



Faculté de Technologie  
Département de Génie Electrique

# Mémoire fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de MASTER

Filière : Electrotechnique  
Option : Electrotechnique Industriel

Thème

**Passage de la logique câblée vers la logique programmée  
dans les procédés de commande des moteurs asynchrones  
triphases  
Application a un mode de démarrage avec deux sens de  
marche**

Présenté par :

Encadré par :

❖ CHOUALI HANINE

Mr RAHMANI ALLAOUA

❖ GUERROUCHE MOULOUD

Mr TAIB NABIL

Membres de jury :

❖ Mr MELAHI AHMED

Examineur

❖ Mr AMROUCHE BESSAM

Président de jury

Année Universitaire : 2020/2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## Remerciements

*Nous tenons premièrement à remercier Dieu tout puissant de nous avoir donnés la force et la patience pour mener ce travail à terme.*

*Nous tenons à exprimer vivement nos profondes reconnaissances à nous promoteurs **Mr A. RAHMANI**, et **Mr N. TAIB**, Pour leurs conseils et leurs orientations durant tout ce travail.*

*Nous voudrions aussi exprimer notre gratitude et notre reconnaissance à **Mr F. TAZERART** et à **Mr H. HADDAR**, qui nous ont soutenu tout au long de notre mémoire.*

*Nos remerciements vont également aux membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail et consacré leurs temps à la lecture et à la correction de ce mémoire.*

*Nous remercions exceptionnellement nos professeurs qui nous ont suivis depuis le début de notre rentrée à l'université.*

*Nous tenons à remercier vivement toutes celles ou ceux qui nous ont accompagnés tout au long de ce parcours, pour les conseils avisés qu'ils nous ont dispensés, à la sollicitude dont ils ont fait preuve à notre égard, et les documents et outils mis gracieusement à notre disposition.*

*Nos remerciements les plus vifs vont tout particulièrement à nos parents.*

*Enfin, merci à tous ceux qu'ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*

# Dédicace

*Louanges à Dieu, le seul et unique.*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*A mes très chers parents qui ont tout fait pour me donner une bonne éducation et me soutenir dans mes études, ainsi que leurs compréhensions et encouragements ont pu me porter pour pouvoir arriver au bout de mon travail, que Dieu leur procure bonne santé et longue vie.*

*Et bien sûr à mes deux frères Billal, Adel*

*Et ma sœur Ikram.*

*A toute ma famille CHOUALI sans exception.*

*Et sans oublier la famille AZZEGAGHE.*

*A mon binôme et mon ami Guerrouche Mouloud et sa famille.*

*Et A. HACHEMI*

*A tous mes amis d'électrotechnique industriel.*

*Et toute l'équipe de la fondation Bejaia pour la culture et les sciences*

*A toute l'équipe de flash mode.*

*Mes très chers amis Ouali Messipessa, Chiter Fares, Abbaci Aissa, Ouali Yacine.*

*Et à tous ceux qu'ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible*

*Je vous dis merci.*

*CHOUALI HANINE*

# Dédicace

*Louanges à Dieu, le seul et unique.*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes très chers parents et toutes la famille **GUERROUCHE** sans exception.*

*Et à ma sœur.*

*A tous mes amis d'électrotechnique industriel.*

*A tous mes amis Babou Samir, Ressousse Ali, Makheloufi Cherif, Akkloul Arbi,  
Benhemou Fatah.*

*A la famille Khellal et Bouridane sans exception*

*Et toute l'équipe de la fondation Bejaia pour la culture et les sciences*

*Et à tous ceux qu'ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible*

*Je vous dis merci.*

*GUERROUCHE MOULOUD*

# Sommaire

---

*Introduction générale*

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

*Chapitre I : Généralités sur les systèmes automatisés*

Introduction.....	2
I.1. Automatismes industriels.....	2
I.2. Caractéristiques d'un automate.....	3
I.3. Structure d'un automate.....	3
I.4. Mise en œuvre d'un automate.....	4
I.5. Automate programmable industriel.....	4
I.5.1. Définition d'un API.....	4
I.5.2. Communication d'API.....	5
I.5.3. Langages de programmation pour API.....	5
I.5.3.1. Langage LD (Ladder Diagram).....	5
I.5.3.2. Langage IL (Instruction List).....	5
I.5.3.3. Langage FBD (Fonctions Block Diagram).....	6
I.5.3.4. Langage ST (Structured Text).....	6
I.5.3.5. Langage SFC (Sequential Function Chart), ou GRAFCET.....	6
I.6. Comparaison entre la logique câblée et la logique programmée.....	6
I.6.1. Logique câblée.....	7
I.6.2. Logique programmée.....	7
I.6.3. Choix de type de logique.....	7
I.6.3.1. Complexité / Coût.....	7
I.6.3.2. Capacité d'évolution.....	8
I.6.3.3. Rapidité.....	8
Conclusion.....	8

*Chapitre II: Appareillages électriques destinés à la machine asynchrone*

Introduction.....	10
II.1. Moteur asynchrone triphasé.....	10
II.1.1. Définition.....	10
II.1.2. Constitution d'un moteur asynchrone triphasé.....	11
II.1.2.1. Stator (inducteur).....	11
II.1.2.2. Rotor (Induit).....	11
II.1.3. Principe de fonctionnement.....	12
II.1.4. Equations générales d'une machine asynchrone.....	13
II.1.4.1. Equations électriques.....	13

II.1.4.2. Equation mécanique .....	14
II.1.5. Bilan de puissance, couple et rendement.....	15
II.1.5.1. Bilan Puissance.....	15
II.1.5.2. Le couple .....	17
II.1.5.3 Rendement .....	18
II.2. Classification générale de l'appareillage électrique .....	19
II.2.1. Appareillage de raccordement .....	19
II.2.2. Appareillage de commande.....	19
II.2.3. Appareillage de protection.....	19
II.2.4. Appareillage de réglage .....	19
II.2.5. Appareillage de mesure et de contrôle .....	19
II.3. Choix de l'appareillage.....	20
II.4. Appareils de commande, de signalisation et de protection .....	20
II.4.1. Disjoncteur .....	20
II.4.2. Sectionneur .....	21
II.4.3. Relais .....	22
II.4.4. Les Contacteurs .....	24
II.4.4.1 Définition de contacteur .....	24
II.4.4.2. Construction générale .....	25
II.4.4.3. Les contacteurs auxiliaires.....	25
II.4.4.4. Contacts auxiliaires instantanés et bloc de contacts auxiliaires .....	26
II.4.4.5. Contacteur inverseur .....	27
II.4.4.6. Choix d'un contacteur .....	27
II.4.5. Les interrupteurs sectionneurs .....	28
II.4.6. Fusible .....	29
II.4.7. Bouton poussoir.....	30
II.4.8. Le bouton arrêt d'urgence.....	31
II.4.9. Lampes de signalisation (voyants) .....	31
Conclusion .....	32

### *Chapitre III : Différents modes de démarrage de la machine asynchrone triphasée*

Introduction.....	34
III.1. Différents types de couplages du moteur asynchrone.....	34
III.1.1. Couplage en étoile .....	34
III.1.2. Couplage en Triangle : .....	34

---

III.2. La plaque signalétique d'un moteur asynchrone .....	35
III.3. Choix d'un démarreur.....	35
III.4. Différents modes de démarrage du moteur asynchrone .....	36
III.4.1. Problèmes de démarrage.....	36
III.4.2. Démarrage direct.....	36
III.4.2.1. Schémas de raccordement.....	36
III.4.2.2. Principe de fonctionnement .....	37
III.4.2.3. Avantages et inconvénients .....	38
III.4.3. Démarrage direct à deux sens de rotation .....	38
III.4.3.1. Schémas de raccordement.....	38
III.4.3.2. Principe de fonctionnement .....	39
III.4.4. Démarrage étoile-triangle.....	39
III.4.4.1. Schémas de raccordement.....	40
III.4.4.2. Principe de fonctionnement .....	40
III.4.4.3. Avantages et inconvénients .....	41
III.4.5. Démarrage statorique par insertion de résistances.....	41
III.4.5.1. Schémas de raccordement.....	42
III.4.5.2. Principe de fonctionnement .....	42
III.4.5.3. Avantages et inconvénients .....	43
III.4.6. Démarrage par insertion des résistances rotoriques .....	43
III.4.6.1. Schémas de raccordement.....	44
III.4.6.2. Principe de fonctionnement .....	44
III.4.6.3. Avantages et inconvénients .....	45
III.4.7. Démarrage par autotransformateur.....	45
III.4.7.1. Schémas de raccordement.....	46
III.4.7.2. Principe de fonctionnement .....	46
III.4.7.3. Avantages et inconvénients .....	47
III.5. Freinage des moteurs asynchrones.....	47
III.5.1. Freinage mécanique .....	48
III.5.1.1. Frein à manque de courant.....	48
III.5.1.2. Frein à appel de courant .....	48
III.5.2. Freinage électrique.....	49
III.5.2.1. Freinage par contre-courant .....	49
III.5.2.2. Freinage par injection du courant continu.....	50
Conclusion .....	52



*Chapitre IV : Réalisation pratique et programmation*

Introduction.....	54
IV.1. Dimensionnement technique des appareillages électriques utilisiers.....	54
IV.1.1. Choix et réglage du relais thermique.....	54
IV. 1. 2. Choix de contacteur .....	55
IV. 1. 3. Choix de disjoncteur .....	57
IV.2. Présentation de la maquette expérimentale réaliser au laboratoire .....	57
IV.2.1. Description générale de la maquette réalisée.....	58
IV.2.2. Descriptif sur les appareillages électriques utilise .....	59
IV.2.3. Avantage de la conception de la maquette .....	60
IV.3. Présentation de l'automate S7-1200 .....	60
IV.3.1. Caractéristique de la CPU 1214C.....	61
IV.3.2. Possibilités d'extension de la CPU.....	62
IV.3.3. Schéma de câblage de l'automate programmable.....	63
IV.4. Simulation de la partie logique programmée.....	63
IV.4.1. Définition .....	63
IV.4.2. Présentation de l'adressage.....	64
IV.4.3. Création d'un projet.....	64
IV.4.4. Le STEP 7 professionnel.....	68
IV.4.4.1. Introduction .....	68
IV.4.4.2 Etapes de réalisation du programme.....	69
IV.4.4.3 Création de la table des variables (partie software) : .....	69
IV.4.4.4 Les blocs de programme : .....	69
IV.4.5. WinCC Advanced .....	71
IV.4.5.1. Introduction .....	71
IV.4.5.2. Création de visualisations par WinCC Advanced .....	72
IV.5. Programmation .....	74
IV.5.1. Démarrage direct d'un moteur asynchrone triphasé à un seul sens de rotation .....	74
IV.5.2. Démarrage direct d'un moteur asynchrone triphasé à deux sens de rotation .....	76
Conclusion .....	78
Conclusion générale.....	79
Références Bibliographiques .....	80
ANNEXE .....	81

# LISTE DES FIGURES

**Chapitre I**

<b>Figure. I. 1.</b> Structure d'un automatisme .....	3
<b>Figure. I. 2.</b> Architecture de l'automate dans un système automatisé de production .....	4
<b>Figure. I. 3.</b> Architecture d'un système industriel.....	6

**Chapitre II**

<b>Figure. II. 1.</b> Moteur électrique .....	10
<b>Figure. II. 2.</b> Vue éclatée d'un moteur asynchrone triphasé .....	11
<b>Figure. II. 3.</b> Représentation schématique d'un moteur asynchrone triphasé.....	12
<b>Figure. II. 4.</b> Disposition des enroulements triphasés du stator et du rotor dans une MAS ....	13
<b>Figure. II. 5.</b> Représentation du bilan de puissance d'une machine asynchrone triphasé.....	15
<b>Figure. II. 6.</b> La caractéristique du couple en fonction de la vitesse démarrage .....	18
<b>Figure. II. 7.</b> Disjoncteur .....	21
<b>Figure. II. 8.</b> Sectionneur .....	22
<b>Figure. II. 9.</b> Relais thermique.....	23
<b>Figure. II. 10.</b> Contacteur.....	24
<b>Figure. II. 11.</b> Différents types de contacts auxiliaires .....	26
<b>Figure. II. 12.</b> Les modes de temporisation.....	26
<b>Figure. II. 13.</b> Contacteur inverseur.....	27
<b>Figure. II. 14.</b> Symbole du contacteur inverseur (partie commande et puissance).....	27
<b>Figure. II. 15.</b> Interrupteurs sectionneurs .....	29
<b>Figure. II. 16.</b> Fusible .....	30
<b>Figure. II. 17.</b> Bouton poussoir .....	30
<b>Figure. II. 18.</b> Bouton arrêt d'urgence.....	31
<b>Figure. II. 19.</b> Lampe de signalisation .....	31

**Chapitre III**

<b>Figure. III. 1.</b> Couplage en étoilé.....	34
<b>Figure. III. 2.</b> Couplage en triangle .....	35
<b>Figure. III. 3.</b> La plaque signalétique.....	35
<b>Figure. III. 4.</b> Démarrage à un seul sens de rotation, (A) schéma de puissance, (B) schéma de commande .....	37
<b>Figure. III. 5.</b> Démarrage à deux sens de rotations, (A) schéma de puissance, (B) schéma de commande .....	38
<b>Figure. III. 6.</b> Démarrage étoile-triangle, (A) schéma de puissance, (B) schéma de commande .....	40
<b>Figure. III. 7.</b> Démarrage statorique par insertion de résistances, (A) schéma de puissance, (B) schéma de commande .....	42
<b>Figure. III. 8.</b> Démarrage par insertion des résistances rotorique, (A) schéma de puissance, (B) schéma de commande .....	44
<b>Figure. III. 9.</b> Démarrage par autotransformateur, (A) schéma de puissance, schéma de commande .....	46
<b>Figure. III. 10.</b> Schéma de puissance et de commande du freinage à manque de courant d'un moteur asynchrone .....	48
<b>Figure. III. 11.</b> Schéma de puissance et de commande du freinage à appel de courant d'un moteur asynchrone .....	49

<b>Figure. III. 12.</b> Schéma de puissance et de commande du freinage par contre-courant d'un moteur asynchrone .....	50
<b>Figure. III. 13.</b> Schéma de puissance et de commande du freinage par injection du courant continu.....	51

### *Chapitre IV*

<b>Figure. IV. 1.</b> Tableau choix de relais thermique (catalogue Schneider) .....	55
<b>Figure. IV. 2.</b> Tableau choix de contacteur (catalogue Schneider).....	56
<b>Figure. IV. 3.</b> Maquette réaliser .....	58
<b>Figure. IV. 4.</b> API S7 1200 .....	61
<b>Figure. IV. 5.</b> Diffèrent possibilités d'extension de la CPU .....	62
<b>Figure. IV. 6.</b> Schéma de câblage de la CPU 1214C.....	63
<b>Figure. IV. 7.</b> Interface de démarrage TIA en vue du portail .....	65
<b>Figure. IV. 8.</b> Interface en vue du portail qui présente les étapes à suivre pour crée un projet .....	66
<b>Figure. IV. 9.</b> Configuration matériel de l'automate.....	66
<b>Figure. IV. 10.</b> Choisi un appareil et la CPU de l'automate.....	67
<b>Figure. IV. 11.</b> Interface de démarrage TIA Portal en vue du projet.....	68
<b>Figure. IV. 12.</b> Fenêtre d'ajout de nouveau bloc .....	70
<b>Figure. IV. 13.</b> Fenêtre de OB1.....	71
<b>Figure. IV. 14.</b> Choix de l'application WinCC RT Advanced.....	72
<b>Figure. IV. 15.</b> Programmation en langage a CONTACT (LADDER) un seul sens de rotation .....	74
<b>Figure. IV. 16.</b> Table de variable pour un seul sens de rotation .....	74
<b>Figure. IV. 17.</b> Vue simatic pc (WINCC RT advanced) pour un seul sens de rotation.....	75
<b>Figure. IV. 18.</b> Programmation en langage a CONTACT (LADDER) deux sens de rotation ...	76
<b>Figure. IV. 19.</b> Table de variable pour deux sens de rotation.....	77
<b>Figure. IV. 20.</b> Vue simatic pc (WINCC RT advanced) pour deux sens de rotation .....	77

# LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau. IV. 1.</b> Caractéristique technique sue les appareillages utilise .....	59
<b>Tableau. IV. 2.</b> Caractéristique de la CPU 1214C.....	62

## Nomenclature et Abréviations

*Nomenclature*

**B** : champ magnétique ;  
**BT** : Linge Basse Tension ;  
**C<sub>em</sub>** : couple électromagnétique ;  
**C<sub>ch</sub>** : couple de charge ;  
**C<sub>acc</sub>** : couple d'accélération ;  
**C<sub>F</sub>** : couple de frottement ;  
**C<sub>u</sub>** : Couple Utile ;  
**cos( $\varphi$ )** : Facteur de puissance du moteur ;  
**f** : fréquence ;  
**F** : frottement visqueux  
**g** : glissement ;  
**I<sub>th</sub>** : courant nominale thermique ;  
**I<sub>e</sub>** : courant nominale d'emploi ;  
**I<sub>s</sub>, I<sub>r</sub>** : courant statorique, courant rotorique ;  
**J** : moment d'inerte ;  
**HT** : Ligne Haute Tension ;  
**MT** : ligne Moyenne Tension ;  
**m** : rapport cyclique ;  
**N<sub>c</sub>** : Normally Closed (normalement fermé) ;  
**N<sub>o</sub>** : Normally Open (normalement ouvert) ;  
**N<sub>s</sub>** : vitesse de synchronisme ;  
**N** : vitesse de rotation ;  
**P** : nombre de pair de pole ;  
**P<sub>a</sub>** : Puissance absorbé ;  
**P<sub>tr</sub>** : Puissance transmise au rotor ;  
**P<sub>js</sub>, P<sub>jr</sub>** : Perte joule statorique et rotorique respectivement ;  
**P<sub>fs</sub>, P<sub>fr</sub>** : Perte fer statorique et rotorique respectivement ;  
**P<sub>m</sub>** : Perte Mécanique ;  
**P<sub>u</sub>** : Puissance Utile ;  
**R<sub>s</sub>, R<sub>r</sub>** : résistance du stator et du rotor respectivement ;  
**t** : temps ;  
**U** : tension composée au borne du moteur ;



$U_e$  : tension nominal d'emploi ;  
 $V_s, V_r$  : tension statorique et rotorique respectivement ;  
 $\Omega$  : vitesse angulaire ;  
 $\Omega_s$  : vitesse angulaire de synchronisme ;  
 $\eta$  : rendement ;  
 $\Phi_s, \Phi_r$  : flux statorique et rotorique respectivement.

### *Abréviations*

**API** : Automate Programmable Industriel ;  
**CPU** : Central Processing Unit ou (UCT unité central de traitement) ;  
**RAM** : Random Access Memory ;  
**EEPROM** : Electrical-Erasable Programmable Read-Only Memory ;  
**TOR** : Tout Ou Rien ;  
**SFC** : Sequential Function Chart ou GRAFCET ;  
**MAS** : Machine Alternatif Asynchrone ;  
**E/S** : Entrées/Sorties.

# INTRODUCTION GENERALE

## Introduction générale

L'industrie est l'un des piliers qui distinguent les pays développés. Dans chaque domaine industriel nous retrouvons les systèmes automatisés. L'évolution rapide dans le domaine de l'automatisation est l'origine du bon rendement, la souplesse et la fiabilité des systèmes de production.

Chaque système automatisé possède une partie commande et une partie opérative. Dans la partie commande, l'automate programmable représente l'élément principal de l'installation, car c'est celui qui renferme le programme et doit procéder à son exécution en fonction de l'état des entrées et des sorties. Par contre la partie opérative représente en général les actionneurs et les pré-actionneurs et les capteurs.

L'automate programmable industriel (API) représente l'une des solutions les plus favorables pour la résolution de nombreux problèmes liés à la commande, et notamment la flexibilité des activités.

Notre travail consiste à la constipons et la réalisation d'une maquette expérimentale qui se divise en deux parties principales, la première partie (logique câblée) est basée sur la méthode classique et la seconde méthode (logique programmée) est basée sur le développement de la première méthode en mettant à jour certaines techniques et raccourcis, ceci afin d'expliquer facilement la différence entre les deux logiques.

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre sera dédié aux généralités sur les systèmes automatisés
- Le second chapitre sera consacré à détailler l'appareillage destiné à la machine asynchrone triphasé.
- Le troisième chapitre sera pour montrer les différents types de démarrage d'un moteur asynchrone triphasé.
- En ce qui concerne le dernier chapitre, on va présenter la maquette réalisée, on entamera la description de logiciel de programmation utilisé (TIA Portal V16) et l'élaboration du programme ainsi que la supervision du système avec WinCC Adevanced.

# Chapitre I

---

## GENERALITES SUR LES SYSTEMES AUTOMATISÉS

## Introduction

Un système est dit automatisé lorsque le processus qui permet de passer d'une situation initiale à une situation finale se fait sans intervention humaine, et que ce comportement est répétitif chaque fois que les conditions qui caractérisent la situation initiale sont remplies.

L'automatisation conduit à une très grande rapidité, une meilleure régularité des résultats et évite à l'homme des tâches pénibles et répétitives. Ce passage technique est développé pour simplifier le travail et permet d'avoir des améliorations au niveau de la production.

L'automate programmable industriel (API) est aujourd'hui, le constituant le plus répondu pour réaliser des automatismes. On le trouve dans tous les secteurs de l'industrie, car il répond à tous les besoins d'adaptation et de flexibilité pour un grand nombre d'opérations.

### I.1. Automatisation industrielle

Chaque processus industriel de fabrication ou de transformation se compose d'un ensemble de machines destinées à réaliser la fabrication ou la transformation considérée. Chaque machine ou partie opérative comprend un ensemble de moteurs, vérins, vannes et autres dispositifs qui lui permettent de fonctionner. Ces moteurs, vérins, vannes et autres dispositifs s'appellent actionneurs.

La partie commande élabore les ordres transmis aux actionneurs à partir des informations fournies par la machine au moyen d'interrupteurs de position, thermostats, manostats et autres dispositifs appelés capteurs.

Entre la partie commandée et l'homme se trouve le pupitre qui permet à ce dernier de transmettre des informations au moyen de dispositifs adaptés (boutons poussoirs, commutateurs, etc.). De même la partie commande retournée vers l'homme des informations sous des formes compréhensibles par lui (voyant, afficheurs, cadrans, etc.)

Ainsi, entre l'homme et la partie opérative, s'instaure un dialogue homme-machine dont l'importance naguère sous-estimée est aujourd'hui reconnue et qui est actuellement l'objet de nombreuses études [1].

## I.2. Caractéristiques d'un automatisme

Les automatismes sont des dispositifs qui permettent à des machines ou à des installations de fonctionner automatiquement.

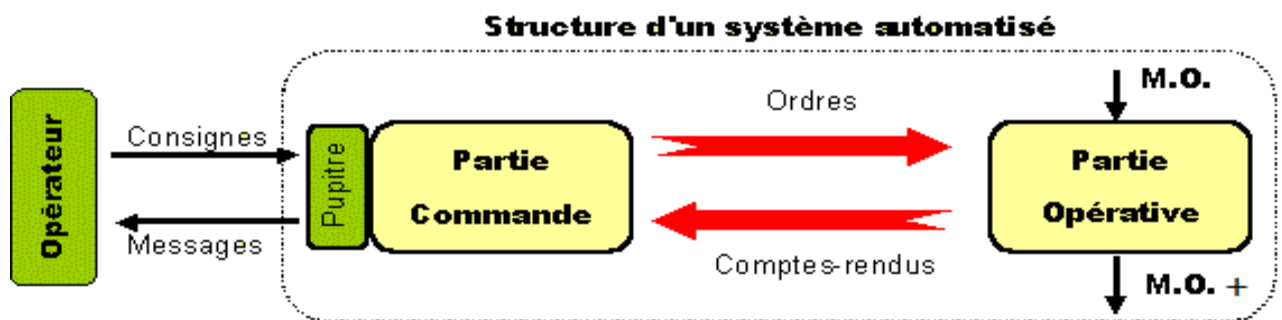
Un automatisme bien conçu doit assurer les tâches suivantes :

- Simplifier considérablement le travail de l'homme ;
- Réduire les tâches complexes, dangereuses, pénibles ou indésirables ;
- Faciliter les changements de fabrication en permettant de passer d'une qualité ou d'un type de production à un autre ;
- Améliorer la qualité des produits en asservissant la machine à des critères de fabrication et à des tolérances qui seront respectées dans le temps ;
- Réaliser des économies d'une matière et de l'énergie ;
- Contrôle et protège les installations et les machines.

L'automatisme intervient dans tous les stades d'opérations industrielles, dans des domaines aussi divers que les industries de transformation, de transport, dans les machines-outils, ainsi que dans le secteur tertiaire [1].

## I.3. Structure d'un automatisme

Partant des définitions de base énoncées au paragraphe précédent nous allons maintenant détailler les éléments d'un automatisme.



*Figure. I. 1. Structure d'un automatisme*

(M.O.) : matière d'œuvre ;

(M.O.+ ) : matière d'œuvre + valeur ajoutée.

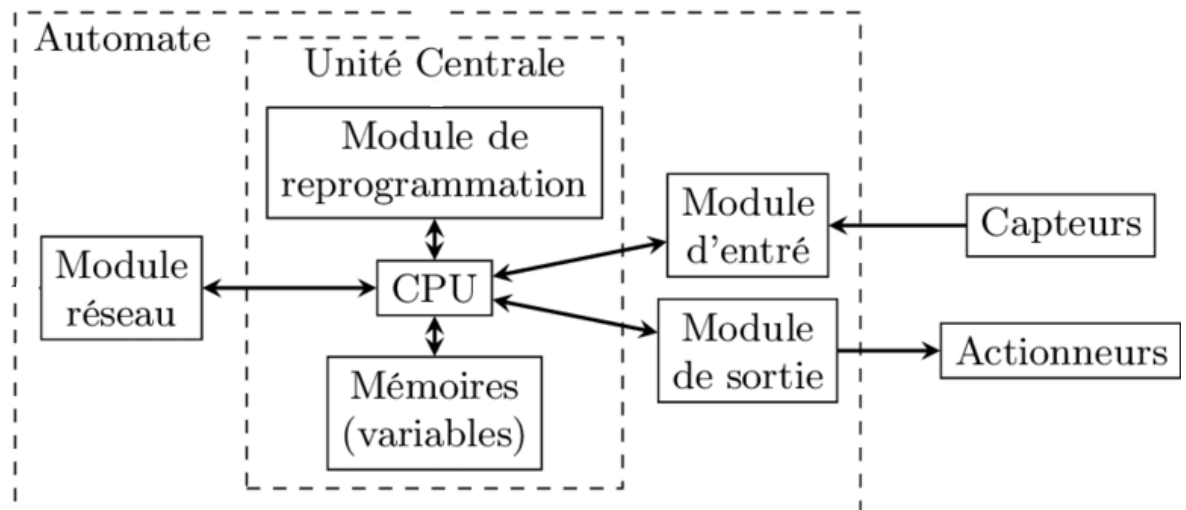
#### I.4. Mise en œuvre d'un automatisme

La mise en œuvre de tout système automatisé implique d'accomplir une série de tâches qui constituent autant d'étapes successives naturellement interdépendantes. On peut distinguer en fait, dans les travaux correspondants, quatre groupes de tâches [1] :

- L'étude préalable ;
- L'étude proprement dite et préparation ;
- Fabrication et essais ;
- Mise en route et exploitation.

#### I.5. Automate programmable industriel

Un automate programmable industriel (**Figure.I.2**) est une forme particulière de contrôleur à microprocesseur qui utilise une mémoire programmable pour stocker les instructions et qui implémente différentes fonctions, qu'elles soient logiques, de séquençement, de temporisation, de comptage ou arithmétiques, pour commander les machines et les processus [1].



**Figure. I. 2.** Architecture de l'automate dans un système automatisé de production

##### I.5.1. Définition d'un API

Un automate programmable industriel (API), est une machine électronique programmable destinée à automatiser les tâches les plus nombreuses de l'industrie, afin d'assurer la commande des prés-actionneurs et actionneurs à partir d'informations logiques, analogiques ou numériques [2].

