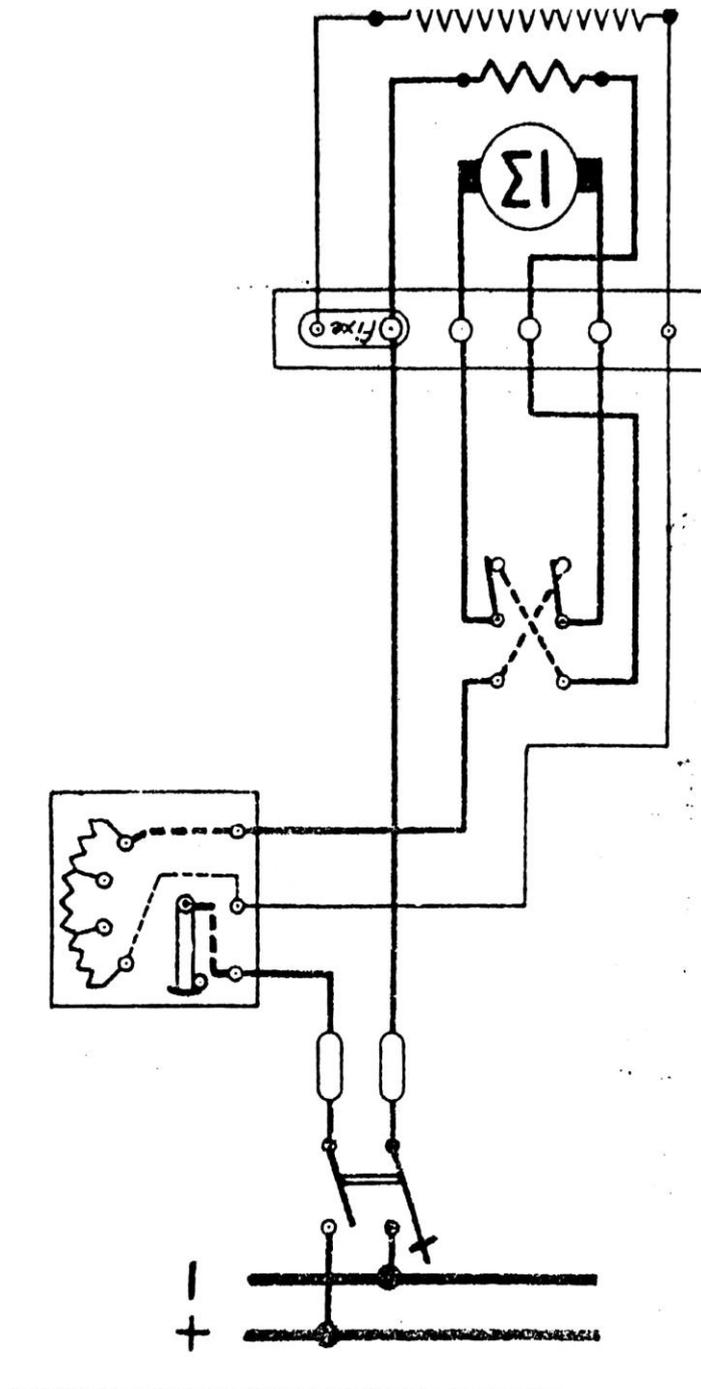
**B- par action sur la tension aux bornes de l'induit :**



