



Département : Electrotechnique

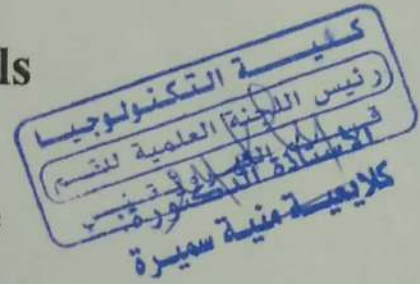
Polycopié pédagogique

Titre

Automatismes industriels

Cours destiné aux étudiants de

Licence (spécialité et niveau) : **Troisième année**



Par : Dr MEGHNI Billel



Année : 2022-2023



Annaba, le 22 / 05 / 2023

Ref : 244 / V.D.P.G.R.S.R.E

ATTESTATION

Vu le procès-verbal du conseil scientifique du département d'électrotechnique du 15 janvier 2023 portant désignation des experts pour l'évaluation du support de cours de **Dr. MEGHNI Billel**,

- **Titre du support :** « Automatismes Industriels » dispensé aux étudiants de 3^{ème} année Licence électrotechnique
 - *Expert externe :* Pr. HACHANA Oussama (Université de Ouargla)
 - *Expert interne :* Pr. ARBAOUI Fayçal (Université Annaba).

Vu l'extrait du CSD du 10 mai 2023 après expertise, le polycopie est validé comme support de cours

Cette attestation est établie pour servir et valoir ce que de droit

Vice-Doyen Chargé de la Post-Graduation de la Recherche Scientifique et des Relations Extérieures

نائب عميد الكلية المكلف بما بعد التدرج والبحث العلمي والعلاقات الخارجية
كلية التكنولوجيا
الدكتور هشام بوراه

Avant-propos

Ce manuscrit est dédié aux étudiants de 3^{ème} année Licence (LMD), option Génie électrique. Il s'adresse plus particulièrement aux étudiants en sciences de l'ingénierie.

Le but principal de ce cours est de permettre aux étudiants d'acquérir les connaissances relatives aux divers types de représentation graphiques des systèmes automatisés et effectuer la programmation et la configuration des automates programmables. Ce document permet de rendre l'étudiant apte à installer et entretenir des éléments d'automatismes industriels.

Ce module donne un aperçu général des systèmes d'automatisation et du rôle de l'automatisation dans l'industrie. Il couvre également les principes de base de l'automatisation flexible et des systèmes de fabrication flexibles. Les avantages de l'automatisation sont soulignés et les principaux composants associés aux systèmes d'automatisation sont explorés. La sécurité de l'automatisation est également abordée en détail. Une introduction à la simulation d'automatisation est présentée en mettant l'accent sur l'application pratique.

Ce manuscrit est décrit en cinq chapitres enchaînés. Dans le premier, on se base sur les définitions et l'historique des termes les plus courants en automatisation industrielle et le rôle de ce dernier dans l'industrie manufacturière. La technologie des principaux constituants des systèmes automatisés de production est également présentée.

Dans le second chapitre, on aborde principalement à la modélisation des systèmes à événements discrets avec un comportement séquentiel. Certains formalismes sont utilisés dans ce contexte, tels que : Les réseaux de Petri, les Statecharts, les automates finis, le Grafset et d'autres. Parmi ceux-ci, le Grafset semble être un bon choix car il est facile à maîtriser.

Dans le troisième chapitre, nous étudierons d'abord les automates programmables et de leur application dans l'industrie. Les origines de l'automate et son évolution sont abordées en détail. Les avantages des automates sont également soulignés, et les principaux composants associés aux systèmes d'automates sont explorés.

Dans le quatrième chapitre, on a introduit et défini le Guide pour l'Etude des Modes de Marche et d'Arrêt (GEMMA). Les principes du concept et de la structuration du GEMMA sont présentés ainsi qu'un aperçu sur les configurations types du GEMMA. Des exemples pratiques d'applications GEMMA sont présentés.

Enfin et dans le dernier chapitre pour objectif de corriger les problèmes de démarrage et de contrôle des machines à courant continu et courant alternatif on a introduit également le contrôle automatique basé sur PLC. Ces applications sont des exemples réels inspirées par le fonctionnement du milieu industriel.

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1. Système de Production.....	4
Figure 1.2. Éléments d'un système automatisé : (1) puissance, (2) Partie de commande (PC) (3) Partie opérative (PC).	6
Figure 1.3. Un système de contrôle par rétroaction (feedback).	7
Figure 1.4. Un système de contrôle en boucle ouverte.	8
Figure 1.5. Un système de contrôle en boucle ouverte.	8
Figure 1.6. Schéma d'un relais à quatre pôles.	9
Figure 1.7. Les relais.	10
Figure 1.8. Structure externe d'un contacteur.....	11
Figure 1.9. Démarreur de moteur IEC.....	12
Figure 1.10. Minuterie numérique 1/16 DIN. (Avec l'aimable autorisation d'Omron).....	13
Figure 1.11. Eagle Signal minuterie électromécanique.....	13
Figure 1.12. Distributeur.	13
Figure 1.13. Schéma du cylindre pneumatique.	14
Figure 1.14. Cylindre d'air guidé.....	15
Figure 1.15. Moteur monophasé à "cage d'écureuil".....	20
Figure 1.16. Moteur à induction à courant alternatif triphasé.	21
Figure 1.17. Moteur à courant continu à balais.	22
Figure 1.18. Symbole schématique d'un relais de surcharge thermique.	25
Figure 1.19. Vue extérieure typique d'un capteur de proximité.	26
Figure 1.20 Vue extérieure typique d'un capteur photoélectrique.	27
Figure 1.21. Forme typique d'un interrupteur de fin de course avec : (a) une vue intérieure du corps de l'interrupteur et (b) un corps d'interrupteur équipé d'une tête d'actionnement.....	28

Figure 1.22. Trois types d'automatisation par rapport à la quantité de production et à la variété des produits.	31
Figure 2.1. Situation des étapes d'un système automatisé.....	38
Figure 2.2. Actions associées aux étapes..	38
Figure 2.3. Transition associée une condition logique appelée réceptivité.....	39
Figure 2.4. Liaisons orientées entre les étapes et les transitions.	39
Figure 2.5. Chronogramme de l'action continue.....	40
Figure 2.6. Chronogramme de l'action Conditionnelle.....	40
Figure 2.7. Chronogramme de l'action retardées et l'actions limitées dans le temps.....	41
Figure 2.8. Chronogramme de l'action mémorisée.....	41
Figure 2.9. Franchissement d'une transition.....	42
Figure 2.10. Concept de séquence.....	43
Figure 2.11. Concept de séquence simultanée.	43
Figure 2.12. Saut d'étapes et reprise de séquence.....	44
Figure 2.13. Aiguillage entre deux ou plusieurs séquences... ..	44
Figure 2.14. Parallélisme entre deux ou plusieurs séquences.	45
Figure 2.15. Lien entre les grafquets	46
Figure 2.16. GRAFCET de point de vue système.....	47
Figure 2.17. GRAFCET de point de vue partie opérative.....	47
Figure 2.18. GRAFCET de point de vue partie commande... ..	48
Figure 2.19. GRAFCET de point de vue Partie Automate.....	48
Figure 2.20. GRAFCET et sont diagramme échelle.	49
Figure 2.21. Matérialisation d'un GRAFCET par bascule RS..	54
Figure 2.22. Matérialisation d'une divergence simple en ET par bascules RS.....	55
Figure 2.23. Système de deux pompes.....	55
Figure 2.24. Grafquet correspondant à ce système de deux pompes.....	56
Figure 3.1. Système de Production.....	59

Figure 3.2. Logique Ladder PLC.....	66
Figure 3.3. Bloc de fonctions.	67
Figure 3.4. Exemple de schéma fonctionnel..	67
Figure 3.5. Raccordement de l'unité de traitement d'une PLC.....	69
Figure 3.6. Raccordement de l'unité de traitement.....	71
Figure 3.7. Raccordement des Capteurs à deux fils..	71
Figure 3.8. Les deux types des Capteurs 3 fils.....	72
Figure 3.9. Raccordement de détecteurs typique.....	72
Figure 3.10. Les couches du réseau.....	73
Figure 3.11. Types de réseaux de terrain..	74
Figure 3.12. Communications d'E/S à distance.....	76
Figure 3.13. Communications par liaison de données....	77
Figure 3.14. Communications par transfert de fichiers.....	77
Figure 4.1. GEMMA.....	79
Figure 4.2. Concepts de base de GEMMA.....	80
Figure 4.3. Production - non-production.....	80
Figure 4.4. Les familles d'états des modes de fonctionnement et d'arrêt....	81
Figure 4.5. Tri de caisses.....	88
Figure 4.6. Tri de caisses (GEMMA).....	89
Figure 4.7. GRAFCET.....	90
Figure 4.8. GRAFCET en GPN.....	91
Figure 4.9. GRAFCET en GMM....	91
Figure 4.10. GRAFCET pour l'arrêt d'urgence.....	92
Figure 5.1. Programme Ladder pour la commande du démarreur du moteur.....	95
Figure 5.2. Circuit électrique pour la commande du démarreur du moteur.....	95
Figure 5.3. Automate programmable industrielle (API).....	96
Figure 5.4. Schéma de bloc d'un moteur avec API... ..	97

Figure 5.5. Schéma de contrôle de PLC et de moteur..... 98

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1. Symboles pneumatiques.	16
Tableau 2.1. Table de vérité de l'étape n.....	50
Tableau 2.2. Tableau de Karnaugh associé.	50
Tableau 3.1. Programmation de textes structurés.....	68

TABLE DES MATIERES

Avant-propos.....	i
Sommaire.....	ii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre I : Introduction aux systèmes automatisés	
I.1 Introduction.....	3
I.2 Fonction globale d'un système	3
I.3 Automatisation et structure des systèmes automatisés	5
I.3.1 Automatisation	
I.3.2 Structure des systèmes automatisés	
I.3.3 Puissance pour réaliser le processus automatisé	
I.3.4 Système de commande (partie de commande PC)	
I.3.5 Partie Opérative (PO)	
I.4 Pré-actionneurs (Contacteurs, Triac, ...)	14
I.4.1 Les relais	
I.4.2 Les contacteurs	
I.4.3 Les démarreurs	
I.4.4 Une minuterie	
I.4.5 Les distributeurs	
I.5 Actionneurs (vérins, Moteurs, ...).....	14
I.5.1 Les actionneurs pneumatiques (vérins)	
I.5.2 Les actionneurs électriques (moteurs)	
I.5.2.1. Moteurs à courant alternatif	
I.5.2.2. Moteurs à courant continu	
I.6 Capteurs	24
I.6.1 Relais de surcharge thermique	
I.6.2 Détecteurs de proximité	

I.6.3	Interrupteurs photoélectriques	
I.6.4	Interrupteurs de fin de course	
I.7	Classification des systèmes automatisés	28
I.7.1	L'automatisation fixe	
I.7.2	L'automatisation programmable	
I.7.3	L'automatisation flexible	
I.8	Spécification des niveaux du cahier des charges	31
I.8.1	Outils de Représentation des Spécifications Fonctionnelles	
I.8.1.1.	Le Grafcet	
I.8.1.2.	Le GEMMA	
I.8.1.3.	Les logigrammes	
I.8.1.4.	Les chronogrammes	
I.8.1.5.	Schéma à Contacts	

Chapitre II : Le Grafcet

II.1	Introduction.....	36
II.2	Définition et notions de bases.....	36
II.2.1	Historique	
II.2.2	Définition	
II.2.2.1.	Le GRAFCET comprend	
II.2.2.2.	Description du GRAFCET	
II.3	Règles d'établissement du GRAFCET	38
II.3.1	Étape	
II.3.2	Actions associées aux étapes	
II.3.3	Transition	
II.3.4	Liaisons orientées	
II.3.5	Classification des actions associées aux étapes	
II.3.5.1.	Les Actions Continues	

II.3.5.2. Les Actions Conditionnelles	
II.3.5.3. Les Actions Retardées et Les Actions Limitées dans le Temps	
II.3.5.4. Les Actions Mémoires	
II.4 Règles d'évolution	41
II.4.1 Règle 1 : Situation initiale	
II.4.2 Règle 2 : Franchir une transition	
II.4.3 Règle 3 : Évolution des étapes activées	
II.4.4 Règle 4 : Évolution simultanée	
II.4.5 Règle 5 : Activation et inactivation simultanées	
II.5 Sélection de séquence et séquences simultanées	42
II.5.1 Notion de séquence	
II.5.2 Séquences Simultanées	
II.5.3 Saut d'étapes et reprise de séquence	
II.5.4 Aiguillage entre deux ou plusieurs séquences (Divergence en OU)	
II.5.5 Parallélisme entre deux ou plusieurs séquences (ou séquences simultanées ou divergence–convergence en ET)	
II.5.6 Lien entre les grafjets	
II.6 Organisation des niveaux de représentation	46
II.6.1 Point de vue Système	
II.6.1 Point de vue Partie Opérative	
II.6.1 Point de vue Partie Commande	
II.6.1 Point de vue Partie Automate	
II.7 Matérialisation d'un GRAFCET	49
II.7.1 Equation logique d'une étape	
II.7.2 Choix de Séquences	
II.7.3 Gestion des Actions Continues	
II.7.4 Gestion des Actions Conditionnelles	
II.8 Technologies de Réalisation	52
II.8.1. Logique Combinatoire Câblée	

II.8.2. Logique Séquentielle Câblée

Chapitre III : Automate programmable

III.1 Introduction.....	58
III.2 Définition	58
III.3 Structure interne et description des éléments d'un A.P.I	59
III.3.1 Unité centrale de traitement (CPU)	
III.3.2 Mémoire	
III.3.3 Modules d'entrée et modules de sortie (Interface d'entrée et sortie)	
III.3.4 Alimentation électrique	
III.4 Choix de l'unité de traitement.....	61
III.4.1 Automatisation permanente/fixe	
III.4.2 Automatisation programmable/flexible	
III.4.3 Automatisation programmable	
III.4.4 Automatisation intégrée	
III.5 Choix d'un automate programmable industriel.....	62
III.6 Les interfaces d'entrées-sorties.....	63
III.6.1 E/S discrètes	
III.6.2 E/S analogiques	
III.6.3 Communications	
III.6.3.1. Série	
III.6.3.2. Parallèle	
III.6.3.3. Ethernet	
III.7 Outils graphiques et textuels de programmation.....	65
III.7.1 Langage textuel	
III.7.2 Forme graphique	
III.7.2.1. Logique Ladder	
III.7.2.2. Diagrammes de blocs fonctionnels	
III.7.2.3. Diagramme fonctionnel séquentiel (SFC)	

III.7.2.4. Programmation en texte structuré	
III.8 Mise en œuvre d'un automate programmable industriel	68
III.8.1. Raccordement de l'unité de traitement	
III.8.2. Raccordement des entrées/sorties TOR de l'unité de traitement	
III.8.2.1. Principe de raccordement des entrées	
III.8.2.2. Schéma de raccordement typique	
III.8.2.3. Raccordement des capteurs à sorties statiques	
III.8.2.4. Raccordement de détecteurs typique	
III.9 Principes des réseaux d'automates.....	72
III.9.1. Principales applications	
III.9.1.1. Couche de gestion	
III.9.1.2. Couche contrôleur (dispositif)	
III.9.1.3. Couche de composants	
III.9.2. Types de réseaux de terrain	
III.9.2.1. EtherNet/IP	
III.9.2.2. EtherCAT	
III.9.2.3. DeviceNet	
III.9.2.4. CompoNet	
III.9.3. Exemples d'applications	
III.9.3.1. Communications d'E/S à distance	
III.9.3.2. Communications par liaison de données	
III.9.3.3. Communications par transfert de fichiers	

Chapitre IV : Guide d'Etude des Modes Marche et Arrêt (G.E.M.M.A)

IV.1 Introduction.....	79
IV.2 Concept et structuration du GEMMA.....	79
IV.2.1 Concept du GEMMA	
IV.2.2 Structuration du GEMMA	
IV.2.2.1. Production - non-production	

IV.2.2.2. Les familles d'états des modes de fonctionnement et d'arrêt (Les procédures)	
IV.2.2.3. Les rectangles-états	
IV.2.2.3. Définitions des Etats de Marche et d'Arrêt	
IV.3 Mise en œuvre du GEMMA (Procédures de fonctionnement)	85
IV.4 Quelques configurations types du GEMMA.....	85
IV.4.1 GEMMA minimal d'une machine semi-automatique	
IV.4.2 GEMMA minimal d'une machine automatique	
IV.4.3 GEMMA d'une machine automatique ou semi-automatique avec marche de préparation	
IV.5 Utilisation pratique du GEMMA et applications.....	86
IV.5.1 Utilisation du GEMMA dans un système automatisé	
IV.5.1.1. Phase I Parallèlement	
IV.5.1.2. Phase II Parallèlement	
IV.5.1.3. Phase III	
IV.5.1.4. Phase IV Parallèlement	
IV.5.1.5. Phase V	
IV.5.1.6. Phase VI	
IV.5.2 Utilisation pratique du GEMMA	

Chapitre V : Applications en Electrotechnique

V.1 Introduction.....	94
V.2 Automatisation de démarrage des moteurs à courant continu	94
V.2.1 Contrôle du démarreur du moteur	
V.2.2 Explication de la logique du PLC	
V.3 Démarrage-Arrêt automatique des moteurs asynchrones et synchrones	96
V.3.1 Contrôle d'un moteur à induction triphasé à l'aide d'un automate programmable	
V.3.2 Application de contrôle de PLC et de moteur	

V.3.3	Opération de programmation de l'API	
V.3.4	Ajout de voyants lumineux de marche et d'arrêt	
V.3.5	Ajout d'un interrupteur de fin de course	
V.3.6	Extension d'un programme PLC	
V.3.7	Contrôle d'un moteur à induction triphasé à l'aide d'un PLC	
V.4	Automatisation de démarrage des moteurs à courant continu.....	106
V.4.1	Protection contre les surcharges	
V.4.2	Protection contre les surintensités	
V.4.3	Protection contre la basse tension	
V.4.4	Protection contre les défaillances de phase	
V.4.5	Protection contre l'inversion de phase	
Travaux dirigés	109
VI.1	Série de TD N° : 1	
VI.2	Série de TD N° : 2	
VI.3	Série de TD N° : 3	
VI.4	Série de TD N° : 4	
Références bibliographiques		

Introduction générale

L'automatisation industrielle est le contrôle des machines et des processus utilisés dans diverses industries par des systèmes autonomes grâce à l'utilisation de technologies comme la robotique et les logiciels informatiques.

Les industries mettent en œuvre l'automatisation pour augmenter la productivité et réduire les coûts liés aux employés, à leurs avantages et aux autres dépenses associées, tout en augmentant la précision et la flexibilité.

La révolution industrielle s'est accompagnée de la mécanisation, qui a permis de produire des biens moins chers et plus abondants. En général, les processus mécaniques dans les industries étaient plus rapides et produisaient de plus grandes quantités de biens, mais nécessitaient toujours des travailleurs qualifiés. Non seulement les machines nécessitaient des opérateurs, mais lorsque des erreurs se produisaient, elles entraînaient un gaspillage de matériaux, des problèmes de production et même des dommages à l'équipement.

Avec l'arrivée de l'automatisation, des boucles de contrôle ont été ajoutées au fonctionnement des machines. Il peut s'agir de boucles de contrôle ouvertes, qui permettent l'intervention humaine, ou de boucles fermées, qui sont entièrement automatisées. Les systèmes de contrôle industriel (SCI) permettent de surveiller et de contrôler localement et à distance. Grâce à ces mécanismes de contrôle de plus en plus avancés, les industries peuvent fonctionner 24 heures sur 24. La productivité a augmenté, les erreurs sont réduites et la qualité est améliorée. Toutefois, l'automatisation a certains effets négatifs, notamment des coûts initiaux élevés, une réduction de l'emploi des travailleurs et l'élimination d'une certaine surveillance humaine éthique. Au fur et à mesure que l'automatisation progresse et gagne en popularité dans de nouvelles industries, il est possible de voir ces événements se multiplier.

Les récents progrès de l'automatisation dans la production industrielle sont axés sur la flexibilité et la qualité. La flexibilité de la fabrication permet non seulement d'augmenter le nombre de types de produits, mais aussi de permettre aux consommateurs de commander des produits personnalisés qui sont produits automatiquement.

Chapitre 1

Introduction aux systèmes automatisés

1.1. Introduction

Le marché mondial exigeant des produits de meilleure qualité et des coûts plus bas, l'automatisation des ateliers est passée de machines séparées avec des contrôles matériels simples, s'il y en a, à une entreprise de fabrication intégrée avec des systèmes de contrôle et de données liés et sophistiqués. Pour de nombreuses organisations, la transformation s'est faite progressivement, en commençant par l'introduction d'automates programmables et d'ordinateurs personnels dans les machines et les processus. Cependant, pour d'autres, le changement a été rapide et continue de s'accélérer.

Il y a deux façons d'obtenir des rendements élevés dans la fabrication. Le moyen le plus simple, mais le plus coûteux, consiste à augmenter le nombre de lignes de production. Une autre méthode, plus souhaitable, consiste à augmenter le taux de production des lignes de production existantes. Il est possible d'augmenter la cadence de production en réduisant le temps de cycle nécessaire pour produire une seule pièce ou un seul produit. Il existe également deux façons de réduire le temps de cycle. La première consiste à améliorer le processus de fabrication. La deuxième approche consiste à automatiser le processus de fabrication en utilisant des équipements reprogrammables et contrôlés automatiquement. Ce chapitre aborde le type d'automatisation et les raisons qui composent l'automatisation industrielle.

1.2. Fonction globale d'un système

Tous les systèmes de production, lorsqu'on les considère au niveau le plus abstrait, peuvent être considérés comme des "processus de transformation", c'est-à-dire des processus qui transforment des ressources en biens et services utiles. Le processus de transformation utilise généralement des ressources communes telles que le travail, le capital (pour les machines et équipements, les matériaux, etc.) et l'espace (terrains, bâtiments, etc.) pour effectuer un changement. Les économistes appellent ces ressources les "facteurs de production" et se réfèrent généralement à la main-d'œuvre, au capital et à la terre. Les responsables de la production les appellent les "cinq M" : hommes, machines, méthodes, matériaux et argent.

La fonction globale de tout système automatisé est de conférer une **valeur ajoutée** à un ensemble de **matières d'œuvre (MO)** dans un environnement ou contexte donné.

Une **MO** peut se présenter sous plusieurs formes. Par exemple :

- **Un produit** : c'est-à-dire de la matière, à l'état solide, liquide ou gazeux, et sous une forme plus ou moins transformée.
- **De l'énergie** : sous forme électrique, thermique, hydraulique...

Qu'il faut : produire, stocker, transporter, convertir, utiliser...

- **De l'information** : sous forme écrite, physique, audiovisuelle...

Qu'il faut : produire. Stocker, transmettre, communiquer, décoder, utiliser...

- **Des êtres humains** : pris individuellement ou collectivement

Qu'il faut : former, informer, soigner, transporter, servir...

La valeur ajoutée à ces **MO** est **l'objectif global** pour lequel a été défini, conçu, réalisé, puis éventuellement modifié, le système.

Cette Valeur Ajoutée peut résulter par exemple :

- D'une modification physique des MO.
- D'un arrangement particulier, sans modification des MO.
- D'une mise en position particulière, ou d'un transfert, de ces MO.
- D'un prélèvement d'information sur ces MO.

Un système de production (Figure 1.1) est un système à caractère industriel ayant pour but de traiter une matière d'œuvre pour lui apporter une valeur ajoutée de façon reproductible et rentable. Un système de production répond au besoin d'élaborer des produits, de l'énergie ou de l'information à un coût rentable pour l'utilisateur du système.

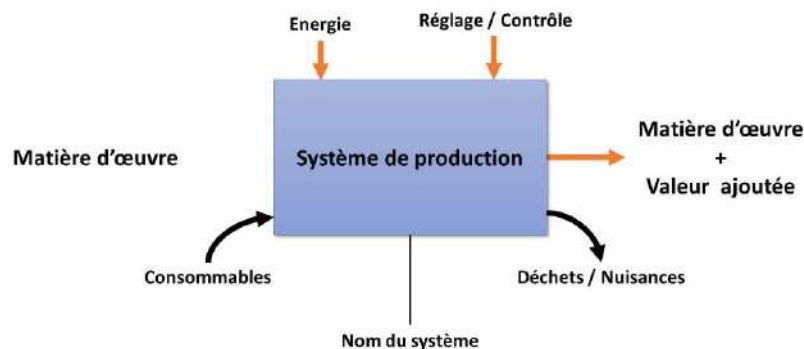


Figure 1.1. Système de Production.

1.3. Automatisation et structure des systèmes automatisés

1.3.1. Automatisation

L'automatisation est l'utilisation de commandes de programmation logique et de équipements mécanisés pour remplacer la prise de décision et les activités manuelles de commande-réponse des êtres humains. Historiquement, la mécanisation - comme l'utilisation d'un mécanisme de synchronisation pour déclencher un levier ou d'un cliquet et d'une patte, aidait les humains à exécuter les exigences physiques d'une tâche. L'automatisation, cependant, pousse la mécanisation, en réduisant considérablement les exigences sensorielles et mentales de l'homme tout en optimisant la productivité [livre ind aut].

On pense que le terme "automatisation" a été inventé dans les années 1940 par un ingénieur de la Ford Motor Company, qui décrivait divers systèmes dans lesquels des actions et des contrôles automatiques remplaçaient l'effort et l'intelligence humaine. À cette époque, les dispositifs de contrôle étaient de nature électromécanique. La logique était exécutée au moyen de relais et de minuteriers verrouillés avec un retour humain aux points de décision. En câblant ensemble des relais, des minuteriers, des boutons-poussoirs et des capteurs de position mécaniques, il était possible d'exécuter des séquences de mouvement logiques simples en activant et désactivant des moteurs et des actionneurs.

Avec l'arrivée des ordinateurs et des dispositifs à semi-conducteurs, ces systèmes de commande sont devenus plus petits, plus flexibles et moins coûteux à mettre en œuvre et à modifier. Les premiers contrôleurs logiques programmables ont été développés dans les années 1970 et 1980 par Modicon en réponse à un défi lancé par GM pour développer un substitut à la logique des relais câblés. Au fur et à mesure que la technologie s'est améliorée et que de plus en plus de sociétés d'automatisation ont pénétré le marché, de nouveaux produits de contrôle ont été développés. Aujourd'hui, il existe dans l'industrie une myriade de dispositifs de contrôle logique informatisé développés par des centaines de fabricants différents.

1.3.2. Structure des systèmes automatisés

Un système automatisé se compose de trois éléments de base : (1) la puissance pour accomplir le processus et faire fonctionner le système, (2) un système de commande pour exécuter les instructions (c'est la partie de commande PC) et (3) une partie opérative agit sur la matière d'œuvre à partir d'ordres envoyés par la PC (Figure1.2). Tous les systèmes qualifiés d'automatisés comprennent ces trois éléments de base sous une forme ou une autre.

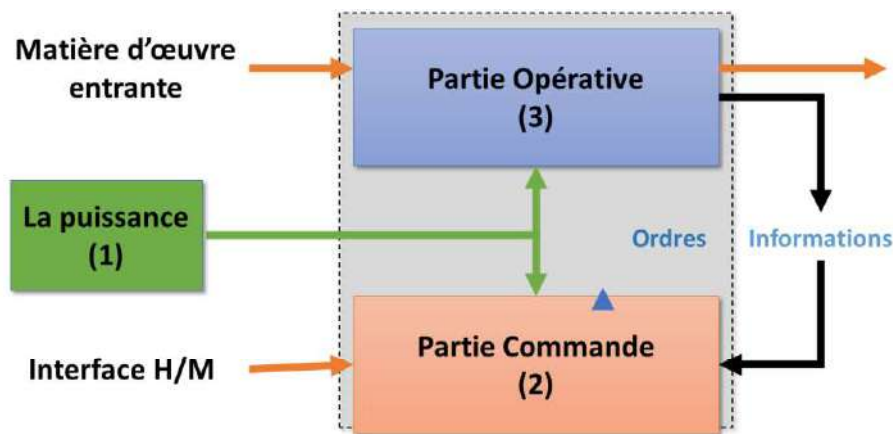


Figure 1.2. Éléments d'un système automatisé : (1) puissance, (2) Partie de commande (PC) (3) Partie opérative (PO).

1.3.3. Puissance pour réaliser le processus automatisé

Un système automatisé est utilisé pour faire fonctionner un processus, et de l'énergie est nécessaire pour faire fonctionner le processus, ainsi que les commandes. La principale source d'énergie dans les systèmes automatisés est l'électricité. L'énergie électrique présente de nombreux avantages dans les processus automatisés et non automatisés :

- L'énergie électrique est largement disponible à un coût modéré. Elle est une partie importante de notre infrastructure industrielle
- L'énergie électrique peut être facilement convertie en formes d'énergie alternatives : mécanique, thermique, lumineuse, acoustique, hydraulique et pneumatique.
- L'énergie électrique à faible niveau peut être utilisée pour accomplir des fonctions telles que la transmission de signaux, le traitement de l'information, le stockage des données et la communication.
- L'énergie électrique peut être stockée dans des batteries à longue durée de vie pour être utilisée dans des endroits où une source externe d'énergie électrique n'est pas facilement disponible.

Les sources d'énergie alternatives comprennent les combustibles fossiles, l'énergie solaire, l'eau et le vent. Cependant, leur utilisation exclusive est rare dans les systèmes automatisés. Dans de nombreux cas, lorsque des sources d'énergie alternatives sont utilisées pour piloter le processus lui-même, l'énergie électrique est utilisée pour les commandes qui automatisent l'opération. Par exemple, dans le cas de la coulée ou du traitement thermique, le four peut être chauffé par des combustibles fossiles, mais le système de contrôle permettant de

réguler la température et le cycle de temps est électrique. Dans d'autres cas, l'énergie provenant de ces sources alternatives est convertie en énergie électrique pour faire fonctionner à la fois le processus et son automatisation. Lorsque l'énergie solaire est utilisée comme source d'énergie pour un système automatisé, elle est généralement convertie de cette manière [jm608].