### I.5.2. Communication d'API

L'automate doit pouvoir se connecter et dialoguer avec d'autres matériels et les agents d'exploitation. L'API ne se limite pas à communiquer avec le processus qu'il pilote via ses modules d'E/S. Parmi les autres types de relations susceptibles d'être assurées, nous citons [2] :

- La communication avec un opérateur par un pupitre ou un terminal industriel ;
- L'affichage local de valeurs numériques ou de message ;
- Les échanges d'informations avec d'autre API ou système de commande ;
- Les échanges d'informations avec des capteurs et actionneurs intelligents ;
- Les échanges d'informations avec un superviseur ;
- Les échanges d'informations avec un processeur maître, ou avec des esclaves, dans le cadre d'un réseau.

### I.5.3. Langages de programmation pour API

Chaque automate possède son propre langage. Mais par contre, les constructeurs proposent tous une interface logicielle répondant à la norme CEI1 1131-3. Cette norme définit cinq langages de programmation utilisables, qui sont [2] :

#### I.5.3.1. Langage LD (Ladder Diagram)

C'est une représentation graphique d'équations booléennes combinant les symboles des contacts (en entrée) et les symboles des relais (en sortie). Il permet la manipulation de données booléennes, à l'aide de symboles graphiques organisés dans un diagramme comme les éléments d'un schéma électrique à contacts. Les diagrammes LD sont limités à gauche par une barre d'alimentation et à droite par la masse.

#### I.5.3.2. Langage IL (Instruction List)

Il est particulièrement adapté aux applications de petite taille. Les instructions opèrent toujours sur un résultat courant (ou registre-IL), l'opérateur indique le type d'opération à effectuer entre le résultat courant et l'opérande d'où le résultat de l'opération est stocké à son tour dans le registre-IL

Un programme IL est une liste d'instructions. Chaque instruction doit commencer par une nouvelle ligne, et doit contenir un opérateur, complété éventuellement par des modificateurs et, si c'est nécessaire pour l'opération, un ou plusieurs opérandes, séparés par des virgules (,). Une étiquette suivie de deux points (:') peut précéder l'instruction.



### I.5.3.3. Langage FBD (Fonctions Block Diagram)

C'est est un langage graphique. Il permet la construction d'équations complexes à partir des opérateurs standards, de fonctions ou de blocs fonctionnels.

### I.5.3.4. Langage ST (Structured Text)

Il est dédié aux applications d'automatisation. Ce langage est Principalement utilisé pour décrire les procédures complexes, difficilement modélisables avec les langages graphiques. C'est le langage par défaut pour la programmation des actions dans les étapes et des conditions associées aux transitions du langage SFC. Un programme ST est une suite de lignes qui chacune se termine par un point-virgule (« ; »).

### I.5.3.5. Langage SFC (Sequential Function Chart), ou GRAFCET

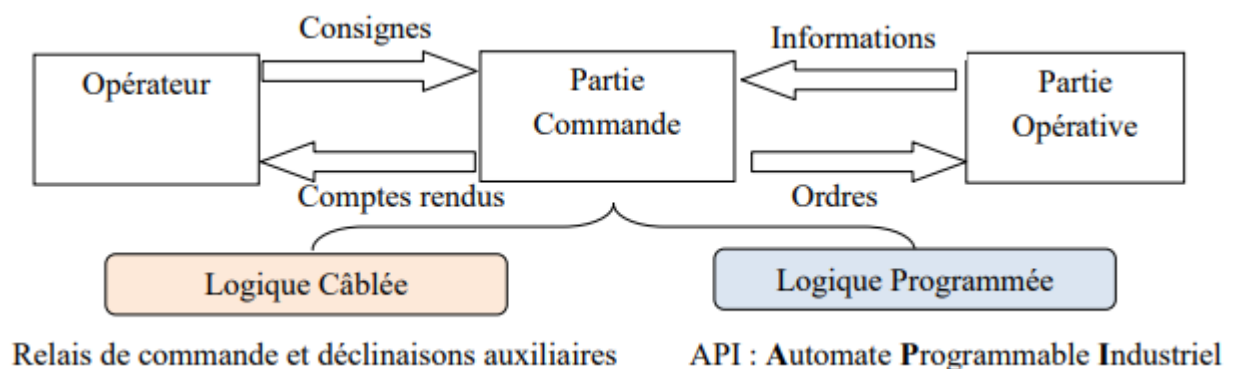
C'est un langage graphique utilisé pour décrire les opérations séquentielles. Le procédé est représenté comme une suite connue d'étapes (états stables), reliées entre elles par des transitions, une condition booléenne est attachée à chaque transition. Les actions dans les étapes sont décrites avec les langages ST, IL, LD ou FBD.

Les principales règles graphiques sont :

- Un programme SFC doit contenir au moins une étape initiale.
- Une étape ne peut pas être suivie d'une autre étape.
- Une transition ne peut pas être suivie d'une autre transition.

## I.6. Comparaison entre la logique câblée et la logique programmée

Ci-dessous (*Figure.I.3*) montre l'emplacement des deux logiques dans l'architecture de l'automatisme :



*Figure. I. 3. Architecture d'un système industriel*

### **I.6.1. Logique câblée**

C'est l'ancienne technologie des automatismes, elle met en œuvre des contacts, des relais, des bobines... Cette technologie est abandonnée au profit de technologies plus modernes et plus souples. En effet, dans la technologie câblée, la loi de commande est figée dans le câblage.

Les fonctions sont réalisées par voie matérielle. Elle exige un grand nombre de composants et rend les montages encombrants et chers. Enfin, elle n'offre guère de souplesse : la durée des études pour réaliser un montage donné (et donc pour le modifier le cas échéant) est longue.

### **I.6.2. Logique programmée**

Elle correspond à une démarche séquentielle et une ou plusieurs opérations élémentaires peuvent être exécuter à la fois. Le schéma électrique est transcrit en une suite d'instruction qui constitue le programme. En cas de modification des équations avec les mêmes accessoires, l'installation ne comporte aucune modification de câblage seul le jeu d'instructions est modifié.

Si un circuit est réalisé en logique programmée, il utilisera moins des composants puisque ceux-ci réalisent directement les fonctions logiques désirées. Un circuit ayant moins de composants sera habituellement moins coûteux à concevoir, réaliser et distribuer. La réduction du nombre de composants électroniques tend aussi à augmenter la fiabilité des circuits et à réduire la consommation énergétique.

### **I.6.3. Choix de type de logique**

Le choix du type de logique dépend de plusieurs critères : complexité ; coût ; capacité d'évolution ; rapidité.

#### **I.6.3.1. Complexité / Coût**

Dans la logique câblée, la taille du circuit croit avec la complexité du problème. Il est résolu par un ensemble de fonctions logiques.

La logique programmée nécessite un minimum de composants, mais la taille du circuit n'augmente plus avec la complexité du problème (moins vite qu'en logique câblée).

En fait le coût des microcontrôleurs a tellement chuté que le seuil de rentabilité est très bas et peu de problèmes sont actuellement résolus en logique câblée.

### **I.6.3.2. Capacité d'évolution**

En logique câblée, la moindre modification du problème entraîne la mise au point d'un nouveau circuit. Alors qu'en logique programmée, il suffit d'effectuer une modification du programme.

### **I.6.3.3. Rapidité**

En fait, la logique câblée garde l'avantage en terme de rapidité.

## **Conclusion**

Ce chapitre nous a permis d'apprendre les concepts de base sur l'automatisme et les systèmes automatisés dont nous avons vu leurs architectures, leurs constituants (la partie commande et la partie opérative), leurs domaines d'utilisation, les outils d'automatisation (automates programmables et leurs langages de programmation associés).

Nous avons aussi défini les deux logiques (logique câblée et logique programmée) et les critères du choix d'une technologie par rapport à l'autre.

# Chapitre II

---

APPAREILLAGES ELECTRIQUES  
DESTINES A LA MACHINE  
ASYNCHRONE

## Introduction

Le terme de machine asynchrone "MAS" regroupe toutes les machines dont la vitesse de rotation de l'arbre mécanique est différente de la vitesse de rotation du champ tournant. En fait, le fonctionnement moteur de cette machine correspond au cas où elle transformerait l'énergie électrique qu'elle absorbe en énergie mécanique rotationnelle. L'opération inverse correspond au fonctionnement générateur.

Pour assurer le couplage de moteur électrique avec le réseau de distribution d'énergie on distingue les appareillages électriques.

L'appareillage électrique a pour but essentiel, de réaliser des connexions entre les circuits, d'établir ou de couper le courant et de protéger les personnes, les animaux et les biens.

### II.1. Moteur asynchrone triphasé

#### II.1.1. Définition

Le moteur asynchrone est une machine tournante appelée aussi moteur à induction, il fonctionne avec du courant alternatif. Sa particularité est de fonctionner avec un induit en court-circuit. Le mot asynchrone veut dire que le rotor ne tourne pas à la même vitesse que le champ statorique. Il existe deux types de moteurs asynchrones :

- Moteur asynchrone monophasé ;
- Moteur asynchrone triphasé.

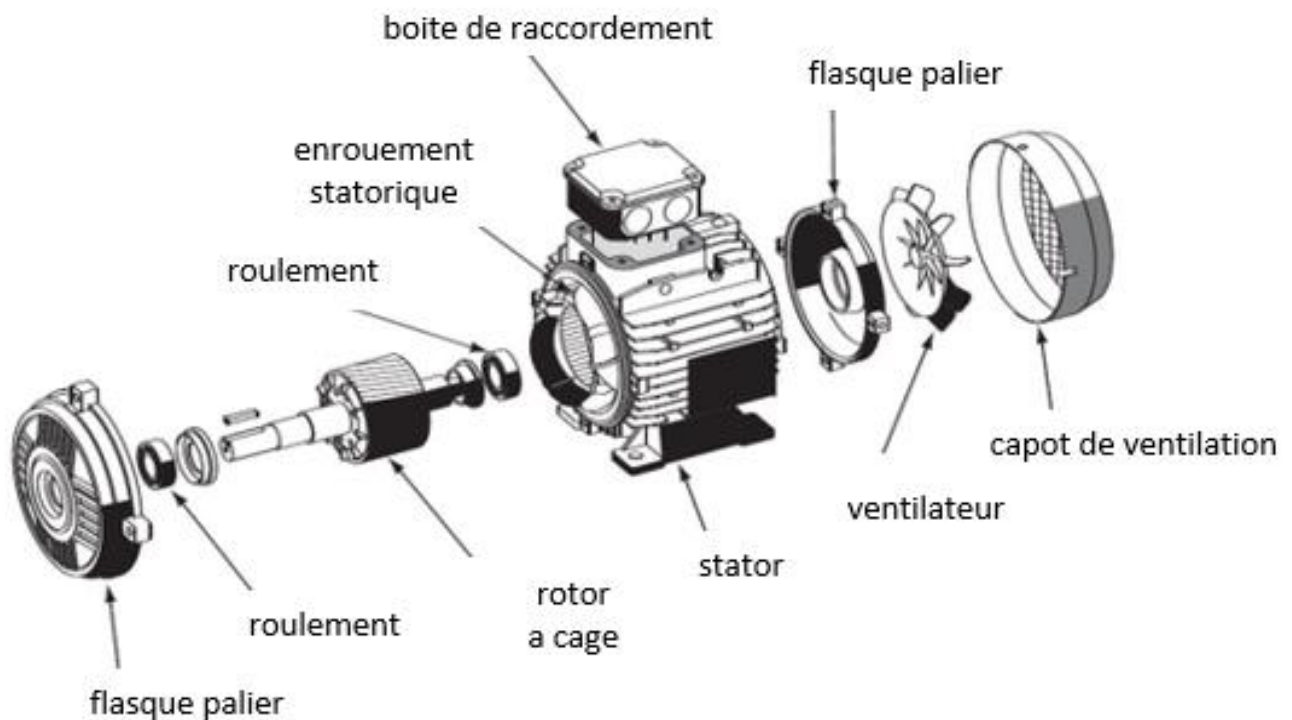
Dans ce qui suit on s'intéresse au moteur asynchrone triphasé, il est peu coûteux, on le fabrique en grande série. Il est robuste et son entretien est très limité. Il est sûr : son fonctionnement ne génère pas d'étincelles à la différence d'un moteur à courant continu [4].



*Figure. II. 1. Moteur électrique*

### II.1.2. Constitution d'un moteur asynchrone triphasé

Un moteur asynchrone triphasé comporte deux parties principales : un stator ou inducteur et un rotor ou induit séparés par un entrefer de faible épaisseur.



*Figure. II. 2. Vue éclatée d'un moteur asynchrone triphasé*

#### II.1.2.1. Stator (inducteur)

C'est la partie fixe du moteur. Une carcasse en fonte ou en alliage léger referme une couronne de tôles minces (de l'ordre de 0.5 mm d'épaisseur) en acier ou silicium. Les tôles sont isolées entre elles par oxydation ou par un vernis isolant. Le feuilletage du circuit magnétique réduit les pertes fer statorique.

Les tôles sont munies d'encoches dans lesquelles prend place les enroulements statoriques destinés à produire le champ tournant. Chaque enroulement est constitué de plusieurs bobines. Le mode de couplage de ces bobines entre elles définit le nombre de paires de pôles du moteur, donc la vitesse du champ tournant [4].

#### II.1.2.2. Rotor (Induit)

C'est l'élément mobile du moteur. Comme le circuit magnétique du stator, il est constitué d'un empilage de tôles minces, isolées entre elles, et formant un cylindre

claveté sur l'arbre du moteur. Le rotor est constitué de conducteurs en court-circuit dont n'est relié à aucune alimentation électrique (sauf dans un cas de freinage par injection à courant) et il tourne à une vitesse ( $N$ ) inférieure à celle du champ tournant.

Selon la construction du rotor, on peut distinguer deux familles de moteurs asynchrones :

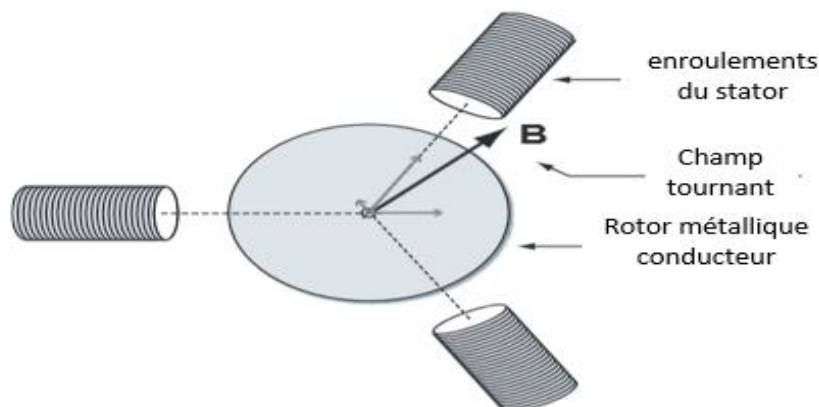
- Les moteurs à cage dont le rotor forme une cage d'écureuil ;
- Les moteurs à bague dont le rotor est bobiné [4].

### II.1.3. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement de la machine repose sur les lois fondamentales de l'induction électromagnétique. En effet, le stator alimenté par un système de tensions triphasées équilibrées crée un champ magnétique tournant (**Figure.II.3**). La vitesse de rotation du champ tournant statorique  $N_s$ , appelée vitesse synchrone, est rigidement liée à la fréquence de la tension d'alimentation  $f$  (Hz) et au nombre de paires de pôles  $p$  de chacun des enroulements par :  $N \text{ (tr/mn)} = 60f/p$

Soumis au champ tournant créé par le stator, les enroulements rotoriques sont le siège d'un système de forces électromotrices triphasées engendrant elles-mêmes trois courants rotoriques. Ces courants rotoriques par leurs effets vont s'opposer à la cause qui leur a donné naissance. Ainsi, les effets de l'induction statorique sur les courants induits rotoriques se manifestent par un couple électromagnétique qui lance le rotor à une vitesse  $N$  en essayant d'atteindre la vitesse synchrone mais en vain. Il est évident que le couple s'annule si le rotor arrive à tourner à la vitesse synchrone. Le fonctionnement du moteur est donc caractérisé par le glissement défini ainsi [5] :

$$g = (N_s - N) / N_s \quad (1)$$



**Figure. II. 3.** Représentation schématique d'un moteur asynchrone triphasé

### II.1.4. Equations générales d'une machine asynchrone

Pour établir des relations simples entre les tensions d'alimentation de la MAS et ses courants primaire et secondaire, nous adopterons un certain nombre d'hypothèses :

- On néglige la saturation du circuit magnétique, ainsi que les pertes par hystérésis et courant de Foucault dans celui-ci. Cela permet de définir facilement les inductances propres ou mutuelles des bobinages.

- On suppose que l'enroulement de chaque phase, tant au stator qu'au rotor, crée un flux à répartition sinusoïdale. Cela simplifie l'expression des inductances mutuelles entre phase du stator et du rotor.

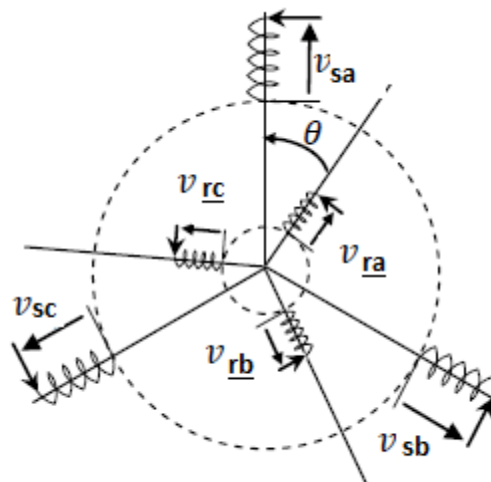
- La construction de la machine est supposée symétrique, l'entrefer est constant et l'échauffement n'est pas pris en compte.

- On néglige les effets complexes tels que l'effet de peau, effet des extrémités, papillonnement, ...

Ces hypothèses signifient entre autres que les flux sont additifs, que les inductances propres sont constantes et qu'il y a une variation sinusoïdale des inductances mutuelles entre les enroulements statoriques et rotoriques en fonction de l'angle électrique de leurs axes magnétiques [6].

#### II.1.4.1. Equations électriques

Les équations des trois phases du stator et des trois phases du rotor indiquent que la tension appliquée à une phase égale à la chute ohmique due à sa résistance plus les chutes inductives dues à son propre flux, aux flux venant des deux autres phases de la même armature et aux flux des trois phases de l'autre armature. [6]



**Figure. II. 4.** Disposition des enroulements triphasés du stator et du rotor dans une MAS



On spécifie respectivement les valeurs ou paramètre statoriques par l'indice (s) et rotorique par l'indice (r), les indices (abc) indiquent les phases triphasées.

D'après la loi de Faraday on peut écrire :

$$V = Ri + \frac{d\phi}{dt} \quad (2)$$

$$(V_{sabc}) = (R_s)(I_{sabc}) + \frac{d}{dt}(\phi_{sabc}) \quad (3)$$

$$(V_{rabc}) = 0 = (R_r)(I_{rabc}) + \frac{d}{dt}(\phi_{rabc}) \quad (4)$$

Avec :

$$(V_{sabc}) = \begin{pmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{pmatrix}; (V_{rabc}) = \begin{pmatrix} V_{ra} \\ V_{rb} \\ V_{rc} \end{pmatrix} : \text{Les tensions simples d'alimentation du stator et du rotor}$$

respectivement.

$$(I_{sabc}) = \begin{pmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \end{pmatrix}; (I_{rabc}) = \begin{pmatrix} I_{ra} \\ I_{rb} \\ I_{rc} \end{pmatrix} : \text{Les courants dans les enrôlements du stator et du rotor}$$

respectivement.

$$(R_s) = \begin{pmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{pmatrix}; R_r = \begin{pmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{pmatrix} : \text{Les résistances du stator et du rotor}$$

respectivement.

$$(\phi_{sabc}) = \begin{pmatrix} \phi_{sa} \\ \phi_{sb} \\ \phi_{sc} \end{pmatrix}; (\phi_{rabc}) = \begin{pmatrix} \phi_{ra} \\ \phi_{rb} \\ \phi_{rc} \end{pmatrix} : \text{Flux du stator et du rotor respectivement.}$$

#### II.1.4.2. Equation mécanique

L'équations mécanique de la machine et donne par :

$$C_{em} - C_{ch} - C_{acc} - C_F = 0 \quad (5)$$

$$\begin{cases} C_{em}: \text{couple électromagnétique} \\ C_{ch}: \text{couple de charge} \\ C_{acc} = J \frac{d\Omega}{dt} : \text{couple d'accélération; } J: \text{moment d'inertie} \\ C_F = F\Omega : \text{couple de frottement; } F : \text{frottement visqueux} \end{cases}$$

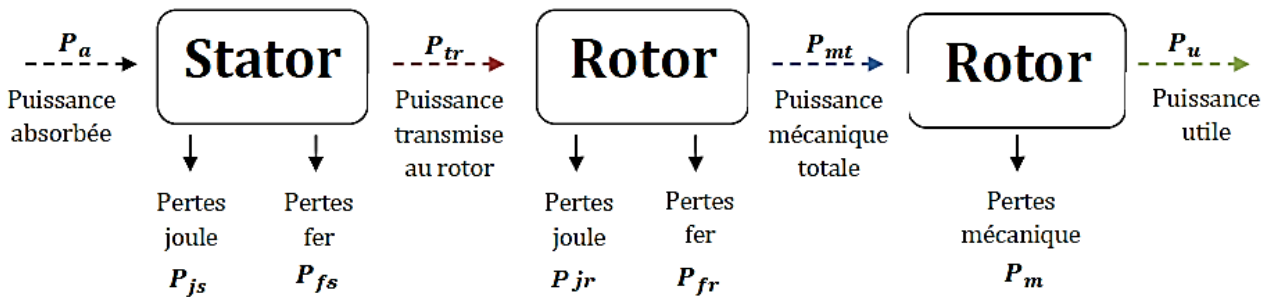
On peut écrire l'équation (5) sous forme :

$$J \frac{d\Omega}{dt} + F\Omega = C_{em} - C_{ch} \quad (6)$$

## II.1.5. Bilan de puissance, couple et rendement

### II.1.5.1. Bilan Puissance

Lors de la transformation d'énergie électrique en énergie mécanique, apparaît une forme intermédiaire d'énergie, l'énergie électromagnétique. L'énergie électrique absorbée est en partie transformée en énergie mécanique utile, une autre partie stockée sous forme d'énergie magnétique, le reste étant dissipé sous forme de pertes, d'où le bilan de puissance suivant [4] :



*Figure. II. 5. Représentation du bilan de puissance d'une machine asynchrone triphasé*

#### II.1.5.1.1. Puissance électrique absorbée Pa

La puissance électrique Pa absorbée par un stator d'un moteur asynchrone quel que soit le couplage de ses bobines (étoile ou triangle) est [4] :

$$P_a = \sqrt{3}U.I.\cos(\varphi) \quad (7)$$

Avec :

$U$  : Tension composée aux bornes du moteur [V].

$I$  : Courant de ligne [A].

$\cos(\varphi)$  : Facteur de puissance du moteur.

#### II.1.5.1.2. Pertes Joule au stator Pjs

Elles représentent les pertes ohmiques dans l'enroulement statorique, donc c'est l'énergie dissipée sous forme de chaleur.

$$P_{js} = 3R_s I_s^2 \quad (8)$$

Avec :

$R_s$  : La résistance d'une phase statorique ( $\Omega$ ).

$I_s$  : Le courant efficace traversant l'enroulement statorique (A).

### II.1.5.1.3. Pertes fer au stator $P_{fs}$

Les pertes fer rassemblent les pertes par courant de Foucault et les pertes par cycle d'Hystérésis, elles sont fonction du flux magnétique, donc elles ne dépendent que de la tension d'alimentation et de la fréquence des courants statoriques. Or, en régime de fonctionnement nominal, ces grandeurs ne varient pas, et par conséquent, les pertes fer peuvent être considérées comme constantes quelle que soit la charge du moteur. Dans la pratique, on néglige les pertes fer rotorique car la fréquence des courants induits est très faible, elles sont mesurées lors d'un essai à vide. [4]

### II.1.5.1.4. Puissance transmise au rotor $P_{tr}$

La puissance transmise au rotor est la puissance du champ magnétique tournant, que l'on appelle aussi puissance électromagnétique.

$$P_{tr} = P_a - P_{js} - P_{fs} \quad (9)$$

### II.1.5.1.5. Pertes Joule au rotor $P_{jr}$

Elles représentent les pertes ohmiques dans le rotor. Quel que soit à cage ou à rotor bobiné, elles sont fonction de la puissance transmise et du glissement.

$$P_{jr} = g \cdot P_{tr} \quad (10)$$

Pour le rotor bobiné, les pertes Joules peuvent être aussi calculées comme celles du stator.

$$P_{jr} = 3.R_r.I_r^2 \quad (11)$$

Avec :

$R_r$  : Résistance d'une phase rotorique.

$I_r$  : Courant efficace traversant l'enroulement rotorique.

$g$  : Glissement.

### II.1.5.1.6. Pertes fer au rotor $P_{fr}$

Puisque la fréquence des courants rotoriques est faible, et les pertes fer dépendent d'elle, donc en pratique on peut négliger ces pertes.

### II.1.5.1.7. Puissance mécanique totale $P_M$

La puissance mécanique c'est la puissance transmise à l'arbre du moteur.

$$P_M = P_{tr} - P_{jr} = (1 - g) \cdot P_r \quad (12)$$

Avec les pertes fer rotoriques négligées.

### II.1.5.1.8. Pertes mécaniques $P_m$

Elles regroupent les pertes par frottements et par ventilation, et elles dépendent uniquement de la vitesse de rotation du moteur. Puisque la vitesse de rotation du moteur variant peu avec la charge, donc on peut considérer ces pertes comme constantes. On peut les déterminer à l'aide d'un essai à vide [4].

### II.1.5.1.9. Puissance utile $P_u$

C'est la puissance transmise à la charge, on peut la déterminer en connaissant les pertes mécaniques.

$$P_u = P_M - P_m \quad (13)$$

## II.1.5.2. Le couple

Parmi les caractéristiques d'un moteur, il est important de connaître la valeur du couple développé sur l'arbre.

### II.1.5.2.1. Le couple électromagnétique $C_{em}$

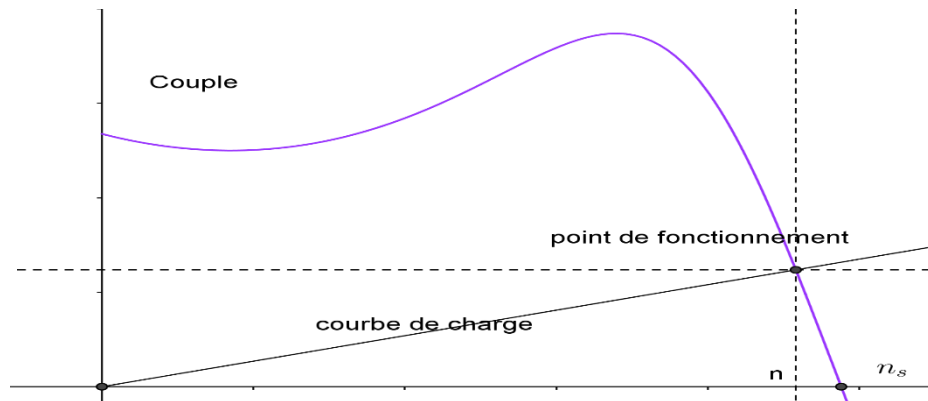
Les forces qui s'exercent sur les conducteurs du rotor tournent à la vitesse  $\Omega_s$ , elles glissent sur le rotor, qui lui-même tourne à la vitesse  $\Omega$ , l'action de l'ensemble des forces électromagnétiques, il réduit à l'application d'un moment de couple électromagnétique [1].

$$C_{em} = \frac{P_{tr}}{\Omega_s} = \frac{P_M}{\Omega} \quad (14)$$

### II.1.5.2.2. Le couple utile $C_u$

Le rotor tourne à la vitesse  $\Omega$  et transmise à la charge une puissance  $P_u$ , l'action de ces forces engendre le couple utile.

$$C_u = \frac{P_u}{\Omega} \quad (15)$$



*Figure. II. 6. La caractéristique du couple en fonction de la vitesse de démarrage*

Les moteurs asynchrones sont caractérisés par un couple de démarrage très élevé, donc ils peuvent démarrer en charge facilement. Le couple moteur varie avec la vitesse de rotation jusqu'à sa valeur max et redescend jusqu'à avoir une valeur nulle pour une vitesse égale à celle du synchronisme.