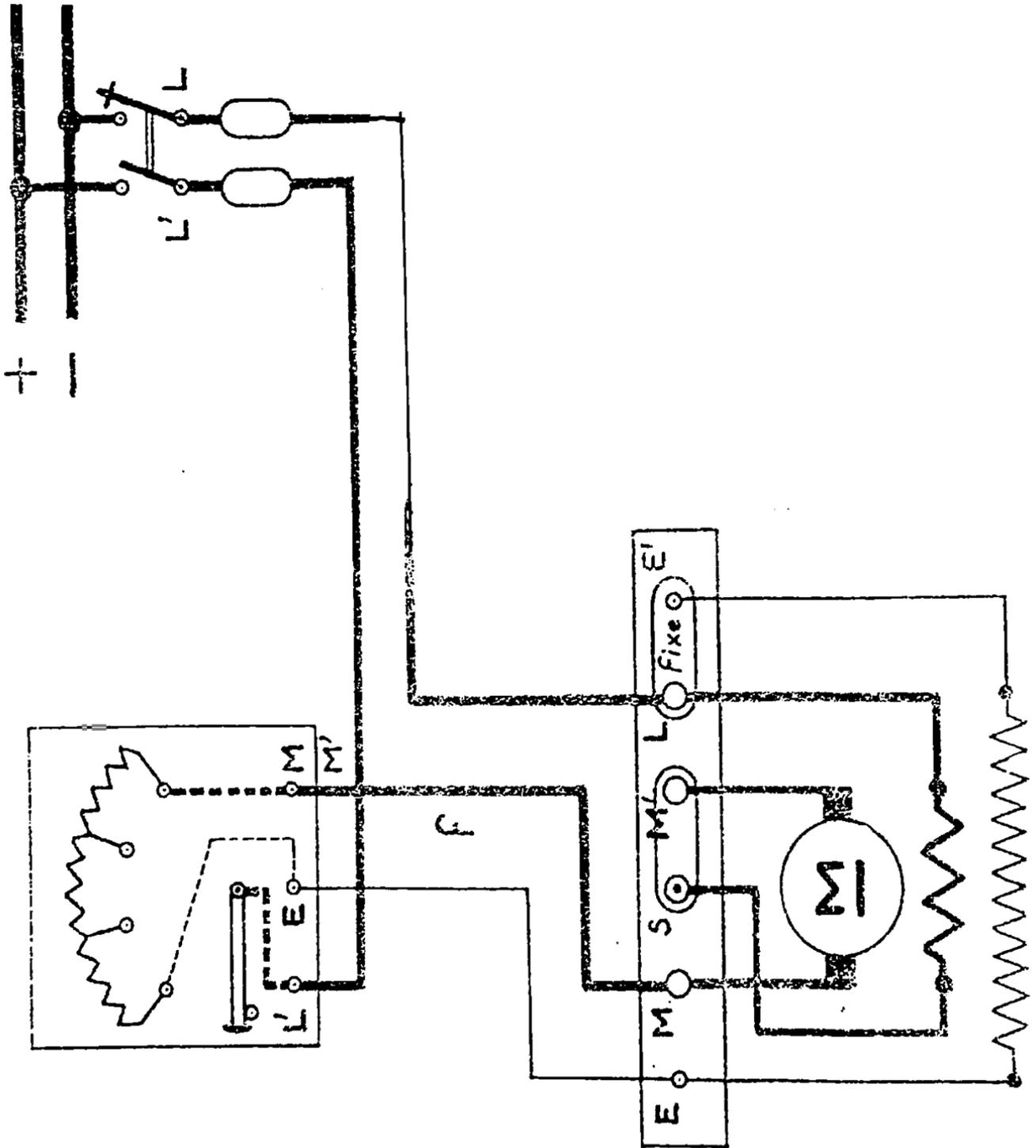
- **moteur à excitation composée :**

**4.4.4 inversions du sens de marche :**