1.3.4. Système de commande (partie de commande PC)

L'élément de commande du système automatisé exécute le programme d'instructions. Le système de commande permet au processus d'accomplir sa fonction définie, qui, dans notre cas, consiste à réaliser une opération de fabrication. Nous présentons ici une brève introduction aux systèmes de commande.

Les commandes d'un système automatisé peuvent être en boucle fermée ou ouverte. Un système de contrôle en boucle fermée, également appelé système de contrôle par rétroaction (feedback), est un système dans lequel la variable de sortie est comparée à un paramètre d'entrée, et toute différence entre les deux est utilisée pour faire concorder la sortie avec l'entrée. Comme le montre la figure 1.3, un système de contrôle en boucle fermée se compose de six éléments de base : (1) paramètre d'entrée, (2) processus, (3) variable de sortie, (4) capteur de retour, (5) contrôleur et (6) actionneur. Le paramètre d'entrée, souvent appelé point de consigne, représente la valeur souhaitée de la sortie.

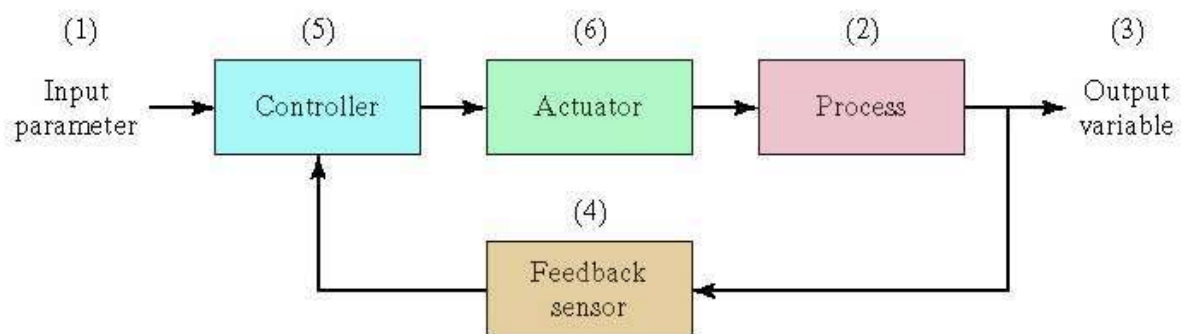


Figure 1.3. Un système de contrôle par rétroaction (feedback).

Contrairement au système de contrôle en boucle fermée, un système de contrôle en boucle ouverte fonctionne sans boucle de retour, comme dans la figure 1.4. Dans ce cas, les commandes fonctionnent sans mesurer la variable de sortie. Ainsi, aucune comparaison n'est faite entre les valeurs réelles de la sortie et le paramètre d'entrée souhaité. Le contrôleur s'appuie sur un modèle précis de l'effet de son actionneur sur la variable du processus. Avec

un système en boucle ouverte, il y a toujours le risque que l'actionneur n'ait pas l'effet escompté sur le processus, ce qui constitue l'inconvénient d'un système en boucle ouverte. Son avantage est qu'il est généralement plus simple et moins coûteux qu'un système en boucle fermée.



Figure 1.4. Un système de contrôle en boucle ouverte.

La PC regroupe l'ensemble des composants permettant le traitement des informations reçues de la PO et des ordres envoyés par l'IHM.

La PC peut être réalisée de manière :

- Câblée : la PC est réalisée soit en interconnectant judicieusement des opérateurs matériels soit en utilisant des portes logiques et/ou des bascules.
- Programmée : la réalisation de la PC est basée sur une architecture intégrant un microprocesseur qui exécute un programme.

1.3.5. Partie Opérative (PO)

La PO agit sur la matière d'œuvre (MO) à partir d'ordres envoyés par la PC, et renvoie à cette dernière des informations sur son état ou sur l'environnement. Sa fonction globale est d'apporter de la valeur ajoutée à la MO.

La PO se compose de plusieurs étapes, la figure ci-dessus (Figure 1.5) représente les étapes principales d'un fonctionnement de base d'un système de production.

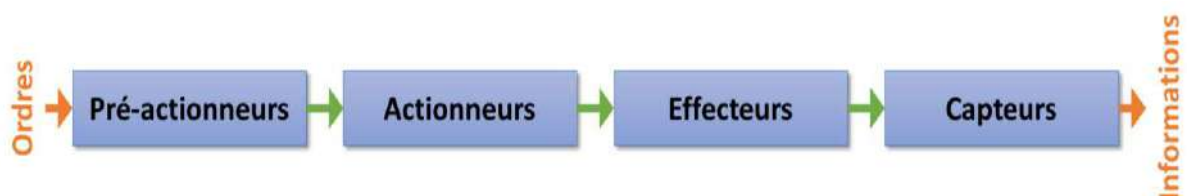


Figure 1.5. Un système de contrôle en boucle ouverte.

Le pré-actionneur permet l'adaptation des ordres de faible énergie en ordres adaptés aux actionneurs.

L'actionneur convertit l'énergie au besoin des effecteurs qui consomment cette énergie.

L'effecteur est un dispositif terminal qui agit sur la MO pour lui donner sa valeur ajoutée.

Le capteur assure la fonction d'acquisition de données.

1.4. Pré-actionneurs (Contacteurs, Triac, ...)

1.4.1. Les relais

Un relais est un dispositif qui permet de commuter un circuit par des moyens électriques. Il existe différents types de relais, notamment les bobines électromécaniques et à semi-conducteurs, les contacts humides de type anche ou mercure, mais le but est généralement le même : commander un circuit avec une tension donnée à l'aide d'un signal provenant d'un autre circuit ou utiliser un signal pour commuter plusieurs circuits, comme montre dans la Figure1.6.

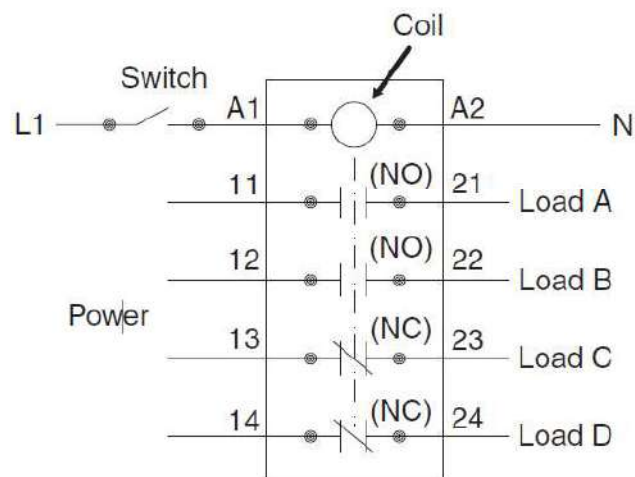


Figure 1.6. Schéma d'un relais à quatre pôles.

Les relais électromécaniques utilisent une bobine électromagnétique pour faire passer physiquement un ou plusieurs jeux de contacts de la position ouverte à la position fermée ou de la position fermée à la position ouverte. Le courant alternatif ou continu peut être utilisé pour commuter la bobine ; c'est l'une des spécifications d'un relais, avec le nombre de pôles et la quantité de courant qui peut être géré par les contacts. Les contacts sont spécifiés comme NO ou NC, en référence à leur état non activé. Les relais peuvent avoir plusieurs pôles de contacts NO et NC.

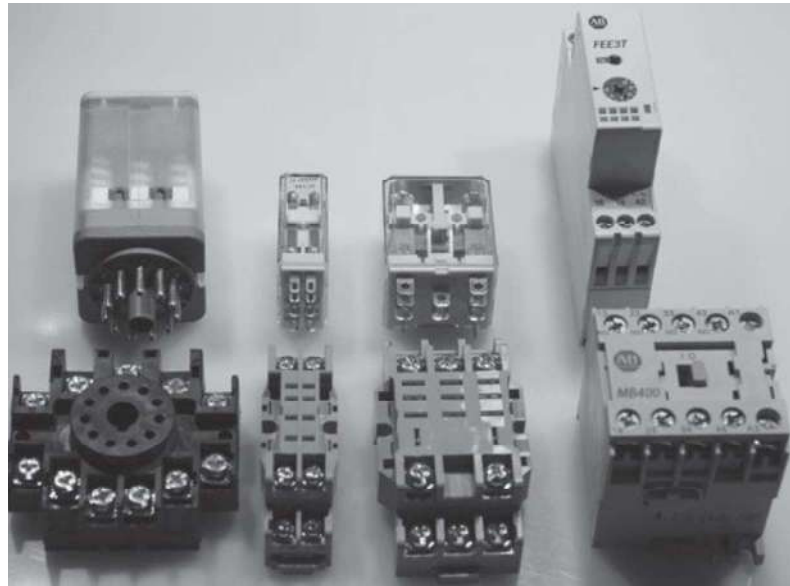


Figure 1.7. Les relais.

La figure 1.7 montre différents types de relais ; le relais à l'extrême gauche est un relais électromécanique à base tubulaire et socle, et les deux suivants sont souvent appelés relais "glaçons". Le relais en bas à droite est un relais électromécanique plus robuste monté sur rail DIN, tandis que le relais en haut à droite est un relais à temporisation réglable.

1.4.2. Les contacteurs

Un type de relais capable de gérer la puissance élevée requise pour commander directement un moteur est appelé contacteur. Les courants nominaux continus des contacteurs vont de 10 A à plusieurs centaines d'ampères. Les contacteurs sont un élément des démarreurs de moteur ; un démarreur de moteur est simplement un contacteur auquel sont fixés des dispositifs de protection contre les surcharges. Les dispositifs de détection de surcharge sont une forme de relais à commande thermique où une bobine chauffe une bande bimétallique, ou où un pot de soudure fond, libérant un ressort pour actionner un ensemble de contacts auxiliaires. Ces contacts auxiliaires (Figure 1.8) sont en série avec la bobine. Si la surcharge détecte un courant excessif dans la charge, la bobine est désexcitée.



Figure 1.8. Structure externe d'un contacteur.

Caractéristiques fondamentales d'un contacteur :

- Tension nominale d'emploi : C'est la tension entre deux pôles de puissance qui ne provoque ni échauffement ni détérioration du contacteur.
- Courant nominale d'emploi : C'est le courant qui peut circuler dans les pôles de puissance sans provoquer ni échauffement ni détérioration du contacteur.
- Courant thermique conventionnel : courant qu'un contacteur en position fermée peut supporter pendant 8 heures sans que l'échauffement de la bobine ne dépasse 90°C.
- Pouvoir de coupure : courant maximal que le contacteur peut couper.

1.4.3. Les démarreurs

Les démarreurs de moteur sont généralement classés dans les catégories NEMA ou IEC. Les démarreurs NEMA sont généralement plus grands et possèdent des éléments de surcharge remplaçables. Ils peuvent généralement être reconstruits si nécessaire ; cependant, ils sont physiquement plus grands et plus chers qu'un démarreur de moteur IEC de même valeur nominale. Les démarreurs CEI ne sont généralement pas reconstruits et sont simplement mis au rebut lorsque les contacts s'usent. La figure 1.9 représente un démarreur de moteur IEC dans un boîtier de commande manuelle de moteur.



Figure 1.9. Démarreur de moteur IEC.

1.4.4. Une minuterie

Une minuterie réagit à un signal appliqué ou à une alimentation électrique et commute un ensemble de contacts en fonction d'un délai. Il peut également créer une série répétitive d'impulsions. Les minuterie peuvent être purement mécaniques, comme les minuterie pneumatiques, électromécaniques avec un moteur et un embrayage (Figure 1.11), ou entièrement électroniques (Figure1.10). Ils sont disponibles en format analogique et numérique. Les minuterie entrent généralement dans les catégories suivantes :

- On Delay - Le minuteur change d'état après une période de temps spécifiée et reste dans cet état jusqu'à ce que le signal soit retiré.
- Off Delay - La minuterie change d'état immédiatement et revient à son état initial après une période de temps spécifiée.
- One Shot - La minuterie crée une seule impulsion d'une longueur spécifiée.
- Pulse ou Repeat-Cycle-Timer crée une série d'impulsions d'activation et de désactivation avec des temps d'activation et de désactivation configurables jusqu'à la suppression du signal.



Figure 1.10. Minuterie numérique 1/16 DIN.
(Avec l'aimable autorisation d'Omron).



Figure 1.11. Eagle Signal minuterie électromécanique.

1.4.5. Les distributeurs

Un système de distribution d'air comprimé est une source majeure d'énergie industrielle, possédant de nombreux avantages inhérents. L'objectif principal d'un système de distribution d'air comprimé est de transporter l'air comprimé de son point de production à ses points d'utilisation en quantité et qualité suffisantes et à une pression adéquate pour un fonctionnement efficace des outils pneumatiques et autres dispositifs pneumatiques.

Cependant, de nombreuses autres considérations entrent en jeu dans la conception du système afin de garantir l'efficacité et la sécurité de l'ensemble du système.

Il s'agit notamment de

- Le débit volumique de l'air
- Les besoins en pression d'air
- Type(s) et nombre de compresseurs
- A qualité de l'air
- Efficacité du système d'air
- Sécurité du système d'air
- Disposition du système d'air
- Exigences en matière de débit d'air



Figure 1.12. Distributeur.

1.5. Actionneurs (vérins, Moteurs, ...)

1.5.1. Les actionneurs pneumatiques (vérins)

L'utilisation collective de l'énergie pneumatique et hydraulique est connue sous le nom d'énergie hydraulique. Le fonctionnement des actionneurs dans les applications d'énergie hydraulique est similaire à l'écoulement de liquides ou de gaz à travers les systèmes ; cependant, les systèmes pneumatiques utilisent de l'air facilement compressible (ou d'autres gaz inertes) tandis que l'énergie hydraulique est générée par l'écoulement de fluides beaucoup moins compressibles, généralement de l'huile.

Les actionneurs pneumatiques et hydrauliques peuvent être de nature linéaire ou rotative. Les vérins pneumatiques génèrent un mouvement linéaire en injectant de l'air par un orifice situé d'un côté ou de l'autre d'une surface de piston arrondie à l'intérieur d'un boîtier tubulaire. Lorsque l'air est injecté par une valve dans une extrémité du cylindre, la même valve libère l'air de l'autre côté. Un schéma de la configuration interne d'un vérin pneumatique est présenté à la Figure 1.13. L'extrémité de la tige du piston est filetée pour être fixée à diverses pièces d'outillage, telles qu'une chape ou une rotule.

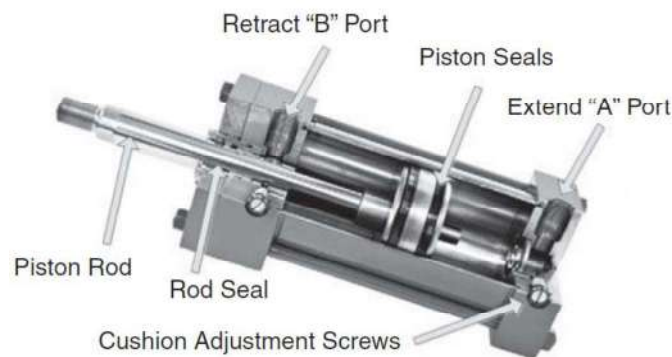


Figure 1.13. Schéma du cylindre pneumatique.

Les vérins à simple effet utilisent la force fournie par l'air pour se déplacer dans une direction (généralement vers l'extérieur ou "avancée") et un ressort pour revenir à la position "initiale" ou rétractée. Les vérins à double effet utilisent l'air pour se déplacer dans les deux sens (sortie et rentrée). Ils possèdent deux orifices pour laisser entrer l'air : un pour la course d'aller et un pour la course de retour. Dans un vérin typique, la face ronde du piston est fixée à une tige qui traverse l'extrémité du corps du vérin. Certains vérins ont une tige fixée aux deux faces du piston et traversant les deux extrémités du corps. Ils sont parfois appelés vérins à double extrémité ou à mouvement alternatif.

Les vérins pneumatiques sont spécifiés par leur alésage, ou diamètre du piston, et leur course, ou la distance de déplacement de l'extrémité de l'arbre. D'autres spécifications, telles que les coussins destinés à ralentir la dernière partie du mouvement, la taille des orifices et la méthode de montage, sont généralement incluses dans la référence de la pièce. Les tailles peuvent être spécifiées en mesures métriques et standard. La course étant spécifiée par incréments, les distances de course sont parfois limitées en utilisant des colliers d'arbre ou en limitant le mouvement de l'outillage avec des butées. Dans ce cas, le coussin peut ne plus être utile car il se trouve à l'extrémité de la course du vérin.



Figure 1.14. Cylindre d'air guidé.

La figure 1.14 montre un cylindre guidé à très longue course. Ces vérins sont équipés de roulements dans un bloc de guidage qui soulagent la charge latérale de la tige du piston et garantissent l'application linéaire de la force. Les blocs de guidage peuvent être commandés en tant qu'unité séparée pour y monter un vérin.

Les vannes pneumatiques fonctionnent grâce à un solénoïde électrique qui déplace un tiroir à l'intérieur de la vanne. Ce tiroir permet à l'air de passer d'un orifice d'entrée à un orifice de sortie, tout en permettant à l'air de s'échapper du côté échappement du cylindre à travers la valve. Les distributeurs peuvent être disposés de différentes manières, en fonction des exigences de l'application. Les distributeurs pneumatiques sont généralement décrits par le nombre d'orifices dans le corps du distributeur et le nombre de positions que peut avoir le tiroir. Comme les circuits électriques, ils sont aussi souvent spécifiés comme NC et NO, en référence à leur état désexcité. Les distributeurs 2/2 et 3/2 en sont des exemples. La plupart des systèmes automatisés ont tendance à utiliser des banques de distributeurs 5/2 et 5/3 avec des centres ouverts ou bloqués, selon qu'il est souhaitable de pouvoir déplacer manuellement l'actionneur à l'état désexcité ou non.

Outre les vannes, les raccords et les dispositifs tels que les régulateurs de débit, les régulateurs de pression, les filtres et une large gamme de tubes et de tuyaux sont nécessaires pour compléter un système pneumatique ou hydraulique. Les accumulateurs et les

multiplicateurs de pression sont également des composants parfois utilisés dans les circuits pneumatiques. Le tableau 1.1 présente les symboles pneumatiques de certaines de ces vannes et dispositifs.

Tableau 1.1. Symboles pneumatiques.

5/2 Valve		Pneumatic Schematic Symbols		When solenoid is not energized the B port is pressurized.	
<p>A 5/2 valve has 5 ports and 2 conditions:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Port B Pressurized, Port A Exhausted 2. Port A Pressurized, Port B Exhausted 				<p>Spring symbol defines valve position at rest.</p>	
	2/2 Valve				
	3/2 Valve				
	4/2 Valve				
	4/3 Valve				
	5/3 Valve				
	Double Acting Cylinder				

1.5.2. Les actionneurs électriques (moteurs)

Une machine électrique est un lien entre un système électrique et un système mécanique. Le processus de conversion de l'énergie d'une de ces formes à l'autre est la conversion électromécanique de l'énergie. Dans ces machines, le processus est réversible. Si la conversion se fait de la mécanique vers l'électrique, la machine agit comme un générateur, et si la conversion se fait de l'électrique vers la mécanique, la machine agit comme un moteur.

Trois types de machines électriques sont largement utilisés pour la conversion électromécanique de l'énergie : les moteurs à courant continu, à induction et synchrones. Les autres types de moteurs sont les moteurs à aimant permanent (PM), les moteurs à hystérésis et les moteurs pas à pas. La conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique repose sur deux principes électromagnétiques : lorsqu'un conducteur se déplace dans un champ magnétique, une tension est induite dans le conducteur ; simultanément, lorsqu'un conducteur parcouru par un courant est placé dans un champ magnétique, le conducteur subit une force mécanique. Dans un moteur, un système électrique fait passer du courant dans des conducteurs placés dans le champ magnétique et une force est exercée sur chaque conducteur. Si les conducteurs sont placés sur une structure libre en rotation, un couple électromagnétique est produit, faisant tourner la structure. Cette structure en rotation est appelée rotor. La partie de la machine qui ne bouge pas et qui fournit la force magnétique est appelée le stator. Il s'agit généralement du cadre extérieur de la machine ou du moteur, à l'exception de cas particuliers tels que les rouleaux moteurs.

Le stator et le rotor sont tous deux constitués de matériaux ferromagnétiques (riches en fer). Le noyau de fer est utilisé pour maximiser le couplage entre les bobines de fil, ce qui augmente la densité du flux magnétique dans le moteur et permet donc de réduire sa taille. Dans la plupart des moteurs, des fentes sont découpées sur la périphérie intérieure du stator et la périphérie extérieure du rotor et des conducteurs sont placés dans les fentes. Si un signal électrique variant dans le temps est placé sur le stator ou le rotor (ou les deux), il provoquera un couple mécanique exercé par le rotor. Les conducteurs placés dans les encoches sont interconnectés pour former des enroulements ; l'enroulement dans lequel le courant passe pour créer la principale source de flux magnétique est appelé enroulement de champ, bien que dans certains moteurs, la principale source de flux magnétique soit un PM.

Les moteurs électriques sont utilisés dans de nombreuses applications de systèmes automatisés, des soufflantes, pompes et ventilateurs aux convoyeurs, à la robotique et aux

actionneurs. Ils peuvent être alimentés en courant alternatif par le réseau électrique de l'usine ou par un entraînement de moteur, ou en courant continu par des batteries ou un convertisseur. Les moteurs peuvent être classés en fonction de leur méthode de construction, de leur source d'alimentation, de leur application et du type de mouvement qu'ils fournissent. Dans le domaine industriel, ils sont généralement normalisés en termes de taille, de puissance ou de plage de puissance en watts.

1.5.2.1. Moteurs à courant alternatif

Un moteur à courant alternatif typique est constitué de deux parties : un stator comportant des bobines alimentées en courant alternatif pour produire un champ magnétique tournant et un rotor intérieur fixé à un arbre de sortie. Le rotor reçoit un couple grâce au champ tournant généré par le courant alternatif.

Les moteurs à courant alternatif comportent souvent des désignations relatives à leur construction physique, telles que TE (totalement fermé), FC (ventilé) et PM. D'autres informations, comme la hauteur d'axe, décrivent également les moteurs physiquement, y compris les options de montage, les méthodes d'étanchéité et les tailles d'arbre. Un bon catalogue de moteurs décrit bien ces options.

A. Moteurs synchrones

Un moteur synchrone est une machine à courant alternatif dont le rotor tourne à la même vitesse que le courant alternatif qui lui est appliqué. Pour ce faire, on excite l'enroulement de champ du rotor avec un courant continu. Lorsque le rotor tourne, une tension est induite dans l'enroulement d'induit du stator, ce qui produit un champ magnétique tournant dont la vitesse est la même que celle du rotor. Contrairement à un moteur à induction, un moteur synchrone n'a pas de "glissement" lorsqu'il fonctionne à vitesse.

Des bagues collectrices et des balais sont utilisés pour conduire le courant vers le rotor. Les pôles du rotor sont reliés les uns aux autres et se déplacent à la même vitesse, d'où le nom de moteur synchrone. Les moteurs synchrones sont principalement utilisés dans des applications où une vitesse constante est souhaitée et ne sont pas aussi courants dans les applications industrielles que les moteurs à induction.

L'un des problèmes des moteurs synchrones est qu'ils ne sont pas autodémarrants. Si une tension alternative est appliquée aux bornes du stator et que le rotor est excité par un courant

de champ, le moteur va simplement vibrer. En effet, lorsque la tension alternative est appliquée, elle fait immédiatement tourner le champ du stator à 60 Hz, ce qui est trop rapide pour que les pôles du rotor puissent se rattraper. Pour cette raison, les moteurs synchrones doivent être démarrés soit en utilisant une alimentation à fréquence variable (comme un variateur), soit en démarrant la machine comme un moteur inductif. Si on n'utilise pas de variateur, on peut utiliser un enroulement supplémentaire appelé enroulement "amortisseur". Dans ce cas, l'enroulement d'excitation n'est pas excité par le courant continu mais est shunté par une résistance. Le courant est induit dans l'enroulement amortisseur, produisant un couple ; lorsque le moteur approche de la vitesse synchrone, la tension continue est appliquée au rotor et le moteur se verrouille sur le champ du stator.

- ***Moteurs synchrones à courant alternatif triphasé***

Le stator d'un moteur synchrone triphasé comporte un enroulement distribué appelé enroulement d'induit. Il est connecté à l'alimentation en courant alternatif et est conçu pour une tension et un courant élevé. Le courant continu est ensuite appliqué aux bobines du rotor du moteur par l'intermédiaire de bagues collectrices et de balais provenant d'une source séparée. Cela crée un champ continu, et le rotor tourne alors de manière synchrone avec le courant alternatif appliqué au stator.

- ***Moteurs synchrones à courant alternatif monophasé***

Les petits moteurs à courant alternatif monophasés peuvent également être conçus avec des rotors à particules. Comme les rotors de ces moteurs ne nécessitent pas de courant induit, ils ne glissent pas vers l'arrière contre la fréquence du stator ; au contraire, ils tournent de manière synchrone. Comme ils sont très précisément synchronisés avec la fréquence appliquée, qui est soigneusement régulée par la centrale électrique, ces moteurs sont souvent utilisés pour alimenter des horloges mécaniques, des enregistreurs de graphiques ou tout autre appareil nécessitant une vitesse précise.

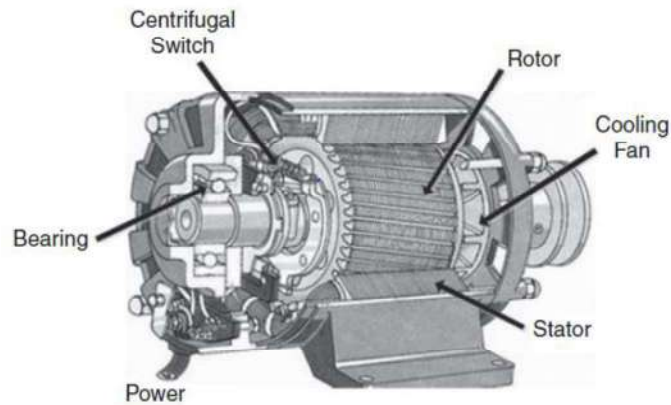


Figure 1.15. Moteur monophasé à "cage d'écureuil".

B. Moteurs asynchrones

Les moteurs à induction sont les moteurs les plus robustes et les plus utilisés pour les applications industrielles. Un moteur à induction possède un stator et un rotor avec un entrefer uniforme entre leurs enroulements. Le rotor est monté sur des roulements et est constitué de feuilles laminées de métal ferromagnétique avec des fentes découpées sur la surface extérieure. L'enroulement du rotor peut être du type cage d'écureuil ou du type rotor bobiné. Le stator est également constitué de tôles d'acier de haute qualité avec des enroulements distribués. Dans les moteurs à induction, le courant alternatif est appliqué à la fois aux enroulements du stator et du rotor.

- ***Moteurs à induction à courant alternatif triphasé***

Les enroulements du stator et du rotor d'un moteur triphasé sont répartis sur plusieurs fentes dans les feuilles stratifiées. Les bornes des enroulements du rotor sont reliées à trois bagues collectrices ; à l'aide de balais fixes, le rotor peut alors être relié à un circuit externe. La puissance appliquée aux enroulements triphasés du stator et du rotor produit des champs tournants électriquement séparés de 120° . La Figure. 1.16 présente un schéma en coupe d'un moteur à induction triphasé.

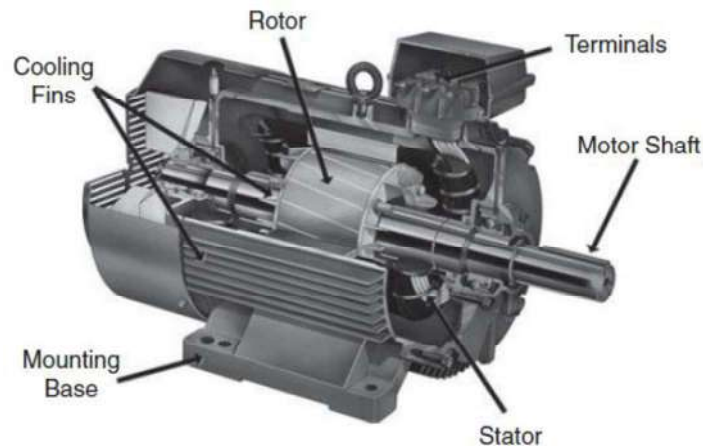


Figure 1.16. Moteur à induction à courant alternatif triphasé.

- ***Moteurs à induction à courant alternatif monophasé***

La plupart des moteurs à induction monophasés ont des rotors à cage d'écureuil et un enroulement statorique distribué monophasé. Certains moteurs à induction monophasés utilisent un rotor bobiné, mais ils sont beaucoup moins courants. Le moteur à cage d'écureuil tire son nom de sa forme : un anneau à chaque extrémité du rotor relié par des barres sur toute sa longueur, formant une cage. Les moteurs à induction monophasés sont classés en fonction des méthodes utilisées pour les démarrer. Parmi les types les plus courants, on trouve le démarrage par résistance, le démarrage par condensateur et le démarrage par bague de déphasage.

1.5.2.2. Moteurs à courant continu

Un moteur à courant continu place l'enroulement d'induit sur le rotor et les enroulements de champ sur le stator, ce qui est l'opposé des moteurs à courant alternatif décrits précédemment. Il est conçu pour fonctionner en courant continu, bien qu'il alterne le sens du courant dans les enroulements par commutation. Le stator possède des pôles saillants ou en saillie excités par un ou plusieurs enroulements de champ ; ceux-ci produisent un champ magnétique symétrique autour de l'axe du pôle, également appelé axe de champ ou axe direct.