Pour des vitesses proches de celles du synchronisme ou pour les faibles glissements, la courbe du couple peut être considérée comme une droite de pente négative, donc le couple est inversement proportionnel à la vitesse de rotation.

Le point de fonctionnement correspond au point d'intersection de la caractéristique mécanique de la charge entraînée par le moteur  $Tr(N)$  avec la caractéristique électromécanique du moteur. [4]

### II.1.5.3 Rendement

Le rendement d'un moteur asynchrone est le rapport entre la puissance utile et la puissance absorbée.

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad (16)$$

## **II.2. Classification générale de l'appareillage électrique**

### **II.2.1. Appareillage de raccordement**

Il assure la liaison électrique entre deux ou plusieurs systèmes conducteurs. Le raccordement peut être permanent, connexion visée, ou démontable [7].

Exemple : Borne de raccordement, Prise de courant, Douille de lampe, Sectionneur.

### **II.2.2. Appareillage de commande**

Assure, en service normal, la mise « en » et « hors » circuit de partie d'installation ou d'appareil d'utilisation, à l'exclusion de toute action de réglage. La commande d'un circuit peut être manuelle (interrupteur) ou provoquée par une grandeur physique (contacteur ou télérupteur) [7].

Exemple : Interrupteur, Inverseur, Commutateur, Contacteur-Rupteur, Combinateur, Télérupteur.

### **II.2.3. Appareillage de protection**

Évite que le matériel électrique soit parcouru par des courants qui lui soient nuisibles, ou qui le soient à son environnement. Le fusible assure à la fois le contrôle de la grandeur et la coupure du circuit, ce qui n'est pas le cas pour les autres appareils [17].

Exemple : Fusible, Disjoncteur, Discontacteur.

### **II.2.4. Appareillage de réglage**

Agit sur les grandeurs électriques afin de les adapter à l'utilisation. Il faut distinguer les appareils de réglage passifs (résistance) des appareils actifs (circuit amplificateur, hacheur, onduleur...) [7].

Exemple : Rhéostat, Potentiomètre, Capacité fixe ou variable, Alternostat, Transformateur, Hacheur, Redresseur, Onduleur.

### **II.2.5. Appareillage de mesure et de contrôle**

Permettre d'effectuer les mesures et le contrôle des grandeurs électriques. De plus, les dispositifs de mesure emploient une technologie électronique [7].

Exemple : Ampèremètre, Voltmètre, Wattmètre, Ohmmètre, Fréquencemètre, Compteur, Oscilloscope.

### II.3. Choix de l'appareillage

Il est basé sur les critères suivants :

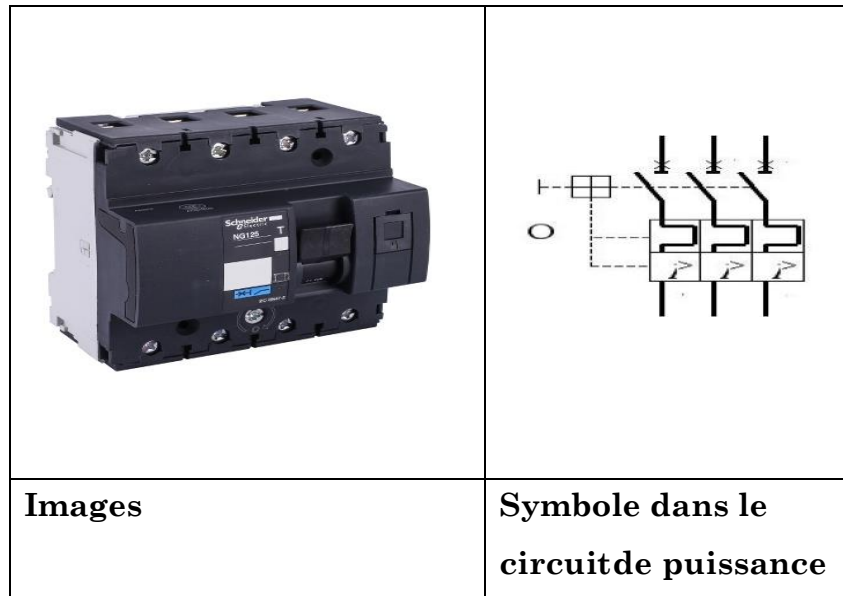
- Critère technique : respect des normes et des règlements, condition d'emploi et fiabilité ;
- Critère d'utilisation : facilité de manœuvre, facilité de pose, bruit, ... ;
- Critère économique : prix de revenu [7].

### II.4. Appareils de commande, de signalisation et de protection

#### II.4.1. Disjoncteur

Disjoncteur est un appareil électromécanique de connexion qui constitue un élément essentiel du tableau électrique. Cet appareil de protection comporte deux relais, relais magnétique qui protège contre les courts-circuits et un relais thermique qui protège contre les surcharges [7]. Il existe plusieurs types de disjoncteur [8] :

- **Les disjoncteurs magnétiques**, qui assurent la protection contre les courts-circuits ;
- **Les disjoncteurs thermiques**, qui assurent la protection contre les surcharges ;
- **Les disjoncteurs magnétothermiques**, qui assure la protection contre les courts-circuits ainsi que les surcharges ;
- **Les disjoncteurs magnétothermiques différentiels**, qui assure la protection contre les courts-circuits, les surcharges et la protection des personnes contre les contacts indirects ;
- **Les disjoncteurs électroniques**, qui réalisent les fonctions des déclencheurs thermiques et / ou magnétiques, tout en disposant d'une large plage de réglage (du niveau de déclenchement, du délai de déclenchement),



*Figure. II. 7. Disjoncteur*

#### II.4.2. Sectionneur

Le sectionneur est un appareil électromécanique permettant de séparer de façon mécanique, un circuit électrique et son alimentation, tout en assurant physiquement une distance de sectionnement satisfaisante électriquement. L'objectif peut être d'assurer la sécurité des personnes travaillant sur la partie isolée du réseau électrique ou bien d'éliminer une partie du réseau en dysfonctionnement pour pouvoir en utiliser les autres parties.

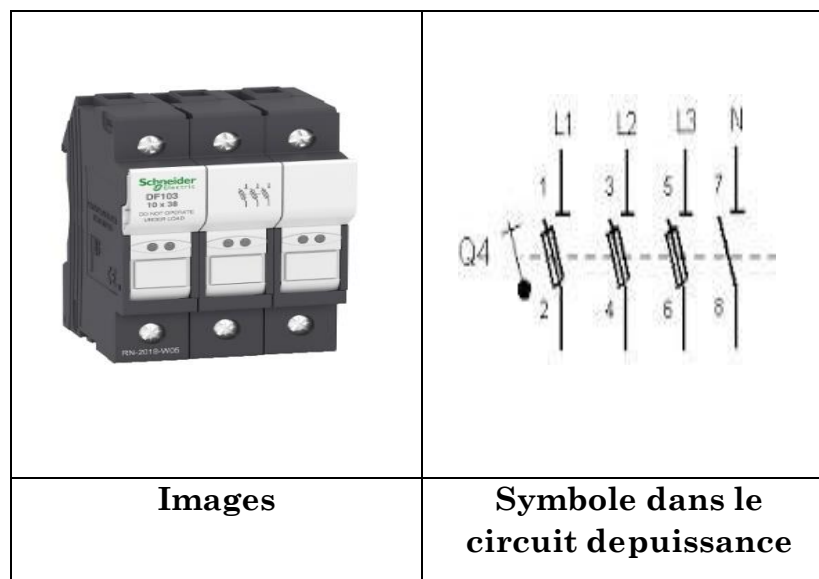
Les différents types de sectionneurs [9] :

- **Sectionneurs BT domestiques** : sont réalisées par des sectionneurs à fusibles incorporés ;
- **Sectionneurs MT et HT** : très employés dans les réseaux de moyenne et haute tension, ils garantissent l'isolement des lignes et des installations avec coupure visible ;
- **Sectionneurs BT industriels** : Ceux-ci assurent la fonction de sectionnement au départ des équipements (généralement des derniers comportent des fusibles et des contacts auxiliaires) ;
- **Sectionneurs porte-fusibles tripolaires à contact de pré-coupure avec poignée extérieure** : sont également munis de fusibles type aM



(Accompagnement moteur) dont leur rôle est de protéger l'équipement électrique contre les courts-circuits. Les sectionneurs porte fusibles sont cadenassable (à l'aide d'un cadenas) afin de verrouiller la mise en/hors énergie de l'installation. Le sectionneur porte fusibles assurés donc deux fonctions principales :

- Isolement (séparation) de la source d'alimentation électrique et de l'équipement ;
- Protection contre les courts-circuits (grâce aux cartouches fusibles)



*Figure. II. 8. Sectionneur*

### II.4.3. Relais

Le relais peut être défini comme un appareil électrique interposé entre le circuit principal et le disjoncteur, si le défaut est dangereux, amène le disjoncteur à s'isoler et à retirer ainsi l'élément défectueux. Le relais assure la sécurité des équipements de circuit de tout dommage qui pourrait autrement être causé par le défaut.

Les relais à trois éléments essentiels. Ces éléments sont des éléments mesurés, des éléments de comparaison et des éléments de contrôle. L'élément mesuré a mesuré la variation de la quantité d'actionnement, tandis que l'élément de comparaison compare la quantité d'actionnement sur le relais à un réglage de relais présélectionné. L'élément de contrôle gère un changement soudain de la quantité contrôlée, telle que la fermeture du circuit opérationnel en cours.

Les relais peuvent être classés sur la base de quantité électrique (actionnée par la tension, le courant, la puissance, etc.) ; la quantité mécanique (actionnée par la pression,

la vitesse d'écoulement d'un gaz liquide ou gazeux, etc.) et la quantité thermique (actionnée par l'effet de chauffage) de relais optiques, acoustiques et autres.

Le relais de protection électrique peut être large, classés en deux catégories (Relais électromagnétiques, Relais statiques).

Différents types de relais [10] :

- **Relais électromagnétiques Relais d'induction électromagnétiques ;**
- **Relais de type électrodynamique ;**
- **Relais à bobines mobiles ;**
- **Relais statiques ;**
- **Relais de surtension, de surintensité et de surpuissance ;**
- **Relais de sous-tension, sous-courant et sous-puissance ;**
- **Relais de courant directionnel ou inversé ;**
- **Relais de puissance directionnel ou inversé ;**
- **Relais différentiel ;**
- **Relais de distance ;**
- **Relais instantanés ;**
- **Relais temporisés définis ;**
- **Relais temporisés inversés ;**
- **Relais de décalage temporel minimum défini ;**
- **Relais thermique.**


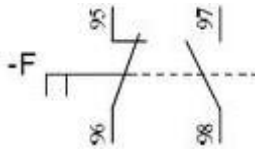
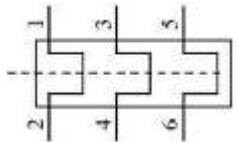
		
Images	Symbole dans le circuit de commande	Symbole dans le circuit de puissance

Figure. II. 9. Relais thermique

Les Relais thermiques sont des dispositifs de protection. Ils sont conçus pour couper l'alimentation si le moteur tire trop de courant pendant une période de temps prolongée. Pour ce faire, relais thermiques contiennent un contact normalement fermé (NC). Quand un courant excessif circule dans le circuit du moteur, le relais s'ouvre en raison de l'augmentation de température du moteur, la température de l'équipement, ou le courant de surcharge détecté, en fonction du type de relais.

Ils sont semblables à des disjoncteurs dans la construction et l'utilisation, mais la plupart des disjoncteurs diffèrent en ce qu'ils interrompent le circuit en cas de surcharge se produisent même pour un instant. Relais thermiques sont inversement conçus pour mesurer le profil de chauffage d'un moteur ; par conséquent, la surcharge doit se produire pendant une période prolongée avant que le circuit est interrompu.

### II.4.4. Les Contacteurs

#### II.4.4.1 Définition de contacteur

Il assure la fonction de commutation. Il permet de fermer ou d'ouvrir un circuit électrique de puissance en charge et à distance. Il fait partie de la famille des pré-actionneurs puisqu'il se trouve avant l'actionneur dans les chaînes industrielles.

Le contacteur est constitué de deux parties essentielles, une partie de puissance (contact de puissance) et une partie de commande (contact auxiliaire). Lorsque la bobine du contacteur est alimenté les contacts de la partie puissance et ceux de la partie commande changent d'état simultanément. L'ouverture et la fermeture des contacts s'effectuent grâce à un circuit électromagnétique [7].

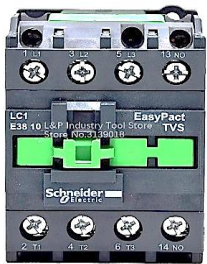
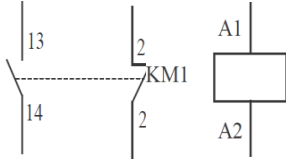
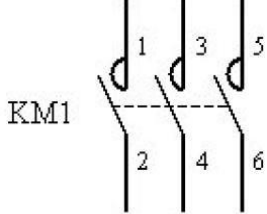
		
<p><b>Images</b></p>	<p><b>Symbole dans le circuit de commande</b></p>	<p><b>Symbole dans le circuit de puissance</b></p>

Figure. II. 10. Contacteur

#### II.4.4.2. Construction générale

Ils peuvent être unipolaires, bipolaires, tripolaires ou encore tétrapolaires, en d'autres termes ils possèdent un, deux, trois ou quatre contacts de puissance. Sur les contacteurs de puissance élevée les bobines sont souvent interchangeables, permettant de commander le contacteur avec différentes tensions (24V, 48V, 110V, 230V, 400V).

La différence entre un contact de puissance et un contact auxiliaire réside dans le fait que le contact de puissance est prévu pour résister lors de l'apparition d'un arc électrique, lorsqu'il ouvre ou ferme le circuit. C'est donc ce contact qui possède un pouvoir de coupure. Le contact auxiliaire n'est doté que d'un très faible pouvoir de coupure ; il est assimilé à la partie commandée du circuit dont les courants restent faibles face à la partie puissance [7].

- **Les contacts principaux** : sont les éléments de contacts qui permettent d'établir et d'interrompre le courant dans le circuit de puissance ;
- **Électro-aimants** : L'électroaimant est l'élément moteur du contacteur (organe de manœuvre), il comprend un circuit magnétique et une bobine, sa forme et sa construction varient selon qu'il est prévu pour être alimenté en courant alternatif ou en courant continu. La bobine produit un flux magnétique nécessaire pour l'attraction de la partie mobile du circuit magnétique ;
- **Verrouillage** : il existe deux types de verrouillages, électrique et mécanique ;
- **Les contacts auxiliaires d'auto-maintien** : Sont destinés à assurer l'auto alimentation de l'électro-aimant et ainsi, assurer les verrouillages des contacts principaux.

#### II.4.4.3. Les contacteurs auxiliaires

Les contacteurs auxiliaires (relais) sont prévus pour réaliser des automatismes. Ils sont utilisés comme interfaces pour le pilotage des contacteurs de forte puissance, la mise sous tension des circuits auxiliaires, la signalisation...



Figure. II. 11. Différents types de contacts auxiliaires

#### II.4.4.4. Contacts auxiliaires instantanés et bloc de contacts auxiliaires

Les contacts auxiliaires permettant de réaliser des fonctions d'automatismes, ils sont, normalement ouverts ou normalement fermés.

Selon les besoins de circuits de commande, le nombre de contacts auxiliaires par contacteur peut varier. Par ailleurs, il peut être nécessaire de disposer de Relais complémentaires dans le circuit de commande afin de réaliser des fonctions de mémorisation.

On dispose pour cela de contacteurs auxiliaires, comparables aux contacteurs moteur mais qui ne peuvent pas être utilisés dans le circuit de puissance.

On dispose également de bloc de contacts auxiliaires (instantanés ou temporisés) que l'on fixe sur le contacteur afin d'augmenter le nombre de ses contacts [11].

- **Contact auxiliaire temporisé relié à un contacteur**

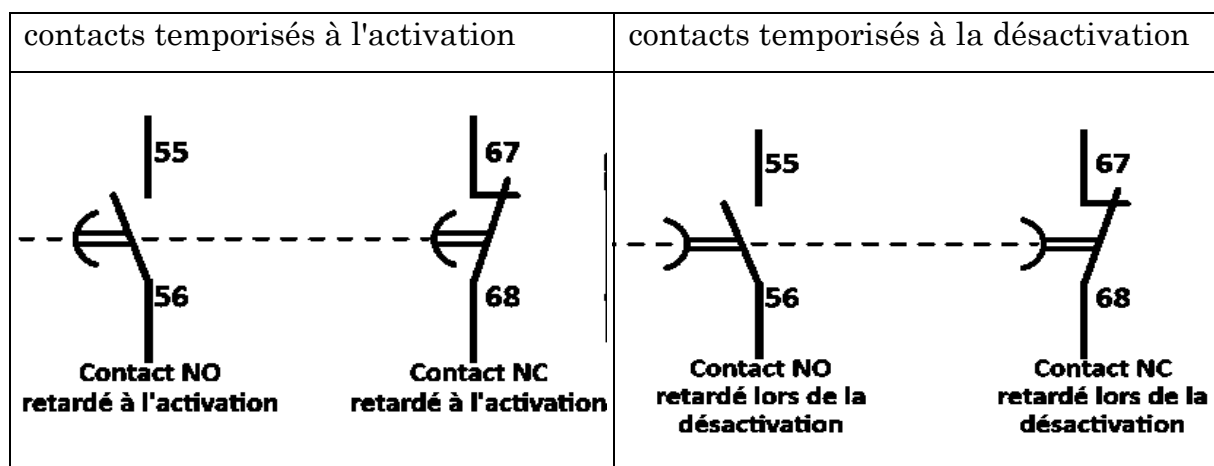


Figure. II. 12. Les modes de temporisation

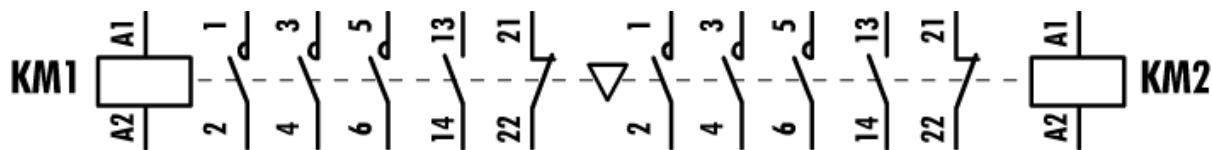
#### II.4.4.5. Contacteur inverseur

Sont une association de deux contacteurs mécaniquement liés. Ils sont employés dans les circuits de commande des moteurs actionnés dans les deux sens de rotation [7].



*Figure. II. 13. Contacteur inverseur*

La liaison mécanique entre les deux contacteurs, représentée par un triangle, empêche la commutation simultanée des deux contacteurs (le premier contacteur qui commute interdit la commutation du second). Ils peuvent être équipés d'un ou deux contacts auxiliaires utilisés dans le circuit de commande (auto-maintien pour le contact 13/14 et verrouillage de la double commande pour le contact 21/22).



*Figure. II. 14. Symbole du contacteur inverseur (partie commande et puissance)*

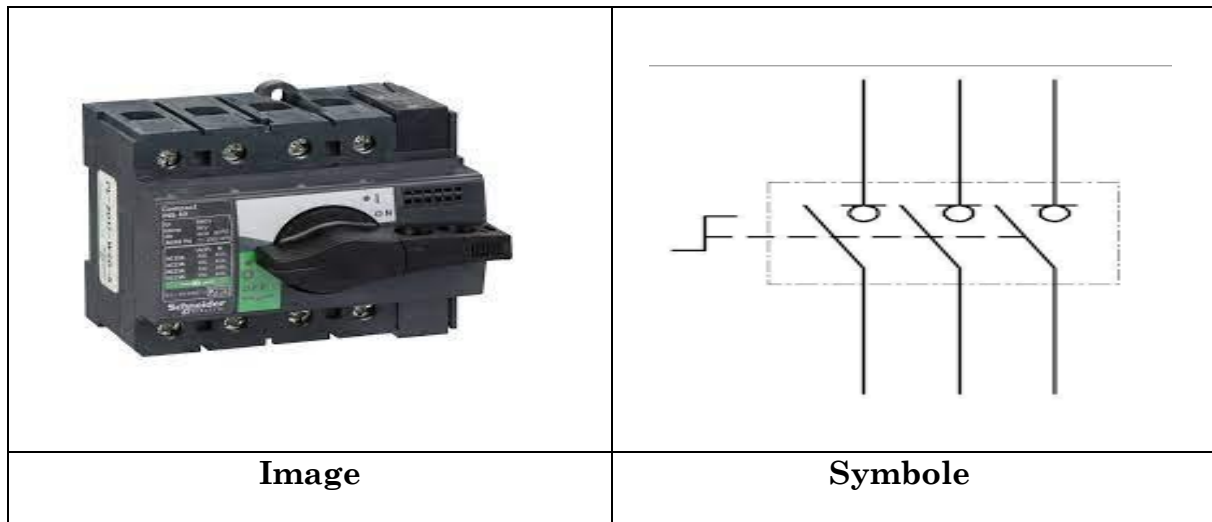
#### II.4.4.6. Choix d'un contacteur

Le choix d'un contacteur est fonction de la nature et de la valeur de la tension du réseau, de la puissance installée, des caractéristiques de la charge, des exigences du service désiré.

- **Tension nominale d'emploi**  $U_e$  : c'est la tension d'utilisation du contacteur ;
- **Courant nominal d'emploi**  $I_e$  : c'est le courant d'utilisation du contacteur ;
- **Courant nominal thermique**  $I_{th}$  : c'est la valeur du courant servant de base aux conditions d'échauffement du circuit principal. Le contacteur doit être capable de supporter  $I_{th}$  de façon permanente, les contacts principaux étant fermés, sans que l'échauffement des différentes parties ne dépasse les limites fixées ;
- **Pouvoir de coupure** : c'est la valeur efficace du courant maximal que le contacteur peut couper, sans usure exagérée des contacts, ni émission excessive de flammes. Le pouvoir de coupure dépend de la tension du réseau. Plus cette tension est faible, plus le pouvoir de coupure est grand ;
- **Pouvoir de fermeture** : c'est la valeur efficace du courant maximal que le contacteur peut établir, sans soudure des contacts. ;
- **Robustesse mécanique** : c'est le nombre de cycles de manœuvres (fermeture + ouverture), à vide (sans courant dans les pôles), susceptible d'être effectué par le contacteur, sans aucun entretien ;
- **Endurance électrique** : c'est le nombre de manœuvres maximal que peut effectuer le contacteur. Ce nombre dépend du service désiré ;
- **Facteur de marche** : c'est le rapport entre la durée de passage du courant et la durée d'un cycle de manœuvre. C'est -à-dire : rapport  $m$  entre la durée  $q$  de passage du courant pendant un cycle de manœuvre et la durée ( $t$ ) de ce cycle ( $m \approx$  rapport cyclique) ;
- **Catégories d'emploi** : la catégorie d'emploi tient compte de la valeur des courants à établir et à couper lors des manœuvres en charge. Il y a 10 catégories d'emploi, 5 en courant continu et 5 en courant alternatif. Le courant alternatif est plus facile à couper du fait qu'il s'annule spontanément 100 fois par seconde [7].

#### II.4.5. Les interrupteurs sectionneurs

Les interrupteurs-sectionneurs satisfont les applications d'interrupteurs par la fermeture et la coupure en charge de circuits résistifs ou mixtes, résistifs et inductifs, ceci pour des manœuvres fréquentes. Les interrupteurs-sectionneurs assurent les fonctions d'ouverture / fermeture manuelle du circuit en charge et de séparation [7].



*Figure. II. 15. Interrupteurs sectionneurs*



#### II.4.6. Fusible

Il comporte un fil conducteur grâce à sa fusion, il interrompt le circuit électrique lorsqu'il est soumis à une intensité du courant qui dépasse la valeur maximale supportée par le fil [7].

Il existe plusieurs types de fusibles :

- **aM** : ce sont des cartouches 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), protégé uniquement contre les courts-circuits. Il est souvent utilisé pour les moteurs, les transformateurs...
- **gG** : ce sont des fusibles à usage industriel protège contre les faibles et les fortes surcharges et les courts-circuits. Il est utilisé pour l'éclairage, les fours, la ligne d'alimentation...
- **gF** : ce sont des fusibles à usage domestique, il assure la protection contre les surcharges et les courts-circuits.



	
<b>Image</b>	<b>Symbole</b>

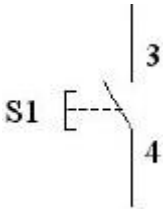
*Figure. II. 16. Fusible*

#### II.4.7. Bouton poussoir

Il en existe deux types : Les boutons poussoirs à fermeture et les boutons poussoirs à ouverture. Ils servent à ouvrir ou fermer un circuit électrique. Dès qu'on relâche ils reviennent dans leur position initiale.

Le bouton poussoir est composé de deux parties différentes le corps et la tête. La tête s'emboite dans le corps grâce à un clip.


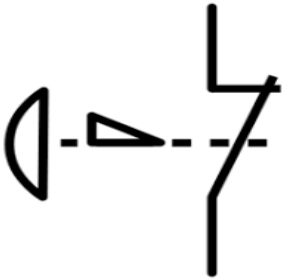

Le corps qui par sa référence indiquera si c'est un bouton poussoir NO ou NC.

<b>Bouton poussoir arrêt (Normaly Closed NC)</b>		  Symbole
<b>Bouton poussoir marche (Normaly Open NO)</b>		  Symbole

*Figure. II. 17. Bouton poussoir*

**II.4.8. Le bouton arrêt d'urgence**


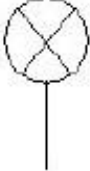
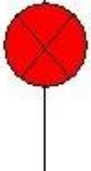
Est un bouton rouge et rond ; il doit être facilement accessible par la personne. Il est appelé aussi bouton « coup de poing » car il faut une certaine force pour l'actionner. Il coupe l'alimentation aux actionneurs.

		
<p><b>Images</b></p>	<p><b>Symbole dans le circuit de Commande</b></p>	<p><b>Symbole de bouton-poussoir d'arrêt d'urgence</b></p>

*Figure. II. 18. Bouton arrêt d'urgence*

**II.4.9. Lampes de signalisation (voyants)**

Ils servent à donner une information sur l'état du système.

	<p>H1</p>  <p><b>Au repos</b></p>	<p>H1</p>  <p><b>Actionné</b></p>
<p><b>Images</b></p>	<p><b>Symbole</b></p>	

*Figure. II. 19. Lampe de signalisation*

**Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents organes constituant le moteur asynchrone triphasé à cage, ainsi que les caractéristiques principales qui définissent la machine asynchrone triphasée.

Une constitution très simple qui a fait sa place dans l'industrie pour son rapport qualité prix et sa garantie d'une durée de vie satisfaisante

Nous avons aussi parlé sur les différents types d'appareillage de connexion et de protection de la machine asynchrone.

# Chapitre III

---

**DIFFERENTS MODES DE DEMARRAGE DE LA  
MACHINE ASYNCHRONE TRIPHASÉE**

## Introduction

Lors de la mise sous tension d'un moteur, l'appel de courant sur le réseau est important et la section de la ligne d'alimentation est insuffisante, provoquer une chute de tension susceptible d'affecter le fonctionnement des récepteurs.

En fonction des caractéristiques du moteur et de la charge, plusieurs méthodes de démarrage sont utilisées. Le choix sera dicté par des impératifs électriques, mécaniques et économiques.