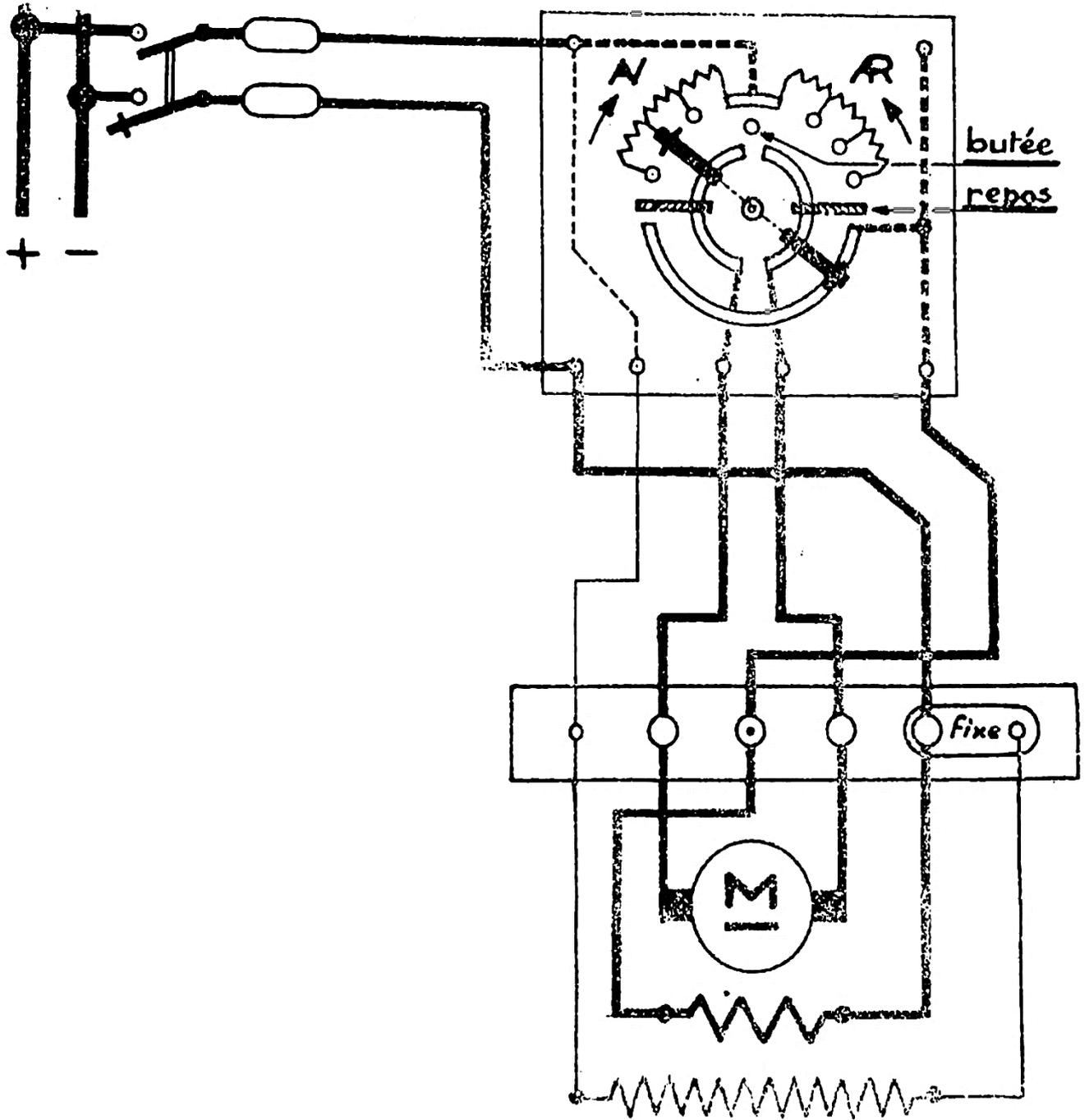
**4.4.4.1 inverser le sens du courant dans l'induit :**



4.4.4.2 inverser le sens du courant dans l'inducteur :