La tension induite dans l'enroulement d'induit alterne en utilisant une combinaison collecteur-balai comme redresseur mécanique. Un moteur à courant continu sans balais peut également utiliser un commutateur électronique externe synchronisé avec la position du rotor.

- **Moteurs à courant continu à balais**

L'enroulement de champ est placé sur le stator pour exciter les pôles du champ et l'enroulement d'induit est placé sur le rotor. Le collecteur est constitué d'une bague fendue connectée à chaque extrémité des enroulements du rotor. Une tension continue est alors appliquée aux balais ; lorsque le rotor tourne, les balais entrent alternativement en contact avec les différentes moitiés de l'anneau, ce qui change le sens du courant et crée ainsi un champ alternatif. Ce champ ne s'aligne jamais complètement avec les pôles saillants du stator, ce qui maintient le rotor en mouvement.

Les enroulements d'excitation et d'induit peuvent être connectés de diverses manières pour obtenir des caractéristiques de performance différentes. Les enroulements d'excitation peuvent être connectés en série, en dérivation (parallèlement à l'armature) ou en combinaison des deux, ce qui constitue un moteur composé. Les moteurs à courant continu peuvent également avoir un PM.

Plus d'un jeu d'anneaux et de pôles peut être et est souvent utilisé dans les moteurs à courant continu de grande taille. La distance entre les centres des pôles adjacents est appelée pas polaire, tandis que la différence entre les deux côtés de la bobine est appelée pas de bobine. Si le pas de la bobine et le pas des pôles sont égaux, on parle de bobine à pas complet. Un pas de bobine inférieur au pas polaire est appelé bobine à pas court ou à pas fractionné. Les moteurs à courant alternatif ont souvent des bobines à pas court, tandis que les moteurs à courant continu ont des bobines à pas complet. La figure 1.17 illustre la construction d'un moteur à courant continu à balais.

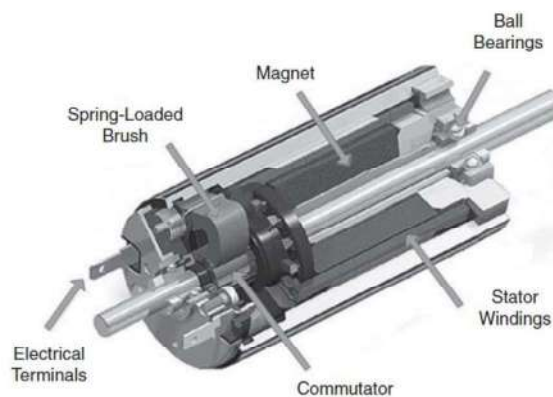


Figure 1.17. Moteur à courant continu à balais.

- ***Moteurs à courant continu sans balais***

Le moteur à courant continu sans balais remplace les balais et le collecteur par une impulsion alternée électroniquement qui est synchronisée avec la position du rotor. Des capteurs à effet Hall sont utilisés pour détecter la position des PM sur le rotor et les bobines d'entraînement sont activées séquentiellement. Les bobines sont généralement disposées en groupes de trois, et agissent de manière très similaire à un moteur synchrone triphasé.

Une autre méthode de détection de la position du rotor consiste à détecter la force contre-électromotrice dans les bobines d'entraînement inactivées. Cela permet à l'électronique de commande de détecter à la fois la vitesse et la position du moteur. Ces moteurs sont souvent utilisés dans des applications où un contrôle très précis de la vitesse est nécessaire.

Les moteurs à courant continu sans balais durent beaucoup plus longtemps que ceux à balais et fonctionnent plus froidement que les moteurs à courant alternatif. Ils sont très silencieux, tant du point de vue du bruit électrique que du point de vue sonore. Comme ils ne créent pas d'étincelles comme les moteurs à balais, ils sont mieux adaptés aux environnements chimiques ou explosifs.

- ***Moteurs universels et moteurs à courant continu à enroulement en série***

Les moteurs à courant continu dont les enroulements de champ et d'induit sont placés en série permettent au moteur de fonctionner sur une alimentation en courant alternative ou continue. Ces moteurs sont appelés moteurs universels ou moteurs à enroulement en série. Bien que très flexibles en termes d'utilisation de l'énergie, ils présentent plusieurs inconvénients par rapport aux moteurs standard à courant alternatif ou continu.

Lorsqu'un moteur universel augmente sa vitesse, son couple de sortie diminue, ce qui le rend peu pratique pour les applications à haute vitesse et à couple élevé. Sans charge fixée, ces moteurs ont également tendance à "s'emballer", ce qui peut les endommager. Une charge permanente, telle qu'un ventilateur de refroidissement, est souvent fixée à l'arbre pour limiter ce problème. Le couple de démarrage élevé peut être utile dans certaines applications de **démarrage**.

Les moteurs universels fonctionnent mieux en courant continu qu'en courant alternatif et sont plus adaptés à une utilisation intermittente. Le contrôle précis de la vitesse peut également être problématique.

1.6. Capteurs

Presque tout système d'automatisation industrielle comprend des capteurs pour la détection des différents "états" du processus de fabrication contrôlé et des actionneurs comme sorties pour agir en temps réel et obtenir le comportement souhaité de la procédure de production. Après la présentation des actionneurs dans la section précédente, les capteurs (par leurs types, leurs propriétés, leur mise en œuvre et la théorie de base qui les sous-tend) sont décrits dans cette sous-section. Les capteurs sont des dispositifs qui, lorsqu'ils sont exposés à un phénomène physique (température, pression, déplacement, force, etc.), produisent un signal de sortie capable d'être traité par le système d'automatisation. Les termes "transducteur" et "compteur" sont souvent utilisés comme synonymes de capteurs, alors que simultanément, certains capteurs sont associés au terme "interrupteur", ce qui crée une confusion quant à la terminologie correcte. En outre, certains auteurs considèrent que le terme "capteur" désigne uniquement l'élément de détection de la grandeur physique et non l'ensemble du dispositif qui, avec l'élément de détection, transforme la variable physique en une forme de signal électrique. Définissons la signification de ces termes tels qu'ils seront utilisés dans ce manuel.

En général, les capteurs transforment la variation d'une grandeur physique en un signal de sortie électrique, qui peut être analogique ou numérique. Dans le premier cas, le capteur produit un signal de sortie continu qui varie proportionnellement au paramètre détecté. Par exemple, un capteur de pression peut produire un signal de sortie de 4-20 mA DC, ou de 0-10 V DC pour une variation de pression de 0-725 psi. Dans le second cas, le capteur produit un signal de sortie discret sous la forme d'un ON ou d'un OFF, faisant généralement changer d'état un contact SPDT lorsque la quantité physique dépasse une valeur prédéfinie. Les capteurs à sortie analogique peuvent également être appelés transducteurs, tandis que les capteurs à sortie discrète (ou binaire ou numérique) sont appelés commutateurs, par exemple "capteur ou commutateur de proximité". Lorsque les transducteurs comprennent un convertisseur analogique-numérique (ADC), ils sont alors appelés transducteurs numériques, car leur sortie peut être directement adaptée à un contrôleur numérique, et ne doivent pas être confondus avec les capteurs binaires ou numériques de type interrupteur.

Un circuit d'automatisation conventionnel ne peut pas manipuler la sortie des transducteurs en raison de sa forme analogique, et il ne peut donc être combiné qu'avec des capteurs dont la sortie est de type interrupteur. D'autre part, les systèmes d'automatisation modernes sont réalisés par des automates programmables, qui peuvent accepter à la fois des

signaux de type numérique (ON-OFF) et des signaux de type analogique de courant ou de tension, variés dans certaines plages standard. Il est évident que pour une même variable physique (par exemple, la température), il existe sur le marché des capteurs avec une sortie de type interrupteur et des transducteurs avec une sortie de type analogique, le choix entre les deux dépendant du type d'application. Il convient également de noter que certains transducteurs, y compris une unité de conditionnement du signal, peuvent offrir une deuxième sortie de type commutateur, à l'exception de ceux qui ont une sortie de type analogique, répondant à une valeur définie manuellement de la quantité physique détectée. Dans ce sens, les capteurs numériques avec des sorties discrètes seront principalement couverts dans cette section, mais certains transducteurs seront également inclus.

1.6.1. Relais de surcharge thermique

Les relais de surcharge thermique sont des dispositifs destinés à protéger les moteurs contre les situations de surintensité qui peuvent les endommager. Avant de procéder à leur description détaillée, distinguons quelques questions concernant leur fonctionnement. Contrairement à leur nom largement répandu, ces dispositifs ne sont pas des relais comme ceux décrits dans la section 4.1, mais des capteurs détectant le courant électrique.

En outre, ces relais pourraient être considérés ou appelés "interrupteurs", mais ne sont pas des interrupteurs bien qu'ils effectuent indirectement l'action de commuter. En effet, les relais de surcharge thermique peuvent interrompre le circuit auxiliaire ou de commande d'un relais de puissance - c'est-à-dire le véritable interrupteur - en provoquant sa désactivation. De ce point de vue, un relais de surcharge thermique fait partie intégrante de tout relais de puissance alimentant un moteur électrique. Il est mécaniquement et électriquement couplé au relais de puissance, et les deux constituent ensemble un dispositif de puissance unifié qui est inséré dans le circuit de puissance d'un moteur électrique.

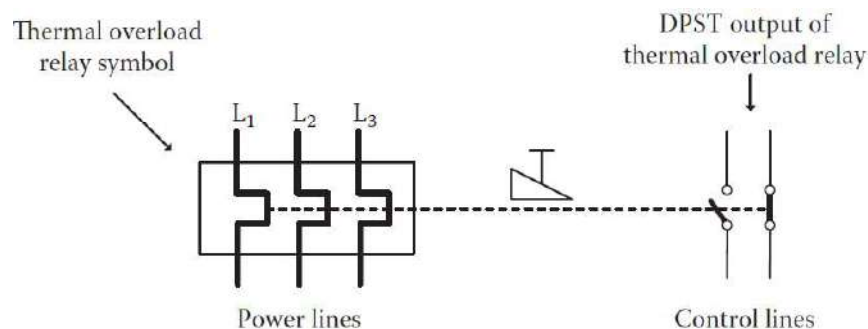


Figure 1.18. Symbole schématique d'un relais de surcharge thermique.

1.6.2. Détecteurs de proximité

Les détecteurs de proximité sont, en général, des capteurs permettant de détecter sans contact la présence de divers objets, métalliques ou non, devant la zone d'action des détecteurs. La forme d'un détecteur de proximité typique est illustrée à la Figure 1.19. Il existe trois types fondamentaux de détecteurs de proximité en ce qui concerne leurs principes de fonctionnement : inductif, capacitif et magnétique. Le fonctionnement des détecteurs de proximité inductifs est basé sur la variation de l'inductance magnétique. Les détecteurs de proximité capacitifs basent leur fonctionnement sur la variation de la capacité et les détecteurs de proximité magnétiques sur la variation du flux magnétique. Les détecteurs de proximité les plus utilisés dans les applications industrielles sont les détecteurs inductifs et capacitifs. Les avantages substantiels de l'utilisation des détecteurs de proximité par rapport à d'autres détecteurs (par exemple, les interrupteurs de fin de course) sont les suivants :

- Longue durée de vie électrique
- Durabilité aux vibrations, aux mouvements accélérés et aux environnements toxiques.
- Fonctionnement sous tension CC ou CA
- Réponse efficace lors de l'approche à grande vitesse des objets et de l'excitation à haute fréquence.
- Absence de tout type d'éléments mobiles



Figure 1.19. Vue extérieure typique d'un capteur de proximité.

1.6.3. Interrupteurs photoélectriques

Les interrupteurs photoélectriques, également appelés cellules photoélectriques, sont des capteurs à semi-conducteurs capables de détecter la présence d'un objet à grande distance et d'utiliser un transistor de sortie pour modifier l'état de leur sortie numérique de type SPDT. La détection sans contact est effectuée par un faisceau de lumière, visible ou infrarouge, qui peut

être interrompu ou ignoré par l'objet détecté. En général, l'interruption du faisceau lumineux émis par le composant émetteur, due à la présence d'un objet, est détectée par le récepteur correspondant et provoque l'activation de la sortie du capteur. La figure 1.20 présente une forme extérieure typique d'un interrupteur photoélectrique. En général, il existe trois types fondamentaux de commutateurs photoélectriques, en fonction du type de réflexion du faisceau utilisé, qui peuvent être classés en trois catégories : "barrage", "rétro-réflexion" et "diffus".



Figure 1.20 Vue extérieure typique d'un capteur photoélectrique.

1.6.4. Interrupteurs de fin de course

Les interrupteurs de fin de course sont des constructions purement mécaniques, où les seules parties électriques qu'ils possèdent sont leurs contacts électriques. Ces types d'interrupteurs ont la capacité de détecter la "fin ou la limite d'un mouvement" grâce au mouvement rectiligne et à la force d'un plongeur qui sont transférés au mécanisme interne et convertis en contacts électriques ouverts ou fermés, comme le montre la Figure 1.21a. Le ressort de rappel remet l'interrupteur dans sa position initiale normale, lorsque la cause du mouvement du plongeur est éliminée. Le boîtier de l'interrupteur peut être fabriqué en aluminium ou en matière plastique, mais dans tous les cas, il protège le mécanisme interne grâce à une isolation électrique et une résistance mécanique supérieures. La figure 1.21a montre l'actionnement manuel de l'interrupteur de fin de course de la même manière qu'un interrupteur à bouton-poussoir, mais en réalité, les interrupteurs de fin de course sont actionnés mécaniquement par un objet mobile, par exemple une tige de piston ou un arbre mobile. Alors que le mouvement du plongeur pendant l'actionnement n'est possible que dans une seule direction, le mouvement de l'objet actionnant l'interrupteur peut avoir n'importe quelle direction par rapport au plongeur. D'un point de vue pratique, il est très difficile d'identifier les deux mouvements, celui du plongeur et celui de l'objet d'actionnement. Pour

cette raison, une tête d'actionnement est adaptée au corps de l'interrupteur de fin de course, comme le montre la figure 1.21b, afin qu'un mouvement spécifique de l'objet d'actionnement soit acceptable en toute sécurité par l'interrupteur de fin de course. Il existe sur le marché une large gamme d'interrupteurs de fin de course, avec différentes têtes d'actionnement, capables de détecter le mouvement de tout type d'objet mobile. Dans tous ces types, le corps de l'interrupteur est le même, la seule différence étant le type de tête de capteur.

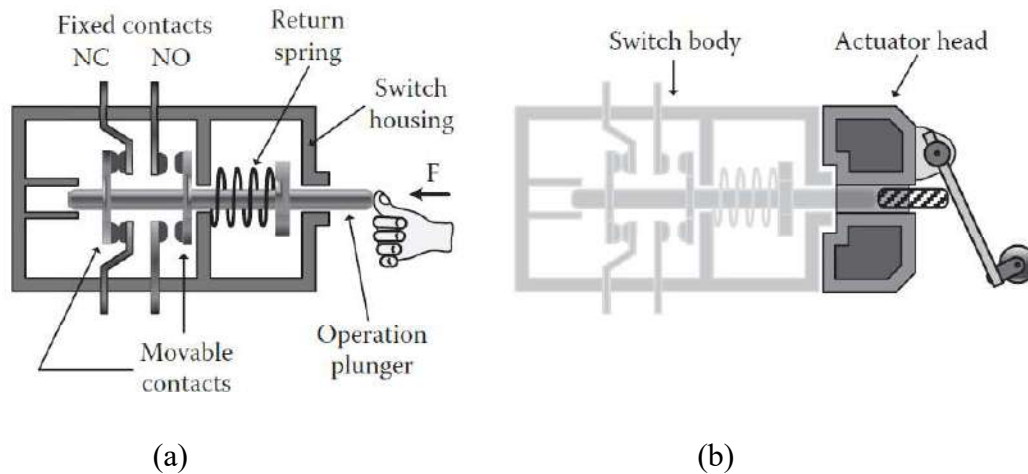


Figure 1.21. Forme typique d'un interrupteur de fin de course avec : (a) une vue intérieure du corps de l'interrupteur et (b) un corps d'interrupteur équipé d'une tête d'actionnement

1.7. Classification des systèmes automatisés

Les systèmes de fabrication automatisés peuvent être classés en trois types de base :

- L'automatisation fixe.
- L'automatisation programmable.
- L'automatisation flexible.

1.7.1. L'automatisation fixe

L'automatisation fixe est un système dans lequel la séquence des opérations de traitement (ou d'assemblage) est fixée par la configuration de l'équipement. Chacune des opérations de la séquence est généralement simple, impliquant un simple mouvement linéaire ou rotatif ou une combinaison simple des deux ; par exemple, l'alimentation d'une broche rotative. C'est l'intégration et la coordination d'un grand nombre de ces opérations dans une seule pièce d'équipement qui rend le système complexe. Les caractéristiques typiques de l'automatisation fixe sont les suivantes :

- Un investissement initial élevé pour un équipement conçu sur mesure
- Des taux de production élevés
- Relativement peu de souplesse pour s'adapter à la diversité des produits.

La justification économique de l'automatisation fixe se trouve dans les produits fabriqués en très grandes quantités et à des taux de production élevés. Le coût initial élevé de l'équipement peut être réparti sur un très grand nombre d'unités, ce qui rend le coût unitaire intéressant par rapport aux autres méthodes de production. Les lignes de transfert d'usinage, les machines d'assemblage automatisées, les processus de distillation, les convoyeurs et les ateliers de peinture sont des exemples d'automatisation fixe.

1.7.2. L'automatisation programmable

Dans l'automatisation programmable, l'équipement de production est conçu avec la capacité de modifier la séquence des opérations pour s'adapter à différentes configurations de produits. La séquence d'opérations est contrôlée par un programme, qui est un ensemble d'instructions codées de manière à pouvoir être lues et interprétées par le système. De nouveaux programmes peuvent être préparés et introduits dans l'équipement pour fabriquer de nouveaux produits. Voici quelques-unes des caractéristiques de l'automatisation programmable :

- Un investissement élevé dans des équipements à usage général.
- Des taux de production inférieurs à ceux de l'automatisation fixe.
- Flexibilité pour faire face aux variations et aux changements de configuration du produit.
- Plus adaptée à la production par lots.

Les systèmes de production automatisés programmables sont utilisés pour la production de faibles et moyens volumes. Les pièces ou les produits sont généralement fabriqués par lots. Pour produire chaque nouveau lot d'un produit différent, le système doit être reprogrammé avec l'ensemble des instructions machine correspondant au nouveau produit. La configuration physique de la machine doit également être modifiée. Les outils doivent être chargés, les montages doivent être fixés à la table de la machine et le réglage requis de la machine doit être saisi. Cette procédure de changement prend du temps. Par conséquent, le cycle typique d'un produit donné comprend une période pendant laquelle le réglage et la reprogrammation ont lieu, suivie d'une période pendant laquelle le lot est produit. Les exemples

d'automatisation programmable comprennent les machines-outils à commande numérique (CN), les robots industriels, les automates programmables, les laminoirs à acier et les papeteries.

1.7.3. L'automatisation flexible

L'automatisation flexible est une extension de l'automatisation programmable. Un système automatisé flexible est capable de produire une variété de pièces (ou de produits) sans pratiquement aucune perte de temps pour les changements d'un style de pièce à l'autre. Il n'y a pas de perte de temps de production lors de la reprogrammation du système et de la modification de la configuration physique (outillage, montages, réglages de la machine). Par conséquent, le système peut produire diverses combinaisons et programmes de pièces ou de produits au lieu d'exiger qu'ils soient fabriqués par lots. Ce qui rend l'automatisation flexible possible, c'est que les différences entre les pièces traitées par le système ne sont pas importantes. Il s'agit d'une variété douce, de sorte que la quantité de changement nécessaire entre les styles est minimale. Les caractéristiques de l'automatisation flexible peuvent être résumées comme suit :

- Investissement élevé pour un système conçu sur mesure.
- Production continue de mélanges variables de produits.
- Taux de production moyen.
- Flexibilité pour faire face aux variations de la conception du produit.

Les systèmes de fabrication flexibles destinés à effectuer des opérations d'usinage, qui datent de la fin des années 1960, sont des exemples d'automatisation flexible. Les positions relatives des trois types d'automatisation pour différents volumes de production et variétés de produits sont représentées à la figure 1.22. Pour les faibles quantités de production et le lancement de nouveaux produits, la production manuelle est compétitive par rapport à l'automatisation programmable, comme nous l'indiquons dans la figure.

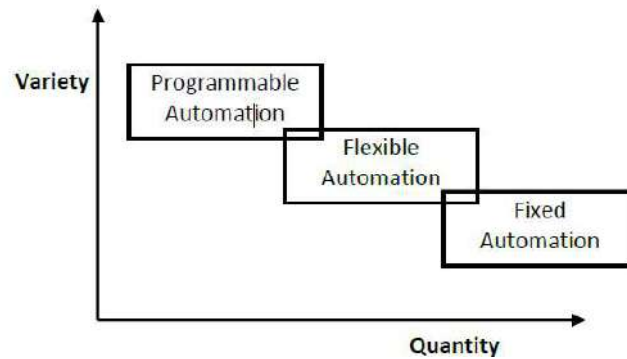


Figure 1.22. Trois types d'automatisation par rapport à la quantité de production et à la variété des produits.

En plus les systèmes automatisés sont classés en fonction de la nature des informations de commande et de mesure. On distingue deux types d'informations : **analogiques et discrètes**.

Une information analogique peut prendre, de manière continue, toutes les valeurs possibles dans un intervalle donné.

- Un signal analogique peut être représenté par une courbe continue.
- Les grandeurs physiques (température, vitesse, position, tension, ...) sont des informations analogiques.

Une information discrète est constituée d'un nombre fini de valeurs. On distingue :

- Une information logique du type (0/1).
- Elle est associée à l'état d'une variable qui ne peut prendre que deux valeurs possibles.
- Ces informations peuvent aussi être appelées des informations binaires (bit) ou (Tout Ou Rien TOR).

1.8. Spécification des niveaux du cahier des charges

Les équipements d'automatismes mettent en œuvre des produits facilitant la mise en place, le câblage et le raccordement des constituants d'automatisme. Ces produits doivent répondre à certaines normes locales et internationales ainsi qu'aux normes de sécurité du matériel et de protection des personnes. La réalisation d'un équipement comprend 3 phases :

- La conception (schéma, écriture du programme, choix du matériel, étude d'implantation).
- La construction (montage, câblage, essais, mise en coffret ou en armoire).

- L'installation (passage des câbles, raccordements, mise en service).

Une réalisation d'équipement d'automatisme réussie repose essentiellement sur l'analyse d'un cahier des charges précis. Il importe que le cahier des charges de la partie commande contienne tous les éléments nécessaires à la réalisation du projet. Il est étroitement lié au cahier des charges de la partie opérative (mécanique et actionneurs). Les renseignements qu'il comporte servent :

- Au choix de la solution à mettre en œuvre.
- À la réalisation proprement dite.
- Aux essais de vérification du fonctionnement.
- À la définition des coûts et des calendriers prévisionnels.
- De référence pour la réception.

Pour faciliter l'expression du besoin client, il est souhaitable que le cahier des charges soit structuré de la manière suivante :

- Généralités : présentation de l'application, normes et recommandations, impositions éventuelles de matériel, Caractéristiques du réseau d'alimentation, etc.
- Utilisation : disposition des organes de commande, modes d'exploitation, fréquence d'utilisation, etc.
- Caractéristiques fonctionnelles : fonctions à réaliser, extensions possibles, dialogue homme/machine, équipements périphériques, etc.
- Environnement : température, hygrométrie, vibrations, chocs, atmosphère corrosive, poussières, etc.
- Les logiciels spécifiques : par exemple logiciels d'aide au diagnostic, la supervision, les protocoles de communication, etc.
- Réglages : nature, procédures, repérages, Procédures d'essais de réception sur site, Documents d'accompagnement.

Tout autre complément d'information pouvant impacter la réalisation de l'équipement, comme, par exemple le conditionnement pour le transport.

1.8.1. Outils de Représentation des Spécifications Fonctionnelles

Les différents travaux effectués par l' AFCET (Association Française pour la Cybernétique Économique et Technique) et l' ADEPA (Agence pour le Développement de la

Productique Appliquée) dans le domaine des automatismes industriels ont conduit à une représentation graphique des spécifications fonctionnelles d'un cahier des charges, Dont la formulation est indépendante de toute technologie de réalisation, que celle-ci soit câblée ou programmée.

1.8.1.1. Le Grafcet

Le Grafcet (Graphe Fonctionnel de Commande des Etapes et Transitions) est un mode de représentation et d'analyse d'un automate, particulièrement bien adapté aux systèmes à évolution séquentielle, c'est-à-dire décomposable en étapes. Il est dérivé du modèle mathématique des réseaux de Petri.

Le Grafcet est donc un langage graphique représentant le fonctionnement d'un automate par un ensemble :

- D'étapes auxquelles sont associées des actions.
- De transitions entre étapes auxquelles sont associées des conditions de transition (réceptivités).
- Des liaisons orientées entre les étapes et les transitions.

1.8.1.2. Le GEMMA

Le GEMMA (Guide d'Etude des Modes de Marche et d'Arrêt) est un guide graphique élaboré par l'ADEPA. Il constitue une méthode d'approche des Modes de Marches et d'Arrêts des systèmes. C'est un outil d'aide complémentaire au GRAFCET qui permet d'exprimer de façon claire et complète les besoins en modes de marche et d'arrêt d'un système automatisé. Le GEMMA est un document (outil-méthode) structuré prêt à être rempli par son utilisateur afin de suivre une approche guidée et systématique.

1.8.1.3. Les logigrammes

Les logigrammes ont été très utilisés à l'époque où les modules logiques électroniques étaient la technologie reine. Ils ne sont plus guère employés que lors de la conception de circuits intégrés. Ils sont basés sur l'utilisation des symboles des grandes fonctions élémentaires logiques : ET, OU, NI, PAS, Temporisation, Mémoire, etc.

1.8.1.4. Les chronogrammes

Les chronogrammes sont particulièrement utiles dans la description de séquences d'automatisme très rapides, quand le synchronisme ou l'ordre de succession des différentes actions sont cruciaux. Un chronogramme est une représentation schématique temporelle de l'évolution d'un système automatisé en fonction des variations d'état d'une ou plusieurs entrées.

1.8.1.5. Schéma à Contacts

Les premières personnes amenées à programmer les automates industriels furent des électriciens. Les constructeurs ont développé un langage proche du schéma électrique pour aider l'adoption dans l'entreprise de leurs automates. C'est le langage dit LADDER ou schéma à contacts. La représentation des différents éléments a été simplifiée pour faciliter l'impression de ces schémas sur une imprimante.

Chapitre 2

Le Grafset

II.1. Introduction

La modélisation des systèmes à événements discrets avec un comportement séquentiel peut être une tâche très difficile et complexe. Certains formalismes sont utilisés dans ce contexte, tels que : Les réseaux de Petri, les Statecharts, les automates finis, le Grafcet et d'autres. Parmi ceux-ci, le Grafcet semble être un bon choix car il est facile : à apprendre, à comprendre et à utiliser.

II.2. Définition et notions de bases

II.2.1. Historique

En 1975, un groupe d'universitaires et d'industriels de la section "Systèmes logiques" de l'AF CET (Association Française de Cybernétique Economique et Technique) s'est fixé pour objectif de définir un formalisme adapté à la représentation des évolutions séquentielles d'un système et présentant les caractéristiques suivantes :

- Simple.
- Accepté par tous.
- Intelligible tant par les concepteurs que par les opérateurs.
- Permettant potentiellement une facilité de transition vers une réalisation - matérielle et / ou logicielle - de l'automatisme ainsi spécifié.

Au départ, le travail a consisté à dresser un état de l'art des différentes approches de modélisation du comportement de tels automatismes. Trois grandes classes d'outils de modélisation ont ainsi été identifiées :

- Les organigrammes.
- Les réseaux de Petri.
- Les graphes d'états.

L'analyse des avantages et inconvénients de ces outils a conduit, en 1977, à la définition du GRAFCET, ainsi nommé pour marquer à la fois l'origine de ce nouvel outil de modélisation "AF CET" et son identité. Transitions). Les résultats de ces travaux ont fait l'objet d'une publication officielle dans la revue "Automatic and Industrial Computing" en décembre 1977, date que la communauté considère aujourd'hui comme correspondant à la date de naissance effective du GRAFCET.

II.2.2. Définition

Le GRAFCET (Graphique Fonctionnel de Contrôle par Etapes et Transitions) ou SFC (Sequential Function Chart) est un outil graphique qui décrit les différents comportements de l'évolution d'un automatisme et établit une correspondance séquentielle et combinatoire entre :

- INPUTS, c'est-à-dire les transferts d'informations de la Partie Opérationnelle vers la Partie Commande.
- OUTPUTS, c'est-à-dire les transferts d'informations de la Partie Commandante vers la Partie Opérationnelle.

C'est un outil graphique puissant, directement exploitable, car c'est aussi un langage pour la plupart des APIs existant sur le marché. Lorsque le mot GRAFCET (lettre majuscule) est utilisé, il fait référence à l'outil de modélisation. Lorsque le mot grafcet est écrit en minuscule, il fait alors référence à un modèle obtenu en utilisant les règles du GRAFCET.

II.2.2.1. Le GRAFCET comprend

- Les étapes associées aux actions.
- Des transitions associées à des réceptivités.
- Des liens orientés reliant les étapes et les transitions.