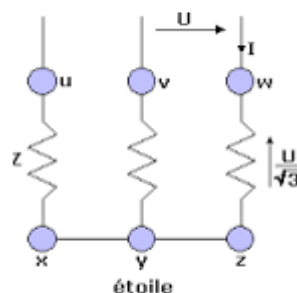
La nature de la charge entraînée aura également une grande incidence sur le mode de démarrage à retenir. L'objectif de ce chapitre est de présenter quelques modes de démarrage d'un moteur asynchrone.

### III.1. Différents types de couplages du moteur asynchrone

Le couplage des enroulements statoriques permet de faire fonctionner les moteurs asynchrones sous deux tensions. Ce couplage est fonction de la tension du réseau et de la tension que peuvent supporter les enroulements, le moteur triphasé est possible de coupler les 3 phases soit en triangle, soit en étoile. Le branchement en étoile ou en triangle se décide en fonction de la plaque signalétique de moteur [12].

#### III.1.1. Couplage en étoile

Les enroulements reçoivent une tension réduite (divisée par la racine carrée de 3). Il s'utilise donc si la tension du réseau d'alimentation est égale à la tension du moteur ( $v$ ). Chaque enroulement est traversé par le courant de ligne ( $I$ ) [12].



*Figure. III. 1. Couplage en étoilé*

#### III.1.2. Couplage en Triangle :

Chaque enroulement est soumis à la tension composée  $U$ , tension entre deux phases. Chaque enroulement est traversé par un courant de valeur efficace  $J$ . Si la plus petite

tension de la plaque signalétique du moteur correspond à la tension entre phases du réseau, on choisit le couplage triangle ( $\Delta$ ) [12].

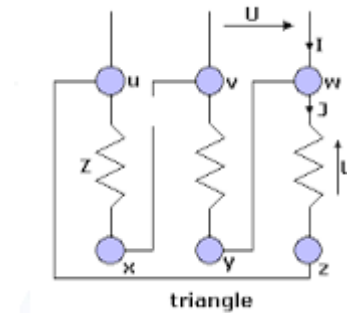


Figure. III. 2. Couplage en triangle

### III.2. La plaque signalétique d'un moteur asynchrone

Sur le stator d'un moteur asynchrone triphasé est poinçonnée une plaque signalétique dont voici un exemple :

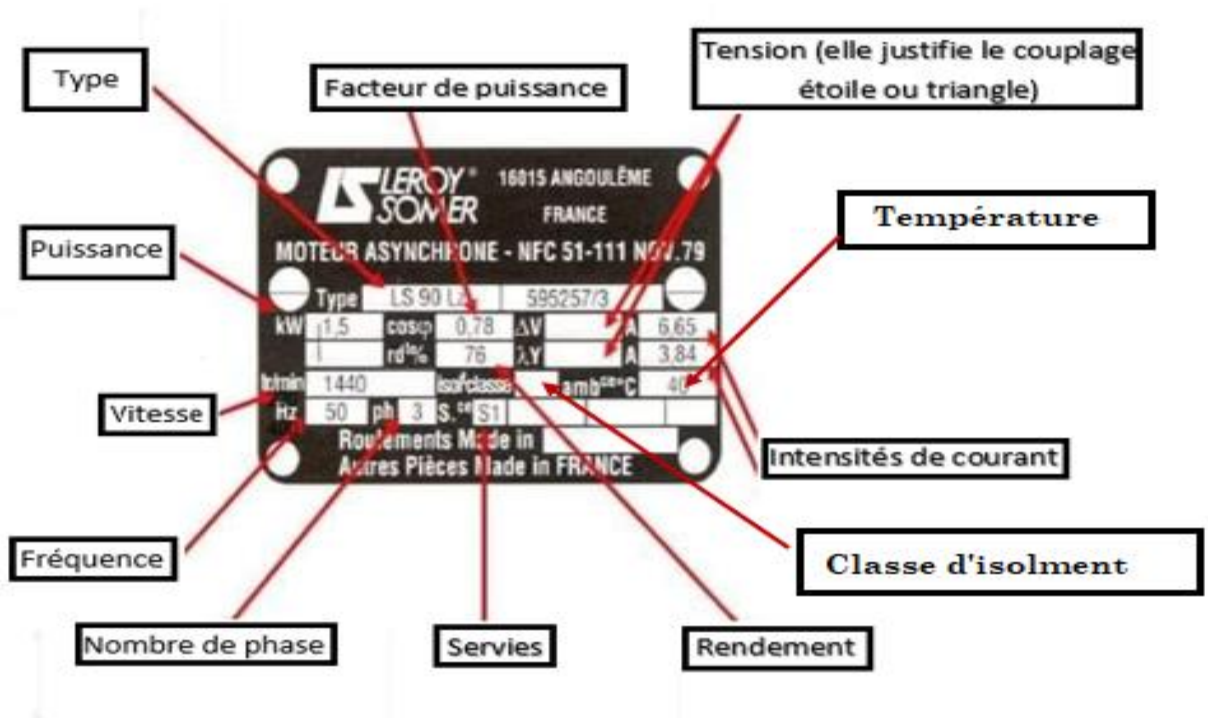


Figure. III. 3. La plaque signalétique

### III.3. Choix d'un démarreur

Le choix sera dicté par des impératifs électriques, mécaniques et économiques. La nature de la charge entraînée aura également une grande incidence sur le mode de démarrage à retenir.

Le choix de démarreur est guidé par les critères suivants [13] :

- les caractéristiques électriques et mécaniques ;
- les performances recherchées ;
- la politique de maintenance de l'entreprise ;
- le coût de l'équipement.

### III.4. Différents modes de démarrage du moteur asynchrone

Parmi les contraintes importantes imposées aux moteurs asynchrones triphasés, le démarrage et ses problèmes sont l'une des exigences de l'entraînement industriel.

En fonction de l'application et de la puissance du moteur employé, plusieurs types de démarrages peuvent être utilisés [12].

#### III.4.1. Problèmes de démarrage

Le démarrage d'un moteur asynchrone pose deux problèmes majeurs :

- Le courant de démarrage qui est très important et qui peut atteindre jusqu'à 10 fois le courant nominal de la machine
- Le couple moteur qui est proportionnel au courant donc si le courant augmente le couple augmente aussi et si le courant devient faible le couple aussi [14].

#### III.4.2. Démarrage direct

Ce mode de démarrage consiste à brancher le moteur directement au réseau. Dans ce cas, il démarre sous ses caractéristiques naturelles (tension nominale), ce qui provoque les pics de courant très élevés, courant de démarrage  $I_d=5$  à 8 fois le courant nominal ( $I_n$ ).

Ce type est utilisé pour les moteurs de faible et moyenne puissance, cette valeur est limitée à  $P_m \leq 1,5kW$ . Pour réaliser ce démarrage, le montage contacteur associé au disjoncteur magnétothermique est le plus fréquent pour limiter ces pics de courant [12].

##### III.4.2.1. Schémas de raccordement

Ceci est le schéma du démarrage du moteur asynchrone triphasée à un seul sens de rotation avec son schéma de puissance et de commande respectivement :

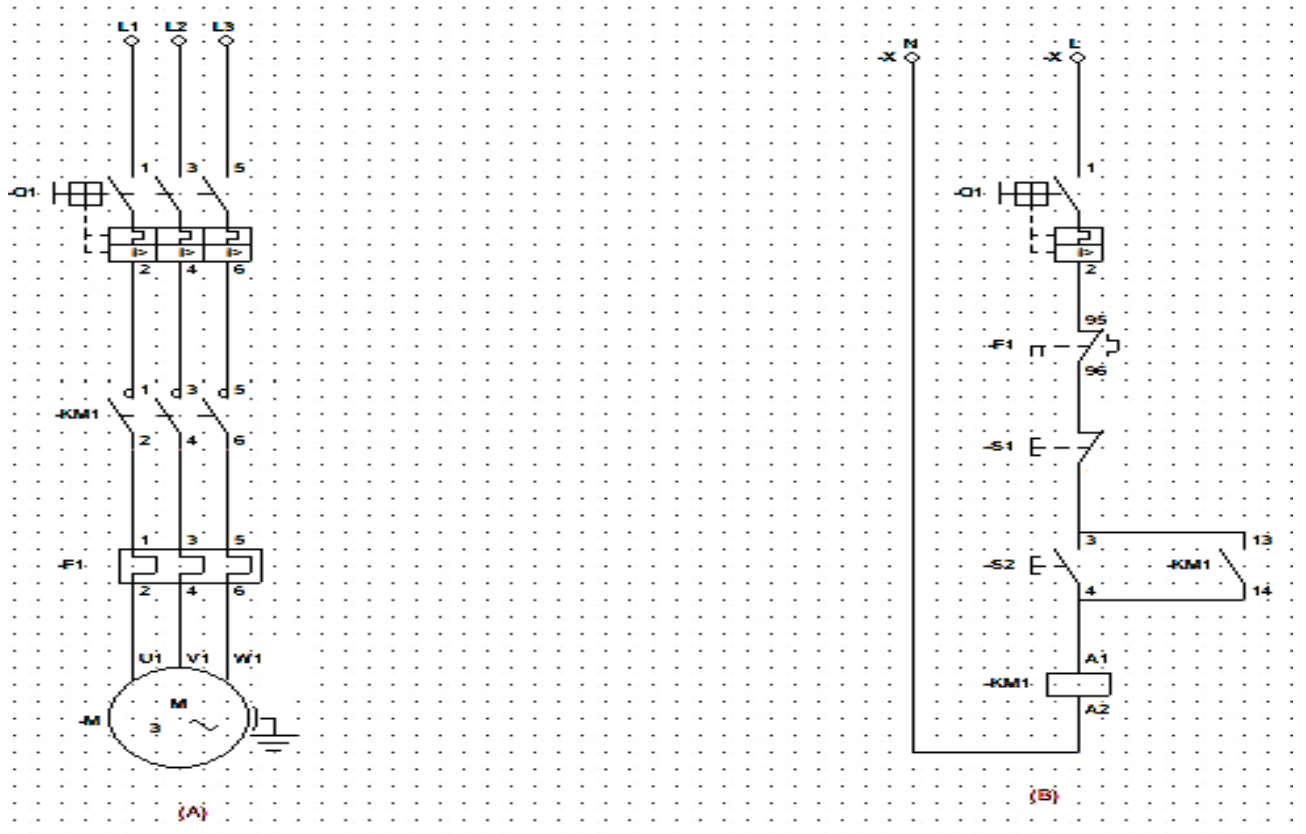


Figure. III. 4. Démarrage à un seul sens de rotation, (A) schéma de puissance, (B) schéma de commande

### III.4.2.2. Principe de fonctionnement

#### *Circuit de puissance*

- Fermeture manuelle de Q1 ;
- Fermeture de KM1, mise sous tension du moteur.

#### *Circuit de commande*

- Impulsion sur S2 ;
- Excitation du KM1 ;
- Auto maintien du contact 13-14 du KM1.

#### *Arrêt*

- Par impulsion sur S1 ;
- Par déclenchement de relais de protection, contact 95-96.

#### *Protection*

- Par disjoncteur magnéto thermique, contre les court-circuit et les surcharge ;
- Par relais thermique contre les surcharges [7].



III.4.2.3. Avantages et inconvénients

- **Les avantages :** L'installation est très simple et le couple de démarrage ( $C_d$ ) élevé ( $C_d=0,5$  à  $1,5$  fois le couple nominal :  $C_n$ ), Démarrage rapide, Prix faible.
- **Les inconvénients :** Le courant de décollage important et l'appel de courant risque de perturber le fonctionnement des appareils branchés sur la même ligne, à cause de la chute de tension qu'il provoque [12].

III.4.3. Démarrage direct à deux sens de rotation

On commande deux contacteurs avec inversion de deux phases.

III.4.3.1. Schémas de raccordement

Ceci est le schéma du démarrage du moteur asynchrone triphasée à deux sens de rotation avec son schéma de puissance et de commande respectivement :

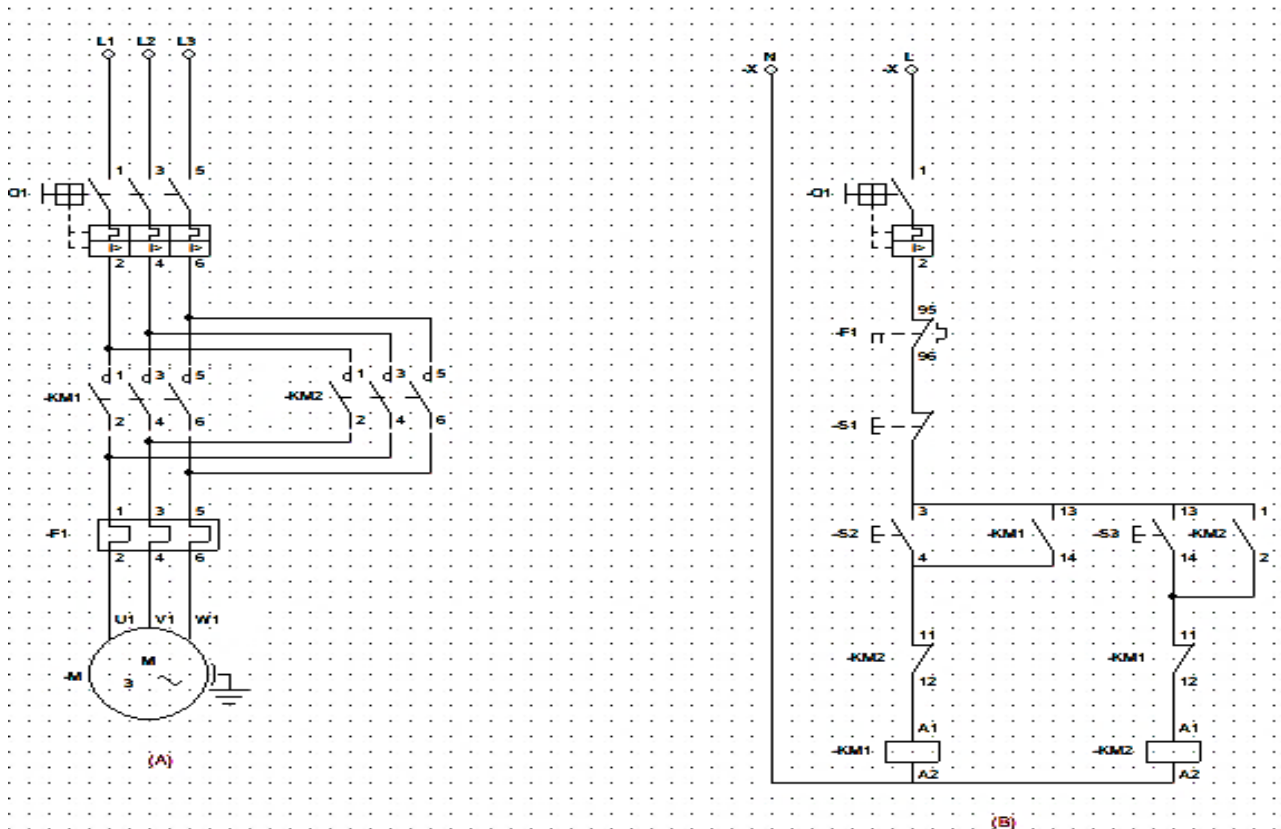


Figure. III. 5. Démarrage à deux sens de rotation, (A) schéma de puissance, (B) schéma de commande

### III.4.3.2. Principe de fonctionnement

#### *Circuit de puissance*

- Fermeture manuelle de Q1 ;
- Fermeture de KM1, mise sous tension du moteur et 1er sens de rotation ;
- Ouverture du KM1, arrêt du moteur ;
- Fermeture de KM2, mise sous tension du moteur et 2eme sens de rotation.

#### *Circuit de commande*

- Impulsion sur S2 ;
- Excitation du KM1, 1er sens de rotation ;
- Auto maintien du contact 13-14 du KM1 ;
- Impulsion sur S1 ;
- Désexcitation du KM1 ;
- Ouverture du contact 13-14 du KM1, arrêt du moteur ;
- Impulsion sur S3 ;
- Excitation du KM2, 2eme sens de rotation ;
- Auto maintien du contact 13-14 du KM2.

#### *Arrêt*

- Par impulsion sur S1 ;
- Par déclenchement du relais de protection, contact 95-96.

#### *Protection*

- Par disjoncteur magnéto thermique, contre les court-circuit et les surcharge ;
- Par relais thermique contre les surcharges ;
- Un verrouillage électrique par deux contacts auxiliaires, contact 21-22 du KM1 et Contact 21-22 du KM2) [7].

### III.4.4. Démarrage étoile-triangle

Ce procédé n'est possible que pour les moteurs asynchrones triphasés destinés à fournir leur puissance nominale sous la tension de réseau, lorsque ses enroulements sont couplés en triangle.

Il consiste à démarrer le moteur en couplant ses enroulements en étoile pendant le démarrage, puis à rétablir le couplage en triangle, ce qui revient à diviser la tension nominale du moteur en étoile par  $\sqrt{3}$  [12].

### III.4.4.1. Schémas de raccordement

Ceci est le schéma du démarrage étoile-triangle du moteur asynchrone triphasée avec son schéma de puissance et de commande respectivement :

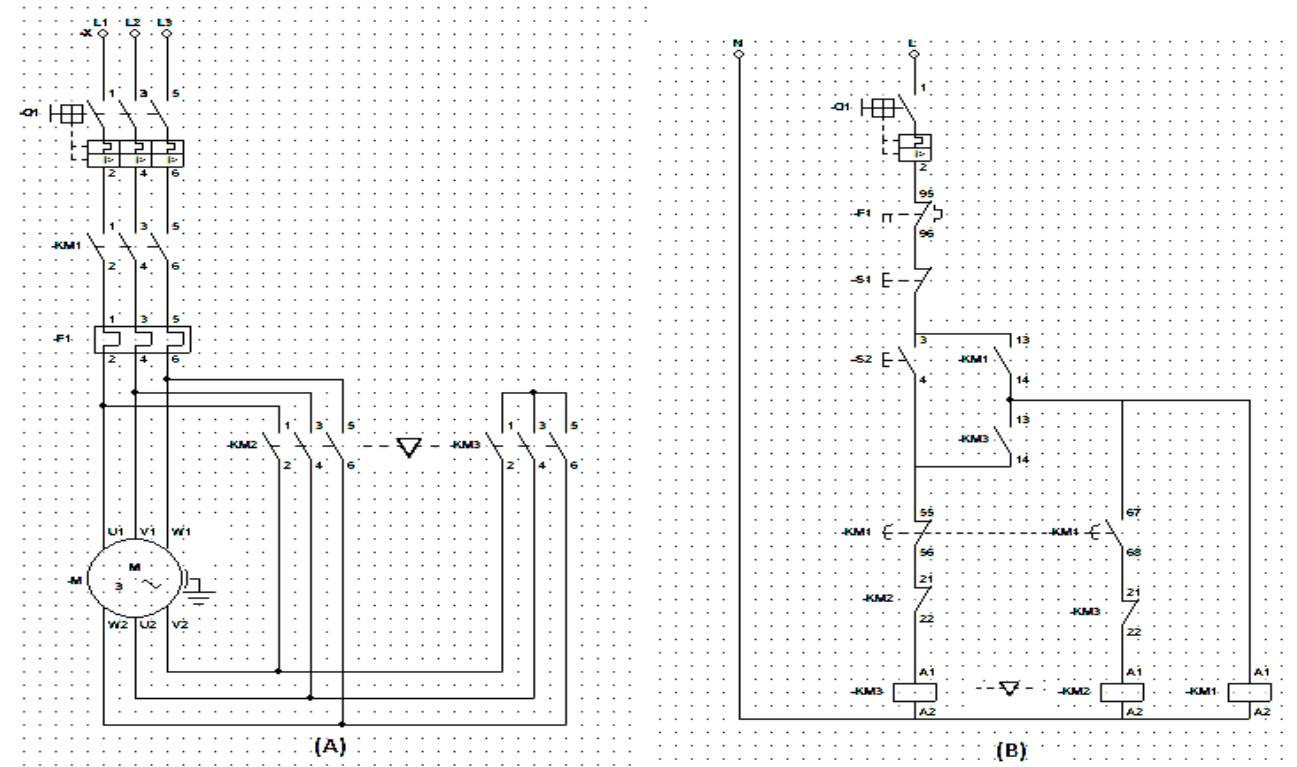


Figure. III. 6. Démarrage étoile-triangle, (A) schéma de puissance, (B) schéma de commande

### III.4.4.2. Principe de fonctionnement

#### Circuit de puissance

- Fermeture manuelle de Q1 ;
- Fermeture de KM1 ;
- Fermeture de KM3 ;
- Ouverture de KM3 ;
- Fermeture de KM2.

#### Circuit de commande

- Impulsion sur S2 ;
- Commutation de KM3 (couplage étoile), fermeture du contact 13-14 du KM3 ;
- Alimentation du moteur par KM1, fermeture du contact 13-14 du KM1 ;
- Déclenchement retardé des contacts auxiliaires (55-56 et 67-68) de KM1 ;
- Ouverture du contacte 55-56, puis fermeture du contact 67-68 ;

-Commutation de KM2 (couplage triangle) et l'arrêt de KM3 par l'ouverture du contact 21-22 de KM2.

#### **Arrêt**

-Par impulsion sur S1 ;

-Par déclenchement du relais de protection, contact 95-96.

#### **Protection**

-Par disjoncteur magnéto thermique, contre les court-circuit et les surcharge ;

-Par relais thermique contre les surcharges faibles et prolongées ;

-Un verrouillage mécanique entre le contacteur KM1 et KM2 pour éviter le court-circuit ;

-Un verrouillage électrique par deux contacts auxiliaires, l'un pour la branche étoile et l'autre pour la branche triangle (contact 21-22 du KM2 et KM3) [7].

#### **III.4.4.3. Avantages et inconvénients**

- **Les avantages :**

- Réduit le courant au démarrage au tiers de sa valeur en direct ;

- Permet une marche sous tension réduite ou faible ce qui améliore le facteur de puissance ( $\cos\varphi$ ).

- **Les inconvénients :**

- Coupure de courant quand, on change le couplage ;

- Deuxième appel de courant qui est important au changement de couplage [12].

#### **III.4.5. Démarrage statorique par insertion de résistances**

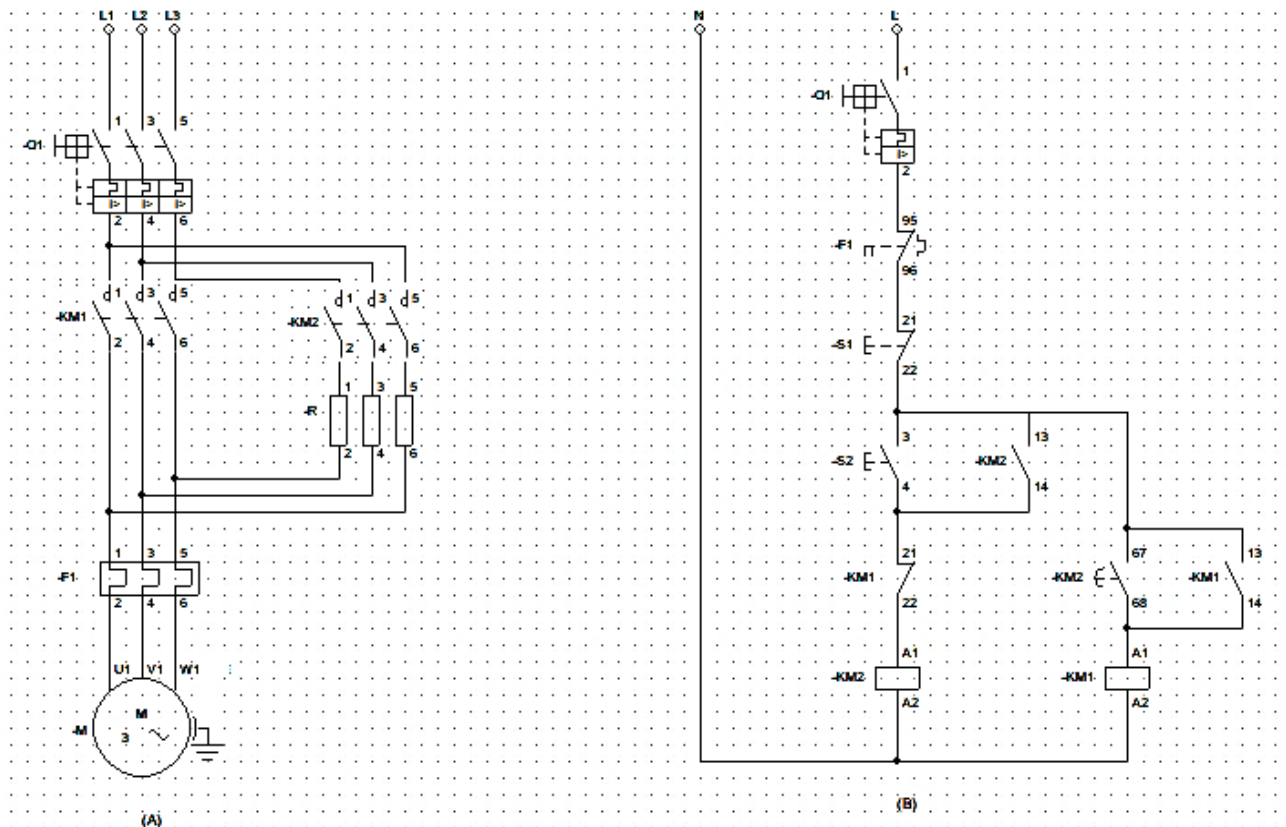
Ce mode de démarrage présente des caractéristiques comparables à celles du démarrage étoile-triangle. Cependant, il n'y a pas de coupure de l'alimentation du moteur entre le 1er et le 2ème temps de démarrage, comme c'est le cas lors du basculement du couplage étoile à triangle. Le démarrage statorique consiste à mettre en série temporaire un ou plusieurs groupes de résistances additionnelles avec le stator.

Ce démarreur peut être associé au dispositif du démarrage étoile-triangle. On démarre le moteur en étoile, puis on le fait passer en couplage triangle avec association de résistances en série, et enfin on court-circuite les résistances pour terminer en couplage triangle direct.

Ce procédé de démarrage convient aux machines dont le couple de démarrage est plus faible que le couple nominal  $C_n$  [7].

### III.4.5.1. Schémas de raccordement

Ceci est le schéma du démarrage statorique par insertion de résistance du moteur asynchrone triphasée avec son schéma de puissance et de commande respectivement :



**Figure. III. 7.** Démarrage statorique par insertion de résistances, (A) schéma de puissance, (B) schéma de commande

### III.4.5.2. Principe de fonctionnement

#### *Circuit de puissance*

- Fermeture manuelle de Q1 ;
- Fermeture de KM2 (insertion des résistances), 1er temps ;
- Fermeture de KM1 (court-circuitage des résistances), 2eme temps ;
- Ouverture de KM2.

#### *Circuit de commande*

- Impulsion sur S2 ;
- Excitation de KM2, 1er temps ;

- Fermeture du contact d'auto maintien KM2, contact 13-14 ;
- Fermeture de contact temporisé (temporisé au travail) de KM2, contact 67-68 ;
- Excitation de KM1, 2eme temps ;
- Fermeture du contact d'auto maintien KM1, contact 13-14 ;
- Ouverture de contact de KM1, contact 11-12.

#### **Arrêt**

- Par impulsion sur S1 ;
- Par déclenchement de relais de protection, contact 95-96.

#### **Protection**

- Par disjoncteur magnéto thermique, contre les court-circuit et les surcharge ;
- Par relais thermique contre les surcharges faibles et prolongées [7].

#### **III.4.5.3. Avantages et inconvénients**

- **Les avantages :**

Il n'y a pas de risque des phénomènes transitoires, car l'élimination des résistances statorique se fait sans l'interruption de l'alimentation.

Pas de coupure d'alimentation au démarrage.

- **Les inconvénients :**

Pointe de courant importante au démarrage.

Une chute de tension importante aux bornes du moteur et par conséquent une diminution du couple de démarrage.

Nécessite des résistances volumineuses [12].

#### **III.4.6. Démarrage par insertion des résistances rotoriques**

On utilise obligatoirement un moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné en étoile avec sorties sur trois bagues. Dans ce procédé nous aurons :

-**Stator** : pleine tension ;

- **Rotor** : des groupes de résistances sont insérés aux bobinages rotoriques pendant le démarrage, après elles seront court-circuitées. Ce procédé permet certainement de diminuer la pointe du courant au démarrage.