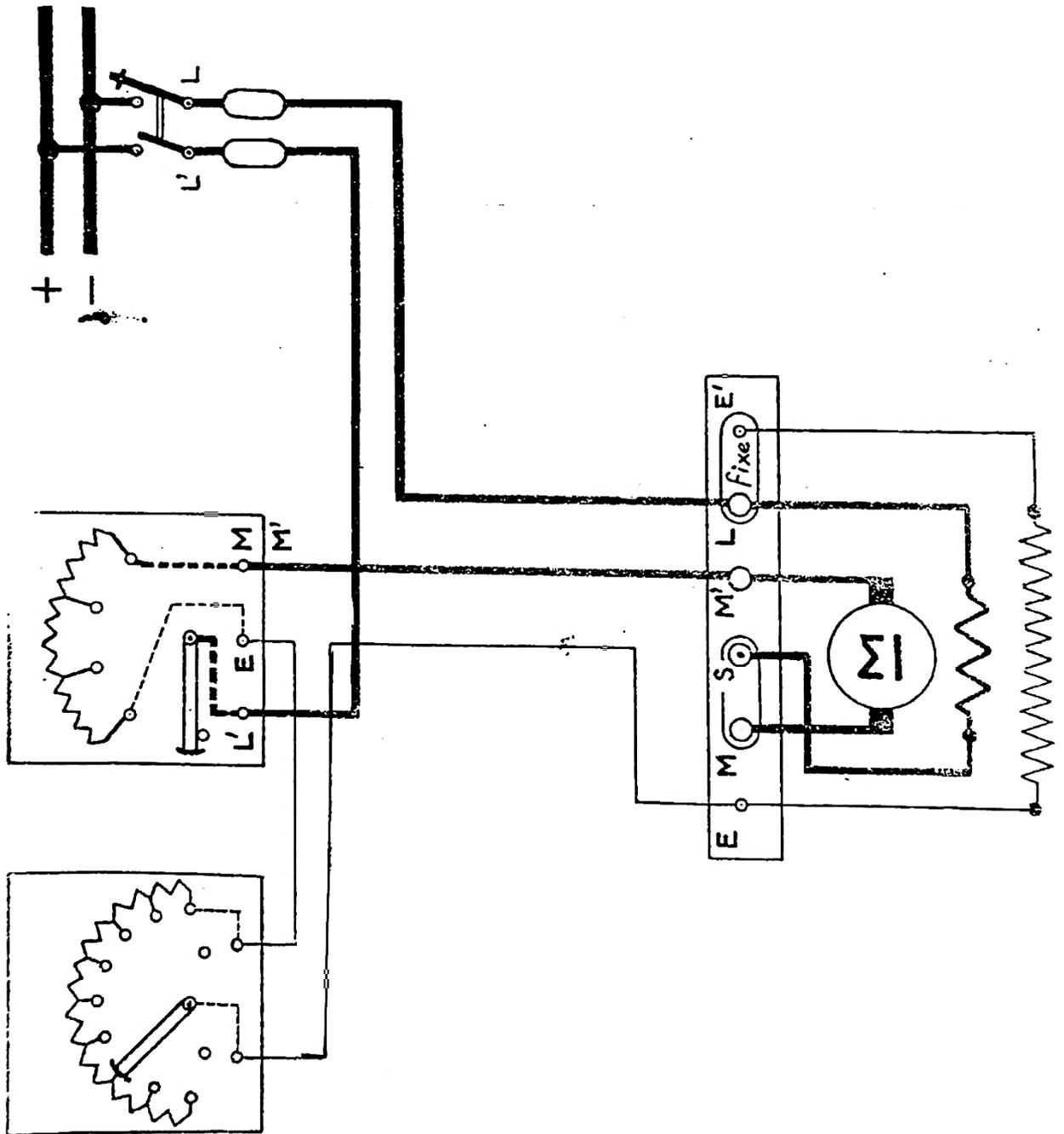


4.4.4.3 emplois d'un démarreur inverseur :