II.2.2.2. Description du GRAFCET

La description du comportement attendu d'un automatisme peut être représentée par un GRAFCET d'un certain " niveau ". La caractérisation du " niveau " du GRAFCET nécessite la prise en compte de trois dimensions :

- Le point de vue, caractérisant le point de vue selon lequel un observateur est impliqué dans le fonctionnement du système pour en donner une description. Il existe trois points de vue :
 - ✓ Un point de vue système.
 - ✓ Un point de vue de la partie opérative.
 - ✓ Un point de vue du donneur d'ordre.
- Le cahier des charges, caractérisant la nature des spécifications techniques que le donneur d'ordre doit respecter. Il existe trois groupes de spécifications :
 - ✓ Les spécifications fonctionnelles.
 - ✓ Spécifications technologiques.
 - ✓ Spécifications opérationnelles.

La finesse, caractérisant le niveau de détail de la description de l'opération, depuis un niveau global (ou macro-représentation) jusqu'au niveau de détail complet où toutes les actions et informations élémentaires sont prises en compte.

II.3. Règles d'établissement du GRAFCET

Un grafcet est un graphe qui est composé d'étapes et de transitions, reliées entre elles par des connexions ou des arcs dirigés

II.3.1. Étape

Une Étape est représentée par un carré auquel est associé un numéro unique.

Une étape peut être initiale (représentée par un double carré).

Une étape est soit active, soit inactive.

L'ensemble des étapes actives (appelé situation) définit entièrement l'état du système. On spécifie pour chaque étape, les actions à exécuter. Ces actions ne sont exécutées que lorsque l'étape correspondante est active. On peut associer une condition à ces actions, l'action n'est alors exécutée que si l'étape est active et que la condition est réalisée.

La situation initiale d'un système automatisé est indiquée par une étape appelée étape initiale et représentée par un double carré.

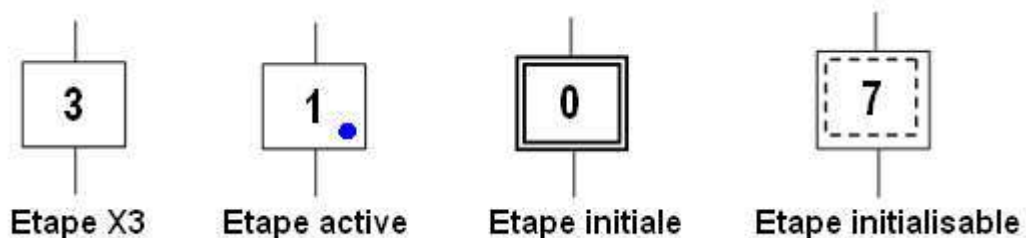


Figure 2.1. Situation des étapes d'un système automatisé.

Note : Dans un grafcet, il doit y avoir au moins une étape initiale.

II.3.2. Actions associées aux étapes

Chaque étape est associée à une ou plusieurs actions, c'est-à-dire un ordre à la partie opérative ou à d'autres grafcets. Mais on peut aussi rencontrer une même action associée à plusieurs étapes ou une étape vide (sans action).

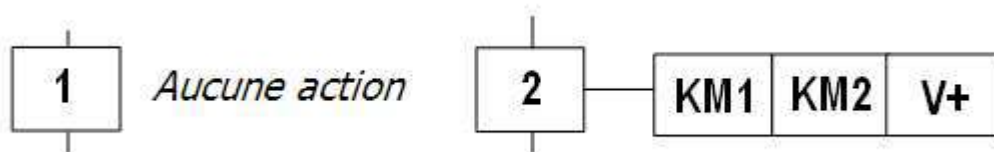


Figure 2.2. Actions associées aux étapes.

II.3.3. Transition

Une transition est représentée par une ligne horizontale. Une transition représente une possibilité de changement de comportement du système. Ce changement de comportement (le passage d'une étape à la suivante) correspond au franchissement d'une transition. Une transition est validée lorsque toutes les étapes précédentes sont actives. La proposition logique qui conditionne la transition est appelée la réceptivité.

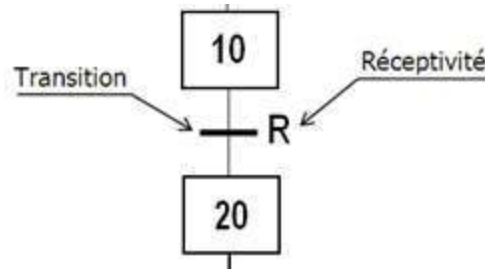


Figure 2.3. Transition associée une condition logique appelée réceptivité.

La réceptivité qui est une information d'entrée qui est fournie par :

II.3.4. Liaisons orientées

Chaque arc dirigé relie une étape à une transition ou une transition à une étape : il y a toujours alternance stricte : étape-transition. Lorsque cette connexion est connexion est dirigée vers le haut, nous montrons la direction par une flèche vers le haut.

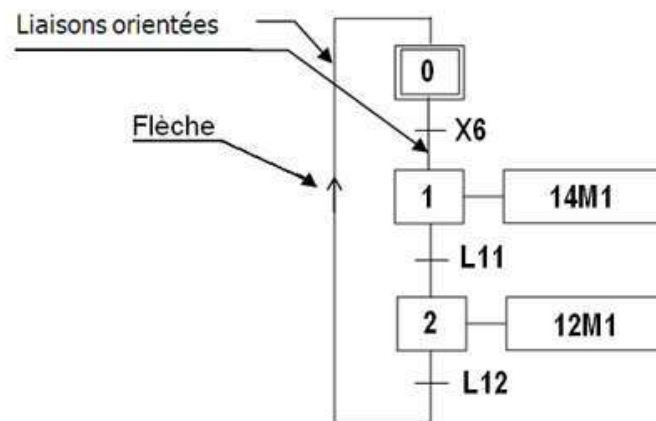


Figure 2.4. Liaisons orientées entre les étapes et les transitions.

II.3.5. Classification des actions associées aux étapes

Les actions associées aux étapes sont de plusieurs types. On distingue les actions :

- Continues
- Conditionnelles
- Retardées

- Limitées dans le temps
- Mémorisées

On note X_i l'étape et A_i l'action.

X_i représente la variable d'étape.

Cette variable prend 1 lorsque l'étape est active et 0 dans le cas contraire.

II.3.5.1. Les Actions Continues

Les actions continues s'exécutent durant toute l'activité de l'étape. On parle d'assignation d'état car $A_i = X_i$.

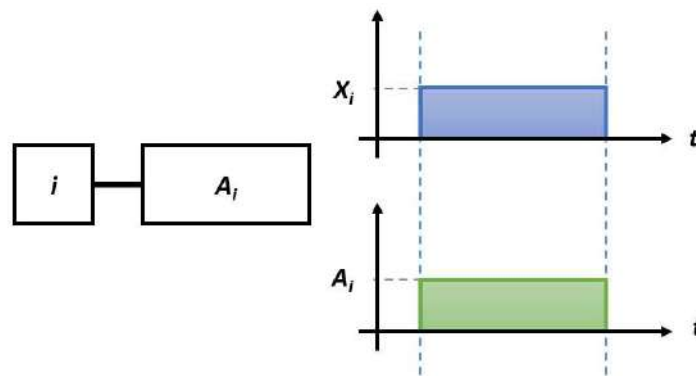


Figure 2.5. Chronogramme de l'action continue.

II.3.5.2. Les Actions Conditionnelles

Elles n'ont lieu (apparu) que si l'étape est active et si la condition associée à l'action est vraie.

- Si C_i est la condition associée,
- L'équation de l'action est $A_i = X_i \cdot C_i$

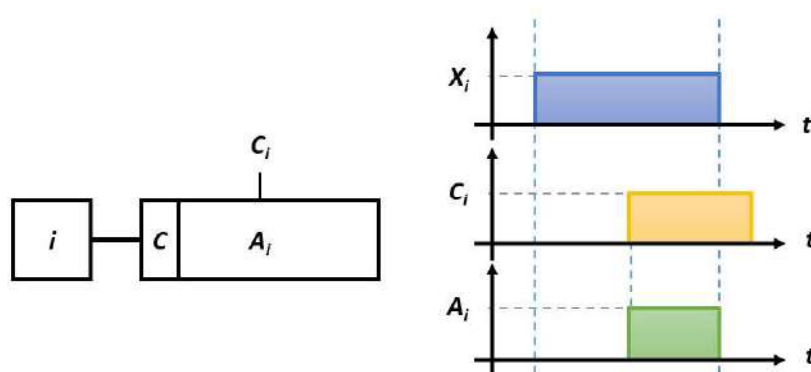


Figure 2.6. Chronogramme de l'action Conditionnelle.

II.3.5.3. Les Actions Retardées et Les Actions Limitées dans le Temps

Il s'agit d'actions conditionnelles sauf que la condition C_i dans ce cas est une variable temporelle (temporisation).

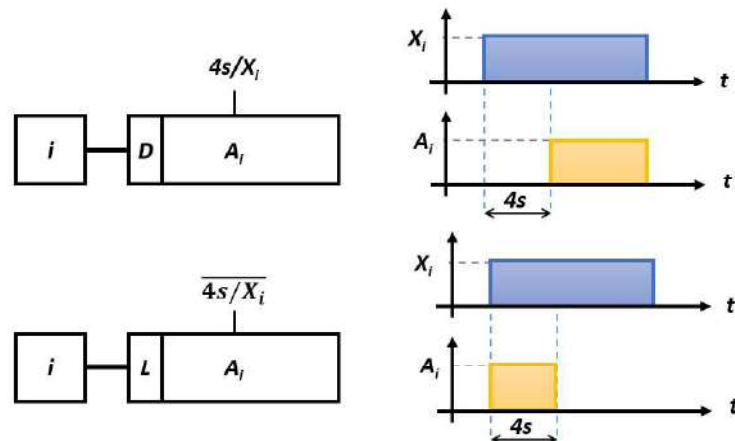


Figure 2.7. Chronogramme de l'action retardées et l'actions limitées dans le temps.

II.3.5.4. Les Actions Mémorisées

Une action mémorisée décrit comment affecter une valeur à une sortie qui doit être conserver (garder). On souhaiterait par exemple qu'une action soit exécutée à l'étape 2 et qu'elle ne puisse s'arrêter qu'à l'étape 4. On utilise à cet effet les éléments mémoire SET et RESET.

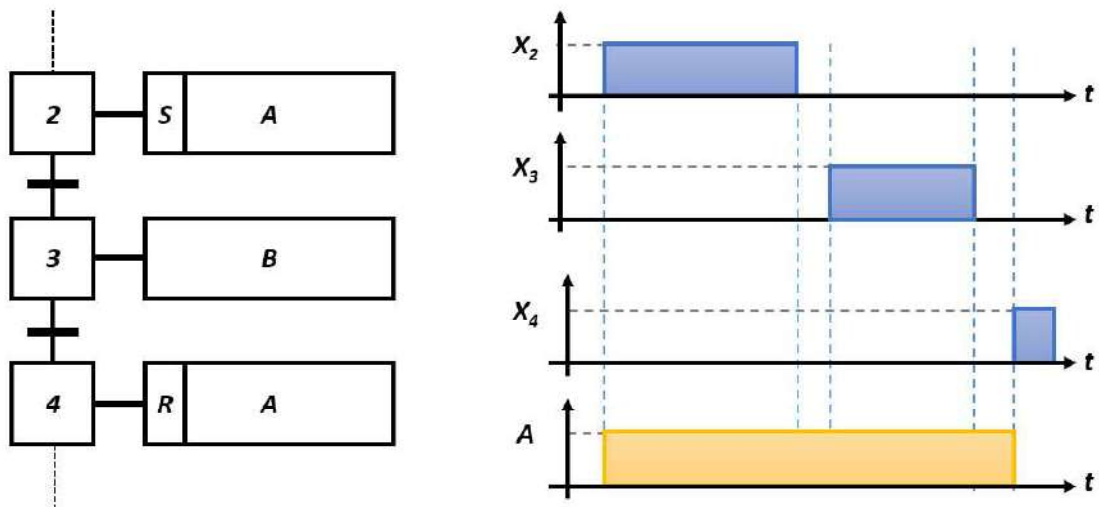


Figure 2.8. Chronogramme de l'action mémorisée.

II.4. Règles d'évolution

L'évolution d'un grafcet est soumise à cinq règles :

II.4.1. Règle 1 : Situation initiale

La situation initiale d'un grafcet caractérise le comportement initial de la partie commande par rapport à la partie opérative, à l'opérateur et/ou aux éléments extérieurs. Elle correspond aux étapes actives au début de l'opération : ces étapes sont les étapes initiales.

II.4.2. Règle 2 : Franchir une transition

Une transition est validée lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes liées à cette transition sont actives. Le franchissement de la transition se produit :

- ✓ Lorsque la transition est validée.
- ✓ ET lorsque la réceptivité associée à cette transition est vraie.

II.4.3. Règle 3 : Évolution des étapes activées

Le franchissement d'une transition implique simultanément l'activation de toutes les étapes immédiatement suivantes et l'inactivation de toutes les étapes immédiatement précédentes.

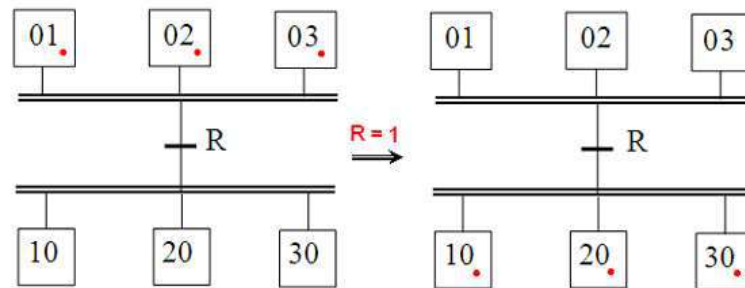


Figure 2.9. Franchissement d'une transition.

II.4.4. Règle 4 : Évolution simultanée

Plusieurs transitions franchissables simultanément sont franchies simultanément.

II.4.5. Règle 5 : Activation et inactivation simultanées

Si, au cours d'une opération, une même étape est simultanément activée et inactivée, elle reste active.

II.5. Sélection de séquence et séquences simultanées

II.5.1. Notion de séquence

Une séquence, dans un Grafcet, est une série d'étapes à exécuter l'une après l'autre. En d'autres termes, chaque étape ne comporte qu'une transition DOWNSTREAM et une transition UPSTREAM.

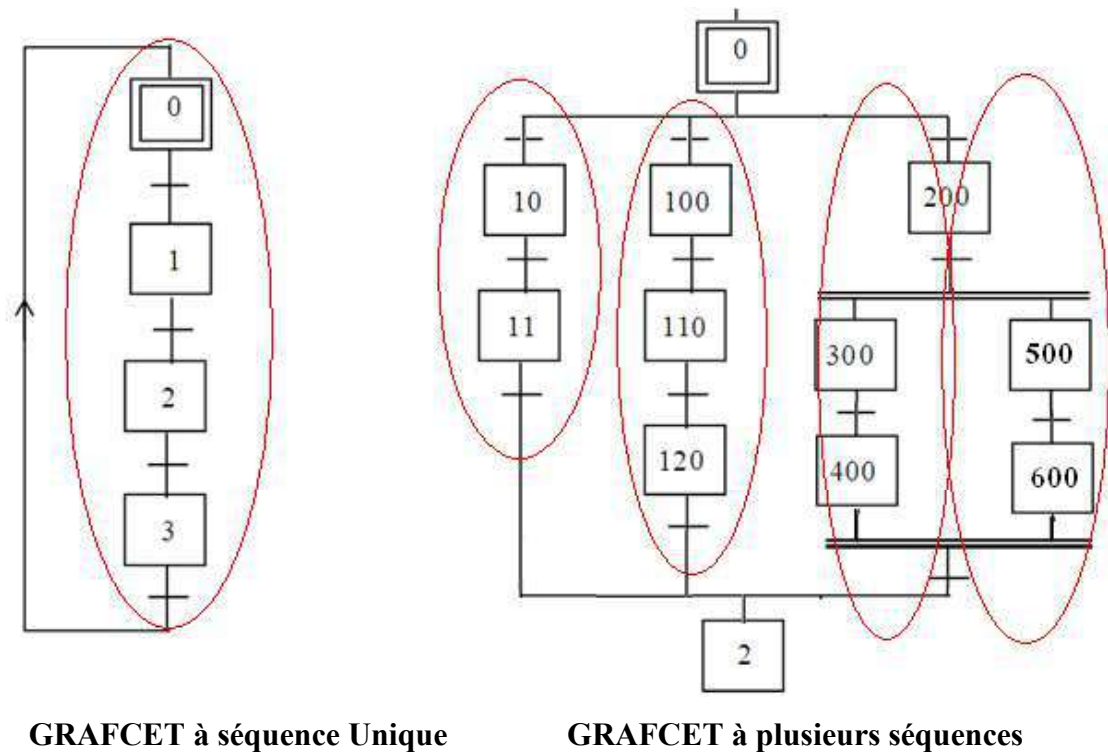


Figure 2.10. Concept de séquence.

II.5.2. Séquences Simultanées

Pour des séquences simultanées, le franchissement d'une transition conduit à l'activation de plusieurs étapes en même temps. Ces étapes déclencheront alors des séquences indépendantes mais dont les évolutions sont simultanées.

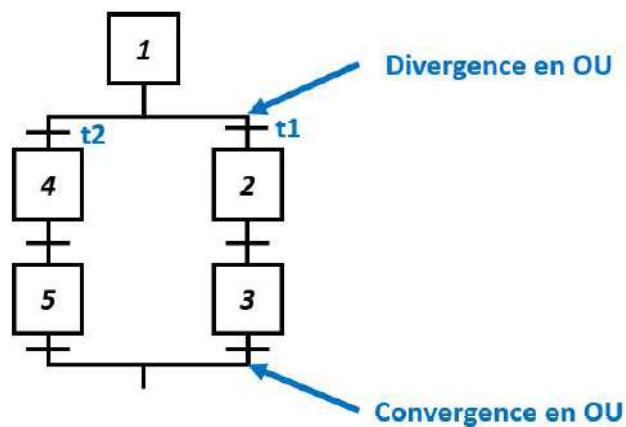


Figure 2.11. Concept de séquence simultanée.

II.5.3. Saut d'étapes et reprise de séquence

Le saut d'étapes permet de sauter une ou plusieurs étapes lorsque les actions associées sont inutiles, La reprise de séquence (ou boucle) permet de reprendre, une ou plusieurs fois, une séquence tant qu'une condition n'est pas obtenue.

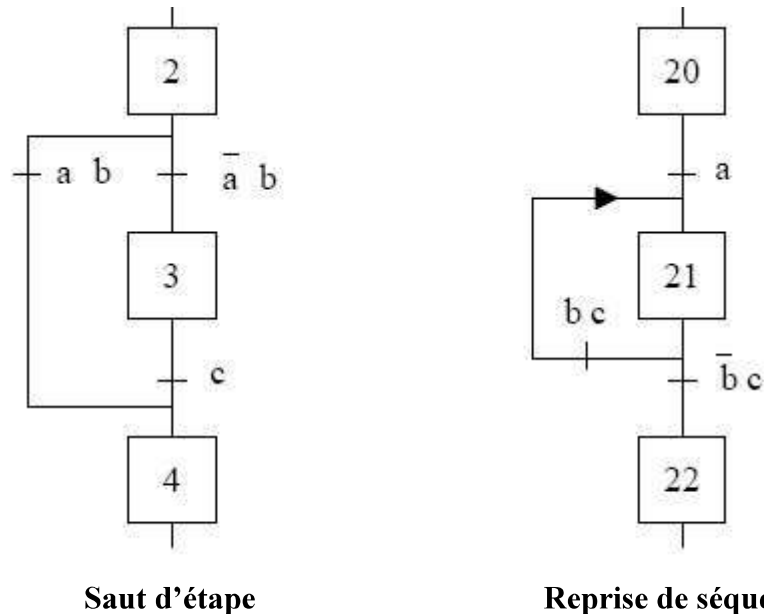


Figure 2.12. Saut d'étapes et reprise de séquence.

II.5.4. Aiguillage entre deux ou plusieurs séquences (Divergence en OU)

On dit qu'il y a commutation ou divergence en OU lorsque le grafcet est décomposé en deux ou plusieurs séquences en fonction d'un choix conditionnel. Comme la divergence en RO on rencontre aussi la convergence en OU. On dit qu'il y a convergence en OU, lorsque deux ou plusieurs séquences du grafcet convergent vers une seule séquence.

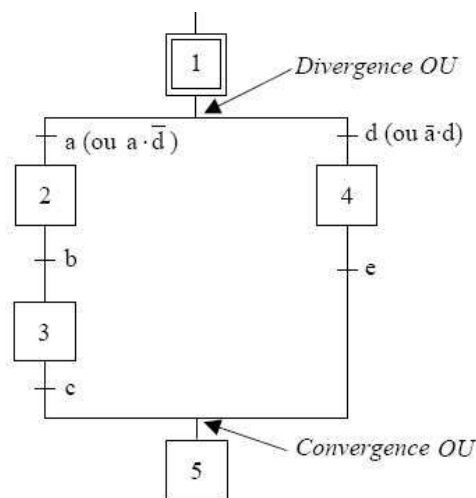


Figure 2.13. Aiguillage entre deux ou plusieurs séquences.

Si les deux conditions a et d sont à 1 simultanément, les étapes 2 et 4 seront actives simultanément, une situation non prévue par le concepteur. Elles doivent donc être des conditions exclusives.

II.5.5. Parallélisme entre deux ou plusieurs séquences (ou séquences simultanées ou divergence-convergence en ET)

Contrairement à la commutation où une seule activité peut avoir lieu à la fois, on dit que l'on est en présence d'un parallélisme structurel, si plusieurs activités indépendantes peuvent se dérouler en parallèle. Le début d'une divergence ET et la fin d'une convergence ET d'un parallélisme structurel sont représentés par deux lignes parallèles.

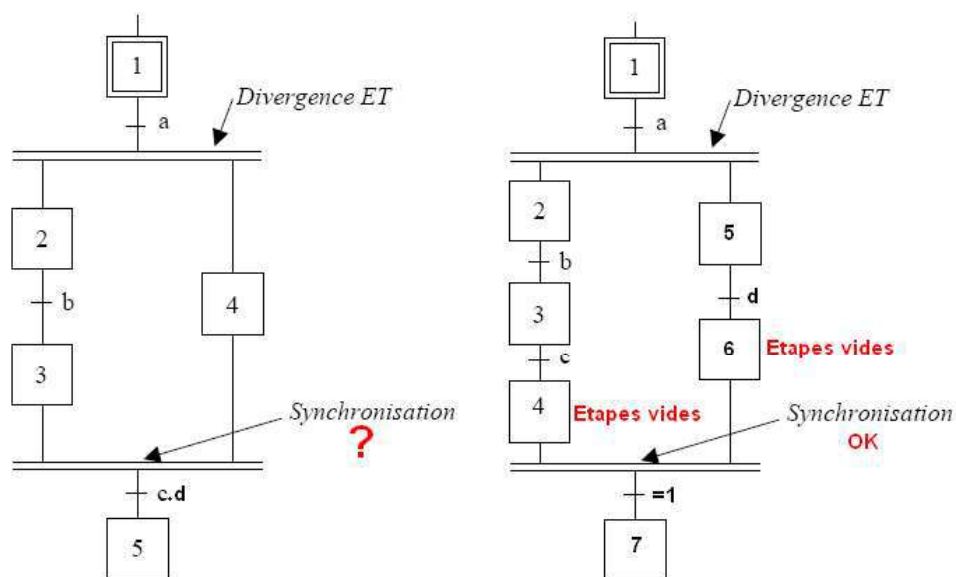


Figure 2.14. Parallélisme entre deux ou plusieurs séquences.

II.5.6. Lien entre les grafkets

Une transition est représentée par une ligne horizontale. Une transition représente une possibilité de changement de comportement du système. Ce changement de comportement (le passage d'une étape à la suivante) correspond au franchissement d'une transition. Une transition est validée lorsque toutes les étapes précédentes sont actives. La proposition logique qui conditionne la transition s'appelle la réceptivité.

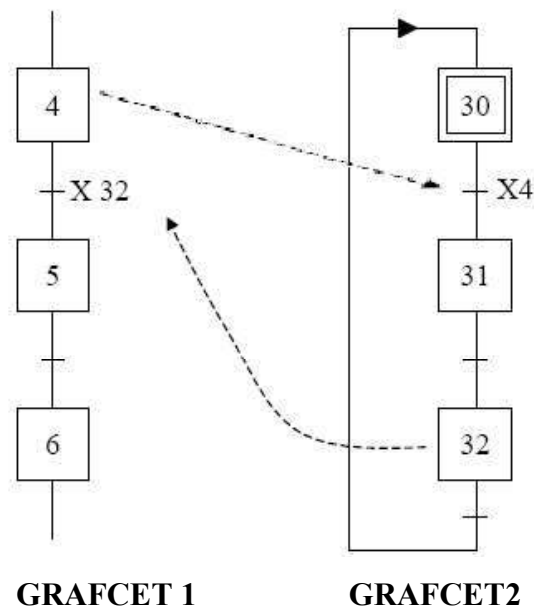


Figure 2.15. Lien entre les grafkets

Remarques

- Il faut faire attention à la construction des séquences en *OU* et en *ET*.
- Pour un choix de séquence, après la divergence, on a des réceptivités pour effectuer des choix tandis que pour des séquences simultanées c'est une seule réceptivité avant la divergence.
- Pour la convergence en *ET*, on a une seule réceptivité après la convergence.
- Pour les problèmes de synchronisation, on peut toujours adjoindre aux deux séquences des étapes dites d'attente.
- Sinon, les actions associées aux étapes 23 et 24 continueront d'évoluer jusqu'à ce que la transition de réceptivité *t2* soit vraie.

II.6. Organisation des niveaux de représentation

La description du fonctionnement attendu d'un système automatisé se fait par succession de quatre points de vue. Un point de vue signifie pour un grafcet la position prise pour le représenter. Il est clair que pour un observateur étranger à la conception du système, la représentation du grafcet ne peut pas être la même que pour un programmeur utilisant le GRAFCET comme langage de programmation.

4 Points de vue sont généralement utilisés :

II.6.1. Point de vue Système

Il décrit le comportement du système comme le ferait un observateur étranger aux solutions technologiques choisies pour réaliser des parties commande et opérative. Il est très important lorsque l'on souhaite avoir une vue globale du fonctionnement de l'automatisme.

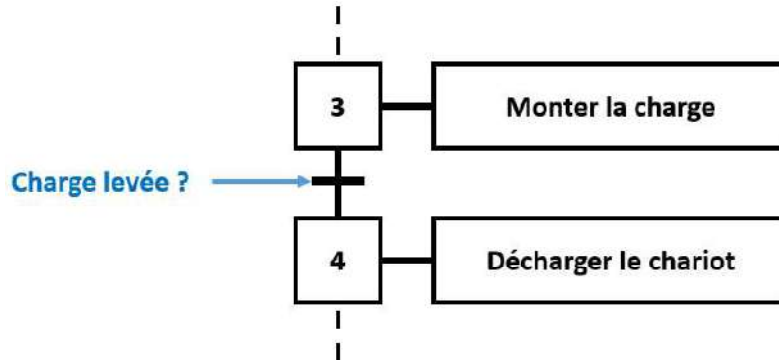


Figure 2.16. GRAFCET de point de vue système.

II.6.2. Point de vue Partie Opérative

Pour ce point de vue, tous les choix technologiques de la partie opérative sont faits (inclus). S'il faut par exemple, soulever une charge et que c'est un vérin qui a été choisi, on peut symboliser la sortie du vérin par V+ et sa rentrée par V-. A ce niveau, on se situe dans le système automatisé sans toutefois avoir connaissance de la partie commande.

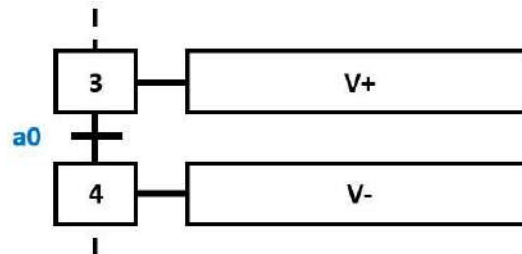


Figure 2.17. GRAFCET de point de vue partie opérative.

II.6.3. Point de vue Partie Commande

Pour ce point de vue, les choix technologiques sont connus de même que tous les échanges entre la PC et la PO. Les modes de marche arrêt peuvent être intégrés. C'est ce grafcet qui est le fruit du concepteur.

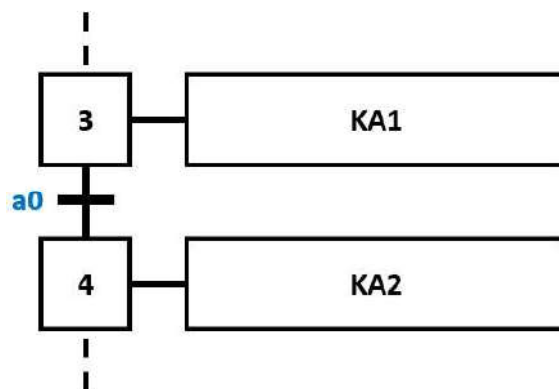


Figure 2.18. GRAFCET de point de vue partie commande.

II.6.4. Point de vue Partie Automate

A ce niveau, le choix de l'organe de commande est déjà connu : c'est un automate programmable (API). Cette représentation est très spécifique aux constructeurs d'API. Les adresses des capteurs et pré-actionneurs sont utilisées. Cette représentation est très proche de celle implantée dans l'API.

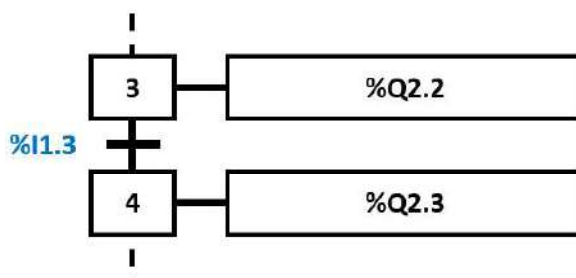


Figure 2.19. GRAFCET de point de vue Partie Automate.