Ce mode de démarrage est utilisé dans deux cas, machines à démarrage en charge et les démarrages progressif [7-12].

### III.4.6.1. Schémas de raccordement

Ceci est le schéma du démarrage par insertion des résistances rotoriques du moteur asynchrone triphasée avec son schéma de puissance et de commande respectivement :

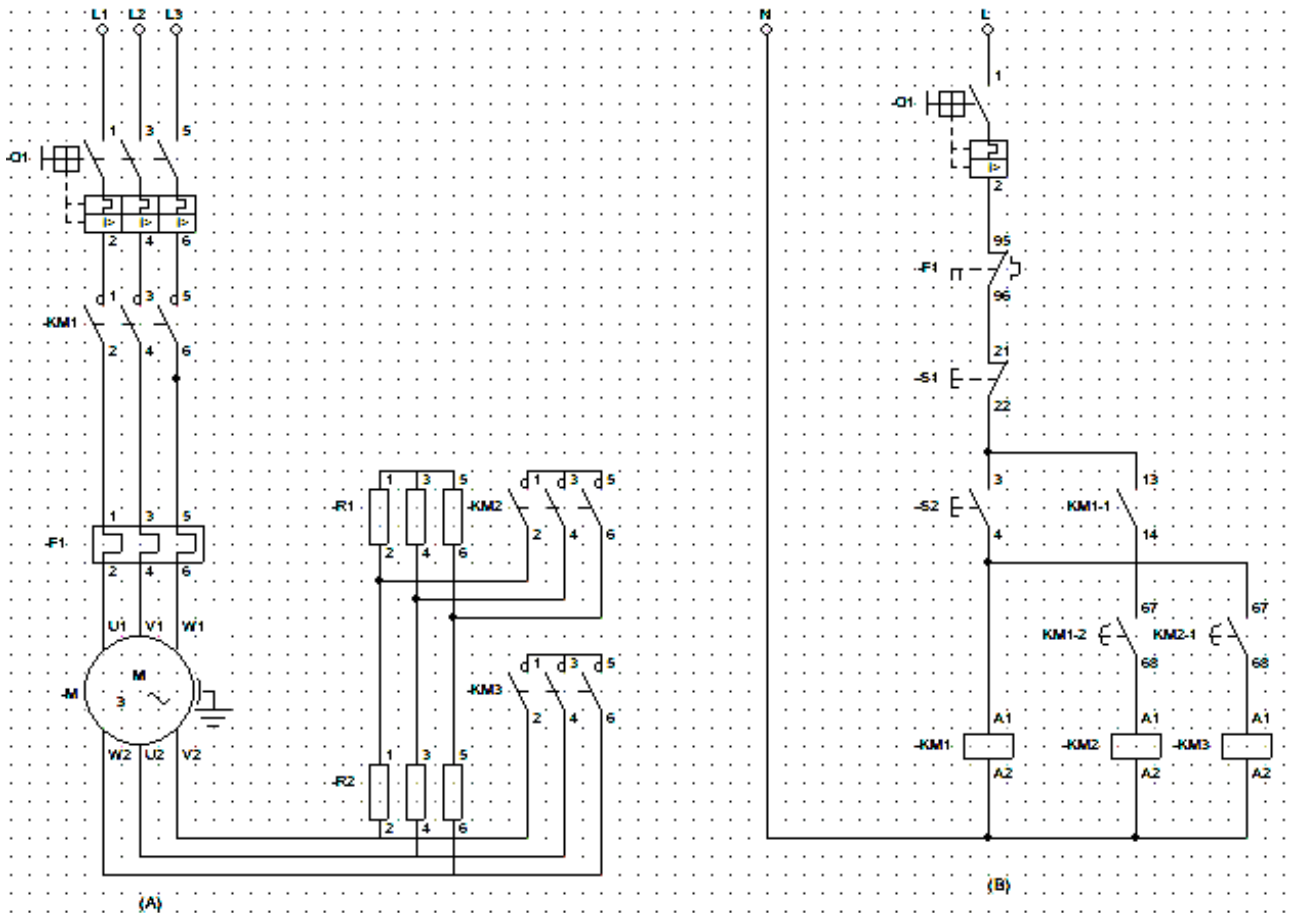


Figure. III. 8. Démarrage par insertion des résistances rotoriques, (A) schéma de puissance, (B) schéma de commande

### III.4.6.2. Principe de fonctionnement

#### Circuit de puissance

- Fermeture manuelle de Q1 ;
- Fermeture de KM1 (1er temps) ;
- Fermeture de KM2 (2eme temps) ;
- Fermeture de KM3 (3eme temps).

#### Circuit de commande

- Impulsion de S2 ;
- Excitation de KM1 (1er temps) ;
- Auto-maintien du contact km1 ;

- Fermeture du contact temporisé KM1 ; temporisé au travail ;
- Excitation de KM2 (2eme temps) ;
- Fermeture du contact temporisé KM2 ; temporisé au travail ;
- Excitation de KM3 (3eme temps).

#### **Arrêt**

- Par impulsion sur le bouton poussoir S1 ;
- Par déclenchement du relais de protection, contact 95-96 ;

#### **Protection**

- Par disjoncteur magnéto thermique, contre les court-circuit et les surcharge ;
- Par relais thermique contre les surcharges faibles et prolongées [7].

### **III.4.6.3. Avantages et inconvénients**

- **Les avantages :**

- Très bon rapport couple/courant ;
- Possibilité de réglage des valeurs au démarrage ;
- Pas de coupure d'alimentation.

- **Les inconvénients :**

- Moteur a bagues plus onéreux ;
- Nécessite des résistances [12].

### **III.4.7. Démarrage par autotransformateur**

Ce démarrage consiste à utiliser un autotransformateur, qui est un appareil dont le circuit primaire est alimenté par le réseau et qui délivre à son secondaire une tension pouvant varier linéairement de 0 à 100% de la tension primaire

Ce procédé permet le démarrage des moteurs à cage avec un courant réduit dû à une réduction de la tension pendant la durée d'accélération, contrairement à la commutation étoile-triangle.

Lorsque le moteur a atteint une vitesse voisine de la vitesse nominale, la liaison étoile de l'autotransformateur s'ouvre. Les fractions d'enroulement du transformateur se comportent alors comme des bobines de self en série avec les enroulements du moteur et par conséquent, comme pour le démarrage étoile-triangle à transmission fermée, la vitesse du moteur ne chute pas pendant la commutation. Après mise en circuit du



contacteur principal, la tension entière du réseau est appliquée aux enroulements du moteur. Enfin, le transformateur est déconnecté du réseau.

Le démarrage par autotransformateur passe par trois temps distincts :

- Temps autotransformateur en Y, le moteur est alimenté à tension réduite.
- Temps ouverture du point Y, seul la self de la partie supérieure de l'enroulement limite le courant.
- Temps alimentation du moteur sous pleine tension [7].

### III.4.7.1. Schémas de raccordement

Ceci est le schéma du démarrage par autotransformateur du moteur asynchrone triphasée avec son schéma de puissance et de commande respectivement :

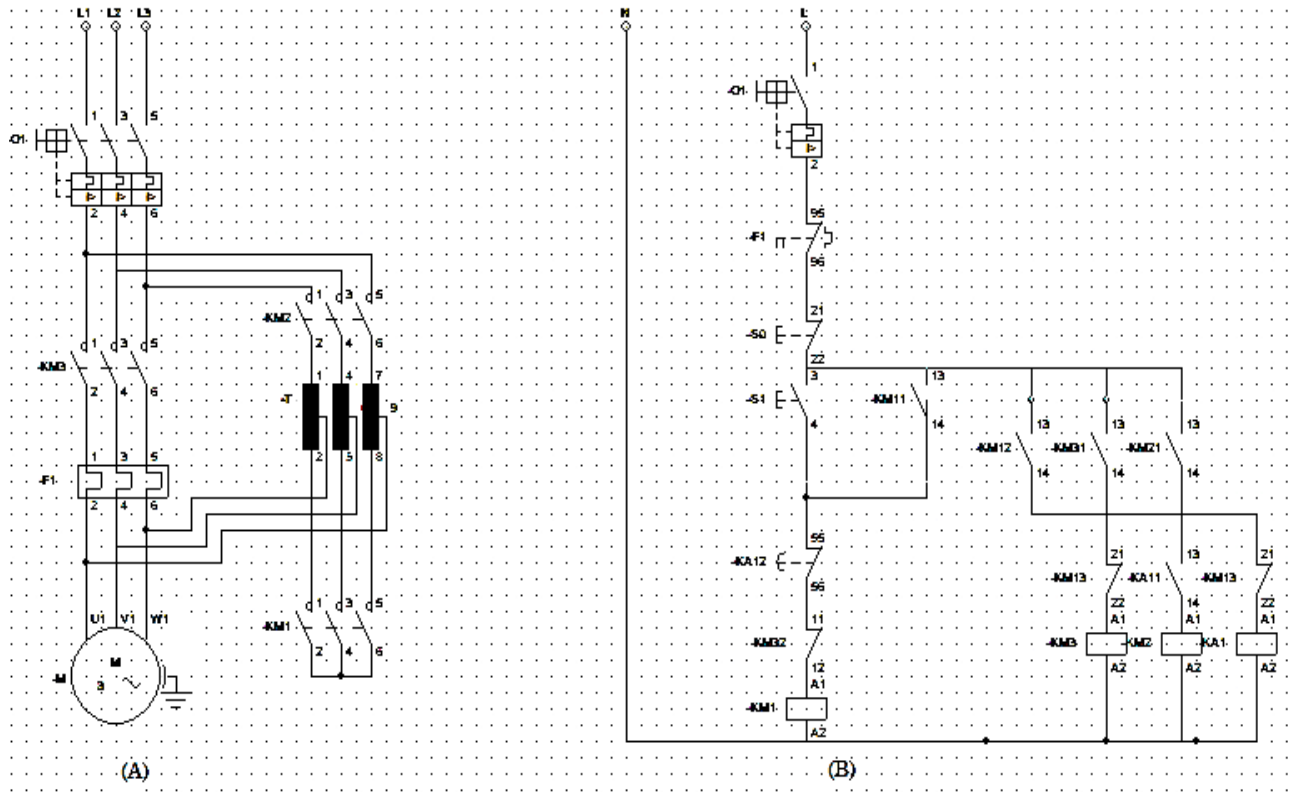


Figure. III. 9. Démarrage par autotransformateur, (A) schéma de puissance, schéma de commande

### III.4.7.2. Principe de fonctionnement

Ce démarrage s'effectue en 3 temps :

- 1er temps : KM1 et KM2 fermés, KM3 ouvert :
- 2eme temps : KM2 fermé, KM1 et KM3 ouverts :
- 3eme temps : KM3 fermé, KM1 et KM2 ouverts.

Il est à noter que le 2eme temps est toujours très court, car l'échauffement de l'autotransformateur est très important, une partie de l'enroulement étant parcourue par le courant.

Ce mode de démarrage présente également l'inconvénient de réduire le couple [17].

### III.4.7.3. Avantages et inconvénients

- **Les avantages :**

- Ce démarrage s'effectue sans interruption de courant ;

- Permet un démarrage sous tension réduite :

- Réduit les pics de courant au démarrage.

- **Les inconvénients :**

- Les phénomènes transitoires peuvent apparaitre lors du couplage plein tension si certaines précautions ne sont pas prises ;

- Ce mode de démarrage est généralement utilisé en BT pour des moteurs de puissance supérieure à 150 kW. Mais il conduit à des équipements relativement coûteux en raison du prix élevé de l'autotransformateur [15].

### III.5. Freinage des moteurs asynchrones

Dans un grand nombre d'applications, l'arrêt du moteur est obtenu simplement par décélération naturelle. Le temps de décélération dépend alors uniquement de l'inertie et du couple résistant de la machine entraînée. Mais il est souvent nécessaire de réduire ce temps.

Le freinage électrique apporte dans ce cas une solution efficace et simple. Par rapport aux freinages mécanique et hydraulique, il offre l'avantage de la simplicité et de ne mettre en œuvre aucune pièce d'usure [15].

- **Les procédés mécaniques :**

Il s'agit d'un frein à disque incorporé au moteur, on appelle l'ensemble MOTEUR FREIN : c'est une action effectuée sur le rotor. Il existe deux types de freinage dans ce cas de procédé, le freinage à appel de courant et le freinage à manque de courant [7].

- **Les procédés électriques :**

C'est une action effectuée sur le stator. Il existe aussi deux types de freinage, freinage par contre-courant et le freinage par injection du courant continu [7].

### III.5.1. Freinage mécanique

#### III.5.1.1. Frein à manque de courant

Le frein est actionné mécaniquement (système de ressort au repos), il est souvent utilisé pour des raisons de sécurité : lorsque le moteur n'est pas alimenté (arrêt normal ou arrêt d'urgence) le freinage est réalisé. L'électroaimant est alimenté en triphasé, branché en parallèle sur les enroulements statoriques. L'avantage de ce procédé réside dans le fait que le freinage est toujours assuré, même en cas de coupure d'énergie. C'est la raison pour laquelle ce procédé est fortement conseillé lorsque la sécurité est prépondérante. Le frein à manque de courant fonctionne de pair avec le moteur : il est raccordé en parallèle avec le moteur au niveau même du boîtier de raccordement [15].

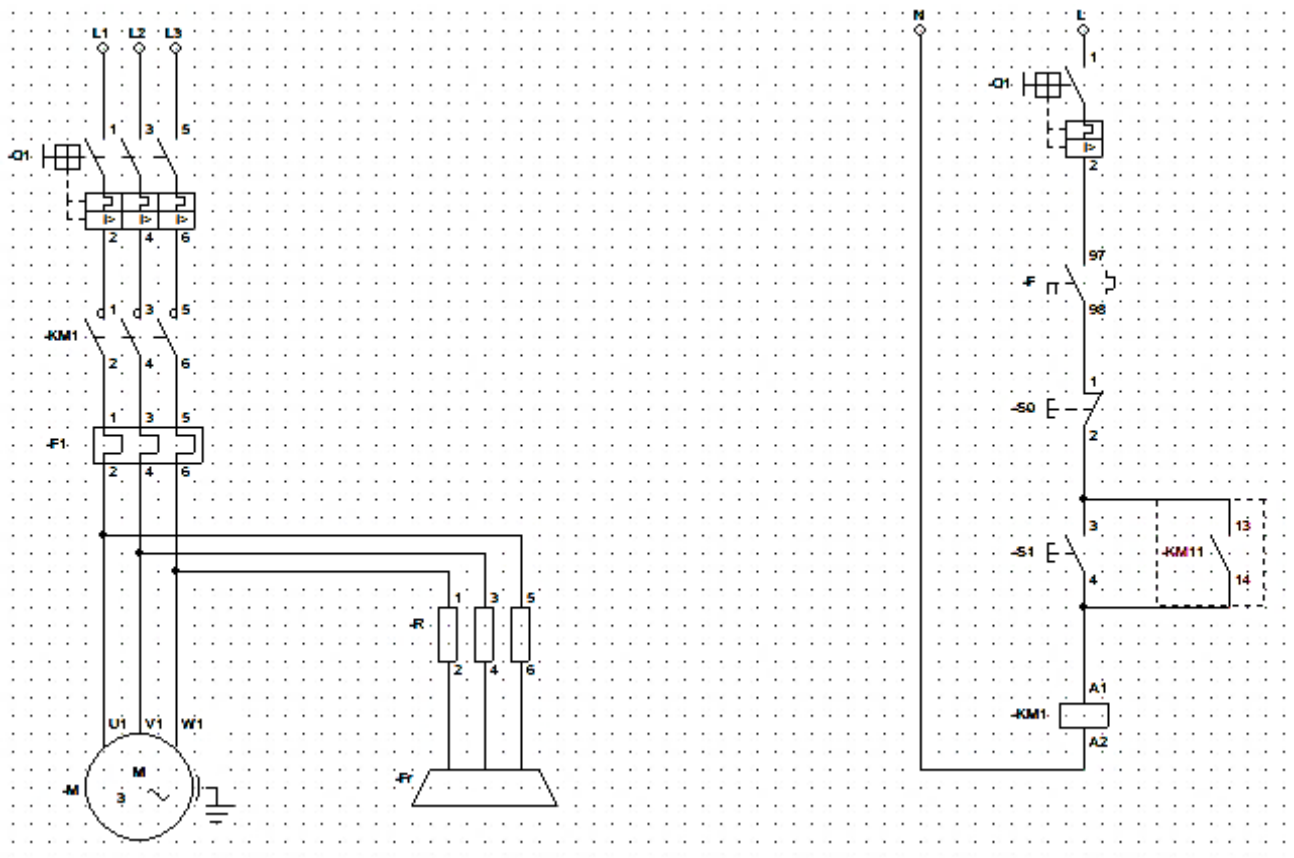


Figure. III. 10. Schéma de puissance et de commande du freinage à manque de courant d'un moteur asynchrone

#### III.5.1.2. Frein à appel de courant

Dans le cas du frein à appel de courant, c'est l'alimentation du frein qui provoque le freinage du moteur. Il nécessite une alimentation électrique indépendante de celle du moteur [15].

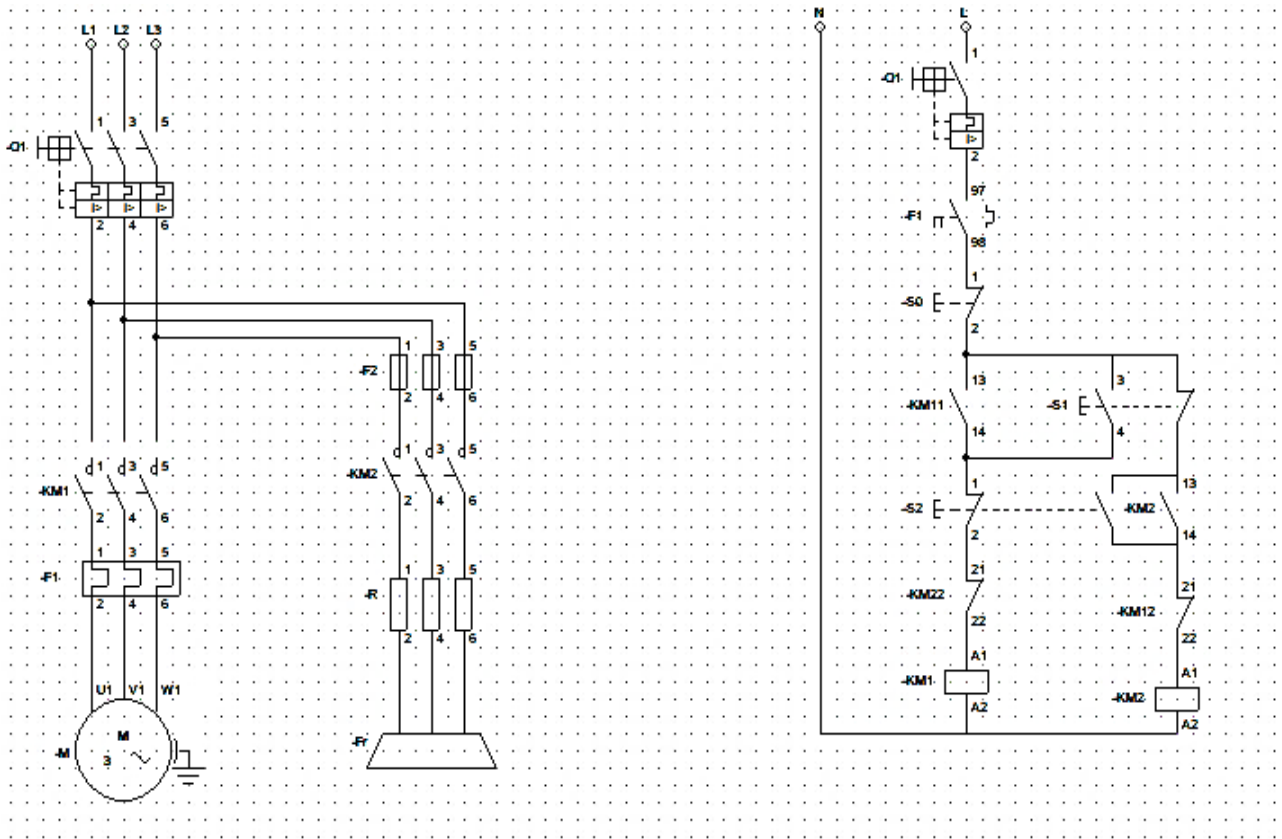


Figure. III. 11. Schéma de puissance et de commande du freinage à appel de courant d'un moteur asynchrone

### III.5.2. Freinage électrique

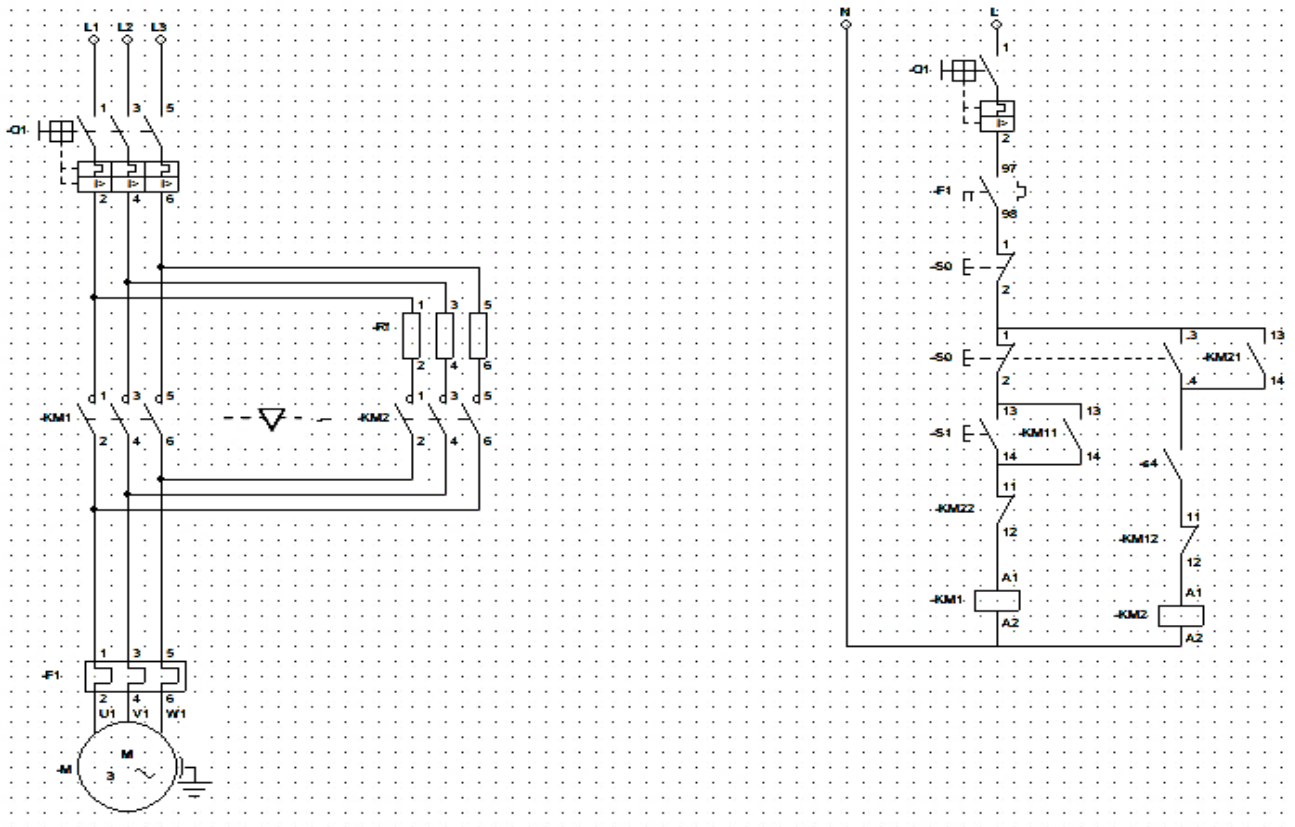
#### III.5.2.1. Freinage par contre-courant

Le freinage par contre-courant consiste à inverser deux phases d'alimentation, moteur lancé, pour qu'il change de sens de rotation. La fréquence de rotation va alors décroître rapidement et, au moment où elle devient nulle, on coupe l'alimentation. Le changement de sens de rotation, moteur lancé, implique que le moteur doit alors vaincre un couple résistant plus important. Il va donc consommer beaucoup plus de courant. Pour limiter ce dernier, on doit placer des résistances en série avec le stator. Même avec les résistances qui limitent le courant, la fermeture simultanée de KM1 et KM2 provoquerait un court-circuit, il faut donc impérativement verrouiller électriquement et mécaniquement. Il faut aussi couper l'alimentation du frein au moment précis où le moteur s'arrête sinon, il va repartir dans l'autre sens. Normalement un capteur tachymétrique va se charger de ce travail. Généralement, un dispositif électrique de coupure déconnecte le moteur du réseau au moment du passage de la vitesse à N=0. Le

couple de freinage moyen est en général, supérieur au couple de démarrage. Inconvénient, ce mode de freinage implique des courants absorbés importants (environ  $7 \times I_n$ ) [16].

**Remarques :**

- C'est un mode de freinage très efficace ;
- Ce freinage doit être interrompu dès l'arrêt du rotor sinon risque de redémarrer dans le sens inverse ;
- Il n'y a pas de blocage [16].



*Figure. III. 12. Schéma de puissance et de commande du freinage par contre-courant d'un moteur asynchrone*

**III.5.2.2. Freinage par injection du courant continu**

Ce mode de freinage est utilisé sur les moteurs à bagues et à cage. Lorsqu'on applique une tension triphasée aux bornes du stator d'un moteur asynchrone triphasé, on crée un champ tournant qui entraîne le rotor en rotation à une fréquence de rotation légèrement inférieure en raison du glissement (voir chapitre 1). Si tout en coupant l'alimentation triphasée, on applique à ce stator une tension continu, on crée alors un

champ fixe. Ce champ fixe a pour effet de bloquer la rotation du rotor donc du moteur [16].

**Remarque :**

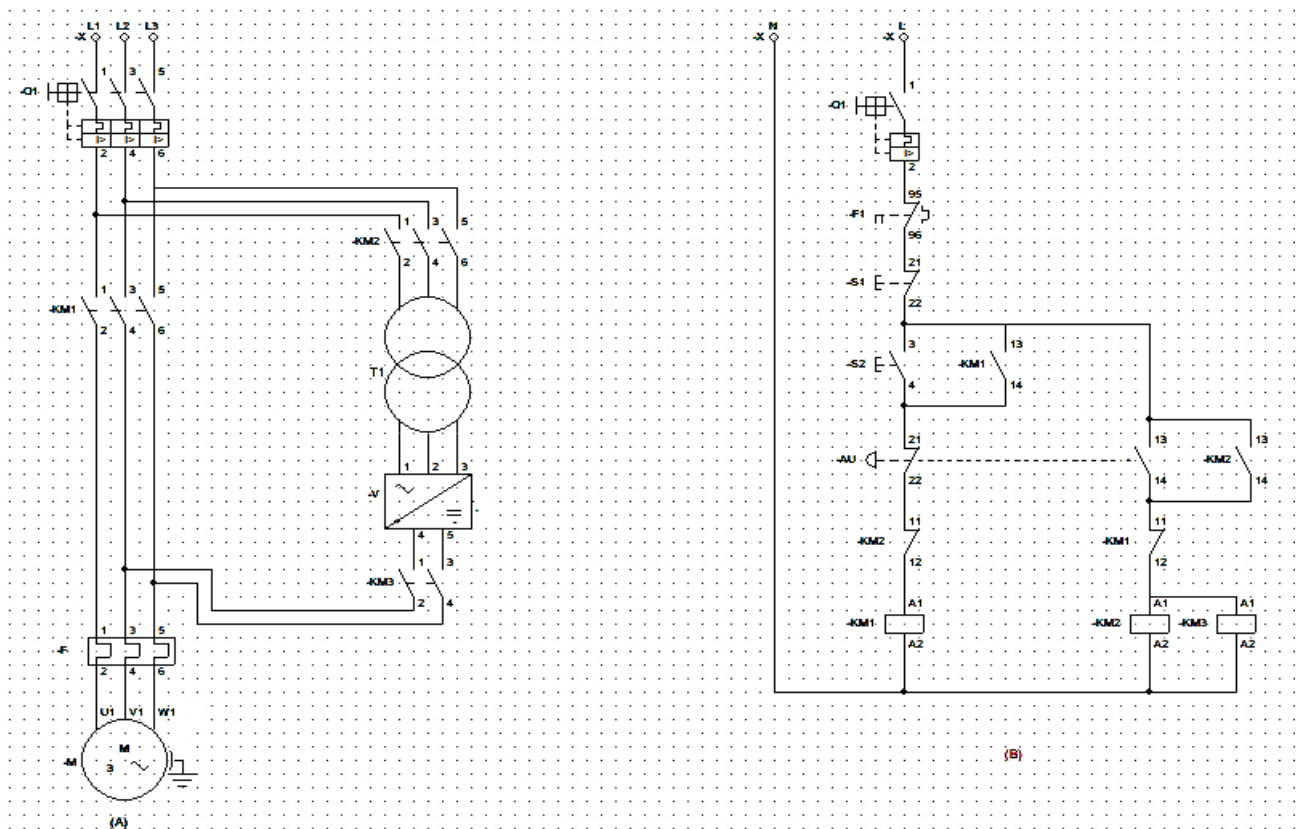
- Il n'y a toujours pas de blocage ;
- Le courant de freinage est de l'ordre  $1,3I_n$ . La valeur de la tension redressée dépasse rarement 20V pour ne pas provoquer d'échauffement excessif ;
- Les résistances rotoriques sont remises en service.