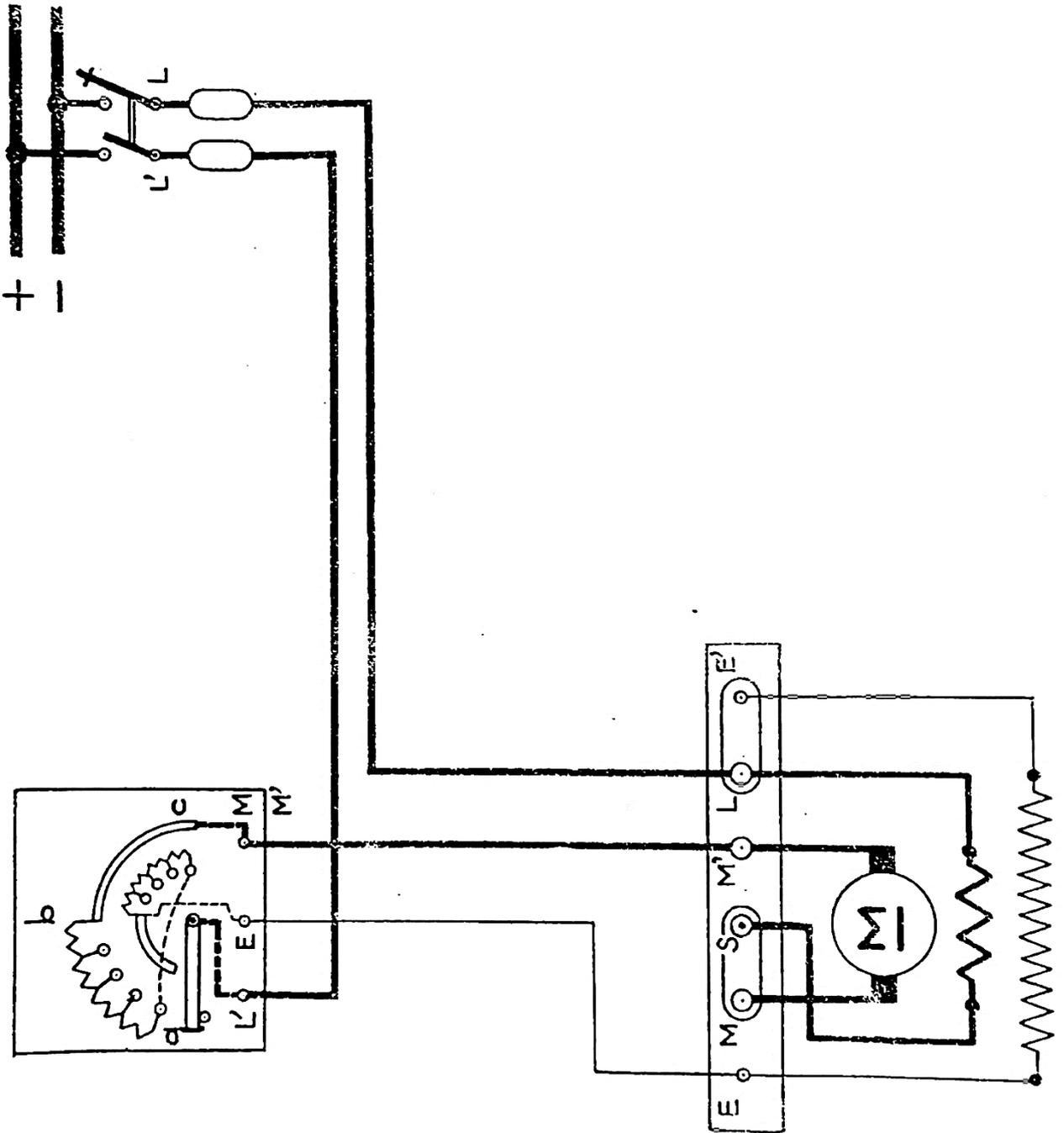


4.4.5 réglages de la vitesse :

A- par action sur le champ inducteur :



**B- par action sur la tension aux bornes de l'induit :**



# Conclusion générale

Après avoir étudié les moteurs Asynchrones, Synchrones et à courant continu nous nous sommes particulièrement intéressés au démarrage :

- L'utilisateur est confronté d'une part à exiger un couple de démarrage suffisant et d'autre part à une consommation excessive de courant pouvant engendrer de graves perturbations aux réseaux, en plus d'un prix de revient élevé.
- Le constructeur est donc amené à trouver un compromis entre un couple acceptable et une consommation moyenne du courant.
- Ce compromis se caractérise par l'utilisation de différents types de démarrage
  - Pour le rotor bobine :
    - Démarrage par démarreur centrifuge.
    - Démarrage automatique par résistances rotoriques.
    - Rhéostat de démarrage.
  - Pour le rotor à cage :
    - Démarrage direct.
    - Démarrage étoile - triangle.
    - Démarrage par résistances statoriques.
    - Démarrage par autotransformateur.

Le moteur à courant continu est un convertisseur de l'énergie électrique en énergie mécanique. Il se compose d'un stator (inducteur) et un rotor (induit). Il est possible de faire varier sa vitesse de rotation en fonction de la tension d'alimentation. Il y a quatre types de moteurs à courant continu :

- moteur à excitation indépendante.
- moteur à excitation shunt.
- moteur à excitation série.
- moteur à excitation composée.

le choix du moteur correspond à un système défini suivant la vitesse et le couple. Dans le moteur à excitation shunt, la vitesse est stable quand on varie le rhéostat, mais il est possible de fixer la vitesse avec un égaliseur de champ. Le moteur à excitation série a les caractéristiques suivantes : Diminution de la vitesse avec l'augmentation de la charge, et un couple de décollage très grand (important). Moteur à excitation composée, le couple de décollage est supérieur à celui de moteur à excitation shunt mais la vitesse diminue avec la charge. Ce type est utilisé dans les équipements à grande inertie et dans circuits où le démarrage se fait en plusieurs fois.