- **Les deux niveaux de représentation.**

Pour aborder de façon progressive l'étude d'un automatisme, l'analyse GRAFCET est divisée en deux niveaux. Le premier niveau s'attarde aux spécifications fonctionnelles. Le second aux spécifications technologiques.

A. Grafcet niveau 1 : décrit les spécifications.

Ce niveau ne traite que le comportement logique de l'automatisme, En ignorant le choix des capteurs et actionneurs réels. Dans ce cas, les actions et les réceptivités sont décrites par des phrases.

B. Grafcet niveau 2 : tient compte de la réalisation.

Ce niveau traite le fonctionnement réel de l'automatisme. On peut aussi avoir un grafcet niveau 2 renseigné : c'est un grafcet où sont indiquées toutes les variables utilisées dans le programme automate.

II.7. Matérialisation d'un GRAFCET

Afin de réaliser l'implantation technologique du GRAFCET sur différents supports (câblés ou programmés), une conception en trois temps est préconisée. L'analyse fonctionnelle qui débouche sur l'élaboration d'un GRAFCET indépendant de la réalisation technologique. La transcription du GRAFCET en équations logiques utilisables lors de la réalisation technologique. L'implantation des équations logiques sur le support de réalisation câblé ou programmé.

II.7.1. Equation logique d'une étape

Pour décrire l'activité d'une étape, nous utilisons la notation suivante :

- $X_i = 1$ signifie que l'étape i est active.
- $X_i = 0$ signifie que l'étape i est inactive.

Soit la partie de GRAFCET suivante.

Déterminons quelles sont les variables qui interviennent dans l'activité de l'étape i :
 $X_i = f(?)$.

La règle 3 dit que le franchissement d'une transition entraîne la désactivation des étapes immédiatement précédentes et l'activation des étapes immédiatement suivantes.

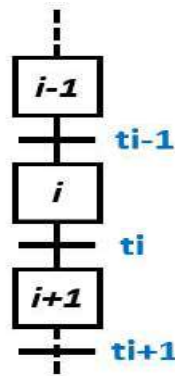


Figure 2.20. GRAFCET et sont diagramme échelle.

Or, une transition est franchissable si (règle 2) :

- Elle est validée (toutes les étapes immédiatement précédentes sont actives) ;
- La réceptivité associée à la transition est vraie.
- La traduction de la règle 2 donne la condition d'activation de l'étape i (CAX_i) : $CAX_i = X_{i-1} \cdot t_{i-1}$
- La traduction de la règle 3 donne la condition de désactivation de l'étape i (CDX_i) : $CDX_i = X_i \cdot t_i = X_{i+1}$

Donc : $X_i = f(X_i, CAX_i, CDX_i)$

Il est possible de définir la table de vérité de X_i :

Si la condition d'activation et la condition de désactivation de l'étape i sont fausses, alors l'étape i reste dans son état (effet mémoire de la logique séquentielle) ; cela signifie que l'état de X_i dépend aussi de X_i .

Tableau 2.1. Table de vérité de l'étape n .

$X_i(t)$	CAX_i	CDX_i	$X_i(t + \Delta t)$
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

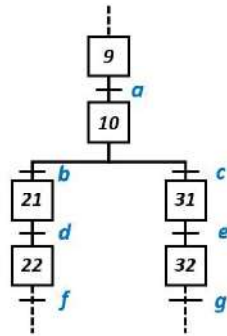
Et à partir du tableau de Karnaugh associé, il est possible de déduire l'équation logique d'une étape : $X_i = CAX_i + X_i \cdot \overline{CDX_i}$

- Avec : $CDX_i = X_i \cdot t_i$
- $X_i = X_{i-1} \cdot t_{i-1} + X_i \cdot (\overline{X_i} \cdot t_i) = X_{i-1} \cdot t_{i-1} + X_i \cdot (\overline{X_i} + \overline{t_i})$
- $X_i = X_{i-1} \cdot t_{i-1} + X_i \cdot \overline{X_i} + X_i \cdot \overline{t_i}$
- $X_i = X_{i-1} \cdot t_{i-1} + X_i \cdot \overline{t_i}$
- De même : $X_{i+1} = X_i \cdot t_i + X_{i+1} \cdot \overline{t_{i+1}}$

Tableau 2.2. Tableau de Karnaugh associé.

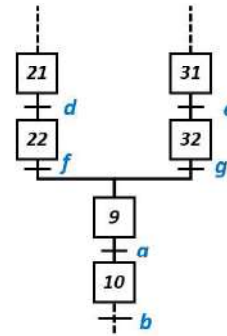
	$CAX_i \cdot CDX_i$			
X_i	00	01	11	10
0	0	0	1	1
1	1	0	1	1

II.7.2. Choix de Séquences



Etape	CAX _i	CDX _i
10	$X_9 \cdot a$	$X_{21} + X_{31}$
21	$X_{10} \cdot b$	X_{22}
31	$X_{10} \cdot c$	X_{32}

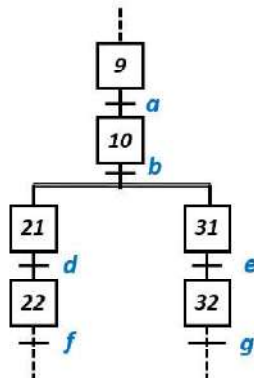
Divergence en OU



Etape	CAX _i	CDX _i
9	$X_{22} \cdot f + X_{32} \cdot g$	X_{10}
22	$X_{21} \cdot d$	X_9
32	$X_{31} \cdot e$	X_9

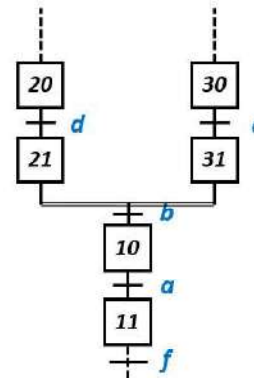
Convergence en OU

• Séquences parallèles



Etape	CAX _i	CDX _i
10	$X_9 \cdot a$	$X_{21} \cdot X_{31}$
21	$X_{10} \cdot b$	X_{22}
31	$X_{10} \cdot c$	X_{32}

Divergence en ET



Etape	CAX _i	CDX _i
10	$X_{21} \cdot X_{31} \cdot b$	X_{11}
21	$X_{20} \cdot d$	X_{10}
31	$X_{30} \cdot e$	X_{10}

Convergence en ET

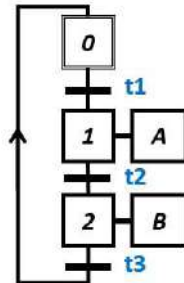
II.7.3. Gestion des Actions Continues

L'activité d'une action continue ne dépend que de l'activité des étapes auxquelles elle est associée.

Donc, l'action A est vraie quand l'étape 1 (X1) est active et l'action B est vraie quand l'étape 2 (X2) est active.

$$\text{Donc : } \begin{cases} A = X_1 \\ B = X_2 \end{cases}$$

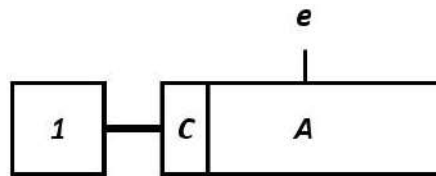
Si une même action est associée à plusieurs étapes, son équation est une somme logique (OU) des étapes auxquelles elle est associée : $\begin{cases} A = X_1 + X_3 \\ B = X_2 \end{cases}$



II.7.4. Gestion des Actions Conditionnelles

L'activité d'une action conditionnelle dépend de l'activité des étapes auxquelles elle est associée et des conditions. L'action A est vraie si l'activité de l'étape 1 est vraie (X1) et si la condition e est vraie.

$$\text{Donc : } A = X1 \cdot e$$



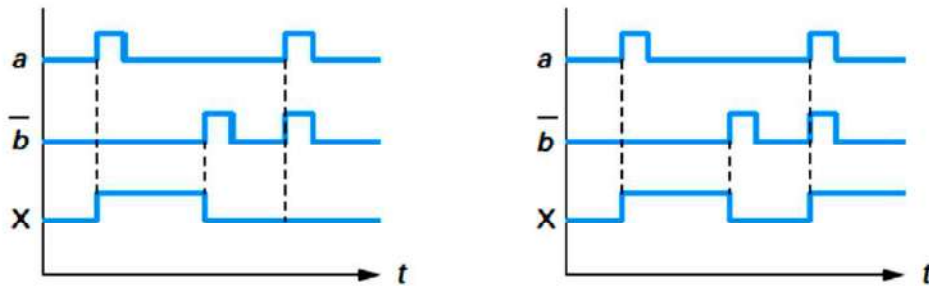
II.8. Technologies de Réalisation

Nous montrons ici comment réaliser l'implantation technologique sur différents supports (câblé ou programmé). Le GRAFCET, décrivant le déroulement séquentiel d'un automatisme, inclut dans les équations de ses étapes la fonction mémoire. En effet, celle-ci est réalisée par l'introduction de l'état du système dans les équations de sortie. Afin de réaliser technologiquement un GRAFCET en logique câblée, il faut pouvoir mettre en œuvre la fonction mémoire.

II.8.1. Logique Combinatoire Câblée

Considérons une fonction X logique de deux variables a et b réalisant une fonction mémoire. La variable a permet l'activation (mise à 1) et la variable b la désactivation (mise à 0). Dans le cas où les deux variables sont actionnées simultanément, il existe deux représentations en fonction du temps de la fonction mémoire X :

Mémoire à marche prioritaire et mémoire à arrêt prioritaire représentées par les chronogrammes suivants :



a Mémoire à arrêt prioritaire b Mémoire à arrêt prioritaire

La représentation de la fonction mémoire à l'aide de logigrammes.

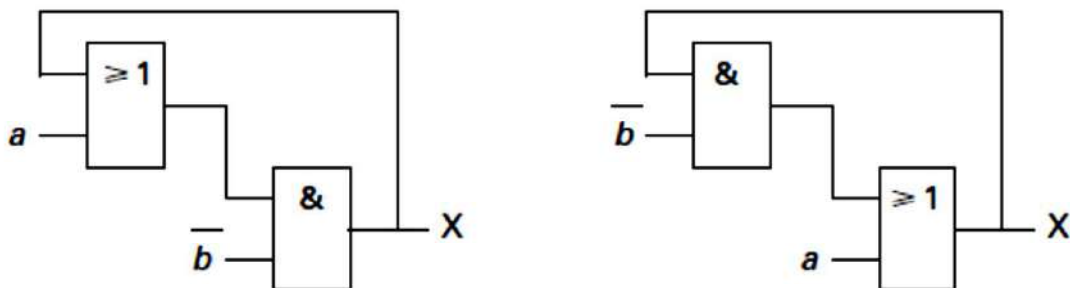
L'équation logique est :

- Pour une mémoire à arrêt prioritaire : $X = (a + X) \cdot \bar{b}$
- Pour une mémoire à marche prioritaire : $X = a + X \cdot \bar{b}$

En câblant l'équation logique X_n d'une étape du GRAFCET,

$$(X_{n+1} = X_n \cdot t_n + X_{n+1} \cdot \bar{t}_{n+1}).$$

La fonction mémoire est réalisée est à marche prioritaire.



a Mémoire à arrêt prioritaire b Mémoire à arrêt prioritaire

Une étape de GRAFCET se symbolise sous forme d'un module de phase.

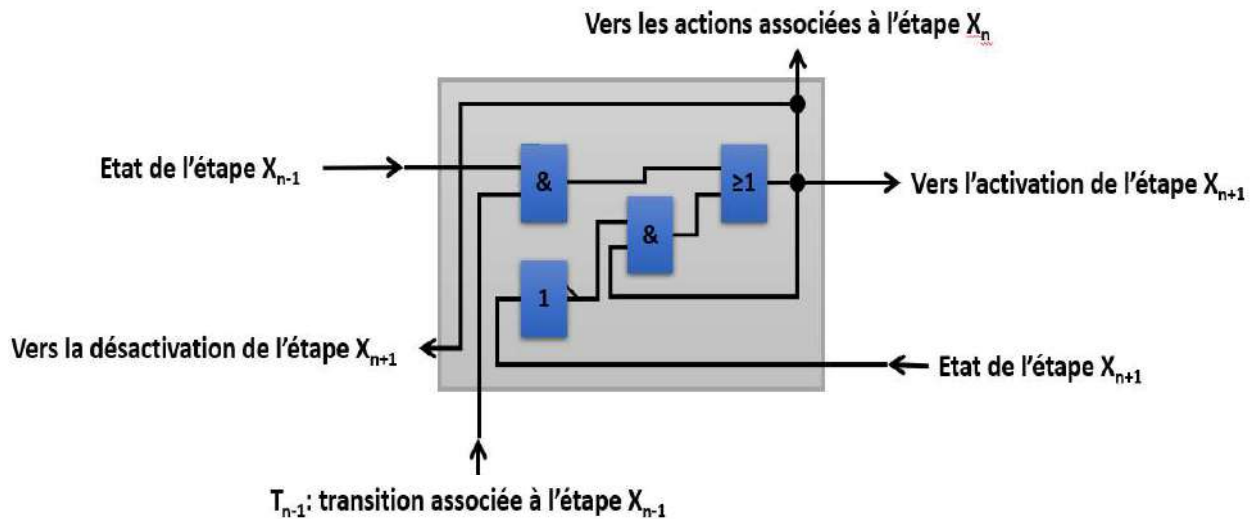


Figure 2.21. Matérialisation d'un GRAFCET par bascule RS.

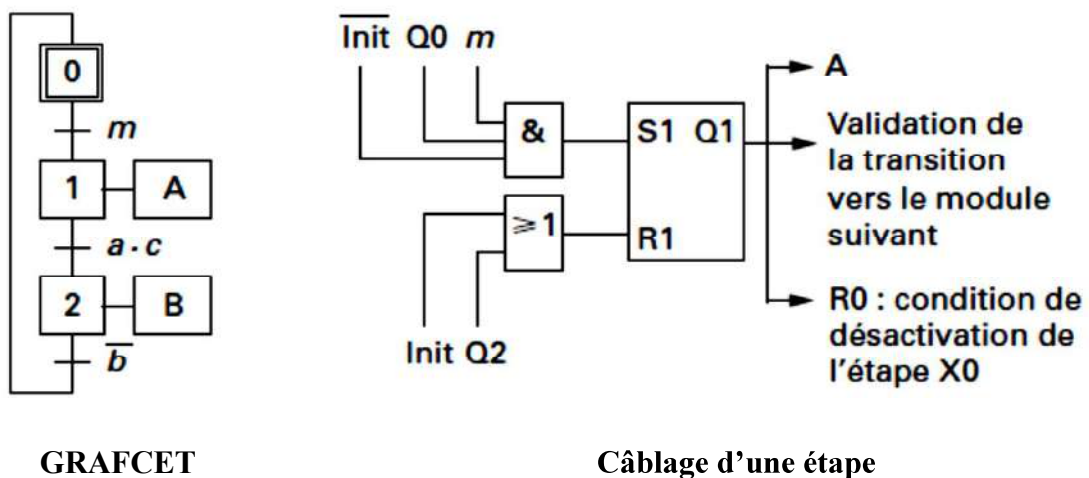
II.8.2. Logique Séquentielle Câblée

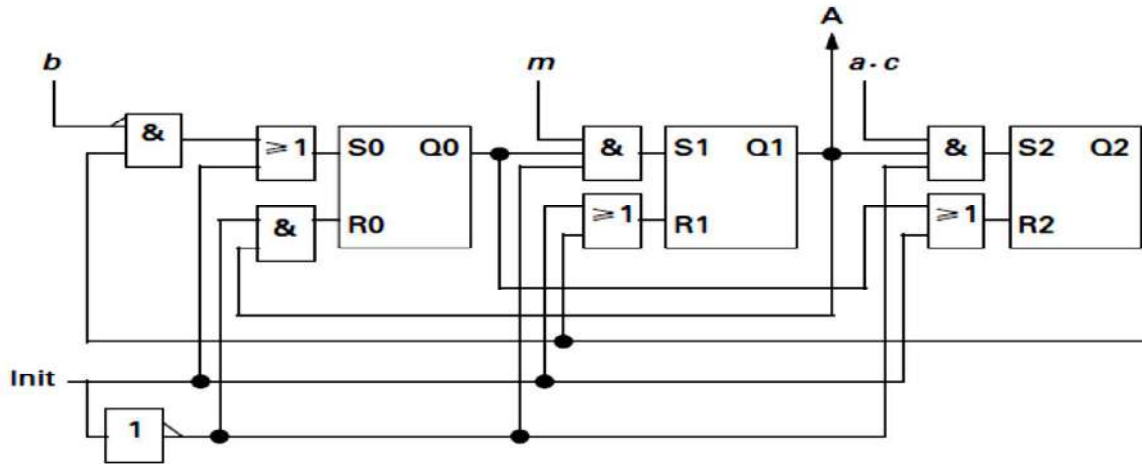
La bascule RS (reset/set) est le composant de base de la logique séquentielle. Dans la table de vérité, on considère que $R = S = 1$ n'est pas une combinaison d'entrée possible. En effet, on ne peut demander simultanément l'activation et la désactivation.

R	S	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	1
1	0	0
1	1	-

Si la bascule RS est appliquée au GRAFCET :

- La condition d'activation d'une étape est alors câblée sur le SET de la bascule ;
- La condition de désactivation d'une étape est câblée sur le RESET de la bascule.





Câblage du GRAFCET

Figure 2.22. Matérialisation d'une divergence simple en ET par bascules RS.

1. Exemples pratiques.

Un puisard sert à collecter les eaux de pluies, celles-ci s'infiltrant peu à peu dans le sol autour de la cavité du puisard. Pour éviter tout débordement d'eau en cas d'afflux trop important, on a placé deux pompes P1 et P2 un détecteur de niveau comme indiqué sur la Figure 2.28. Le fonctionnement souhaité est le suivant :

1. Si le niveau d'eau N est inférieur à N1 (les trois contacts N1, N2 et N3 sont relâchés). Aucune des deux pompes ne fonctionne.
2. Supposons que le niveau N monte ; quand N atteint N2 la pompe P1 se met en marche :
 - Si le niveau redescend, P1 s'arrête quand N atteint N1 ;
 - Si le niveau continue de monter P2 se met en marche lorsque N atteint N3 ;
 - Lorsque les deux pompes fonctionnent et que le niveau N atteint N2, on arrête P2, mais on laisse fonctionner P1.

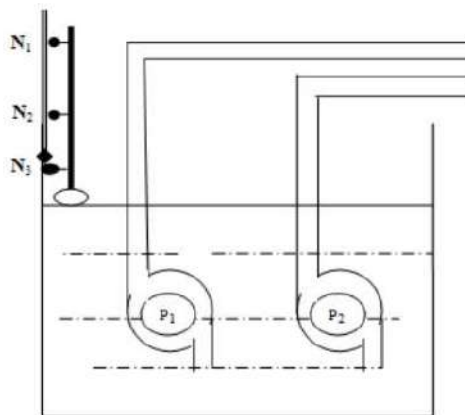


Figure 2.23. Système de deux pompes.

La Figure 2.23, donne le grafcet correspondant à ce système :

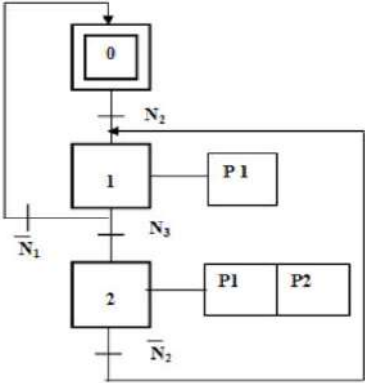


Figure 2.24. Grafcet correspondant à ce système de deux pompes.

Chapitre 3

Automate programmable

III.1. Introduction

Un contrôleur logique programmable (PLC) est un dispositif qui peut être programmé pour exécuter des fonctions de contrôle. Le premier automate programmable a été introduit à la fin des années 1960 pour remplacer les commandes logiques à relais dans l'industrie automobile. Par rapport aux commandes logiques à relais, les avantages de l'API comprennent une programmation et une installation faciles, une vitesse de commande élevée, une sécurité matérielle et logicielle, une compatibilité réseau, une facilité de dépannage et de test, et une grande fiabilité.

Les automates programmables sont actuellement largement utilisés dans les environnements industriels et commerciaux. On peut les trouver dans presque toutes les installations de fabrication. Il existe plusieurs fabricants d'automates programmables. Bien que les formats d'instruction puissent ne pas être les mêmes pour les différentes marques, les structures matérielles et les concepts de programmation sont très similaires. Ce chapitre couvre la structure matérielle des automates, les modules d'entrée/sortie, le logiciel et la programmation. Le fonctionnement des automates et les programmes en logique ladder sont abordés.

III.2. Définition

Un contrôleur logique programmable (PLC) est une forme particulière de contrôleur basé sur un microprocesseur qui utilise une mémoire programmable pour stocker des instructions et mettre en œuvre des fonctions telles que la logique, le séquençage, la synchronisation, le comptage et l'arithmétique afin de contrôler des machines et des processus. Ils ne sont pas conçus pour que seuls des programmeurs informatiques puissent configurer ou modifier les programmes. Ainsi, les concepteurs de l'automate programmable l'ont préprogrammé de manière à ce que le programme de commande puisse être saisi à l'aide d'un langage simple, plutôt intuitif.

Les automates programmables ont le grand avantage de pouvoir utiliser le même contrôleur de base avec un large éventail de systèmes de commande. Pour modifier un système de commande et les règles à utiliser, il suffit à un opérateur d'entrer un jeu d'instructions différent. Il n'est pas nécessaire de refaire le câblage. Le résultat est un système flexible, rentable, qui peut être utilisé avec des systèmes de contrôle dont la nature et la complexité varient considérablement.

Il existe de nombreuses similitudes entre un ordinateur personnel et un automate programmable. Notez que les deux ont des entrées. Un ordinateur dispose d'un clavier et d'une souris pour les entrées. L'ordinateur peut également accéder au disque dur, au CD, au DVD et

à Internet pour obtenir des données. Un automate programmable peut recevoir des données de capteurs et d'autres dispositifs tels que des robots, d'autres contrôleurs, etc. Les ordinateurs et les automates ont une unité centrale de traitement (UC) et une mémoire. L'unité centrale exécute le programme utilisateur, évalue les entrées et génère des sorties. Les ordinateurs et les automates ont tous deux des sorties. Un ordinateur peut sortir sur une imprimante, envoyer des e-mails sur Internet ou stocker un fichier sur un disque. UN AUTOMATE PROGRAMMABLE a des sorties telles que des moteurs, des entraînements, des lumières, etc.

III.3. Structure interne et description des éléments d'un A.P.I

Un automate programmable se compose des éléments suivants :

- Unité centrale de traitement (CPU)
- Mémoire
- Modules d'entrée (Interface d'entrée)
- Modules de sortie (Interface de sortie)
- Alimentation électrique.

La figure 1.1 présente le schéma fonctionnel d'un automate programmable. Le terminal de programmation dans le schéma ne fait pas partie de l'automate, mais il est essentiel d'avoir un terminal pour programmer ou surveiller un automate. Dans le schéma, les flèches entre les blocs indiquent le sens de circulation des informations et de l'énergie.

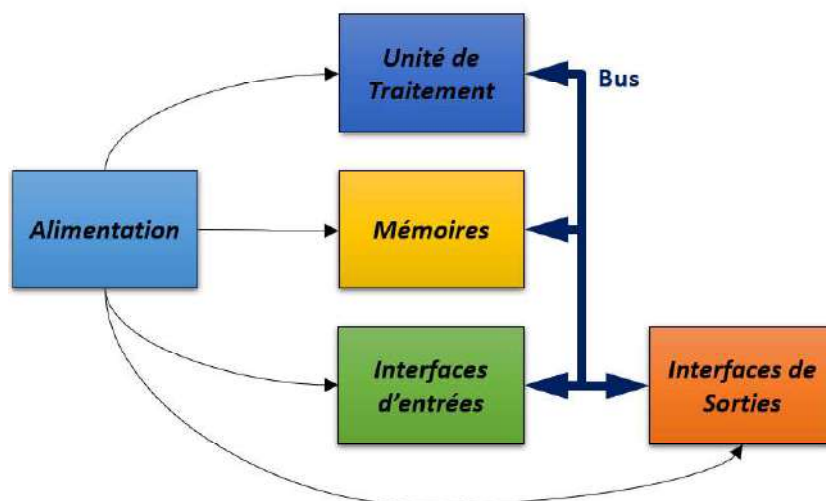


Figure 3.1. Système de Production.

III.3.1. Unité centrale de traitement (CPU)

Comme d'autres appareils informatisés, un PLC comporte une unité centrale de traitement (CPU). L'unité centrale, qui est le "cerveau" de l'automate, effectue les opérations suivantes :

- Mise à jour des entrées et des sorties. Cette fonction permet à un automate de lire l'état de ses bornes d'entrée et d'activer ou de désactiver ses bornes de sortie.
- Exécution d'opérations logiques et arithmétiques. L'unité centrale effectue toutes les opérations mathématiques et logiques d'un automate.
- Communiquer avec la mémoire. Les programmes et les données de l'automate sont stockés dans la mémoire. Lorsqu'un automate fonctionne, son unité centrale peut lire ou modifier le contenu des emplacements mémoire.
- Analyse des programmes d'application. Un programme d'application, appelé programme de logique ladder, est un ensemble d'instructions écrites par un programmeur d'automate. La fonction de balayage permet à l'automate d'exécuter le programme d'application tel que spécifié par le programmeur.
- Communiquer avec un terminal de programmation. L'UC transfère le programme et les données entre elle et le terminal de programmation.

L'unité centrale d'un automate est contrôlée par le logiciel du système d'exploitation. Le logiciel du système d'exploitation est un groupe de programmes de supervision qui sont chargés et stockés en permanence dans la mémoire de l'automate par le fabricant de l'automate.

III.3.2. Mémoire

La mémoire est le composant qui stocke les informations, les programmes et les données dans un automate. Le processus d'introduction de nouvelles informations dans un emplacement mémoire est appelé écriture. Le processus de récupération des informations d'un emplacement de mémoire est appelé lecture.

Les types de mémoire couramment utilisés dans les automates sont la mémoire morte (ROM) et la mémoire vive (RAM). Un emplacement ROM peut être lu, mais pas écrit. La ROM est utilisée pour stocker des programmes et des données qui ne doivent pas être modifiés. Par exemple, les programmes d'exploitation de l'automate sont stockés en ROM.

Un emplacement RAM peut être lu ou écrit. Cela signifie que les informations stockées dans un emplacement RAM peuvent être récupérées et/ou modifiées. Les programmes de logique Ladder sont stockés en RAM. Lorsqu'un nouveau programme de logique Ladder est chargé dans la mémoire d'un automate, l'ancien programme qui était stocké aux mêmes emplacements est écrasé et essentiellement effacé.

Les capacités de mémoire des automates varient. Les capacités de mémoire sont souvent exprimées en termes de kilo-octets (K). Un octet est un groupe de 8 bits. Un bit est un

emplacement mémoire qui peut stocker un nombre binaire ayant la valeur 1 ou 0 (les nombres binaires sont traités dans le module 2). Une mémoire de 1K signifie qu'il y a 1024 octets de RAM. Une mémoire de 16K signifie qu'il y a $16 \times 1024 = 16384$ octets de RAM.

III.3.3. Modules d'entrée et modules de sortie (Interface d'entrée et sortie)

Un automate programmable est un dispositif de contrôle. Il prend des informations à partir des entrées et prend des décisions pour activer ou désactiver les sorties. Les décisions sont prises en fonction de l'état des entrées et des sorties et du programme de logique ladder en cours d'exécution.

Les dispositifs d'entrée utilisés avec un PLC comprennent des boutons-poussoirs, des interrupteurs de fin de course, des contacts de relais, des capteurs photoélectriques, des détecteurs de proximité, des capteurs de température, etc. Ces dispositifs d'entrée peuvent être de type CA (courant alternatif) ou CC (courant continu). Les tensions d'entrée peuvent être élevées ou faibles. Les signaux d'entrée peuvent être numériques ou analogiques. Différentes entrées nécessitent différents modules d'entrée. Un module d'entrée fournit une interface entre les dispositifs d'entrée et le CPU d'un PLC, qui utilise uniquement une faible tension continue. La fonction du module d'entrée est de convertir les signaux d'entrée en tensions continues acceptables pour l'unité centrale. Les modules d'entrée discrets standard comprennent 24 V CA, 48 V CA, 120 V CA, 220 V CA, 24 V CC, 48 V CC, 120 V CC, 220 V CC et le niveau logique transistor-transistor (TTL).

Les dispositifs contrôlés par un PLC comprennent les relais, les alarmes, les solénoïdes, les ventilateurs, les lumières et les démarreurs de moteur. Ces dispositifs peuvent nécessiter différents niveaux de tension alternative ou continue. Comme les signaux traités dans un PLC sont de faibles tensions continues, le module de sortie a pour fonction de convertir les signaux de commande du PLC en tensions requises par les circuits ou les dispositifs contrôlés. Les modules de sortie discrets standard comprennent 24 V CA, 48 V CA, 120 V CA, 220 V CA, 24 V CC, 48 V CC, 120 V CC, 220 V CC et le niveau TTL.

III.3.4. Alimentation électrique

Les PLC sont alimentés par des lignes électriques commerciales standard en courant alternatif. Cependant, de nombreux composants de l'automate, tels que l'unité centrale et la mémoire, utilisent une tension de 5 volts ou un autre niveau de courant continu. Le bloc d'alimentation du PLC convertit le courant alternatif en courant continu afin de soutenir ces composants du PLC.

III.4. Choix de l'unité de traitement

L'unité centrale de traitement (CPU) contrôle toute l'activité du système principalement par le biais de son processeur et de son système de mémoire. Le (CPU) se compose d'un microprocesseur, d'une puce mémoire et d'autres circuits intégrés pour contrôler la logique, la surveillance et les communications. Le (CPU) a différents modes de fonctionnement.