**Avantages**

- Pas de risque de démarrage dans l'autre sens.

**Inconvénient**

- Il faut couper le courant dans le stator pour éviter l'échauffement [16].



**Figure. III. 13.** Schéma de puissance et de commande du freinage par injection du courant continu

**Conclusion**

Dans ce chapitre, on a cité les différents modes de démarrage d'un moteur asynchrone triphasé et ses caractéristiques et les différents schémas de circuit de commande et de puissance pour chaque mode. On a aussi donné un aperçu sur les avantages et les inconvénients des différents modes de démarrage.

Le choix d'un mode de démarrage nécessite une bonne communication entre le fournisseur d'énergie électrique, le constructeur du moteur et de la machine entraînée.

Les caractéristiques indispensables à ce choix sont :

- La puissance du réseau d'alimentation et l'appel de courant maximal autorisé ;
- Le couple et l'intensité du moteur à pleine tension en fonction de la vitesse de rotation ;
- Le couple résistant de la machine entraînée ;
- Le moment d'inertie des masses tournantes.

## Chapitre IV

# REALISATION PRATIQUE ET PROGRAMMATION



## Introduction

En nos jour l'exploitation des moteurs électrique est devenue très important (les ascenseurs, monte-charge, les convoyeurs, ...etc.) et pour commander les démarrages de ses moteurs il nous faut un automate programmable qui fait la liaison entre l'humain (Interface IHM) et les actionneurs(moteurs) ou les pré-actionneurs (les capteurs, les distributeurs).

L'automate doit commander le système par une suite d'instructions, le programme doit être écrit dans un langage déterminé avec des règles définies, pour cela les automates de la famille SIEMENS sont programmés grâce au logiciel TIA Portal.

Dans ce chapitre nous allons présenter un banc d'essais expérimental réalise au niveau de laboratoire du schéma et appareillage de l'université de Bejaia.

### IV.1. Dimensionnement technique des appareillages électriques utilises

En fonction de la tension d'alimentation et de la puissance du moteur il faut choisir :

- Le calibre et la référence du disjoncteur ;
- La référence du contacteur ;
- La référence et la zone de réglage du relais thermique.

Plaque signalétique de notre moteur :

- La tension des enroulements statoriques (220/380) V ;
- La fréquence 50 Hz ;
- Courant nominale (4.41/2.55) A ;
- Vitesse de rotation 2850 tr/min ;
- Puissance nominale 1.1KW ;
- Facteur de puissance 0.85 ;
- La classe isolement F.

#### IV.1.1. Choix et réglage du relais thermique

- Le courant nominal du moteur (à lire sur la plaque signalétique) ;
- La plage de réglage du relais thermique ;
- La classe de déclenchement en fonction du temps de démarrage ;
- Données constructeurs (Schneider).

Zone de réglage du relais (A)	Fusibles à associer au relais choisi			Pour association avec contacteur LC1	Référence
	aM (A)	gG (A)	BS88 (A)		
<b>Classe 10 A <sup>(1)</sup> avec raccordement par bornes à ressort (montage direct sous contacteur uniquement)</b>					
0,10...0,16	0,25	2	–	D09...D38	LRD013
0,16...0,25	0,5	2	–	D09...D38	LRD023
0,25...0,40	1	2	–	D09...D38	LRD033
0,40...0,63	1	2	–	D09...D38	LRD043
0,63...1	2	4	–	D09...D38	LRD053
1...1,6	2	4	6	D09...D38	LRD063
1,6...2,5	4	6	10	D09...D38	LRD073
2,5...4	6	10	16	D09...D38	LRD083
<b>4...6</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>D09...D38</b>	<b>LRD103</b>
5,5...8	12	20	20	D09...D38	LRD123
7...10	12	20	20	D09...D38	LRD143
9...13	16	25	25	D12...D38	LRD163
12...18	20	35	32	D18...D38	LRD213
16...24	25	50	50	D25...D38	LRD223
<b>Classe 20 <sup>(1)</sup> avec raccordement par vis-étriers</b>					
0,4...0,63	1	2	-	D09...D38	LRD04L
0,63...1	2	4	-	D09...D38	LRD05L
1...1,6	2	4	6	D09...D38	LRD06L
1,6...2,5	4	6	10	D09...D38	LRD07L
2,5...4	6	10	16	D09...D38	LRD08L
<b>4...6</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>D09...D38</b>	<b>LRD10L</b>
5,5...8	12	20	20	D09...D38	LRD12L
7...10	12	20	20	D09...D38	LRD14L
9...13	16	25	25	D12...D38	LRD16L
12...18	20	35	32	D18...D38	LRD21L
17...24	25	50	50	D25...D38	LRD22L
23...32	40	63	63	D25...D38	LRD32L

*Figure. IV. 1. Tableau choix de relais thermique (catalogue Schneider)*

À partir de la (Figure. IV. 1) nous pouvons choisir deux relais thermique :

- LRD103 pour la classe 10 ;
- LRD10L pour la classe 20.

A la disponibilité du matériel au magasin du bloc 10 de l'Université de Bejaia nous avons pris le relais thermique LRD1522.

#### IV. 1. 2. Choix de contacteur

Le contacteur moteur se détermine en fonction de :

- La série de contacteurs possibles (relatif au relais thermique) ;
- La puissance du moteur ;
- Le nombre de contact auxiliaire nécessaires ;
- La tension d'alimentation de la bobine ;
- Données constructeurs (Schneider).

Contacteurs tripolaires										Courant assigné d'emploi en AC-3 jusqu'à		Référence de base à compléter par le repère de la tension <sup>(2)</sup>		Masse <sup>(2)</sup>		
Puissances normalisées des moteurs triphasés 50/60 Hz en catégorie AC-3 (θ ≤ 60 °C)										Contacts auxiliaires instantanés		Fixation <sup>(1)</sup>				
220 V	380 V	415 V	440 V	500 V	660 V	1000 V										
230 V	400 V				690 V											
kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	A									kg
<b>Raccordement par vis-étriers</b>																
2,2	4	4	4	5,5	5,5	–	9	1	1	LC1D09●●						0,320
3	5,5	5,5	5,5	7,5	7,5	–	12	1	1	LC1D12●●						0,325
4	7,5	9	9	10	10	–	18	1	1	LC1D18●●						0,330
5,5	11	11	11	15	15	–	25	1	1	LC1D25●●						0,370
7,5	15	15	15	18,5	18,5	–	32	1	1	LC1D32●●						0,375
9	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	–	38	1	1	LC1D38●●						0,380
<b>Raccordement puissance par connecteurs EverLink® à vis BTR <sup>(3)</sup> et contrôle par bornes à ressort</b>																
11	18,5	22	22	22	30	–	40	1	1	LC1D40A●●						0,850
15	22	25	30	30	33	–	50	1	1	LC1D50A●●						0,855
18,5	30	37	37	37	37	–	65	1	1	LC1D65A●●						0,860
22	37	37	37	37	37	–	80	1	1	LC1D80A●● <sup>(2)</sup>						0,860
<b>Raccordement par vis-étriers ou connecteurs</b>																
22	37	45	45	55	45	45	80	1	1	LC1D80●●						1,590
25	45	45	45	55	45	45	95	1	1	LC1D95●●						1,610
30	55	59	59	75	80	65	115	1	1	LC1D115●●						2,500
40	75	80	80	90	100	75	150	1	1	LC1D150●●						2,500
<b>Courant alternatif</b>																
Volts				24	42	48	110	115	220	230	240	380	400	415	440	500
LC1D09...D150 (bobines D115 et D150 antiparasitées d'origine, par diode d'écrêtage bidirectionnel)				B7	D7	E7	F7	FE7	M7	P7	U7	Q7	V7	N7	R7	S7
50/60 Hz																
LC1D80...D115																
50 Hz				B5	D5	E5	F5	FE5	M5	P5	U5	Q5	V5	N5	R5	S5
60 Hz				B6	–	E6	F6	–	M6	–	U6	Q6	–	–	R6	–
<b>Courant continu</b>																
Volts	12	24	36	48	60	72	110	125	220	250	440					
LC1D09...D38 (bobines antiparasitées d'origine par diode d'écrêtage bidirectionnel)																
U 0,7...1,25 Uc	JD	BD	CD	ED	ND	SD	FD	GD	MD	UD	RD					
LC1D40A...D65A (bobines antiparasitées d'origine par diode d'écrêtage bidirectionnel)																
U 0,75...1,25 Uc	JD	BD	CD	ED	ND	SD	FD	GD	MD	UD	RD					
LC1D80...D95																
U 0,85...1,1 Uc	JD	BD	CD	ED	ND	SD	FD	GD	MD	UD	RD					
U 0,75...1,2 Uc	JW	BW	CW	EW	–	SW	FW	–	MW	–	–					
LC1D115 et D150 (bobine antiparasitée d'origine)																
U 0,75...1,2 Uc	–	BD	–	ED	ND	SD	FD	GD	MD	UD	RD					

Figure. IV. 2. Tableau choix de contacteur (catalogue Schneider)

Nous avons choisi à partir (Figure. IV. 2) deux type de contacteurs triphasé :

- LC1D09(BD) pour la bobine de 24V DC (logique programmé) ;
- LC1D09(Q7) pour la bobine de 380v (logique câble).

A la disponibilité du matériel au magasin du bloc 10 de l'Université de Bejaia nous avons pris les deux contacteurs LC1E3201Q5 pour la logique programmé et LC1E2510Q5 pour la logique câble.

### IV. 1. 3. Choix de disjoncteur

Le choix de disjoncteur dépende de plusieurs critères, nous en compter sur quatre critère :

- Caractéristiques du réseau :220/380 V ;50 Hz ;
- Le nombre de pôles (tri polaire+ neutre) ;
- Caractéristiques du la charge :220/380 V ;4.41/2.51 A ;
- Type de protection : contre les surcharge et surintensité, contre les court-circuit.

A la disponibilité du matériel au magasin du bloc 10 de l'Université de Bejaia nous avons pris (sans choix) le disjoncteur NG125L.

### IV.2. Présentation de la maquette expérimentale réaliser au laboratoire

Nous disposant d'un banc d'essai sur lequel nous avons installé les composants et des appareilles qui servent à la réalisation.

Dans un premier lieu, nous retrouvons un disjoncteur magnétothermique qui permet de priver ou de mettre la maquette sous tension, aussi qui sert à la protection des appareillages électriques.

Dans un deuxième lieu nous retrouvons un ensemble de contacteur triphasé et des temporisateurs qui sont fixés grâce à des supports sur la maquette.

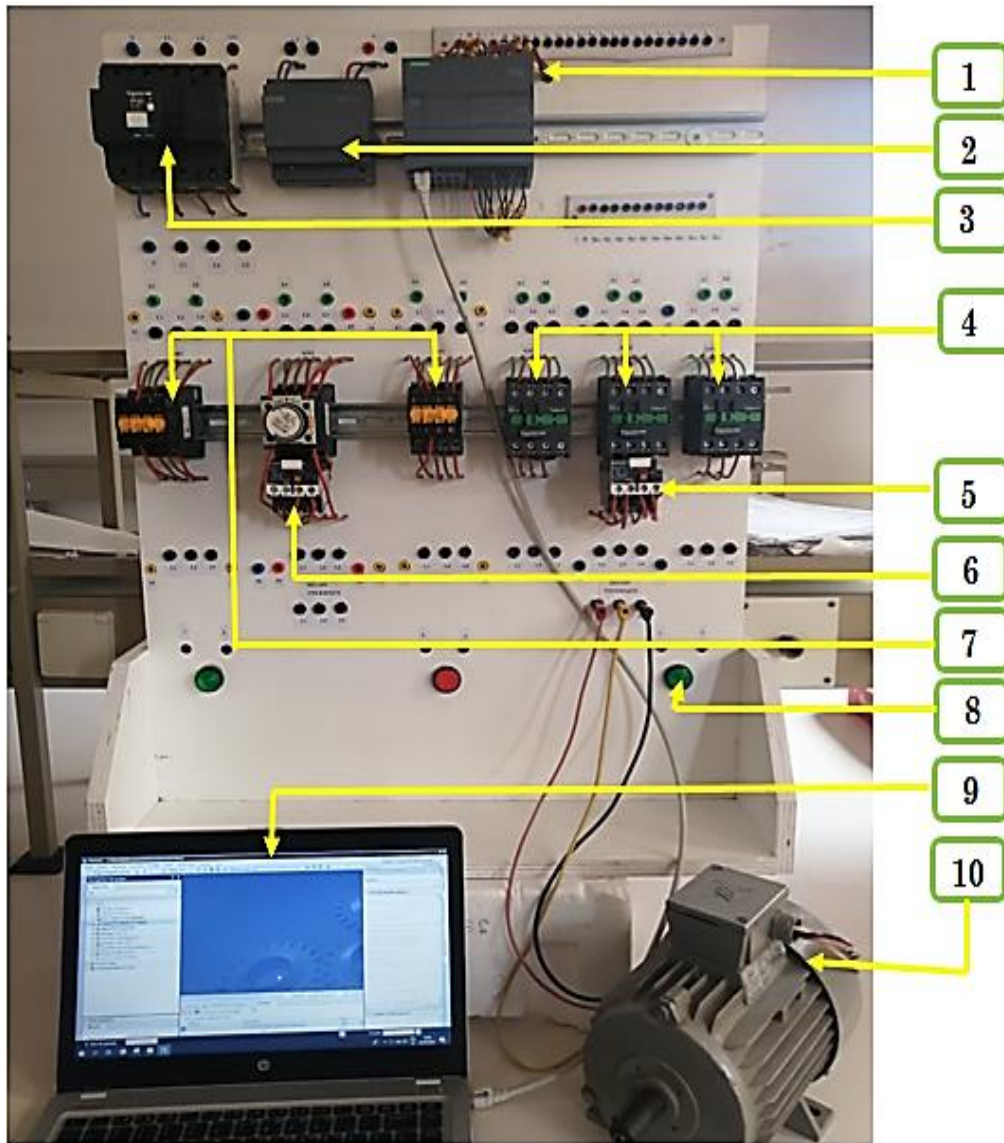
Dans un troisième lieu nous retrouvons des contacteurs auxiliaires (deux contacte fermer au repos **NC** et deux autres ouverts au repos **NO**) qui sont à leur tour fixé sur les contacteurs triphasés.

Dans un dernier lieu nous avons fixé sur cette maquette un automate programmable industriel (API) S7-1200 accompagné d'une alimentation de 24V(DC). Comme charge nous disposons d'un moteur asynchrone triphasé de (1.1KW), ce moteur est protégé par un relais thermique.

Notre projet consiste à faire une comparaison entre deux logiques de commande : l'une câblée et l'autre programmée et pour cela on a divisé la maquette en deux parties indépendantes.

### IV.2.1. Description générale de la maquette réalisée

La maquette réalisée au laboratoire est représentée par (Figure. IV. 3) elle est constituée par les éléments suivants :



*Figure. IV.3. Maquette réaliser*

(1) Automate programmable industriel (API) (2) Alimentation de tension réglable (20V à 24V) DC (3) Disjoncteur magnétothermique triphasé (4) Trois contacteurs triphasés avec des bobines de 380V (5) Relais thermique triphasé (6) Un contacteur triphasé qui port relais thermique et un temporisateur (7) Deux contacteur triphasé qui portent deux contacteur auxiliaire (8) Trois boutons poussoir (deux vert et un rouge) (9) Ordinateur équipé d'un logiciel spécifique (10) Moteur triphasé à cage d'écuruil.

### IV.2.2. Descriptif sur les appareillages électriques utilise

Le tableau suivant (**Table.IV.1**) permet décrire et de comparait l'appareillage électrique utilisé sur la maquette pour les deux logiques.

**Tableau. IV. 1.** Caractéristique technique sue les appareillages utilise

Nombre	Elément	Caractéristique	Logique câblée	Logique programmée
1	Disjoncteur magnétothermique	Nombre de pole (4P),courant In (25A),tension Ue (380/415V),type de réseau CA CC	✗	✗
3	Contacteur triphasé	Nombre de pole (3P 3NO ), courant In type de réseau AC, bobine 380V	✗	
3	Contacteur triphasé	Nombre de pole (3P 3NO ), courant In(32A) type de réseau AC, bobine 380V		✗
2	Contacteur auxiliaire	Deux contacte normalement ouvert NO et deux normalement ferme NC	✗	
2	Relais thermique	Zone de réglage de protection 17 à 25 A, type de réseau CC/CA, classe 20	✗	✗
1	Temporisateur	Repos( off delay),temps de réglage (0,1 à 30 s)	✗	
1	Automate programmable industriel (API)	S7-1200, CPU1214C, 14 entre TOR et 2 entre analogique 10 sortie		✗
1	Alimentation de tension	Tension d'entre 220V(AC ou DC),tension de sortie réglable 20 à 24V (DC)		✗
1	Moteur Asynchrone Triphasé	Cos $\varphi$ 0.85 1.1kw 2850 tr/min 220/380V 4.41/2.55A	✗	✗

### IV.2.3. Avantage de la conception de la maquette

- Grâce à ces deux parties indépendantes, cette maquette fait appel à plusieurs procédures de démarrage de moteur électrique triphasé ;
- Un raisonnement technique et économique sur la comparaison des deux logiques ;
- Montre aux utilisateurs une vue réel (conforme au norme de l'usinage) sur la disposition des appareillages électrique ;
- Offrir possibilité d'avoir plusieurs modes de démarrages de moteur électrique sur le terrain ;
- Nous donnons aux utilisateurs de la maquette la possibilité de rapprocher à la vie professionnelle ;
- En phase avec l'évolution technologique actuel (l'automatisation des armoire électrique).

### IV.2.4. Protection de la maquette

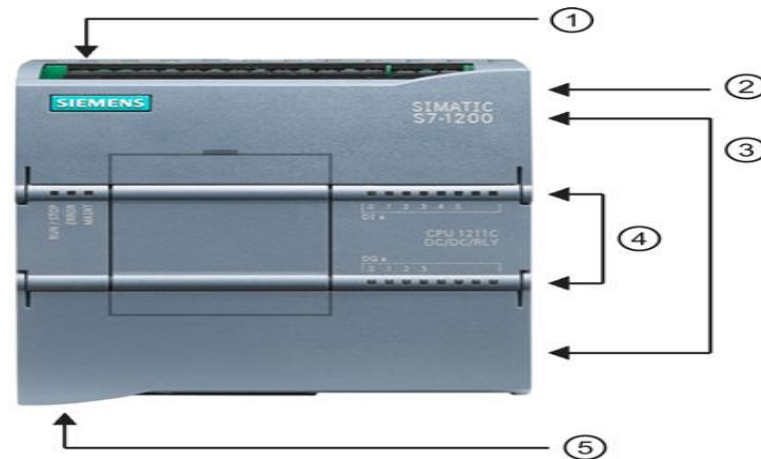
Pour assurer la protection de la maquette nous avons utilisé le disjoncteur magnétothermique qui permet de détecter et d'interrompe le courant électrique en cas de surcharge ou de court-circuit, la protection de moteur asynchrone contre les surintensités est assurée par des relais thermiques dispose à chaque fin du circuit de puissance. Ce qui concerne la protection de l'automate S7-1200, nous avons ajouté à la sortie de l'automate des relais de protection (contacte à 4 inverseurs, courant nominal 7 A courant maximal 15 A, entre 24 V DC).

### IV.3. Présentation de l'automate S7-1200

Le contrôleur S7-1200 (*Figure.IV.4.*) permet de commander une large gamme d'appareils afin de répondre à vos besoins en matière d'automatisation. Sa forme compacte, sa configuration souple et son important jeu d'instructions en font une solution idéale pour la commande d'applications très variées.

La CPU combine un microprocesseur, une alimentation intégrée, des circuits d'entrée et de sortie, un PROFINET intégré, des E/S rapides de commande de mouvement, ainsi que des entrées analogiques intégrées dans un boîtier compact en vue de créer un contrôleur puissant. Une fois que vous avez chargé votre programme, la CPU contient la logique nécessaire au contrôle et à la commande des appareils dans

vosre application. La CPU surveille les entrées et modifie les sorties conformément à la logique de votre programme utilisateur, qui peut contenir des instructions booléennes, des instructions de comptage, des instructions de temporisation, des instructions mathématiques complexes ainsi que des commandes pour communiquer avec d'autres appareils intelligents [17].



**Figure. IV.4.** API S7 1200

- ① Prise d'alimentation.
- ② Logement pour carte mémoire sous le volet supérieur.
- ③ Connecteurs amovibles pour le câblage utilisateur (derrière les volets).
- ④ DEL d'état pour les E/S Intégrées.
- ⑤ Connecteur PROFINET (sur la face inférieure de la CPU)

### IV.3.1. Caractéristique de la CPU 1214C

Le tableau suivant montre les caractéristiques de la CPU 1214C :

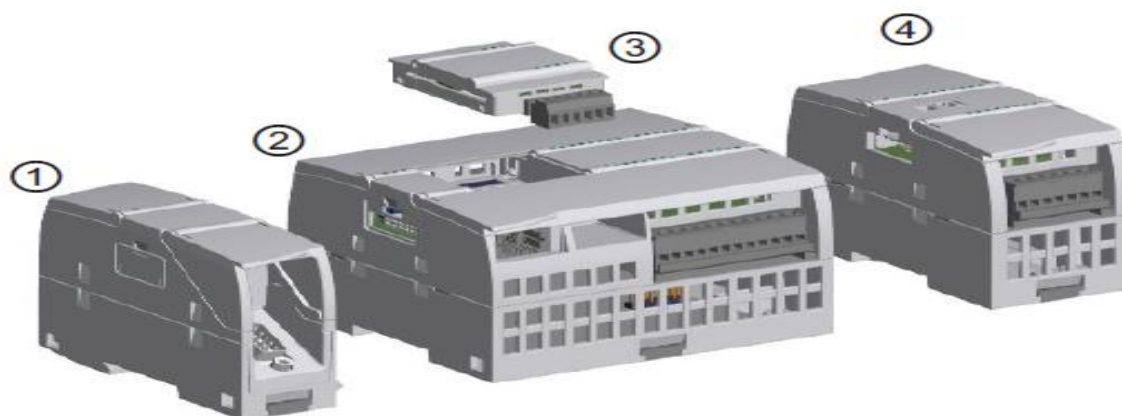


**Tableau. IV. 2.** Caractéristique de la CPU 1214C

Caractéristique		CPU 1214C
Dimensions (mm)		110 x 100 x 75
Mémoire utilisateur	de travail	50 Ko
	de chargement	2 Mo
	Rémanente	2 Ko
E/S intégrées locales	TOR	14 entrées/10 sorties
	Analogiques	2 entrées
Taille de la mémoire image	Entrées (I)	1024 octets
	Sorties (Q)	1024 octets
Modules d'entrées-sorties (SM) pour		8
Signal Board (SB) ou Communication		1
PROFINET		1 port de communication Ethernet

### IV.3.2. Possibilités d'extension de la CPU

La gamme S7-1200 offre divers modules (**Figure.IV.5.**) et cartes enfichables pour accroître les capacités de la CPU avec des E/S supplémentaires ou d'autres protocoles de communication.

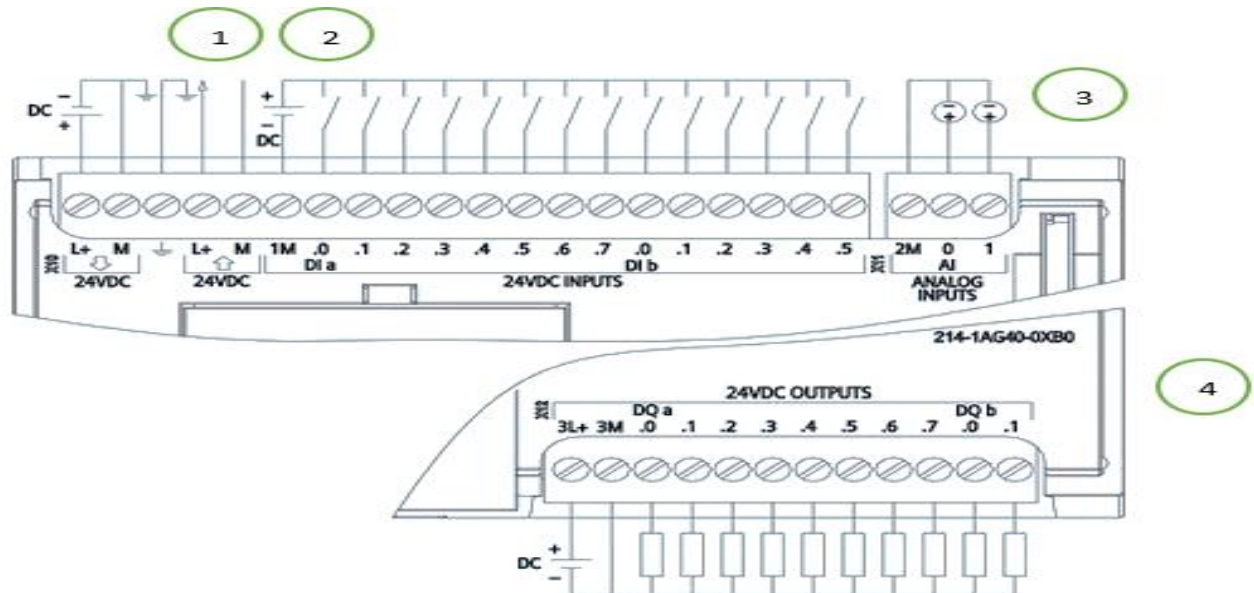


**Figure. IV.5.** Différentes possibilités d'extension de la CPU

- ① Module de communication (CM), processeur de communication (CP) ou adaptateur TS Adapter
- ② CPU
- ③ Signal Board (SB) ou Communication Board (CB)
- ④ Module d'entrées-sorties (SM)

### IV.3.3. Schéma de câblage de l'automate programmable

Le schéma de raccordement de l'automate programmable S7-1200 (CPU 1214C) présente sur la (**figure IV.6**), Les lettre L et M représente la borne de (+) et la masse respectivement



**Figure. IV.6.** Schéma de câblage de la CPU 1214C

(1) Sortie de l'alimentation (2) Les entre de type TOR (3) les entre de type analogique (4) Sortie de la CPU

## IV.4. Simulation de la partie logique programmée

### IV.4.1. Définition

Le TIA portal (Totally Integrated Automation) est un portail multi-logiciels constituent plusieurs outils nécessaires pour faciliter la programmation d'un automate, variateurs de vitesse, et interface HMI (Humain Machine Interface). Les logiciels qui peuvent être trouvés dans le TIA portal sont présentés dans l'ANNEXE 1.