Que ce soit pour les moteurs Asynchrones ou les moteurs à courant continu, le choix du démarrage dépend du type d'utilisation et des conditions d'utilisation (grande vitesse, couple, consommation, etc...). Ce sont donc tous ces éléments qui nous permettent le choix stratégique du mode de démarrage et de définir son schéma de câblage. Nous espérons qu'un autre binôme d'étudiants terminera ce travail par la réalisation pratique des bancs d'essais.



# Référence

- [1] Télémécanique, schématique électrotechnique, 1986
- [2] C. Canudas schéma électrique, 1994.
- [3] ROUAIBIA Reda « DETECTION ET DIAGNOSTIC DES DEFAUTS DES MOTEURS ASYNCHRONES » MEMOIRE Magister Département de Génie Électrique UNIVERSITE BADJI
- MOKHTAR ANNABA Année 2009.
- [4] Française milsant ‘ ‘ machine électrique ‘ ‘ Berti édition, 1993.
- ‘ ‘La commande des moteur électrique’ ’ édition 2, édition Eyrolles, 1969.
- [5] j. pcaron et j.p. hautier modelisation et commande de la machine asynchrone éditions Technip paris 1995.
- [6] medoud ammar « surveillance et diagnostic des défauts des machins électrique application aux moteurs asynchrone » thèse doctorat université 20 aout 1955 Skikda 2012.
- [7] jean-pirre caron modelisation et commande de la machine asynchrone vol 7 techniq coll méthode et pratique » 1995.
- [8] guy Séguier et français notel et électrotechnique industrielle tec et doc 2006.
- [9] physique appliquée terminal électrique R merat et Rmoreau -Edition Nathan technique 1994.
- [10] Electrosystème, première STI – H. Ney – édition Nathan technique 1996.
- [11] Bagas Ahmed « Machine Asynchrone Etude, Modélisation et simulation » thèse de licence université d’EL oued 2014.
- [12] Aissaoui Takey edine. Ben aziza Mohamed Amine « étude et diagnostic des défauts application aux machines asynchrone » thèse de master université Oran 2 Ahmed ben Ahmed 2016.
- [13] elkheir merabet « commande floue adaptative d’une machine asynchrone double Etoile » mémoire de magister en électrotechnique université de Batna 2008.
- [14] M. tantar, A.saber,htehami « identification d’une machine synchrone a inducteur bobine» promo 1999.
- [15] j. niard machine électrique collection j. niard 1976 cours machine électrique.
- [16] dénis Guérin « cours conversion électromécanique machine à courant continue ».
- [17] [www.elecgbd.free.fr](http://www.elecgbd.free.fr) « machine electromagnet ».



- [18] Anouar halila « étude de machine a courant continue » université Laval, canada 2001.
- [19] ililten athman « banc d'essai virtuel pour un moteur a courant continue » mémoire de master université Abderrahmane mira Bejaia 2013.
- [20] ghania boukerche « étude et synthèse dune contrôleur PI et application » mémoire master université Badji Mokhtar. Annaba 2017.
- [21] benzenati Siham, rabiai Meriem « commande floue d'un moteur a courant continue à excitation séparée » mémoire de master université Abderrahmane mira Bejaia 2013.
- [22] Fabrice des champ «cours bac SI convertir l'Energie-machine a courant continue »  
Sciences de l'ingénieur lycée jacques Prévert.
- [23] support de cours, ch9, mesure électrique .[Http://www.technologuepro.com/mesure -de-lapuisseance.pdf](http://www.technologuepro.com/mesure-de-lapuisseance.pdf).
- [24] Youssef agrebi, zorgani zayani « commande machine électrique » institue supérieur d'étude technologique de Sfax.
- [25] Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Nabeul Département : Génie Electrique.
- [26] boudrise zoubir « cours commande des machine électrique » mémoire de master université Abderrahmane mira Bejaia.
- [27] boudjitat wlide,himoura abdelleader «étude et simulation d'une machine alimenter par onduleur de tension a commandé» mémoire de master université Abderrahmane mira Bejaia 2013.
- [28] adel merabet «commande non linéaire a modelé prédictif pour une machine asynchrone» these de doctora université Québec 2007.
- [29] [www.catalogue .schneider-electrique.fr](http://www.catalogue.schneider-electrique.fr) consulter le 26/06/2020.