III.4.1. Automatisation permanente/fixe

Ce système de contrôle est conçu pour effectuer une tâche spécifique. Les fonctions du circuit de commande sont fixes et permanentes. Il sera compliqué si nous voulons effectuer d'autres tâches en dehors de la tâche existante.

III.4.2. Automatisation programmable/flexible

L'automatisation programmable ou l'automatisation flexible est un système de contrôle complexe qui peut effectuer plusieurs tâches. Les fonctions du circuit de commande sont programmées par l'utilisateur et peuvent être modifiées. Lorsque la tâche à effectuer par les machines change, il suffit de faire des modifications en apportant des modifications au programme de commande de la machine.

III.4.3. Automatisation programmable

Il s'agit d'un système basé sur l'homme. Ici, le nouveau programme est préparé et entre dans le nouvel équipement pour créer de nouveaux produits.

III.4.4. Automatisation intégrée

C'est la combinaison des trois automatismes ci-dessus (fixe, flexible et programmable). C'est un système de contrôle industriel qui étend ses services techniques dans le domaine de l'ingénierie.

III.5. Choix d'un automate programmable industriel

De nombreux facteurs influenceront votre choix lorsqu'il s'agira de spécifier un modèle d'automate pour votre application. Voici quelques considérations clés :

- Capacité électrique : Les automates ont des exigences différentes en matière de tension pour leur alimentation électrique. Vérifiez donc que votre choix est compatible avec votre système électrique.
- Vitesse de traitement : Vérifiez la vitesse du processeur d'un modèle d'automate pour déterminer s'il répond aux besoins de votre application.
- Compatibilité : Assurez-vous que votre modèle d'automate est compatible avec tout matériel système nouveau ou existant, qu'il s'agisse d'alimentations ou de rails DIN.

- Tolérance de température : La plupart des automates sont conçus pour fonctionner en toute sécurité dans une plage de 0 à 60°C. Toutefois, certains modèles d'automates spécialisés peuvent fonctionner à des températures extrêmes, ce qui est important pour les installations où les conditions de fabrication sont exceptionnellement chaudes ou froides.
- Mémoire : Un automate programmable a besoin de suffisamment de mémoire ROM et RAM pour exécuter les processus qu'il est censé automatiser. Le contrôleur utilise la ROM pour stocker son système d'exploitation et ses instructions et la RAM pour exécuter ses fonctions.
- Connectivité : Assurez-vous que votre automate dispose de suffisamment de ports d'entrée et de sortie et qu'il est capable de se connecter au type de périphériques requis par votre système.
- E/S analogiques : Bien que les automates programmables soient principalement utilisés pour des fonctions discrètes, certains modèles disposent également d'entrées et de sorties analogiques qui peuvent contrôler des processus avec des variables continues.

III.6. Les interfaces d'entrées-sorties

La commande d'un système réagit aux informations d'entrée et configure la ou les sorties en conséquence. Les informations d'entrée et de sortie peuvent se présenter sous la forme de signaux physiques, comme des impulsions ou des niveaux électriques et pneumatiques, ou sous une forme virtuelle, comme des instructions ou des données textuelles. Un contrôleur peut réagir à des interrupteurs ou à des niveaux de fluide en ouvrant des vannes ou en faisant tourner des moteurs à une vitesse donnée, ou un ordinateur peut réagir à des instructions textuelles ou à un clic de souris en changeant d'écran ou en exécutant un programme. Il s'agit là d'illustrations de cause à effet de l'automatisation au travail.

III.6.1. E/S discrètes

La plupart des systèmes de contrôle d'une usine de fabrication utilisent des E/S (ou entrées/sorties) discrètes sous une forme ou une autre, tant du côté des entrées que des sorties du processus. Les signaux numériques, tels que les interrupteurs, les boutons poussoirs et divers types de capteurs, sont câblés aux entrées d'un système. Les sorties peuvent commander des moteurs ou des vannes en les éteignant et en les allumant.

Les E/S électriques typiques utilisent des signaux basse tension et de courant pour les entrées et les sorties. Les signaux les plus couramment utilisés sont le 24 volts (V) DC (24VDC) et le 120VAC, bien que cela puisse varier selon les applications et les pays. Dans certains systèmes qui nécessitent une énergie électrique encore plus faible en raison d'un environnement dangereux, on utilise des systèmes à basse tension appelés circuits "à sécurité intrinsèque". Ces circuits sont généralement de l'ordre de 8 VDC ou moins. Lorsqu'un système est protégé des effets extérieurs, comme les signaux à l'intérieur d'un contrôleur ou sur une carte de circuit imprimé, des signaux de 5 VDC ou moins sont courants.

III.6.2. E/S analogiques

Les entrées et les sorties analogiques prennent généralement la forme de variations de tension ou de courant. Les entrées analogiques peuvent représenter la position d'un dispositif, une pression atmosphérique, le poids d'un objet ou toute autre propriété physique pouvant être représentée numériquement. La plupart des systèmes de mesure utilisent des entrées analogiques. Les sorties analogiques peuvent être utilisées pour contrôler la vitesse d'un moteur, la température d'un four et de nombreuses autres propriétés.

Les plages analogiques courantes dans les applications industrielles sont de 0 à 20 mA ou de 4 à 20 mA pour le courant, ou de 0 à 10 VDC pour la tension. La commande en courant est considérée comme moins sensible au bruit électrique - et donc plus stable - tandis que la commande en tension peut être utilisée sur de plus longues distances.

III.6.3. Communications

Les méthodes de communication peuvent être appliquées pour transférer de grandes quantités d'informations vers et depuis un contrôleur. Cette méthode permet de transférer des états d'E/S numériques et analogiques, ainsi que des données textuelles et numériques. Il existe de nombreuses méthodes différentes de protocoles d'entrée et de sortie basés sur la communication. De nombreuses techniques de communication décrites ci-dessous ont été adaptées pour permettre aux dispositifs et aux blocs d'E/S montés à distance d'être distribués en divers endroits d'une machine ou d'un système et d'être commandés depuis un point central. Souvent, les points d'E/S montés à distance peuvent être semi-autonomes dans le contrôle de leurs stations locales, avec seulement une communication périodique avec le contrôleur central.

III.6.3.1. Série

Les communications en série sont des chaînes de 1 et 0 numériques envoyées sur un seul fil. Elles peuvent alterner entre l'envoi et la réception de données ou avoir une ligne dédiée pour chaque signal. Les protocoles pour les données envoyées sur les lignes peuvent varier

considérablement, mais les types les plus courants de communications série sont RS232, RS422 et RS485. Le RS dans ces désignations est un acronyme pour "norme recommandée" et ne décrit pas le protocole de communication réel utilisé.

III.6.3.2. Parallèle

Les communications parallèles permettent de transmettre plusieurs bits simultanément sur des lignes parallèles. Cela peut augmenter le débit de données par rapport aux signaux RS232, mais cela augmente le coût du câblage entre deux points. Le câblage parallèle est couramment utilisé entre le port parallèle d'un ordinateur et une imprimante. Les communications parallèles sont également utilisées entre les puces de l'unité centrale et les différents registres utilisés pour le traitement des données sur un ordinateur.

Cette configuration est facilement visible en observant les nombreuses traces parallèles sur une carte de circuit imprimé ou les câbles plats multicolores qui relient souvent les cartes entre elles. Les fonds de panier de nombreux systèmes de commande qui relient les contrôleurs à leurs cartes d'E/S sont souvent des bus parallèles. Les communications parallèles sont généralement utilisées sur des distances beaucoup plus courtes que les communications série.

III.6.3.3. Ethernet

Ethernet est un cadre pour la technologie des réseaux informatiques qui décrit les caractéristiques de câblage et de signalisation utilisées dans les réseaux locaux (LAN). Le support utilisé pour le câblage des communications Ethernet peut prendre la forme d'un câblage à paires torsadées, d'un câblage coaxial ou de lignes en fibre optique entre les points. Comme pour les autres méthodes de communication décrites dans cette section, Ethernet ne décrit que les caractéristiques physiques du système en termes de câblage et non le protocole de communication utilisé à travers les fils ou les fibres.

III.7. Outils graphiques et textuels de programmation

Lorsque vous utilisez un automate, il est important de concevoir et de mettre en œuvre des concepts en fonction de votre cas d'utilisation particulier. Pour ce faire, nous devons d'abord en savoir plus sur les spécificités de la programmation des automates.

Un programme d'automate est constitué d'un ensemble d'instructions, sous forme textuelle ou graphique, qui représente la logique qui régit le processus contrôlé par l'automate. Il existe deux grandes catégories de langages de programmation d'automates, qui sont elles-mêmes divisées en plusieurs sous-classes.

III.7.1. Langage textuel

- Liste d'instructions
- Texte structuré

III.7.2. Forme graphique

- Diagrammes Ladder (LD) (c.-à-d. logique Ladder)
- Diagramme de bloc fonctionnel (FBD)
- Diagramme fonctionnel séquentiel (SFC)

Bien que tous ces langages de programmation d'automates puissent être utilisés pour programmer un automate, les langages graphiques (comme la logique en échelle) sont généralement préférés aux langages textuels (comme la programmation en texte structuré).

III.7.1.2.1. Logique Ladder

La logique Ladder est la forme la plus simple de programmation d'un automate. Elle est également connue sous le nom de "logique de relais". Les contacts de relais utilisés dans les systèmes contrôlés par relais sont représentés à l'aide de la logique Ladder. La figure ci-dessous montre un exemple simple de diagramme en échelle.

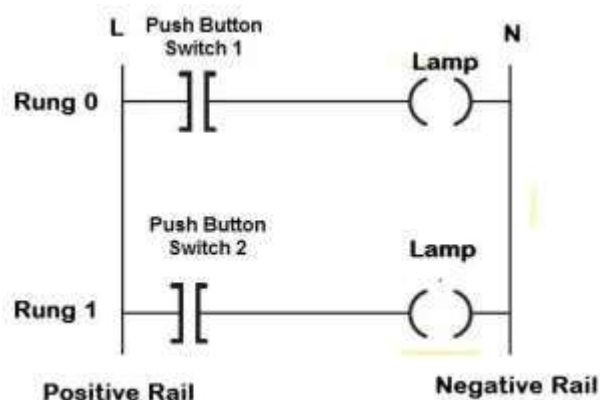


Figure 3.2. Logique Ladder PLC.

Dans l'exemple susmentionné, deux boutons-poussoirs sont utilisés pour contrôler la même charge de lampe. Lorsque l'un des interrupteurs est fermé, la lampe s'allume.

Les deux lignes horizontales sont appelées échelons et les deux lignes verticales sont appelées rails. Chaque barre forme la connectivité électrique entre le rail positif (P) et le rail négatif (N). Cela permet au courant de circuler entre les dispositifs d'entrée et de sortie.

III.7.1.2.2. Diagrammes de blocs fonctionnels

Le diagramme de blocs fonctionnels (FBD) est une méthode simple et graphique pour programmer des fonctions multiples dans un PLC. PLCOpen a décrit l'utilisation des FBD dans la norme IEC 61131-3. Un bloc fonctionnel est une unité d'instruction de programme qui, lorsqu'elle est exécutée, produit une ou plusieurs valeurs de sortie.

Il est représenté par un bloc comme indiqué ci-dessous. Il est représenté par un bloc rectangulaire avec les entrées entrant à gauche et les sorties sortant à droite. Il donne une relation entre l'état des entrées et des sorties.

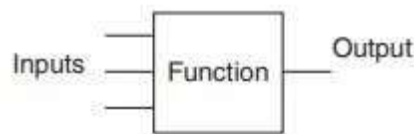


Figure 3.3. Bloc de fonctions.

L'avantage d'utiliser FBD est que n'importe quel nombre d'entrées et de sorties peut être utilisé sur le bloc fonctionnel. Lorsque vous utilisez des entrées et sorties multiples, vous pouvez connecter la sortie d'un bloc fonctionnel à l'entrée d'un autre. Ce qui permet de construire un diagramme de bloc fonctionnel.

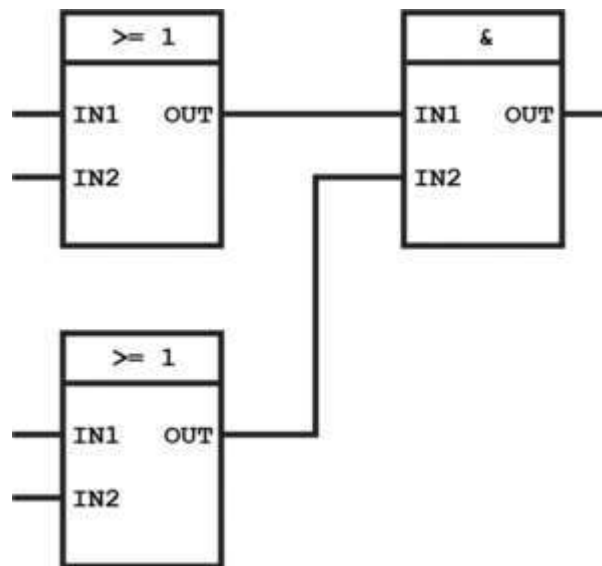


Figure 3.4. Exemple de schéma fonctionnel.

III.7.1.2.3. Diagramme fonctionnel séquentiel (SFC)

SFC : C'est l'équivalent du Grafcet

III.7.1.2.4. Programmation en texte structuré

Le texte structuré est un langage de programmation textuel qui utilise des instructions pour déterminer ce qui doit être exécuté. Il suit les protocoles de programmation plus conventionnels, mais il n'est pas sensible à la casse. Une série d'instructions (logique) est constituée de l'expression d'affectations et de relations à l'aide de plusieurs opérateurs. Les opérateurs de texte structuré sont énumérés ci-dessous dans l'image.

Tableau 3.1. Programmation de textes structurés.

Ordre	Opération
1	()
2	Fonction (...)
3	**
4	-(negate)
5	NOT
6	*, /, MOD
7	+, -(subtract)
8	<, <=, >, >=
9	=, < >
10	&, AND
11	XOR
12	OR

III.8. Mise en œuvre d'un automate programmable industriel

La mise en œuvre d'un automate programmable industriel ne modifie en rien dans le schéma de puissance utilisé. Seul le schéma de commande est modifié.

III.8.1. Raccordement de l'unité de traitement

On retrouve sur ce schéma de mise en œuvre des automates télémechanique gamme TSX 17 :

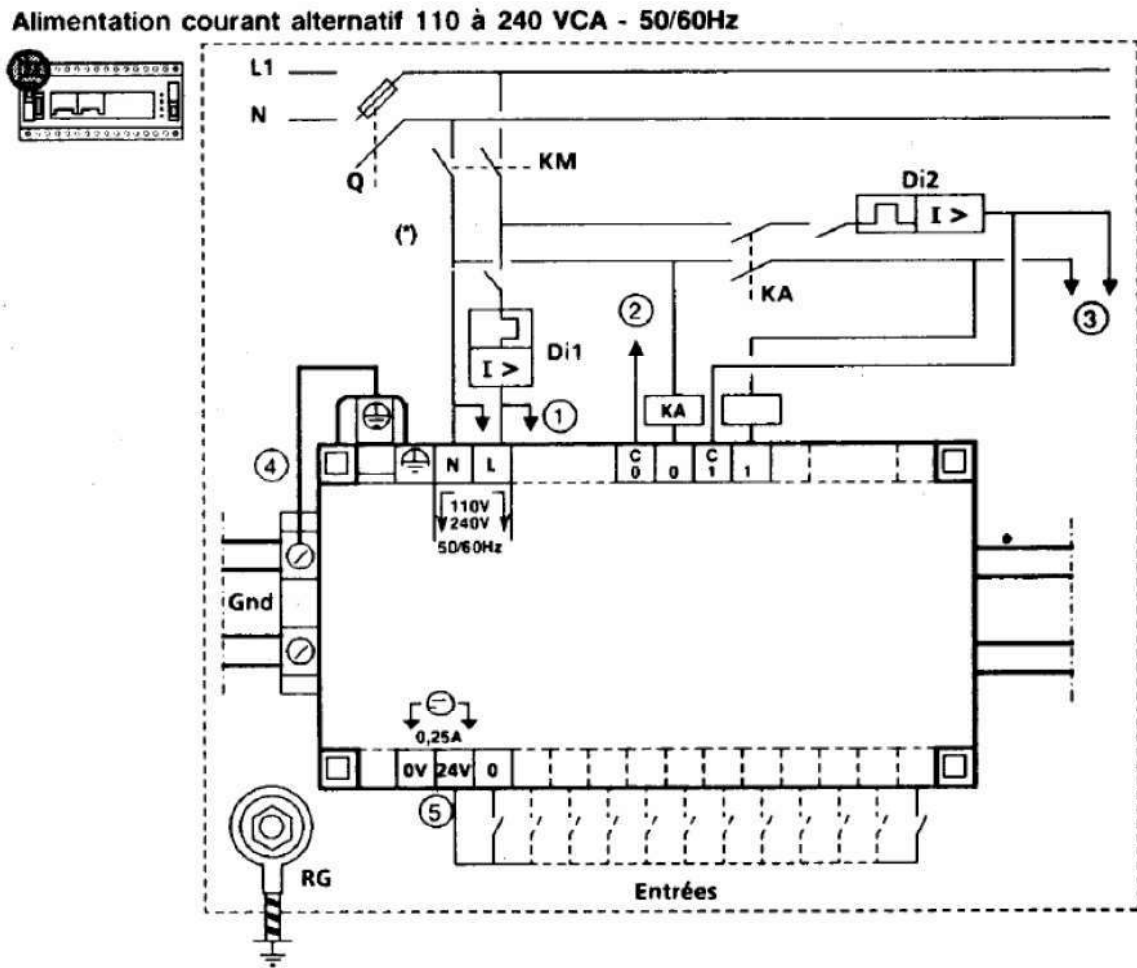


Figure 3.5. Raccordement de l'unité de traitement d'une PLC.

- **Q** Sectionneur général.
- **KM** Contacteur de ligne ou disjoncteur (facultatif).
- **KA** Contacteur d'asservissement piloté par la sortie **SECU 00,00** en marche auto.
- **Di1** Disjoncteur magnétothermique type **GB2-CB 08** ou fusible.
- **Di2** Disjoncteur magnétothermique type **GB2-CB** ou fusible. Si une adaptation de tension est nécessaire pour la commande des pré actionneurs, ajouter derrière **Di2** un transformateur de tension. Il faut relier un point du secondaire à la borne de terre **Gnd**.
- **Gnd** Borne de terre. Doit être située le plus près possible de chaque borne de terre de protection des modules

RG Masse de référence à relier à la terre usine.

1 Vers bornes d'alimentation des extensions en courant alternatif.

2 Vers schéma circuit de commande.

3 Vers commande des pré actionneurs des extensions en courant alternatif.

4 Vers Raccordement des terres de protection, à réaliser par un conducteur vert/jaune $S = 2,5\text{mm}^2$, de longueur le plus court possible.

5 Vers 24VCC interne réservé à l'alimentation des capteurs raccordés au TSX 17 et à celle d'un seul module de sorties analogiques TSX ASG 200.

NB : Il est également possible de rencontrer des automates alimentés exclusivement en 24 V continu ou alternatif.

III.8.2. Raccordement des entrées/sorties TOR de l'unité de traitement

III.8.2.1. Principe de raccordement des entrées

Dans la pratique, les entrées sont souvent groupées par 2, 4, 8, 16, 32 ou plus afin de limiter le nombre de bornes de connexion. De ce fait ces différentes entrées, du point de vue de l'information, ont un point commun électrique.

L'alimentation des différents capteurs est fournie soit par l'automate soit par une source de tension externe (la tension d'alimentation est presque toujours de 24 V continu).

III.8.2.2. Schéma de raccordement typique

Sur le schéma ci-dessus (automate de base Télémécanique TSX 17-21) on peut voir les sorties sur la partie supérieure de l'API et les entrées sur la partie inférieure.

On peut noter que l'API est alimentée de 110 à 240 V AC. Il délivre aussi une alimentation 24 V CC pouvant fournir 250 mA. Cette fonction est très utile pour interfacer les entrées.

On remarque que toutes les entrées TOR a un commun 0V déjà relié par le constructeur à l'intérieur de l'automate ; le câblage des entrées de type contact libre de potentiel (ou contact sec) s'en trouve simplifié.

Les sorties TOR à relais propose différents groupes (de 1 à 4) avec ou sans commun.

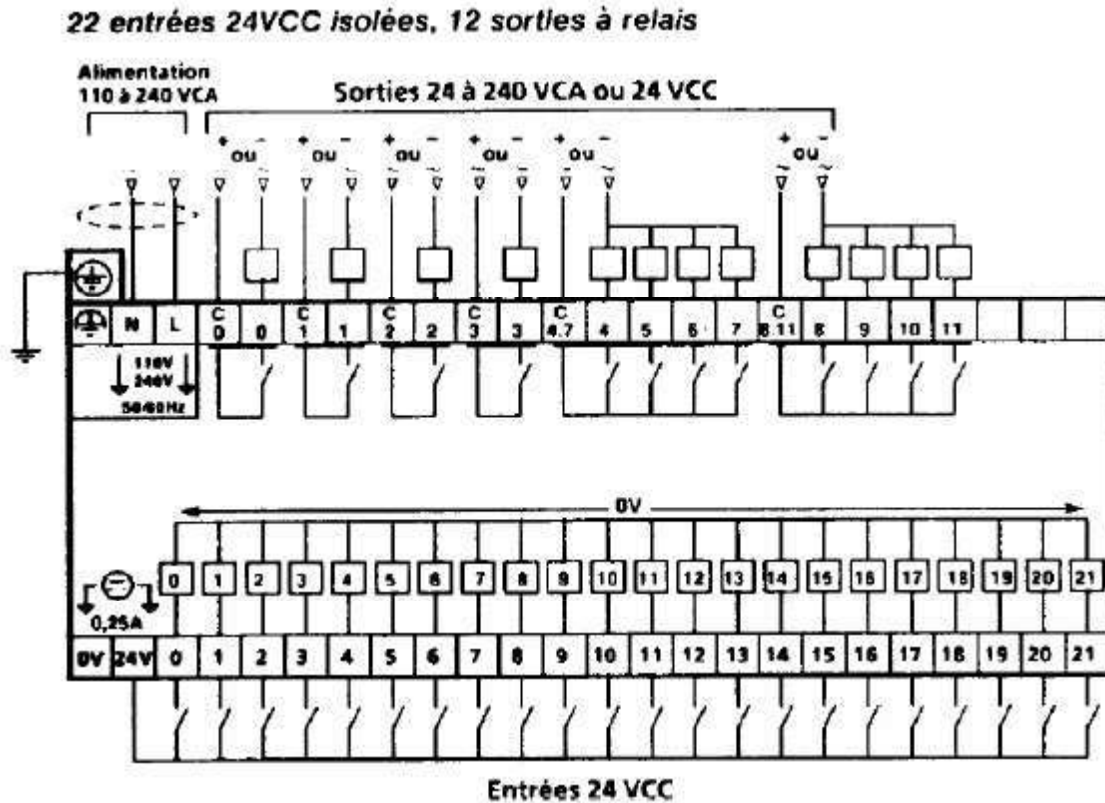


Figure 3.6. Raccordement de l'unité de traitement.

III.8.2.3. Raccordement des capteurs à sorties statiques

Il existe de nombreux types de capteurs/détecteurs sur le marché ; Leur seul point commun est le type de raccordement électrique comme on peut le voir ci-dessous :

- **Capteurs deux fils** : ils se câblent comme des interrupteurs de position mécanique mais leur courant résiduel ou leur tension de déchet peut les rendre incompatibles avec certains automates programmables industriels.

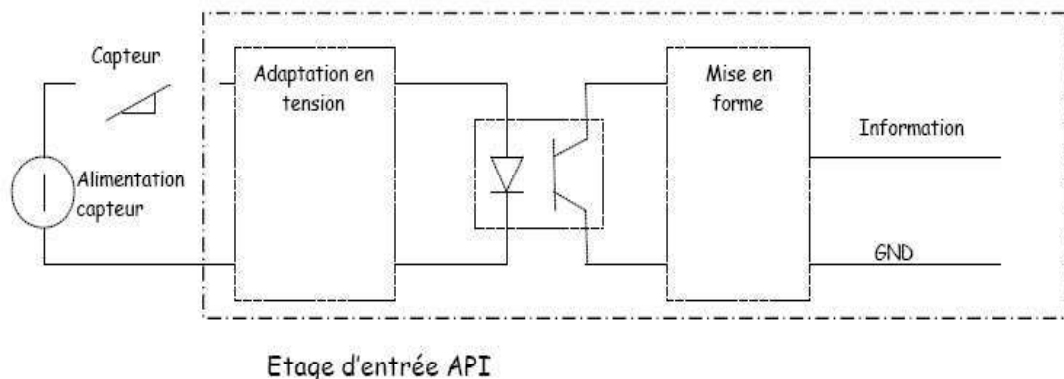


Figure 3.7. Raccordement des Capteurs à deux fils.

- **Capteurs 3 fils** : il en existe deux types :
 - a. À sortie PNP pour les automates ayant des entrées avec une masse commune. (Absorption de courant ou puits de courant)

- b. NPN pour les automates ayant des entrées avec un ‘ plus’ commun. (Injection de courant).

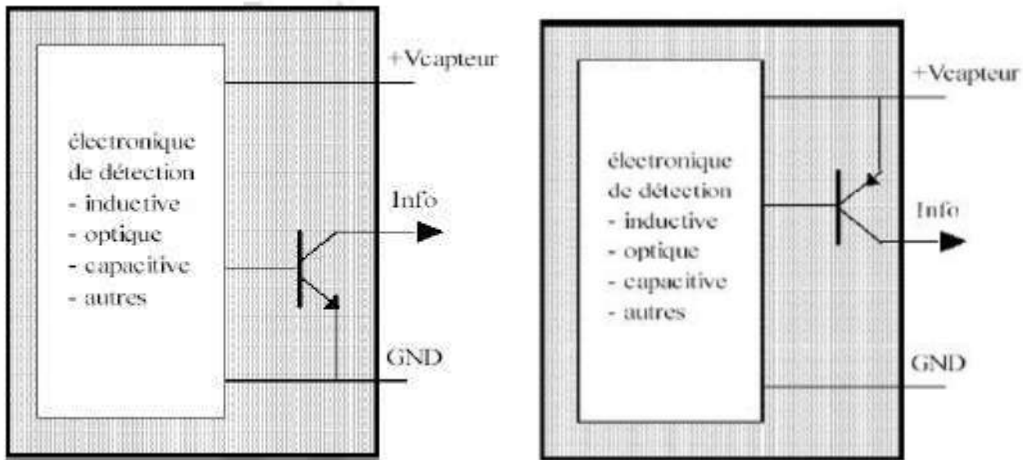


Figure 3.8. Les deux types des Capteurs 3 fils.

III.8.2.4. Raccordement de détecteurs typique

Exemples de raccordement des détecteurs 2 et 3 fils Sur entrées 24 VCC

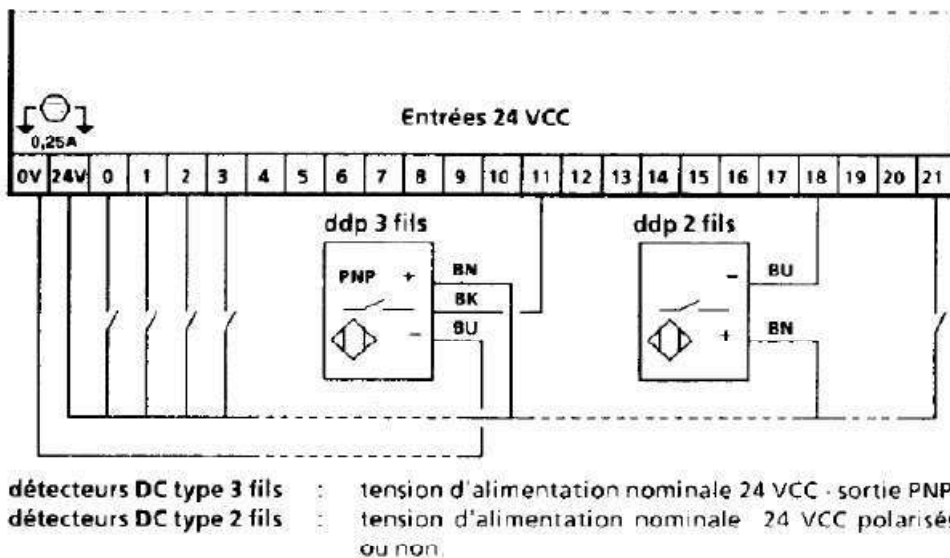


Figure 3.9. Raccordement de détecteurs typique.

III.9. Principes des réseaux d'automates.

Un réseau de terrain est un moyen de réaliser un traitement et une production sans heurts en échangeant des informations (appelées communications de données) entre les contrôleurs (PLC), les dispositifs d'E/S tels que les capteurs et les indicateurs, les dispositifs de commande tels que les servomoteurs, et les dispositifs de communication d'informations tels que les PC.

III.9.1. Principales applications

La hiérarchie indique les couches du réseau regroupées par objectifs d'utilisation dans le monde des réseaux de terrain, comme le montre la figure ci-dessous.

Les applications typiques des réseaux de terrain au niveau des couches respectives sont les suivantes :

III.9.1.1. Couche de gestion

- Transfert de fichiers : Les données telles que les résultats de production sont échangées sous forme de fichiers entre les PC/serveurs et les contrôleurs.

III.9.1.2. Couche contrôleur (dispositif)

- Communication de messages : Une commande est envoyée d'un contrôleur à un autre contrôleur sur le réseau de terrain pour effectuer une commande ou une transmission/réception de données.
- Liaisons de données : L'échange de données est effectué après avoir déterminé à l'avance la zone partagée par plusieurs contrôleurs dans le réseau de terrain.