Les tâches de bases qu'il offre à son utilisateur lors de la création d'une solution d'automatisation sont :

- La création et la gestion de projet ;
- La configuration et le paramétrage du matériel et de la communication ;
- La création des programmes ;
- Le chargement des programmes dans les systèmes cibles ;
- Le teste de l'installation d'automatisation ;
- Le diagnostic lors des perturbations des installations.

### IV.4.2. Présentation de l'adressage

Vous pouvez identifier les paramètres des éléments de commande dans votre programme de manière absolue ou symbolique. Une référence absolue (ou directe) utilise la zone de mémoire et l'adresse de bit ou d'octet pour identifier l'opérande. Une référence symbolique (ou indirect) utilise une combinaison de caractères alphanumérique pour identifier l'opérande. [18]

- Les bits d'entrées de l'automate sont notés :

Ii.n avec : n=0, 1, 2,..... 7 le numéro du bit,

I= entrée

Exemple : I0.0 : entrée 0 bit 0 (Interrupteur)

- Les bits de sortie de l'automate sont notés :

Q.i. avec : n=0, 1, 2,...., 7 le numéro du bit,

Q= sortie

Exemple : Q0 .0 sortie0 bit 0 (Bobine)

- Les bits internes de l'automate sont notés :

Mi.n avec : n=0, 1,2,...., 7 le numéro du bit

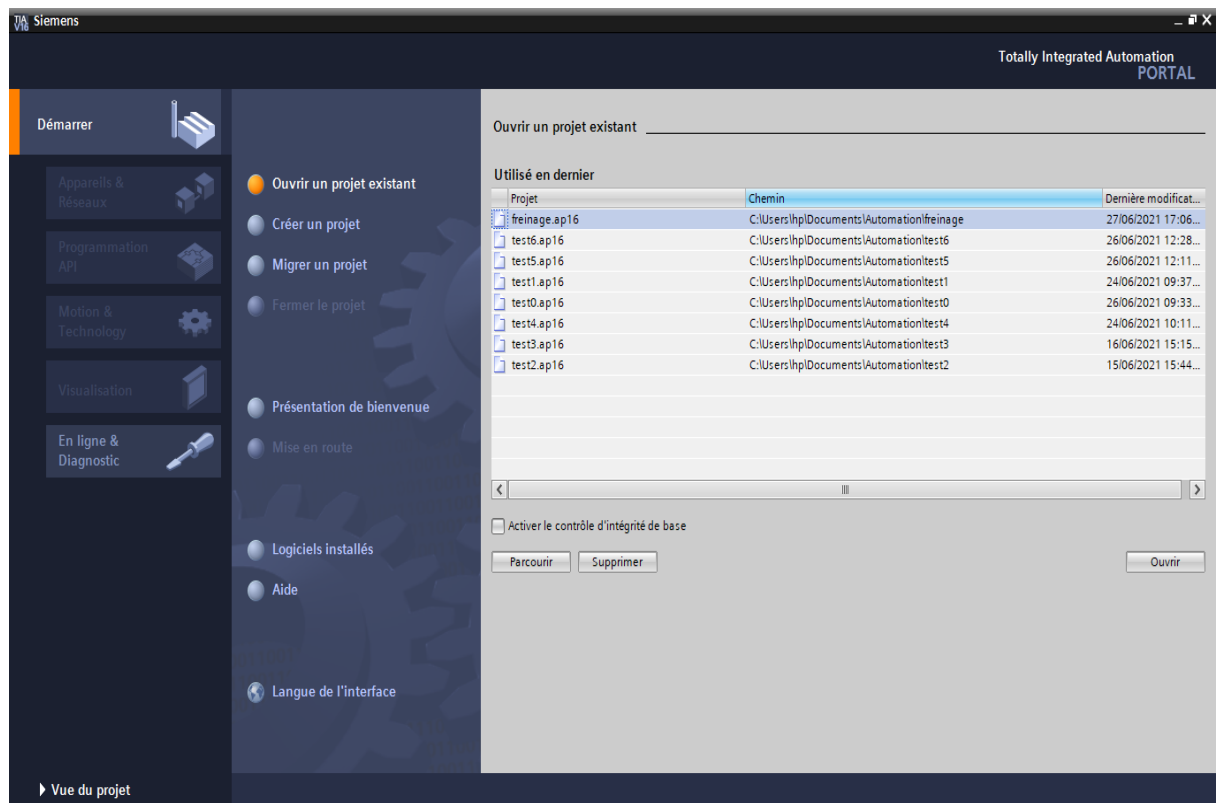
Exemple : M=Mémento=mémoire M10 : mémoire 10 (CF0)

### IV.4.3. Création d'un projet

Une fois le logiciel entièrement installé, cliquez sur l'icône pour le démarrer



Voici la page de démarrage que vous verrez :



*Figure. IV.7. Interface de démarrage TIA en vue du portail*

Dans la vue portail on trouve :



La vue de démarrage de logiciel TIA portail (Visualiser les projets déjà créés et les ouvrir, créer un nouveau projet, migrer un projet existant, se mettre en ligne avec un automate ou un pupitre KTP et avoir accès au diagnostic).



Affichage des appareils & réseaux configurés.



Programmation API (structure de programme dans l'automate).



Fonctions technologiques (Comptage, mesure et détection de position, Régulation PID, Motion Control, ...).

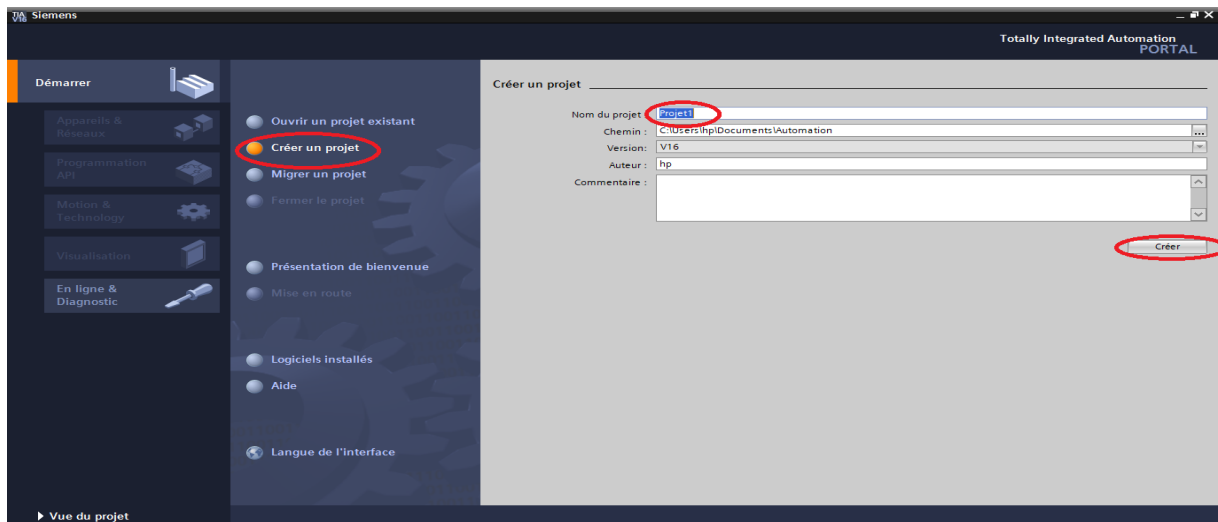


Visualisation de processus (Créer et éditer des vues, créer des archives, paramétrage des pupitres, ...).



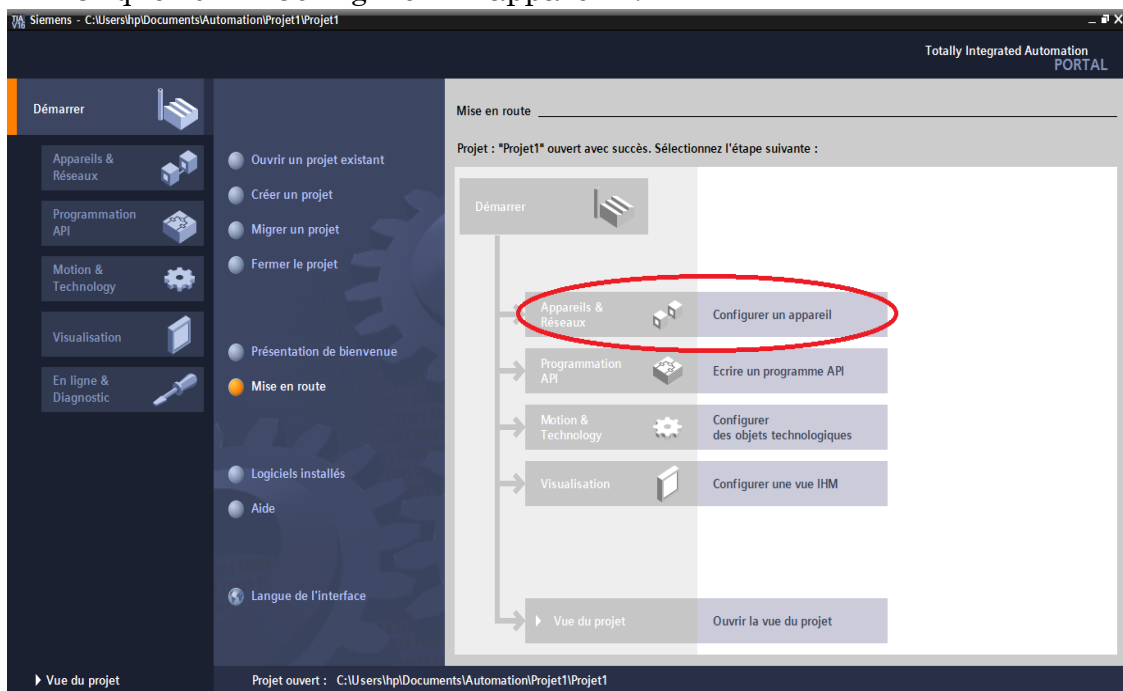
Utiliser les fonctions en ligne et les fonctions de diagnostics.

➤ Nous allons dans un premier temps créer un nouveau projet, cliquez pour cela sur l'onglet « Créer un projet » :



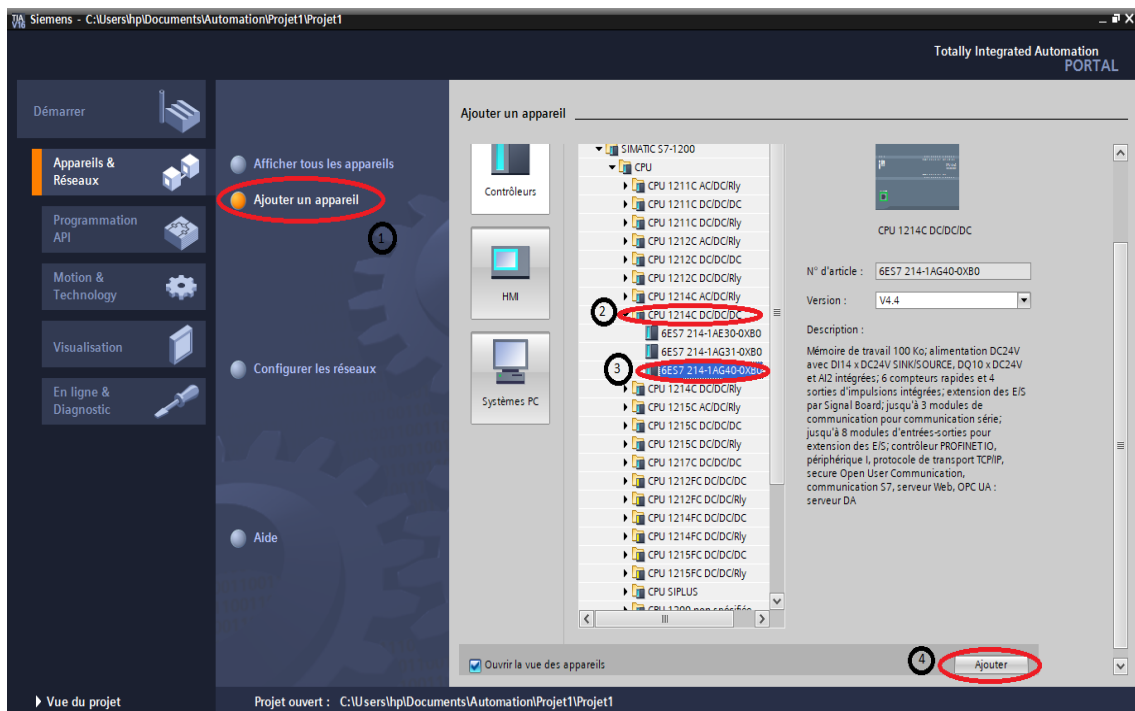
**Figure. IV.8.** Interface en vue du portail qui présente les étapes à suivre pour créer un projet

➤ Cliquez sur « Configurer un appareil ».



**Figure. IV.9.** Configuration matériel de l'automate

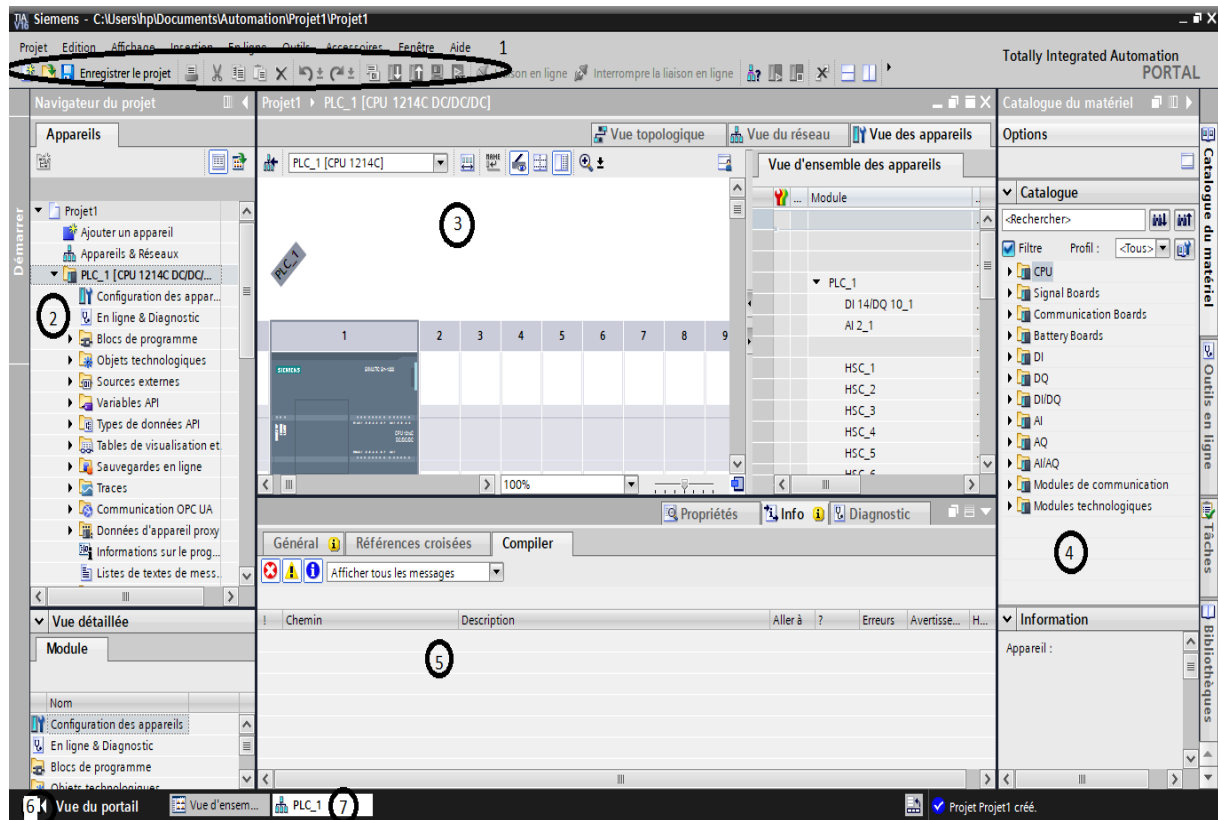
- Puis sur « Ajouter un appareil et la CPU ».



**Figure. IV.10.** Choisi un appareil et la CPU de l'automate

- Vue du projet :

La vue du projet présentée à la (Figure. IV. 11) Sert à la configuration matérielle, la programmation, la création de la visualisation et à d'autres tâches avancées. La barre de menu avec les barres de fonction est située par défaut en haut de la fenêtre, le navigateur du projet et tous les éléments du projet sont sur la gauche, et les instructions et les bibliothèques sur la droite. [19]



*Figure. IV.11. Interface de démarrage TIA Portal en vue du projet*

- ① Menus et barre d'outils.
- ② Navigateur du projet.
- ③ Zone de travail.
- ④ Task Cards.
- ⑤ Fenêtre d'inspection.
- ⑥ Bascule dans la vue du portail.
- ⑦ Barre d'édition.

- Les deux parties de TIA portal utilisées par notre projet sont le « STEP 7 Professional » et le « WINCC Advanced » en version V16.0.

#### IV.4.4. Le STEP 7 professionnel

##### IV.4.4.1. Introduction

Logiciel STEP7 Professional fédère toutes les fonctions requises pour concevoir, configurer, programmer, tester, mettre en service et maintenir les systèmes d'automatisation SIMATIC. STEP7 Professional apporte une productivité de l'ingénierie sans précédent. Il concrétise tous les atouts du concept "Totally Integrated Automation".

#### IV.4.4.2 Etapes de réalisation du programme

Voici les points qui résument le déroulement réel de la réalisation du programme, que nous avons pu travailler sur :

1. La liste des entrées/sorties ;
2. La conception de l'architecture de contrôle ;
3. La création de la table des variables ;
4. La création et la programmation des blocs OB et DB ;
5. L'ajout de nouveau type de données ;
6. Le traitement du programme de tous les actionneurs ;
7. Les blocs de traitement (moteur, voyant, bouton poussoir) sont appelés par d'autres blocs afin de créer les programmes principaux. [19]

#### IV.4.4.3 Création de la table des variables (partie software) :

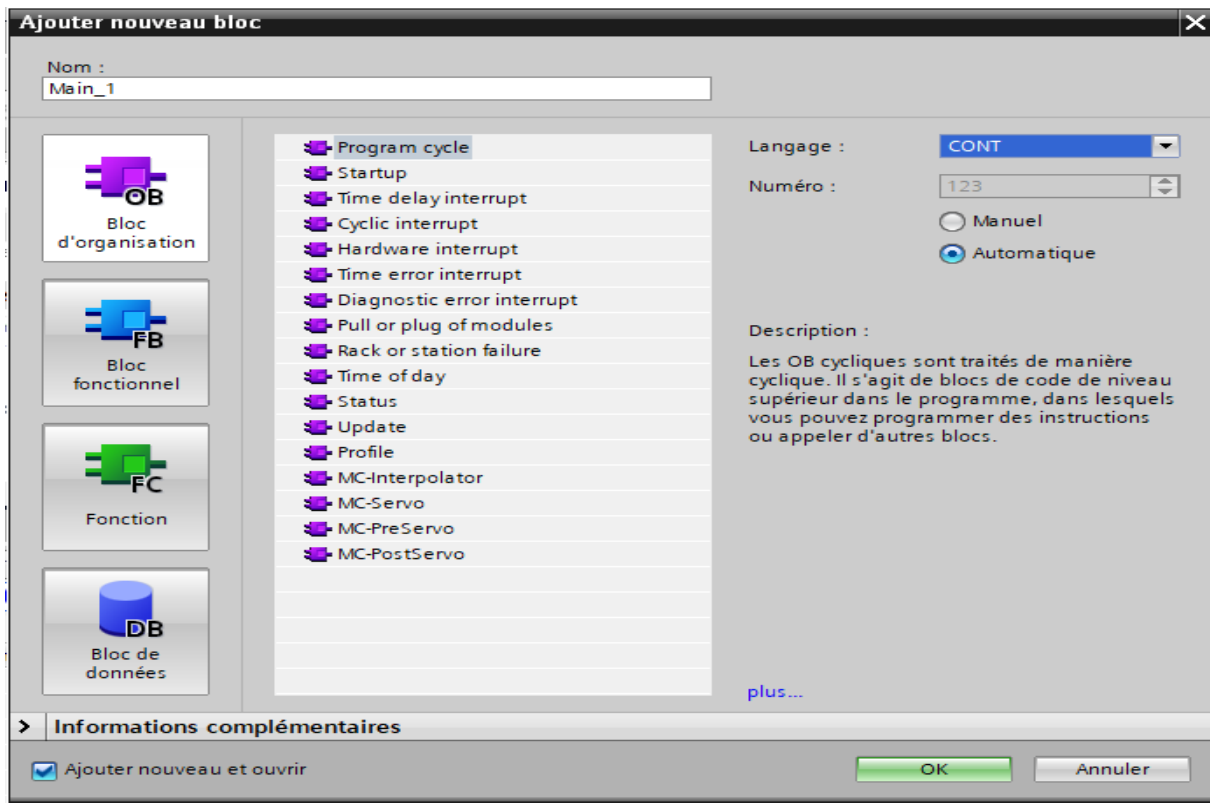
Dans tout le programme, il faut définir la liste des variables qui vont être utilisées lors de la programmation. Pour cela la table des variables est créée. L'utilisation des noms appropriés rend le programme plus compréhensible et surtout plus facile à manipuler.

L'utilisation doit définir les entrées (les mise en marches et en arrêt des boutons poussoir, position disjoncteur est des relais thermiques...etc.) et aussi les sorties (mise en marche ou en arrêt des moteurs, allumage des voyants de signalisation ...etc.) [19].

#### IV.4.4.4 Les blocs de programme :

Le dossier bloc, contient les blocs que l'on doit charger dans la CPU pour réaliser la tâche d'automatisation. Il englobe les blocs de code (OB, FB, FC) qui contiennent les programmes, les blocs de données DB d'instance et DB globaux qui contiennent les paramètres du programme [19].





*Figure. IV.12. Fenêtre d'ajout de nouveau bloc*

➤ **Les blocs fonctionnels (FB) :**

Ce sont des blocs programmés par l'utilisateur lui-même, et exécuté par les blocs de code. Un bloc de données d'instance lui est associé (qui constitue sa mémoire), où les variables et les paramètres sont stockés. [19]

➤ **Les blocs de fonctions (FC) :**

Le bloc de fonction FC contient des routines pour les fonctions fréquemment utilisées. Ce sont des blocs de code sans mémoire, ils sauvegardent leurs variables temporaires dans la pile de données locales. Les valeurs de ces variables sont perdues après l'exécution et l'achèvement de la fonction. Cependant elle peut faire appel à des blocs de données globaux pour la sauvegarde de ces données. [19]

➤ **Les blocs de données (DB) :**

Ces blocs de données servent uniquement à stocker des informations et des données. Les données utilisateur stockés sera utilisées par la suite par d'autres blocs. [19]

➤ **Les blocs d'organisation OB :**

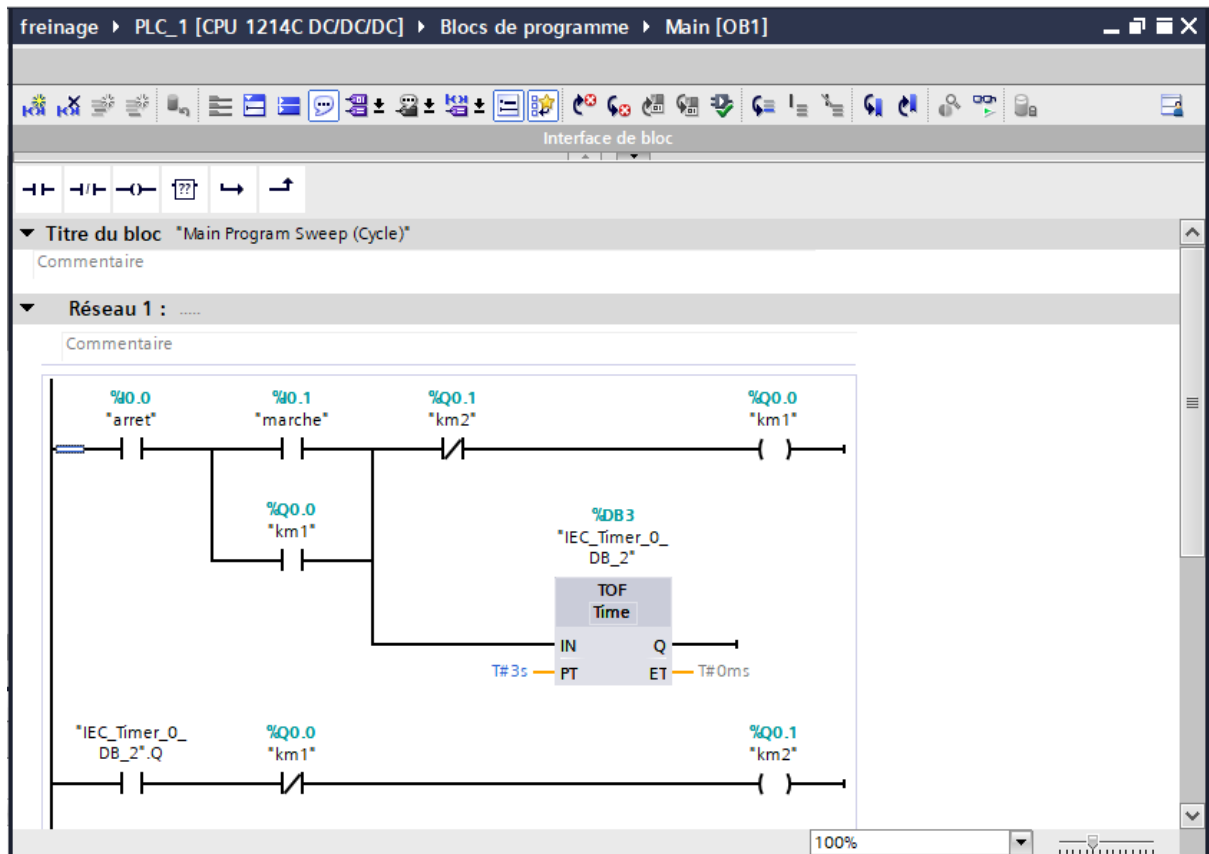
Sont appelés par le système d'exploitation. On distingue plusieurs types :

- Ceux qui gèrent le traitement de programmes cycliques.

- Ceux qui sont déclenchés par un événement.

Ceux qui gèrent le comportement à la mise en route de l'automate programmable ainsi que les blocs qui traitent les erreurs

Le bloc OB1 est généré automatiquement lors de la création d'un projet. C'est le programme cyclique appelé par le système d'exploitation. [19]



*Figure. IV.13. Fenêtre de OB1*

## IV.4.5. WinCC Advanced

### IV.4.5.1. Introduction

WinCC est un logiciel d'ingénierie pour la configuration de pupitres SIMATIC, de PC industriels SIMATIC et de PC standard par le logiciel de visualisation WinCC Runtime Advanced ou par le système SCADA WinCC Runtime Professional. Il est disponible en quatre éditions, selon les systèmes de conduite à configurer :

- WinCC Basic pour la configuration des pupitres de base ;
- WinCC Comfort pour la configuration de tous les pupitres (Comfort Panels, Mobile Panels) ;

- WinCC Advanced pour la configuration de tous les pupitres et des PC par le logiciel de visualisation WinCC Runtime Advanced, qu'il utilisé dans notre projet ;
- WinCC Professional pour la configuration de pupitres et de PC avec WinCC Runtime Advanced ou avec le système SCADA WinCC Runtime Professional [20].