III.9.1.3. Couche de composants

- Communications E/S à distance : Un contrôleur échange des signaux avec des dispositifs d'entrée/sortie à distance en utilisant les communications du **réseau de terrain**.

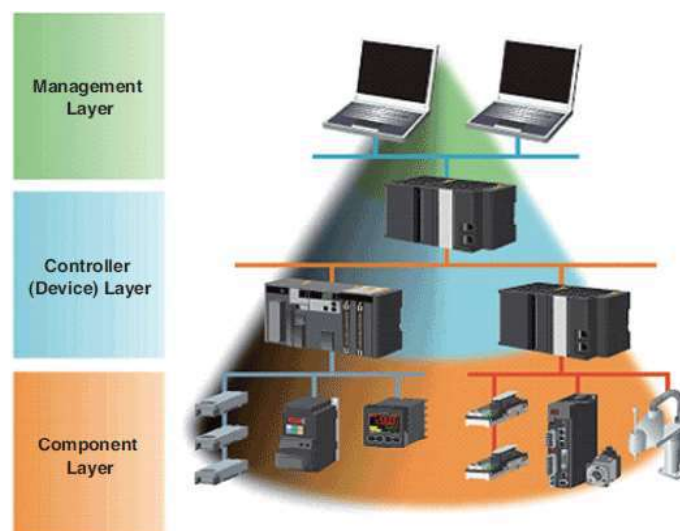


Figure 3.10. Les couches du réseau.

Sysmac est une marque ou une marque déposée d'OMRON Corporation au Japon et dans d'autres pays pour les produits d'automatisation industrielle d'OMRON.

Microsoft, Visual Basic et Windows sont des marques déposées ou des marques commerciales de Microsoft Corporation aux États-Unis, au Japon et dans d'autres pays.

III.9.2. Types de réseaux de terrain

Omron fournit des produits de réseau qui offrent les meilleures performances pour chaque couche.

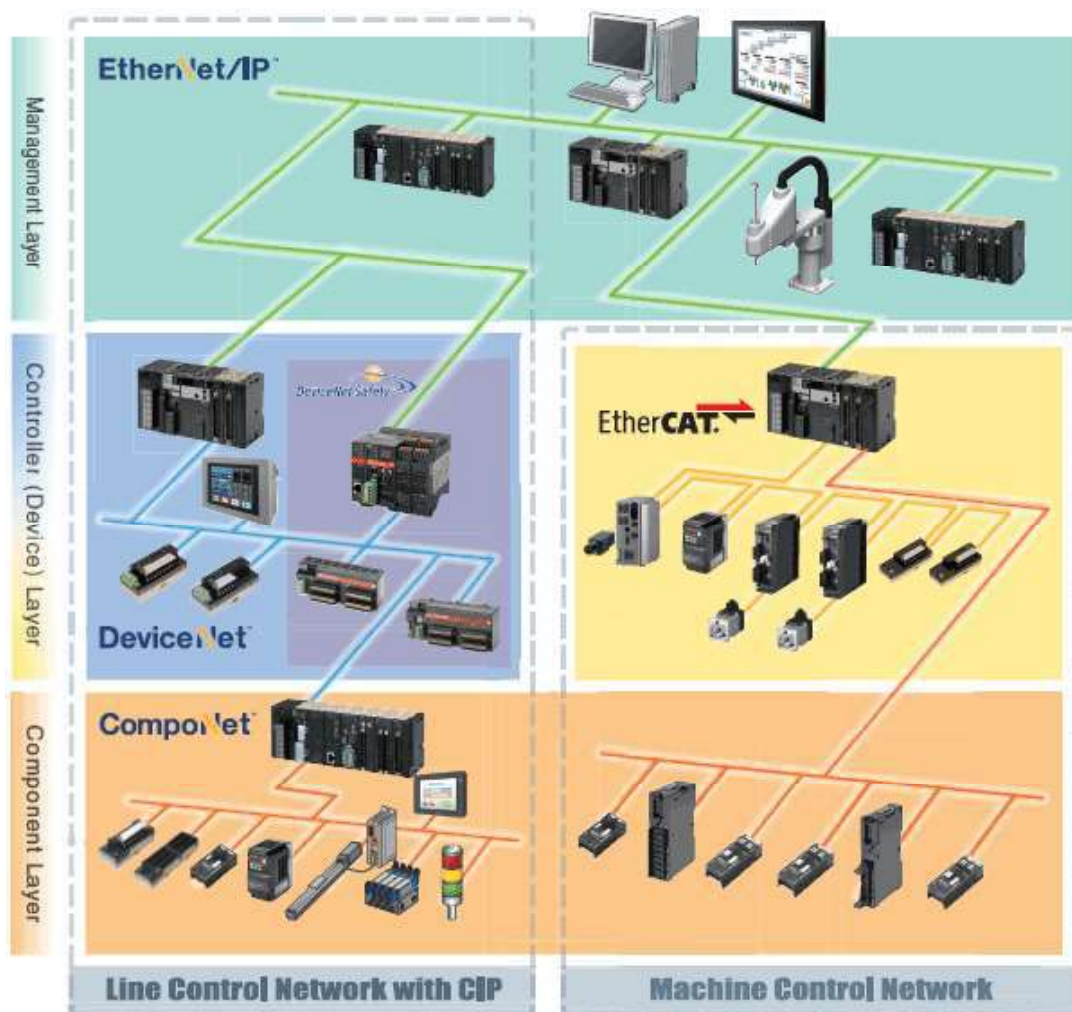


Figure 3.11. Types de réseaux de terrain.

III.9.2.1. EtherNet/IP

Un réseau industriel ouvert avec des protocoles de contrôle basés sur la technologie Ethernet standard.

EtherNet/IP peut être utilisé avec les protocoles Internet standard pour créer des liaisons de données de la taille requise avec les pairs requis et les mettre à jour à la période requise.

- Liaisons de données à grande vitesse, de 20 000 mots en 10 ms*.
- Programmation efficace avec des balises (variables).

III.9.2.2. EtherCAT

Un réseau ouvert à ultra-haute vitesse qui intègre la synchronisation multi-axes et les E/S à distance.

La commande de mouvement et les E/S à distance sont connectées à très grande vitesse pour obtenir une commande à grande vitesse et de haute précision de l'ensemble du système.

- Capacité multiaxe à ultra-haute vitesse : 147 axes en 0,125 ms
- Ultra-haute précision : $< 1 \mu\text{s}$ jitté
- E/S à ultra-haute vitesse : 1 000 points en 30 μs (pour les E/S numériques)

III.9.2.3. DeviceNet

Pour connecter les E/S et les composants de sécurité.

Vous pouvez connecter les dispositifs de commande et les dispositifs de sécurité sur le même réseau DeviceNet pour obtenir un système global optimal.

- Idéal pour le système jusqu'à 500 m et jusqu'à 64 nœuds.
- Diverses spécifications de communication pour différents dispositifs connectés
- Configuration de système multi-fournisseurs (produits fournis par environ 900 sociétés de plus)

III.9.2.4. CompoNet

Dans la couche capteurs et actionneurs.

CompoNet offre le mélange idéal de haute vitesse, de grande capacité et de facilité d'utilisation nécessaire pour vous permettre de construire la meilleure machine.

- Forme de ramification flexible. Jusqu'à 384 nœuds
- Communications à grande vitesse, 1024 points d'E/S en 1 ms
- Les câbles à faible coût réduisent considérablement le coût du système

III.9.3. Exemples d'applications

III.9.3.1. Communications d'E/S à distance

Les communications d'E/S à distance constituent l'application la plus typique de la couche des composants du réseau de terrain. Le contrôleur peut commander des dispositifs d'entrée/sortie distants à l'aide de communications de réseau de terrain. Le contrôleur est équipé d'une fonction de communication réseau - une station maître - et les lignes de signaux des dispositifs d'entrée/sortie sont câblées à des borniers dédiés appelés bornes distantes (unités d'E/S distantes) - stations esclaves. Les communications d'E/S à distance peuvent être ajoutées directement à certains dispositifs de contrôle tels que les régulateurs de température. L'utilisation des communications d'E/S à distance permet de réaliser des installations où le contrôleur est éloigné de l'équipement ou de la machine et permet également de contrôler plusieurs équipements et machines à l'aide d'un seul contrôleur. Comme le nombre de lignes

de communication est faible, cela permet de réduire le travail et le temps nécessaires à l'installation ainsi que l'espace requis pour le câblage.

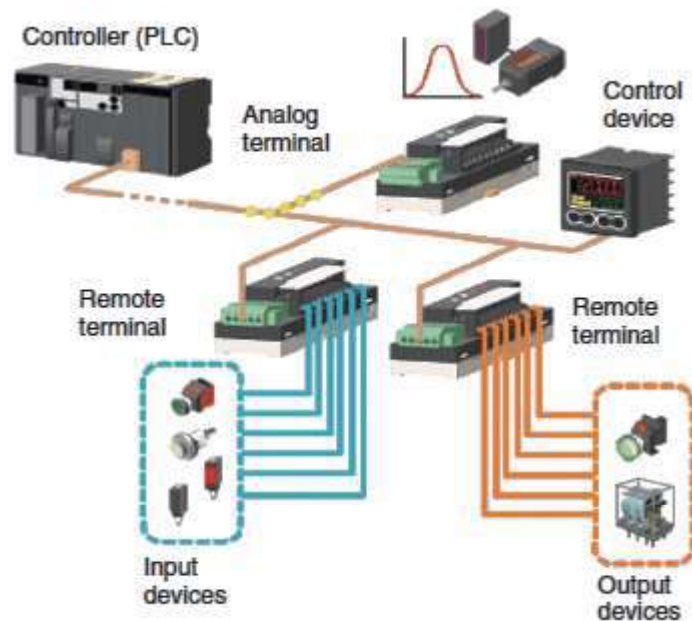


Figure 3.12. Communications d'E/S à distance.

III.9.3.2. Communications par liaison de données

Les communications par liaison de données sont également effectuées par le réseau de terrain au niveau de la couche contrôleur. Elles permettent le partage de données entre plusieurs contrôleurs (noeuds) sur le réseau de terrain. La zone (zone de liaison de données) pour le partage des données entre les contrôleurs est prédéterminée, et cette zone est utilisée pour effectuer un échange de données mutuel. Les informations (état) telles que l'état de fonctionnement des contrôleurs peuvent également être échangées mutuellement au même moment.

Ces échanges de données démarrent automatiquement dès que le contrôleur commence à fonctionner, et sont exécutés de manière cyclique pendant le fonctionnement. Il n'est pas nécessaire d'écrire un programme utilisateur pour les communications du côté du contrôleur qui participe à la liaison de données.

L'utilisation des communications par liaison de données évite la création d'un programme utilisateur pour l'échange de données sur les contrôleurs respectifs, ce qui permet de réduire la taille du programme.

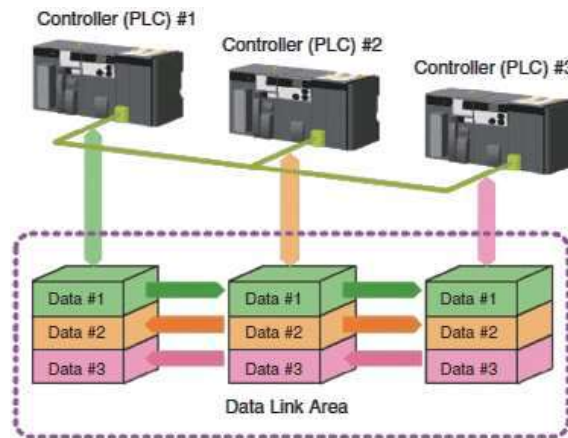


Figure 3.13. Communications par liaison de données.

III.9.3.3. Communications par transfert de fichiers

Le transfert de fichiers est une application de réseau de terrain qui est le plus souvent utilisée au niveau de la couche de gestion. Les données (articles de production, quantité de production cible, résultats de production du jour, historique des anomalies, etc.) peuvent être échangées facilement entre les PC ou les ordinateurs serveurs et les contrôleurs au format fichier) peuvent être facilement échangées entre les PC ou les ordinateurs serveurs et les contrôleurs sous forme de fichiers. Les données en format fichier reçues du côté du contrôleur peuvent être étendues dans la mémoire interne et être utilisées par un programme utilisateur créé à l'aide du langage Ladder ou d'autres langages.

Le transfert de fichiers permet de traiter et de réutiliser facilement les données par un logiciel d'application pour la gestion de la production, car les données sont reçues au format fichier. En outre, les données peuvent être stockées dans un ordinateur serveur doté d'un disque de stockage de masse, ce qui permet de réduire le coût du matériel car il n'est plus nécessaire d'avoir un dispositif de stockage de masse à l'intérieur du contrôleur.

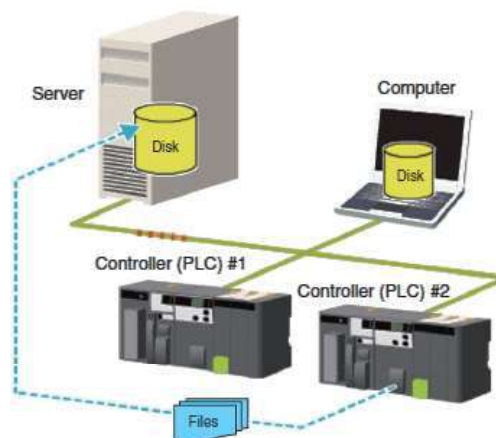


Figure 3.14. Communications par transfert de fichiers.

Chapitre 4

Guide d'Etude des Modes Marche et Arrêt (G.E.M.M.A)

IV.1. Introduction

Le GEMMA (Guide pour l'Etude des Modes de Marche et d'Arrêt) est un guide graphique développé par l'Agence pour le Développement de la Productique Appliquée (ADEPA) en avril 1981. Il constitue une méthode d'approche des Modes de Marche et d'Arrêt des Systèmes, c'est un outil d'aide complémentaire au GRAFCET qui permet d'exprimer clairement et complètement les besoins en matière de marche et d'arrêt d'un système automatisé.

Le GEMMA est un document structuré (outil-méthode) prêt à être complété par son utilisateur afin de suivre une démarche guidée et systématique.

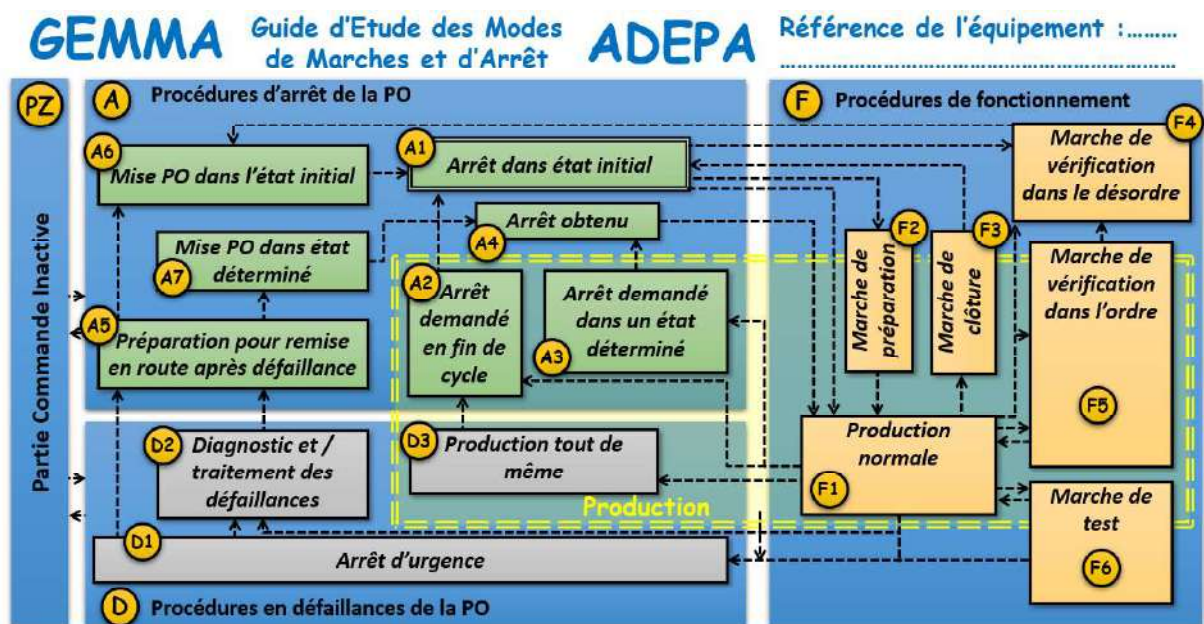


Figure 4.1. GEMMA.

IV.2. Concept et structuration du GEMMA

IV.2.1. Concept du GEMMA

Les procédures de marche et d'arrêt ainsi que les procédures de défaillances sont vues par une PC en ordre de marche (sous tension).

Tous les modes de marche, d'arrêt et de défaillance concernent l'ensemble de l'automatisme (PC et PO).

La PC ne peut prendre des décisions adéquates que si elle est en énergie et ses organes sont alimentés. Si la PC est constituée d'un automate programmable, il ne suffit pas que celui-ci soit sous tension pour prendre des décisions. Il faut qu'il soit en mode Marche (RUN) pour que son programme puisse gérer l'installation.

Le GEMMA peut-être donc diviser.

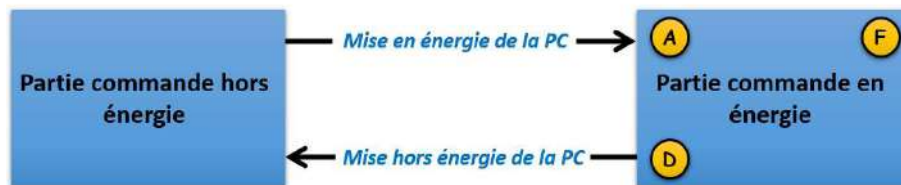


Figure 4.2. Concepts de base de GEMMA.

IV.2.2. Structuration du GEMMA

IV.2.2.1. Production - non-production

La fonction principale d'un système automatisé c'est de produire une valeur ajoutée.

Un système est dit en production si la valeur ajoutée pour laquelle le système a été conçu est obtenue. Dans le cas contraire, le système est dit hors production.

La production a différentes formes. On peut donc avoir une autre division du GEMMA.

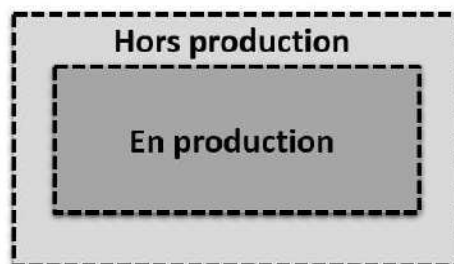


Figure 4.3. Production - non-production.

IV.2.2.2. Les familles d'états des modes de fonctionnement et d'arrêt (Les procédures)

On peut classer les modes de marches et d'arrêts en 3 grandes familles :

a. Famille A

Dans cette famille, sont classés tous les modes conduisant ou traduisant à un état d'arrêt du système pour des causes extérieures.

Ils sont regroupés dans une zone A (Procédures d'Arrêt) du guide graphique.

Certains modes de remise en route de l'automatisme peuvent être classés dans cette famille.

b. Famille F

Dans cette famille, sont regroupés tous les modes ou états indispensables à l'obtention d'une valeur ajoutée pour laquelle la machine est prévue.

Certains modes de la famille F sont nécessaires pour préparer l'automatisme avant de commencer la production.

D'autres modes sont nécessaires pour des tests et vérifications.

c. Famille D

Cette famille regroupe les modes ou états traduisant un état d'arrêt du système pour des raisons intérieures aux système.

Il s'agit des Procédures de Défaillances.

L'automatisme peut avoir des défaillances dans la PO.

A cet effet, il est important et plus que nécessaire de préparer l'automatisme.

On peut ajouter des capteurs, ou boutons d'arrêt d'urgence qui provoqueraient un arrêt immédiat.

Tout dépend de l'impact de la défaillance du point de vue dommages humains et matériels.

Le concept 3 permet une nouvelle division du GEMMA.

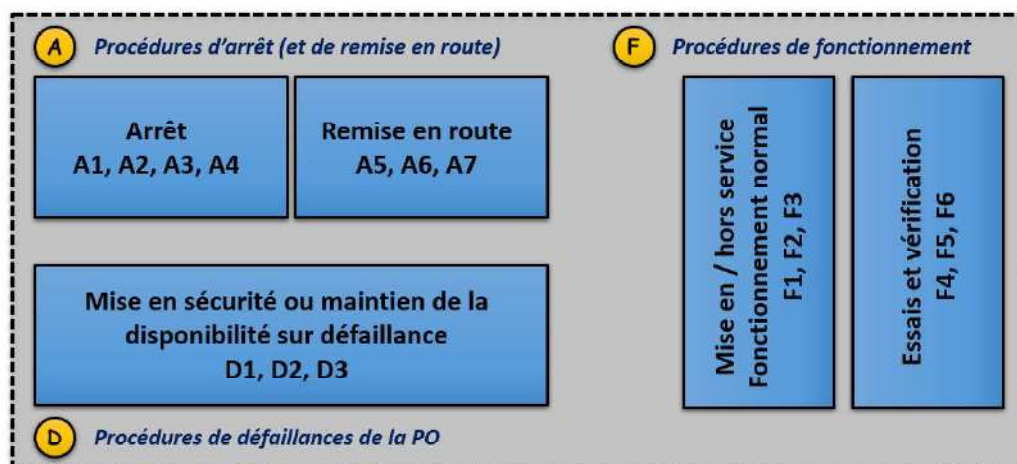


Figure 4.4. Les familles d'états des modes de fonctionnement et d'arrêt.

IV.2.2.3. Les rectangles-états

Chaque mode de marche ou d'arrêt désigné est décrit dans un rectangle-état.

- Pour le fonctionnement de la machine, tous les rectangles-états ne sont pas forcément utilisés.
- Les rectangles-états non utilisés sont barrés.
- De même, les liaisons entre les différents états sont représentées en pointillés.
- Seules les liaisons tracées en trait fort continu sont utilisées.

La position du rectangle-état sur le GEMMA définit :

- Son appartenance à une des trois familles de procédures.
- Le fait qu'il soit en ou hors production.

Un rectangle-état est identifié par un titre désignant le mode suivant le vocabulaire retenu par l'AFCEC.

Dans chaque rectangle-état, figure une description claire de l'opération que la machine doit effectuer.

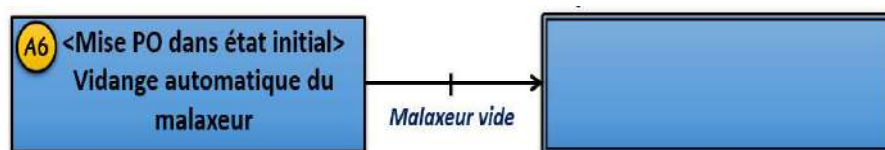
Le principe d'unicité du mode dans le GEMMA stipule que seul un état est actif.

On considère qu'une machine ne peut pas être en train de produire alors qu'elle effectue aussi une marche de préparation.

Par exemple : considérons le rectangle-état suivant.



- Le repère du rectangle-état (A6) indique qu'il s'agit d'une procédure d'arrêt.
- On remarque que la liaison avec un autre état est en pointillés.
- En d'autres termes, il n'y a pas de relation entre ces deux états.
- L'opération effectuée par le système est la vidange automatique du malaxeur.
- La condition d'évolution vers l'état de droite est que le malaxeur soit vide.



IV.2.2.4. Définitions des Etats de Marche et d'Arrêt

a. Procédures d'exploitation

- **F1 : Production normale**

Dans cet état, la machine produit normalement : c'est l'état pour lequel elle a été conçue.

- ✓ Cet état correspond souvent au graficet de production normale.
- ✓ Cet état est obligatoire dans tous GEMMA.
- ✓ En effet, la production normale est but essentiel de chaque automatisme.
- ✓ Ce rectangle-état correspond souvent à un mode identifié mode automatique ou marche automatique.

- **F2 : Marche de préparation**

Cet état est utilisé dans les machines nécessitant une préparation préalable à la production normale.

Les opérations pouvant par exemple être retrouvées sont :

- ✓ Prise de position d'origine.
- ✓ Etalonnage.
- ✓ Préchauffage de l'outillage.

✓ Remplissage de la machine, ...etc.

- ***F3 : Marche de clôture***

C'est l'état nécessaire pour certaines machines devant être vidées ou nettoyées en fin de journée ou de production.

- ***F4 : Marche de vérification dans le désordre***

Ce mode est souvent appelé mode manuel.

- ✓ Il permet de vérifier certaines fonctions ou mouvements sur la machine sans tenir compte de l'ordre de cycle.
- ✓ Il peut permettre aussi le bon fonctionnement des actionneurs de la PO.
- ✓ Il est toutefois important de prévoir des sécurités sur la machine pour l'utilisation du mode manuel.
- ✓ Ce mode est très utilisé pour les actions de maintenance.

- ***F5 : Marche de vérification dans l'ordre***

Dans cet état, le cycle de production est exploré au rythme voulu par la personne effectuant la vérification.

Ce mode est en général utilisé par les techniciens effectuant la mise au point de la machine.

Si la machine à un cycle de production de 36 heures, le technicien ne passera pas 2 jours pour vérifier l'évolution du cycle.

Pendant une vérification dans l'ordre, la machine peut produire ou pas.

- ***F6 : Marche de test***

Ce rectangle-état est prévu pour des besoins de réglages, d'étalonnage et de maintenance périodiques.

b. Procédures d'arrêt

- ***A1 : Arrêt dans l'état initial***

C'est l'état de repos de la machine.

Ce rectangle-état est obligatoire dans tous GEMMA puisque les automatismes s'arrêtent en général en condition initiale.

Il correspond à la situation initiale du grafset : c'est pour cette raison que cet état est représenté par un double rectangle.

- ***A2 : Arrêt demandé en fin de cycle***

Lorsque l'arrêt est demandé, la machine continue de produire pour s'arrêter en fin de cycle.

Il s'agit d'un état transitoire vers A1.

La production en cours se termine.

A3 : Arrêt demandé dans un état déterminé :

C'est l'état transitoire vers A4.

La machine continue de produire jusqu'à un état autre que la fin de cycle.

- **A4 : Arrêt obtenu**

Ce rectangle est requis si la machine doit s'arrêter dans un état différent de la condition initiale.

Elle s'arrêtera alors suivant l'une des méthodes :

- ✓ Arrêt à une étape donnée.
- ✓ Arrêt à l'étape en cours en terminant le mouvement en cours.

Arrêt à l'étape en cours en bloquant le mouvement en cours.

- **A5 : Préparation de remise en route après défaillance**

Dans cet état, on procède à toutes les opérations (dégagements, nettoyages, débourrages,) pour une remise en route après défaillance.

- **A6 : Mise de la PO dans un état initial**

La machine étant en A6, on remet manuellement ou automatiquement la PO en vue d'un redémarrage dans l'état initial.

On parle souvent d'initialisation.

- **A7 : Mise de la PO dans un état déterminé**

Il est possible de placer certains automatismes dans un état autre que l'état initial avant un redémarrage de la production.

c. Procédures de défaillance

- **D1 : Arrêt d'urgence**

Ce rectangle-état correspond à une situation critique.

L'automatisme doit réagir immédiatement.

On peut accéder de tout autre état par appui du bouton poussoir coup de poing AU ou bien de façon automatique par signalisation d'une situation critique du système.

Les procédures envisagées ici peuvent être :

- ✓ L'arrêt immédiat des actionneurs.
- ✓ La fin de mouvements des actionneurs par figeage.
- ✓ L'arrêt immédiat des actionneurs par inhibition des actions.
- ✓ Des dégagements, ... etc.

- **D2 : Diagnostic ou traitement de défaillance**

C'est dans cet état que la machine peut être examinée après défaillance et qu'il peut être apporté un traitement pouvant permettre un redémarrage.

- **D3 : Production tout de même**

Les défaillances n'ont pas toutes la même criticité.

Dans certains systèmes, le concepteur prévoit des éléments en redondance pour qu'en cas de défaillance, l'élément redondant puisse assurer la fonction.

Dans le rectangle-état D3, on se situe en mode Production dégradée ou forcée.

IV.3. Mise en œuvre du GEMMA (Procédures de fonctionnement)

Il faut tout d'abord sélectionner les rectangles-états nécessaires à l'automatisme.

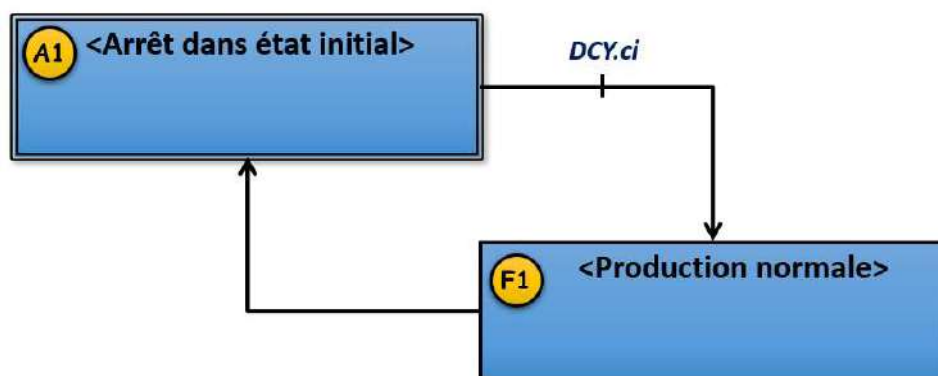
Pour cela, on peut partir des rectangles-états obligatoires A1 et F1.