#### IV.4.5.2. Création de visualisations par WinCC Advanced

Dans la vue portail de TIA portal, après le choix de l'automate d'interfaçage, nous avons choisi l'application « Runtime WinCC RT Advanced » dans le groupe « systèmes PC », comme la (figure. IV.14) Montre :

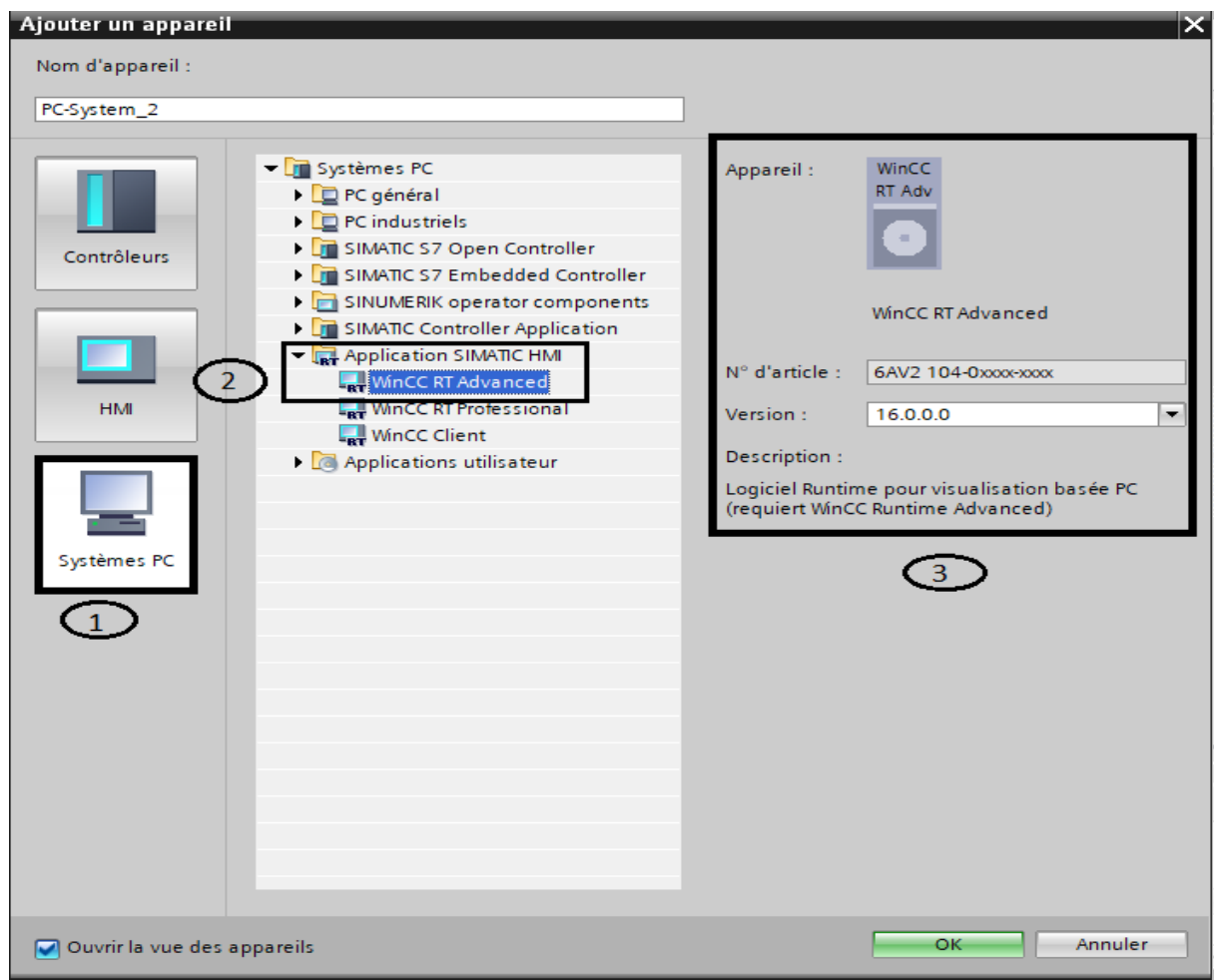
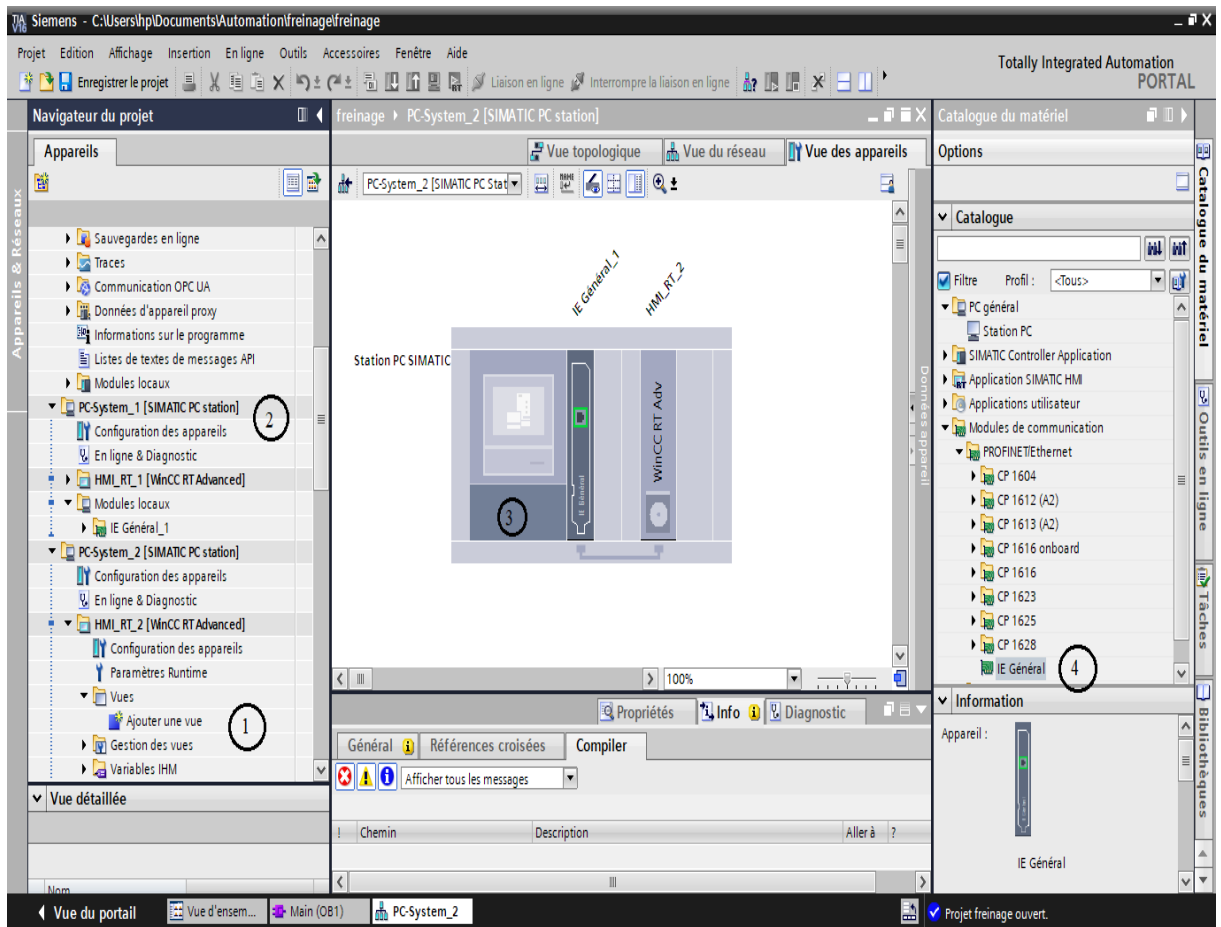


Figure. IV.14. Choix de l'application WinCC RT Advanced

Après validation, l'ouverture de l'interface de configuration matériels et programmation de visualisations comme suite :



- ① Gestion des vues.
- ② et ③ Station SIMATIC PC.
- ④ Configuration de carte réseau PROFINET.

### IV.5. Programmation

#### IV.5.1. Démarrage direct d'un moteur asynchrone triphasé à un seul sens de rotation

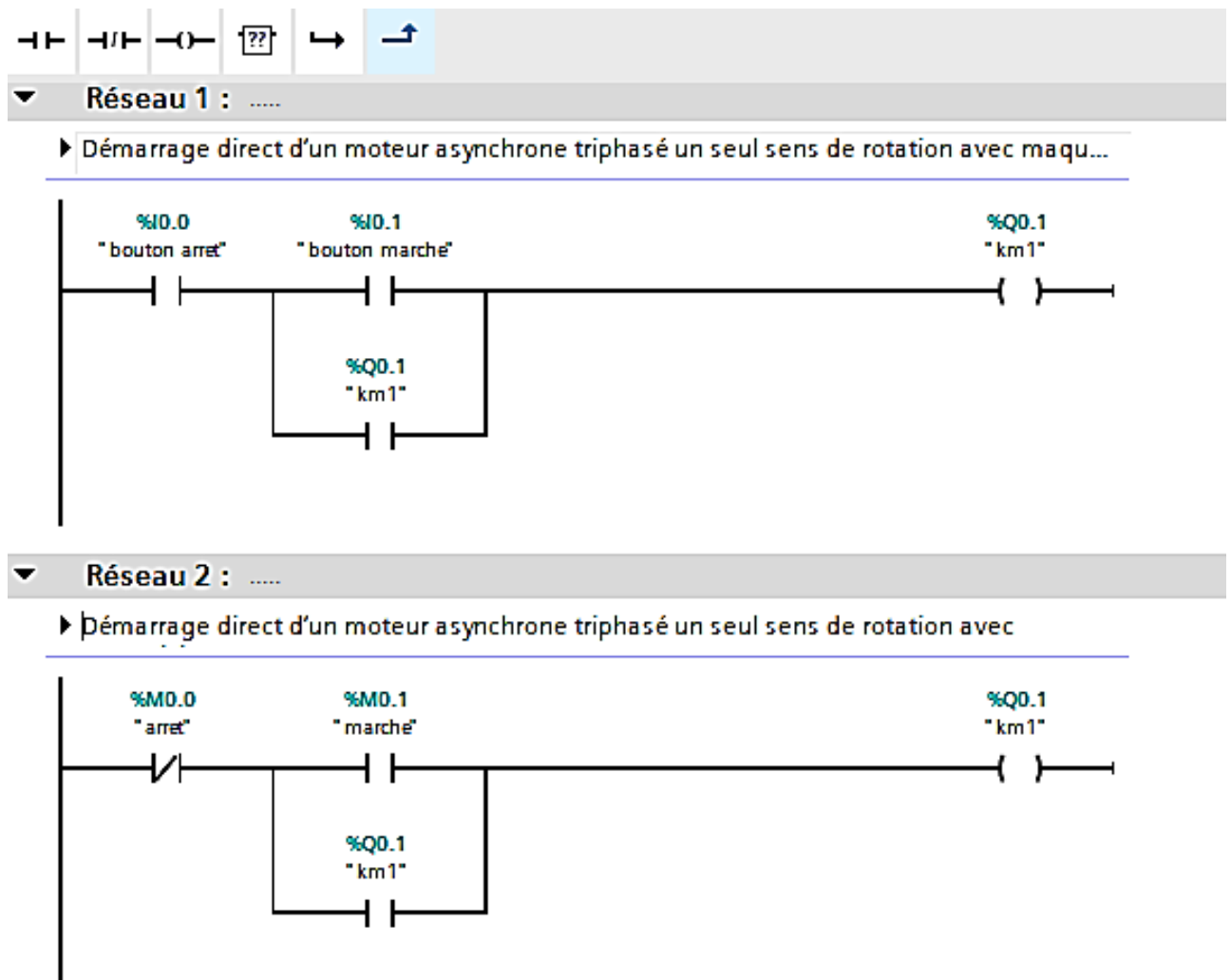
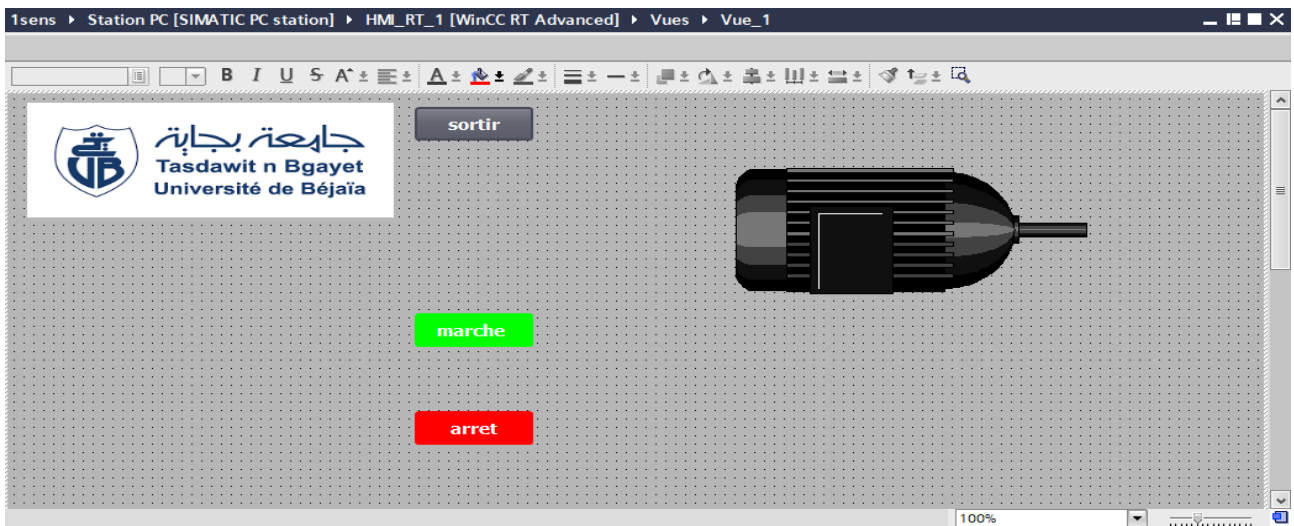


Figure. IV.15. Programmation en langage a CONTACT (LADDER) un seul sens de rotation

Variables API									
	Nom	Table des variables	Type de données	Adresse	Réma...	Acces...	Écritu...	Visi...	
1	bouton arrêt	Table de variabl...	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	bouton marche	Table de variables s..	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	marche	Table de variables s..	Bool	%M0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	arrêt	Table de variables s..	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	km1	Table de variables s..	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	<Ajouter>				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Figure. IV.16. Table de variable pour un seul sens de rotation



*Figure. IV.17. Vue simatic pc (WINCC RT advanced) pour un seul sens de rotation*

### IV.5.2. Démarrage direct d'un moteur asynchrone triphasé à deux sens de rotation

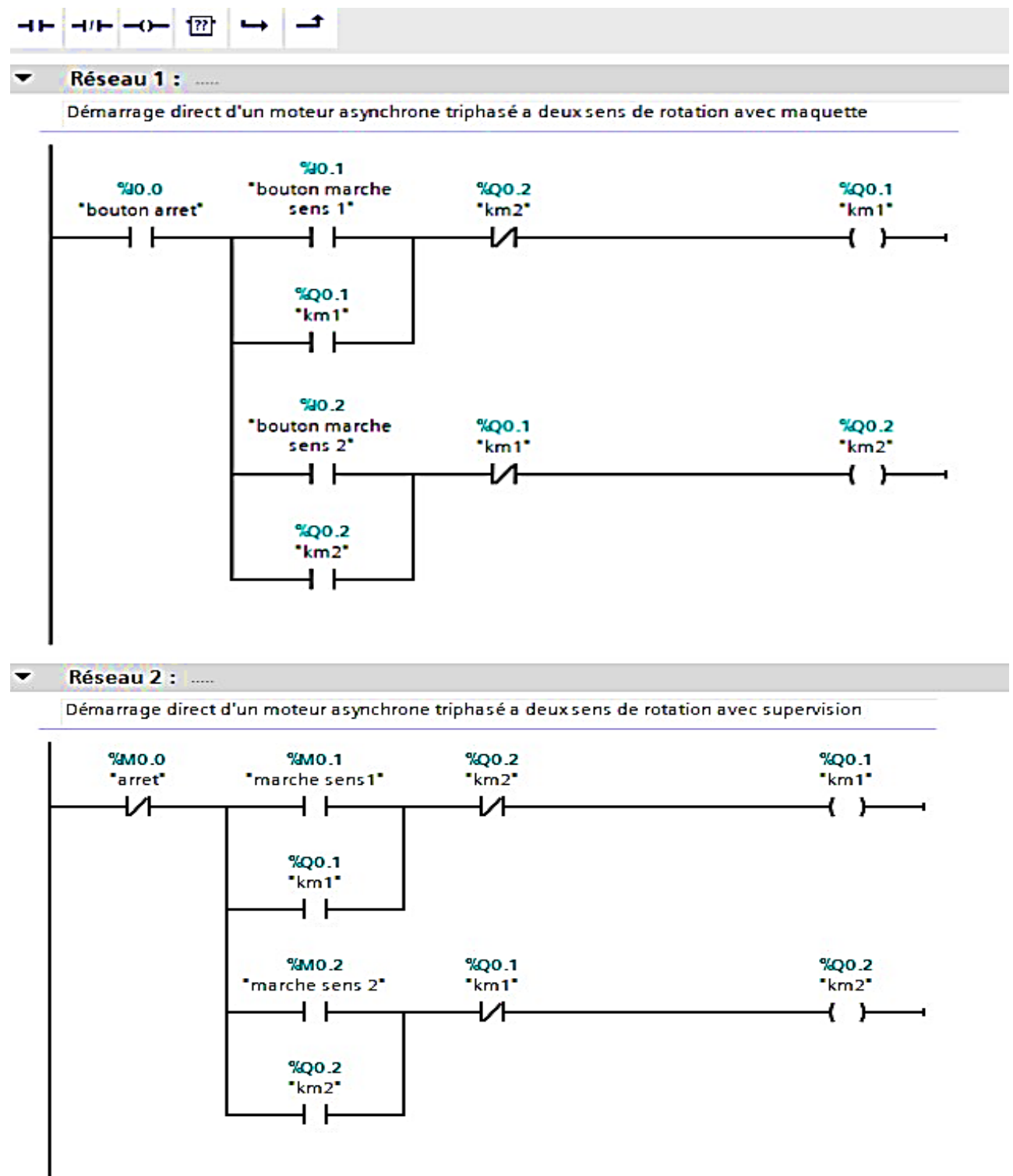


Figure. IV.18. Programmation en langage a CONTACT (LADDER) deux sens de rotation

Variables API								
	Nom	Table des variables	Type de données	Adresse	Réma...	Acces...	Écritu...	Visi...
1	bouton arret	Table de variables s..	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	bouton marche sens 1	Table de variables s..	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	bouton marche sens 2	Table de variables s..	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	km1	Table de variables s..	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	km2	Table de variables s..	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	arret	Table de variables s..	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	marche sens 1	Table de variables s..	Bool	%M0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	marche sens 2	Table de variabl...	Bool	%M0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	<Ajouter>				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figure. IV.19. Table de variable pour deux sens de rotation

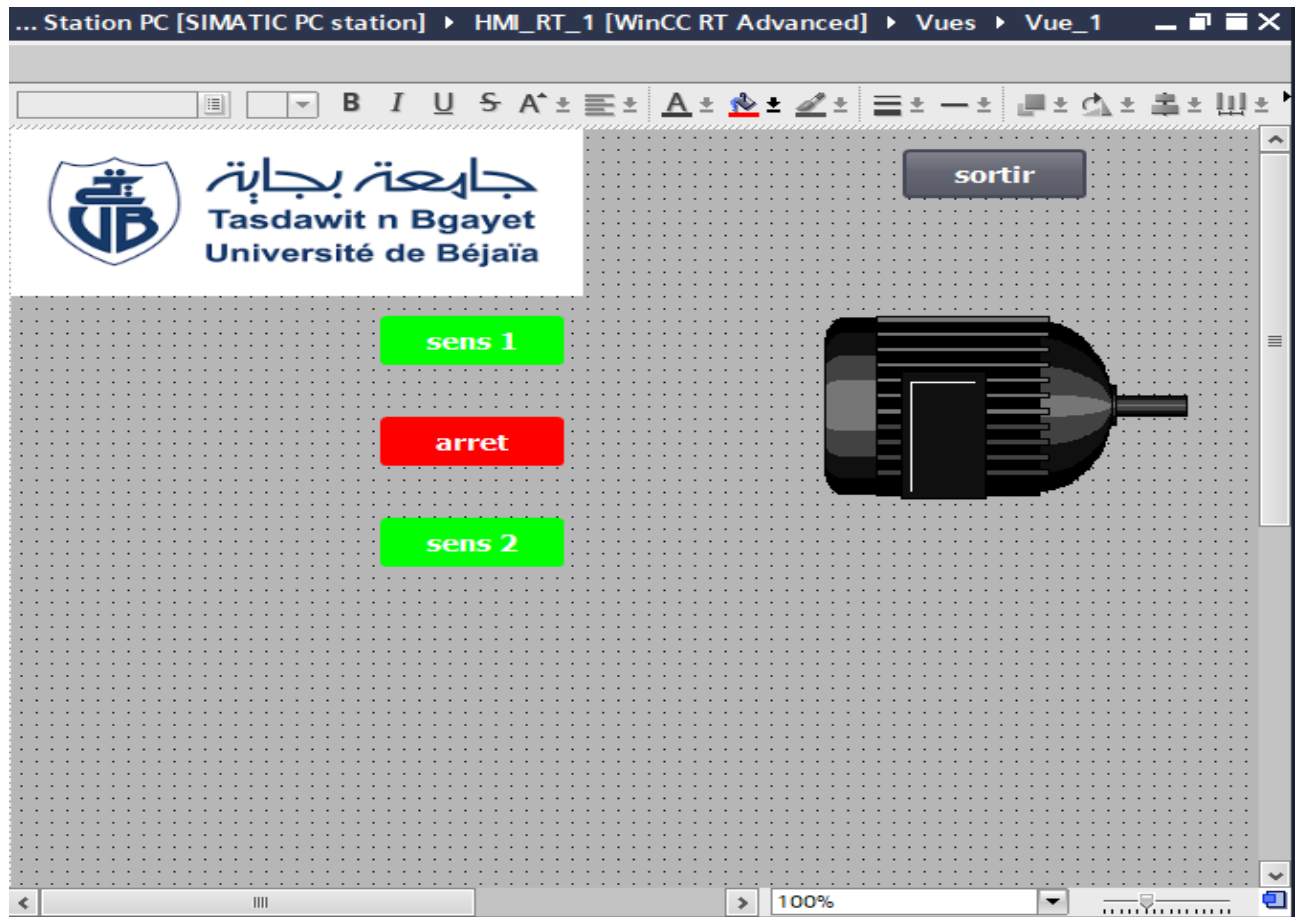


Figure. IV.20. Vue simatic pc (WINCC RT advanced) pour deux sens de rotation



**Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons fait la présentation des automates programmables industriel en général et celui de SIEMENS S7-1200 en particulière, en plus de sa nous avons parlée en détail sur le logiciel TIA Portal V16 et la programmation d'automate SIEMENS S7-1200.

Nous avons dimensionné notre installation et fait une programmation et supervision sur le logiciel TIA Portal V16 pour les deux démarrages :

- Démarrage direct d'un moteur asynchrone triphasé a un seul sens de rotation ;
- Démarrage direct d'un moteur asynchrone triphasé a deux sens de rotation.

# Conclusion Générale

## **Conclusion générale**

Ce travail est consacré à la réalisation d'une maquette permettant le passage de la logique câblée vers la logique programmée avec l'utilisation de l'automate programmable industriel siemens (SIMATIC S7-1200) disponible au niveau de notre laboratoire du schéma et appareillage de l'université de Bejaia. Cette maquette est dédiée aux démarrages des moteurs asynchrones triphasé a deux sens de marche

Avant de passer à la partie réalisation et programmation, nous avons :

- Décrit en général les systèmes automatisés ;
- Cité les appareillages électriques destinés à la machine asynchrone triphasé ;
- Parlé des différents modes de démarrage de la machine asynchrone ;
- Dimensionné notre installation et réaliser une maquette ;
- Programmé et faire une supervision avec le logiciel TIA PORTAL pour l'automates de la gamme S7-1200.

Ce travail réalisé peut faire l'objet de futurs travaux pour améliorer la maquette réaliser.

On peut citer :

- Etendre la maquette par la prise en charge de freinage.

## Références Bibliographiques

- [1] Benyoub, Y., Benmokhtar, S., & Melahi, A. (2012). *Commande et Contrôle d'un Compresseur d'Air Par Un Automate Programmable* (Doctoral dissertation, Université abderrahmane mira béjaia).
- [2] Kaddour, A. Instrumentation industriel.
- [3] Lyes, M., & Rabah, D. (2017). *Automatisation et supervision d'une chaîne auto-bras et presse hydraulique* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [4] [https://media.automation24.com/manual/fr/61777246\\_s71200\\_System\\_Manual\\_fr-FR\\_fr-FR.pdf](https://media.automation24.com/manual/fr/61777246_s71200_System_Manual_fr-FR_fr-FR.pdf)
- [5] Amar, L., & Madjid, A. (2012). *Identification des paramètres électriques de la machine asynchrone à cage d'écurueil* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [6] Djedjai Djedid & Hammi Hicham A (2016). *Etude et modélisation du moteur asynchrone à double cage* (Mémoire MASTER ACADEMIQUE, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA).
- [7] Tamrabet, H. (2006). *Robustesse d'un contrôle vectoriel de structure minimale d'une machine asynchrone* (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).
- [8] LAIFAOU Abdelkrim A (2021). *Schémas et Appareillages Électriques* (Polycopie de Cours, Université A. MIRA-BEJAIA).
- [9] [http://disjoncteur.over-blog.com/pages/Tout\\_sur\\_les\\_disjoncteurs-4115686.html](http://disjoncteur.over-blog.com/pages/Tout_sur_les_disjoncteurs-4115686.html)
- [10] <http://for-ge.blogspot.com/2015/08/sectionneur.html>
- [11] <https://illustrationprize.com/fr/572-types-of-relays.html>
- [12] <https://electrotoile.eu/bloc-temporisation-travail-on-delay-et-repos-off-relay.php>
- [13] Rachid, B., Boussad, A., & Aziz, C. (2012). *Etude de la protection électrique des moteurs asynchrones triphasés* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [14] Foin Fabrice, (mardi 15 juillet 2003). *Les différents types de démarrage des moteurs asynchrones* (cours. GEEA.ORG).
- [15] Said, R. M., & Abderrahmane, H. (2013). *Dimensionnement en vue de l'amélioration des performances du moteur asynchrone triphasé à cage d'écurueil EI de type 3kW-1410 tr/mn* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [16] Hammia, B., Hacini, A., & Mekideche, M. R. E. (2020). *Etude comparative de différentes méthodes de freinage des moteurs asynchrones* (Doctoral dissertation, Université de Jijel).
- [17] N. Sghaier, M. Mbarek, << chapitre 4 Les procédés de Freinage >>, <https://studylibr.com>
- [18] Bensizerara, S. *Commande d'un système pneumatique didactique par automate programmable SIMATIC S7-1200*.
- [19] Kerrouche, F., Abid, I., & Touloum, N. (2017). *Dimensionnement, Automatisation et Supervision des auxiliaires de deux Groupes Turbo-alternateurs au sein de l'entreprise CEVITAL* (Doctoral dissertation, Université A/Mira de Bejaia).
- [20] BACHIR, Z., & BEDDAR, A. (2020). *Conception et réalisation d'une interface Homme-Machine pour l'observation du processus de refonte d'Aluminium à ALGAL-Plus à base de l'automate (ET200S) et du logiciel TIA portal* (Doctoral dissertation, Univ M'sila).

## ANNEXE - 1 : Logiciels présentés dans le portail TIA portal.

N°	Désignation du logiciel	fonctions
01	STEP 7 pro ou basic	Programmation et configuration matériels des automates siemens.
02	Wincc advanced	Programmation des interfaces IHM
03	Wincc professiona	Programmation des interfaces IHM pro
04	Wincc confort	Programmation des interfaces IHM
05	SINAMICS startdrive	Programmation des variateurs de vitesse
06	SIMATIC Energy suite	Géré l'énergie des équipements siemens.
07	SIMATIC STEP7 Safety	Programmer les blocs de sécurité sur STEP7
08	SIMATIC Prosave	Sauvegarde de package des IHM.
09	SIMATIC OPC-XML Gateway	Communication automate à un serveur OPC.
10	SIMATIC PLCSIM	Simulateur d'automate siemens.