Et commencer à poser des questions comme :

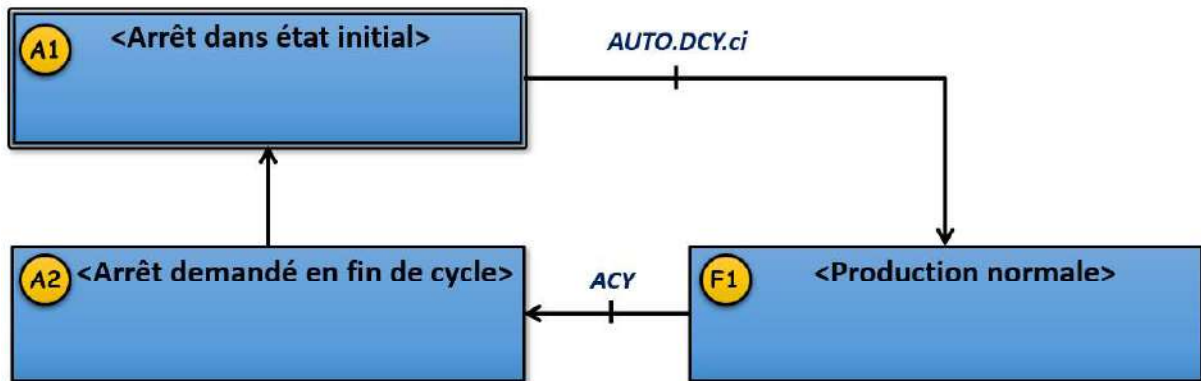
- Une marche de préparation est-elle nécessaire ?
- Quelle évolution suivre lors de l'arrêt normal de production ?
- Un arrêt dans un état autre que l'état initial est-il nécessaire ?
- Quel genre de défaillance peut affecter l'automatisme ?
- Suite à une défaillance, quel doit être le comportement de la machine ?
- Qu'en est-il des marches de vérification ?

IV.4. Quelques configurations types du GEMMA

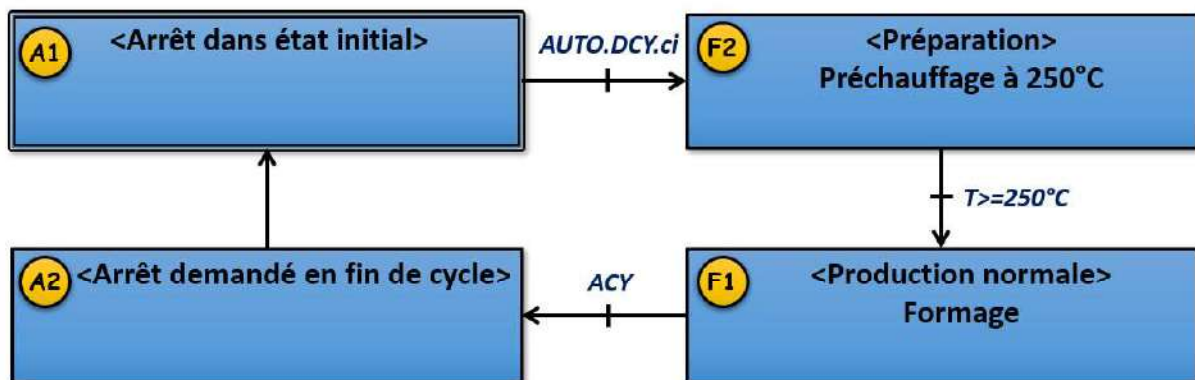
IV.4.1. GEMMA minimal d'une machine semi-automatique



IV.4.2. GEMMA minimal d'une machine automatique



IV.4.3. GEMMA d'une machine automatique ou semi-automatique avec marche de préparation



IV.5. Utilisation pratique du GEMMA et applications

IV.5.1. Utilisation du GEMMA dans un système automatisé

La pratique courante de l'étude des machines de Production Automatisée n'aborde pas méthodiquement la sélection des Modes de Marches et d'Arrêts, ce qui entraîne souvent des modifications longues et coûteuses de la machine après réalisation. En mettant en œuvre le GEMMA dans l'étude, les Modes de Marches et d'Arrêts sont prévus dès la conception et intégrés dans la réalisation. Voici une séquence d'étude typique.

IV.5.1.1. Phase I Parallèlement

- Étude du processus d'action.
- Définition du cycle de production (Grafcet fonctionnel).

IV.5.1.2. Phase II Parallèlement

- Définition de la partie opérative et des capteurs.

- Établissement du Grafcet opérationnel de base.

IV.5.1.3. Phase III

- Mise en œuvre du guide graphique GEMMA pour la sélection des Modes de Marches et d'Arrêts avec mise en évidence des liaisons entre ces modes.

IV.5.1.4. Phase IV Parallèlement

- Définition à l'aide du GEMMA des conditions d'évolution entre les états de Marches et d'Arrêts • définition des fonctions du pupitre de commande
- Établissement du Grafcet complété.

IV.5.1.5. Phase V

- Choix d'une technologie de commande : électrique, électronique ou pneumatique, câblée ou programmée...

IV.5.1.6. Phase VI

- Conception du schéma ou du programme de commande dans la technologie choisie

IV.5.2. Utilisation pratique du GEMMA

On commence par recenser les modes ou états de fonctionnement du système en utilisant des critères clairement définis et indépendants à la fois du type de système et de la technologie de commande. Si un mode proposé est retenu, il sera précisé en « langage machine », dans le « rectangle-état ». Par exemple, on peut préciser la mention « Système de Tri » dans le rectangle F1 <Production >. Si un mode n'est pas nécessaire pour la machine, une croix sera portée dans le « rectangle-état », pour bien signifier qu'il n'est pas retenu.

On établit des liaisons orientées possibles entre ces modes ou états permettant de préciser les conditions d'évolution d'un état à un autre. A ce propos, on peut passer d'un état à un autre :

- Par une condition qui peut être liée à l'action sur un bouton du pupitre de commande, ou à l'actionnement d'un capteur situé sur la machine détecteurs de défauts, détecteurs de présence pièce, etc.,
- Sans condition explicite. En effet, dans ce dernier cas la réécriture d'une condition évidente n'apporterait aucune information utile (exemple, le passage de A2 à A1), ou parce que l'état atteint dépend de l'intervenant.

Déduire le Grafcet complété afin de terminer la définition des spécifications de la partie commande y compris le pupitre et les capteurs supplémentaires. Avec tous ces éléments descriptifs, on peut alors tracer :

- Soit le Grafcet complété qui enrichit le Grafcet de base.
- Soit un Grafcet supplémentaire, coordonné avec le Grafcet de base, appelé Grafcet des modes de marche ou Grafcet de conduite.

Exemple 2 : Tri de caisses

Un dispositif automatique destiné à trier des caisses de deux tailles différentes. Se compose d'un tapis amenant les caisses, de trois poussoirs et de deux tapis d'évacuation.

Le poussoir P1 pousse les petites caisses devant le poussoir P2 qui à son tour les transfère sur le tapis 2, alors que les grandes caisses sont poussées devant le poussoir P3, ce dernier les évacuant sur le tapis 3.

Pour effectuer la sélection des caisses, un dispositif de détection placé devant le poussoir P1 permet de reconnaître sans ambiguïté le type de caisse qui se présente. Les modes de marche à considérer sont les suivants :

- Marche automatique
- Initialisation automatique de la partie opérative.
- Marche manuelle : des boutons de commande manuelle doivent permettre de démarrer le cycle aller/retour de chaque poussoir P_i .
- Arrêt d'urgence.

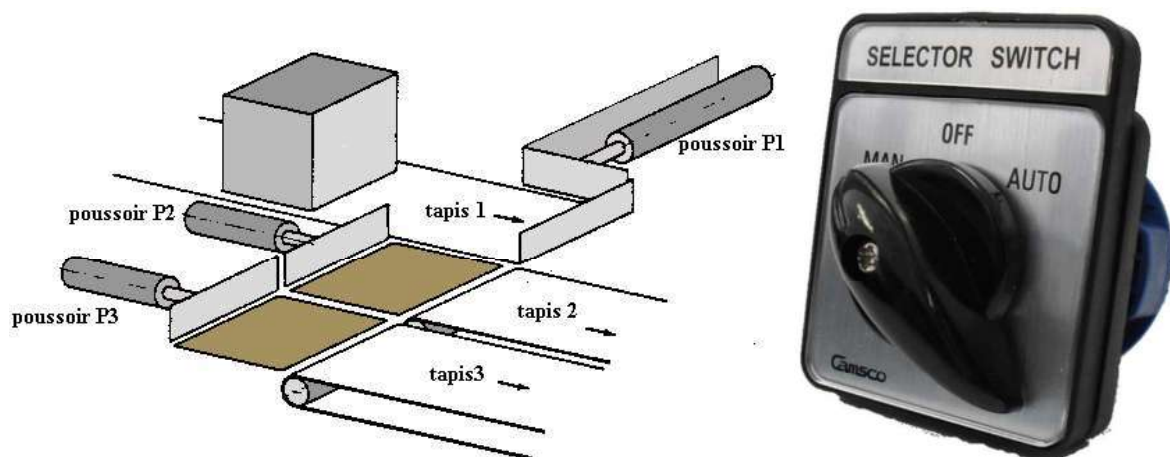


Figure 4.5. Tri de caisses.

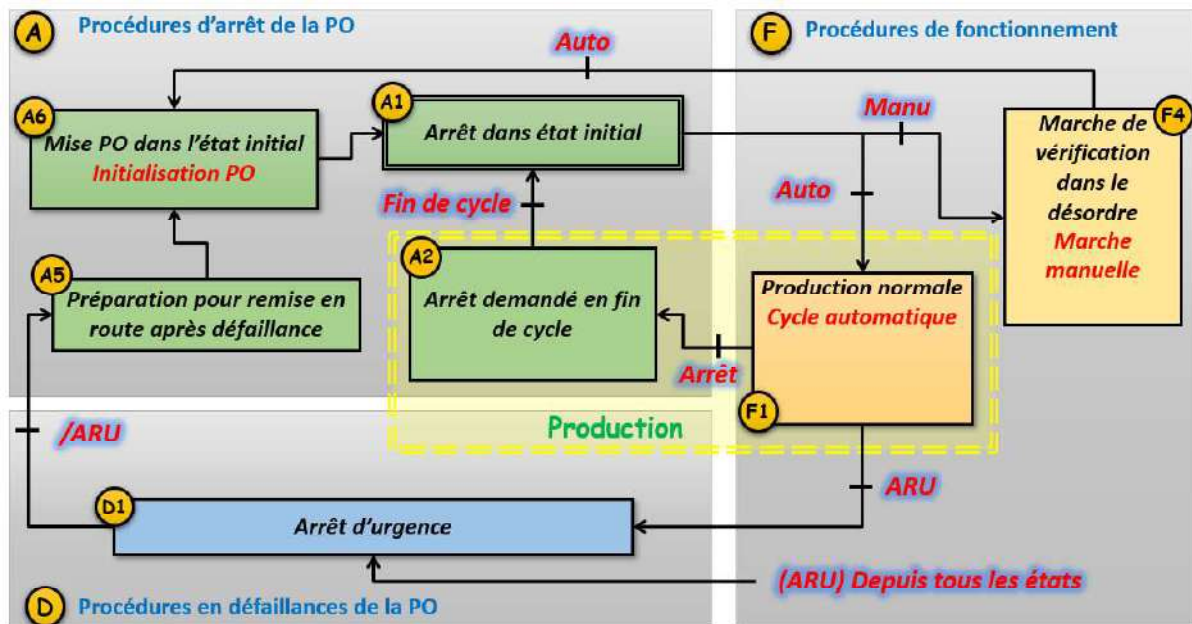


Figure 4.6. Tri de caisses (GEMMA).

Description des états :

Etat 1 (A1) : Arrêt dans l'état initial :

Le poussoir 1 est positionné devant le tapis 1 pour recevoir les caisses.

Etat 2 (F1) : Production normale :

Si le mode automatique est sélectionné, le système passe de l'état 1 à l'état 2.

L'aiguillage d'une caisse ne provoque pas le retour à l'état 1.

Etat 3 (A2) : Arrêt demandé en fin de cycle :

La requête d'arrêt générée à la fin de production normale mène à l'état 3.

Dans cet état, la demande de fin de cycle est envoyée à l'état 1.

Etat 4 (F4) : Marche de vérification dans le désordre :

La sélection du mode manuel permet la commande manuelle des poussoirs en vue d'une vérification.

Etat 5 (A6) : Mise PO dans l'état initial :

Tous les poussoirs sont reculés vers leurs positions initiales, s'ils ne sont pas déjà reculés.

Etat 6 (D1) : Arrêt d'urgence :

L'information AU mène à l'état 6 depuis tous les autres.

Dans cet état, les actionneurs sont commandés à l'arrêt.

Etat 7 (A5) : Préparation pour remise en route après défaillance :

Le remise en marche après un arrêt d'urgence conduit à l'état 7 où la requête de remise en route est directement passée à l'état 5.

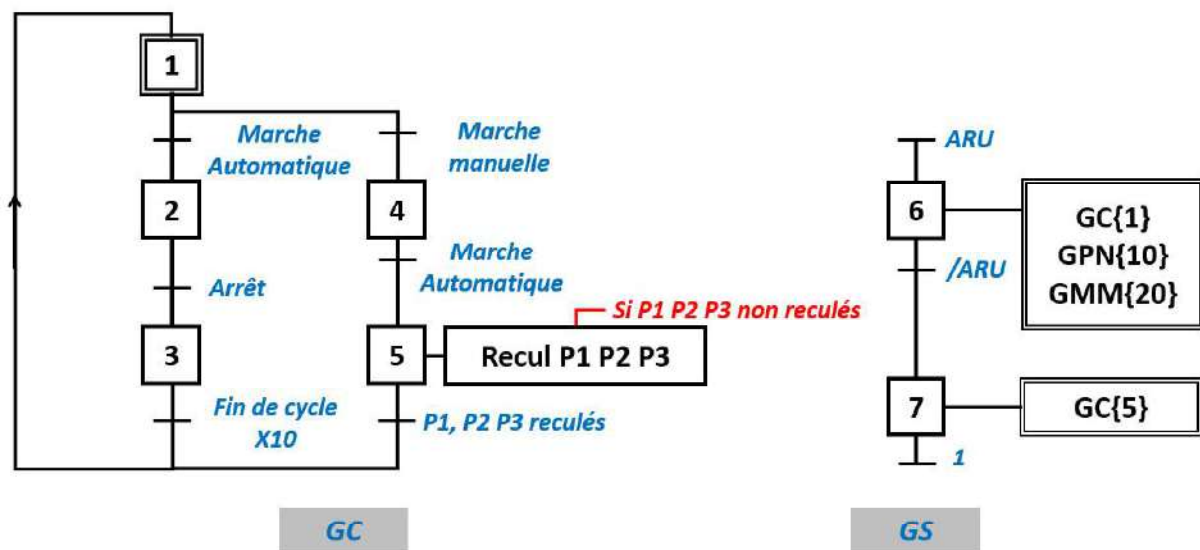


Figure 4.7. GRAFCET.

La première branche de grafcet de conduite GC décrit les états : arrêt dans état initial, fonctionnement normal, arrêt demandé en fin de cycle.

La deuxième branche commande la marche manuelle.

Et l'initialisation automatique de la partie opérative après la sélection de la marche automatique.

L'arrêt d'urgence pouvant intervenir dans n'importe quel état de la machine, on utilise un GRAFCET indépendant (grafcet de sureté GS).

Une transition source conduit à une étape d'initialisation de tous les autres GRAFCET par forçage.

L'utilisation d'une transition source simplifie la solution, mais si l'automate utilisé ne l'accepte pas, on peut ajouter une étape initiale et reboucler sur cette étape.

Le cycle automatique est décrit par le GRAFCET ci-dessous (Grafcet de Production Normale GPN).

Le cycle est exécuté lorsque le grafcet principal GC est dans l'étape marche automatique (étape X2).

L'étape X10 donne l'information fin de cycle au GRAFCET principal

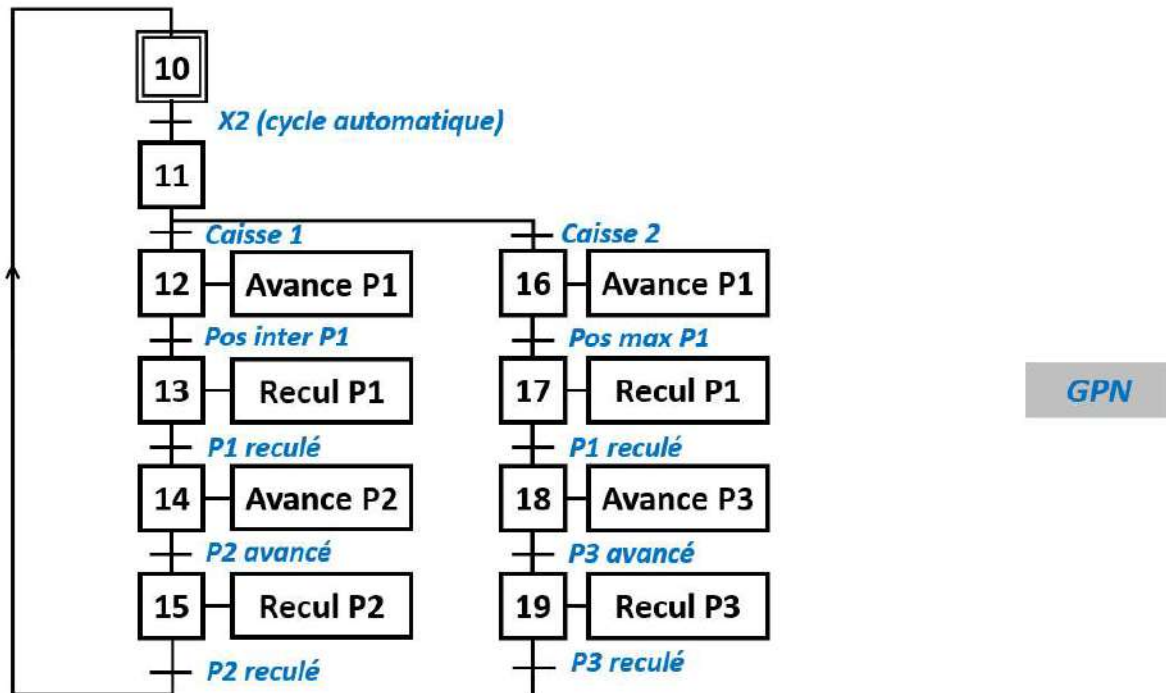


Figure 4.8. GRAFCET en GPN.

La marche manuelle est décrite par le GMM.

Les commandes manuelles sont autorisées lorsque le GC est dans l'étape marche manuelle (étape X4).

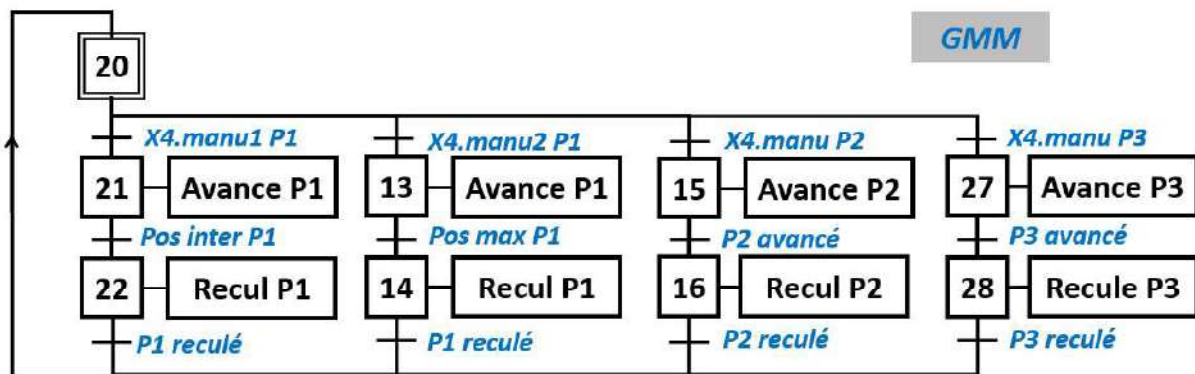


Figure 4.9. GRAFCET en GMM.

L'intérêt du GEMMA est d'imposer une décomposition de la commande, ce qui permet de modifier certains modes de marche sans reconcevoir l'ensemble des GRAFCET.

Par exemple si on souhaite lors de l'arrêt d'urgence, introduire un cycle de dégagement reculant tous les poussoirs, il suffit d'ajouter le GRAFCET ci-dessous, sans modifier les autres.

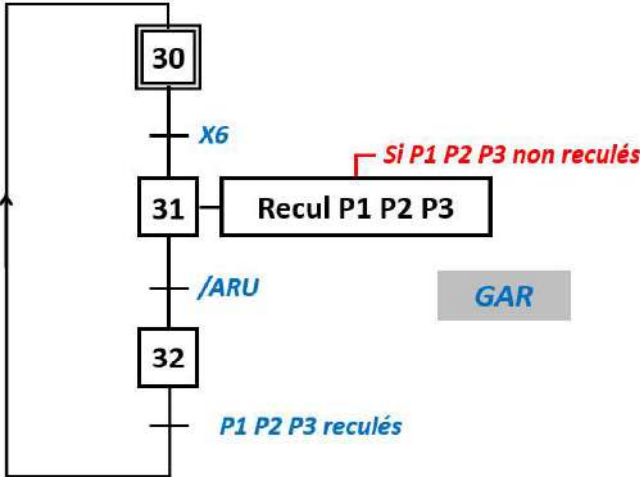


Figure 4.10. GRAFCET pour l'arrêt d'urgence.

Chapitre 5

Applications en Electrotechnique

V.1. Introduction

Les automates programmables (PLC) sont des systèmes de commande à microprocesseur conçus pour les processus d'automatisation utilisés dans les environnements industriels. Il est doté d'une mémoire programmable pour le stockage interne d'instructions orientées vers l'utilisateur, telles que l'arithmétique, le comptage, la logique, le séquençage et la temporisation. Les automates programmables peuvent être programmés pour détecter, activer et contrôler des équipements industriels. Il dispose donc d'un certain nombre de points d'entrée/sortie qui permettent d'interfacer des signaux électriques. Les dispositifs d'entrée et de sortie qui font partie du processus sont connectés à l'automate et le programme de commande est entré dans la mémoire de l'automate.

Dans la tâche à accomplir, il contrôle, par le biais d'entrées et de sorties analogiques et numériques, le fonctionnement d'un moteur à charge variable et à vitesse constante. Un automate programmable contrôle les entrées et active les sorties selon les besoins. Les systèmes de relais de l'époque avaient tendance à tomber en panne et à créer des retards. Les ingénieurs devaient alors dépanner un mur entier de relais pour trouver et résoudre le problème. En outre, le processus de mise à jour de ces installations était très long et coûteux, car les techniciens devaient recâbler séparément et manuellement chaque relais.

Le but d'un PLC était de remplacer directement les pièces en tant qu'éléments logiques, en les remplaçant par un ordinateur numérique à semi-conducteurs avec un programme enregistré, capable d'imiter l'interconnexion de nombreux relais pour effectuer plusieurs tâches logiques. Dans les années 1960 et 1970, avec la découverte du microprocesseur, le dispositif qui, à l'origine, n'était utilisé que pour remplacer les relais, a évolué pour devenir le PLC avancé d'aujourd'hui.

V.2. Automatisation de démarrage des moteurs à courant continu

Dans la plupart des applications industrielles, nous trouvons généralement l'automate programmable contrôlant les démarreurs de moteurs. Les démarreurs sont nécessaires pour les moteurs à courant continu et les moteurs à induction afin de limiter le courant de démarrage et de protéger l'ailette de l'induit.

Dans la plupart des applications industrielles, nous trouvons généralement l'automate programmable contrôlant les démarreurs de moteurs. Les démarreurs sont nécessaires pour les moteurs à courant continu et les moteurs à induction afin de limiter le courant de démarrage et de protéger l'ailette de l'induit.

V.2.1. Contrôle du démarreur du moteur

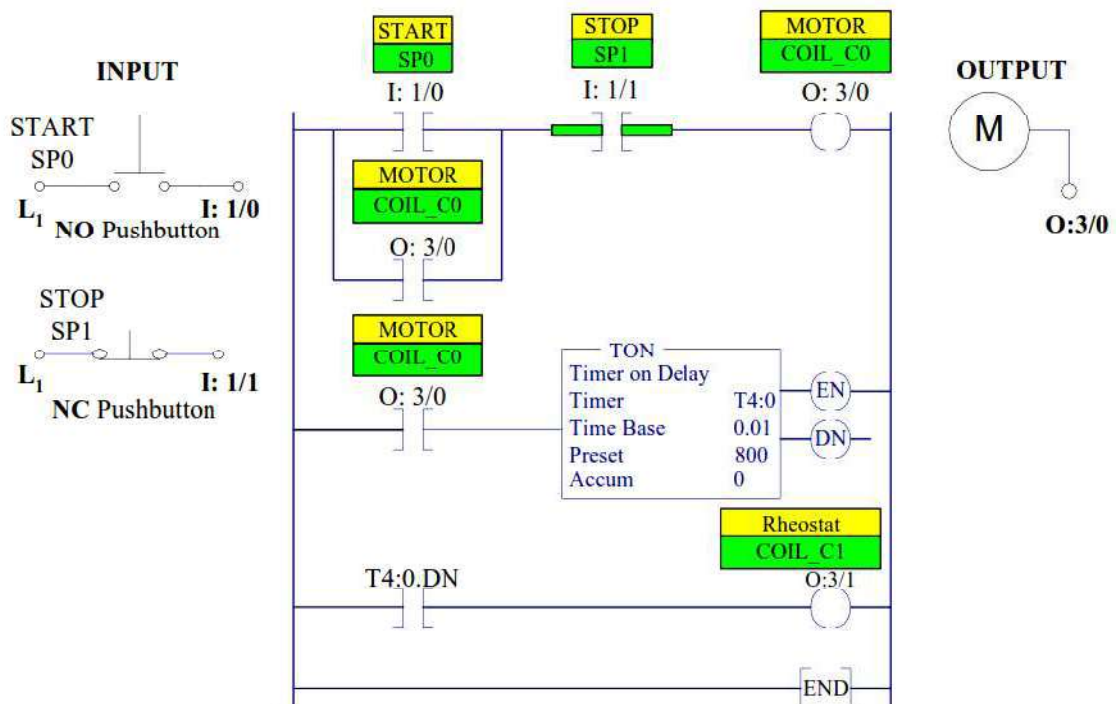


Figure 5.1. Programme Ladder pour la commande du démarreur du moteur.

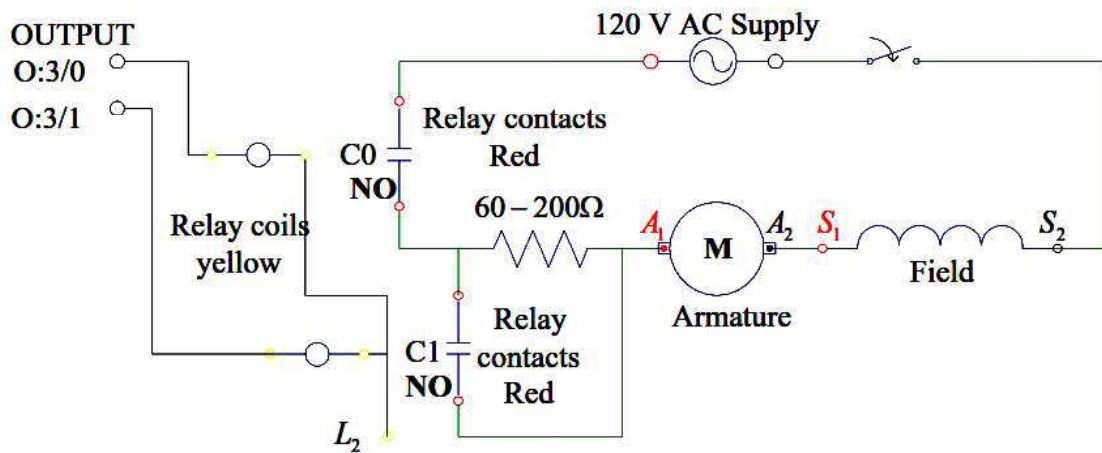


Figure 5.2. Circuit électrique pour la commande du démarreur du moteur.

V.2.2. Explication de la logique du PLC

Le programme ladder présenté dans la figure (a) est conçu pour la tâche séquentielle suivante :

- Le bouton poussoir de démarrage est pressé. L'entrée de référence SP0 (I:1/0) est fermée, la sortie Coil_C0 (O:3/0) est mise sous tension. Le contacteur C0 se ferme et le moteur démarre avec la résistance dans le circuit.
- Le contact (O:3/0) du bouton-poussoir ferme l'étanchéité de la sortie Coil C0.

- Le contact (O:3/0) du deuxième échelon se ferme et la minuterie est mise sous tension. 4.
- Après 8 secondes, la TMR est activée et le contact de la minuterie (T4:0.DN) du troisième échelon se ferme. Ceci met sous tension la sortie Coil_C1 à (O:3/1). Le contacteur C1 à travers la résistance est fermé, court-circuitant la résistance. 5.
- Le bouton poussoir d'arrêt SP1 arrête le moteur en libérant le contact de maintien aux bornes du contact START.

V.3. Démarrage-Arrêt automatique des moteurs asynchrones et synchrones

V.3.1. Contrôle d'un moteur à induction triphasé à l'aide d'un automate programmable

Bien que le chapitre précédent soit utile pour expliquer le fonctionnement de base d'un automate, une application plus pratique, et à peine plus complexe, est la commande marche-arrêt d'un moteur à courant alternatif. Avant d'examiner le programme de l'automate, il faut d'abord envisager une approche câblée.



Figure 5.3. Automate programmable industrielle (API).

Dans cet exemple, une bobine de démarreur de moteur (M) est câblée en série avec un bouton-poussoir de démarrage momentané normalement ouvert, un bouton-poussoir d'arrêt momentané normalement fermé et des contacts de relais de surcharge (OL) normalement fermés.

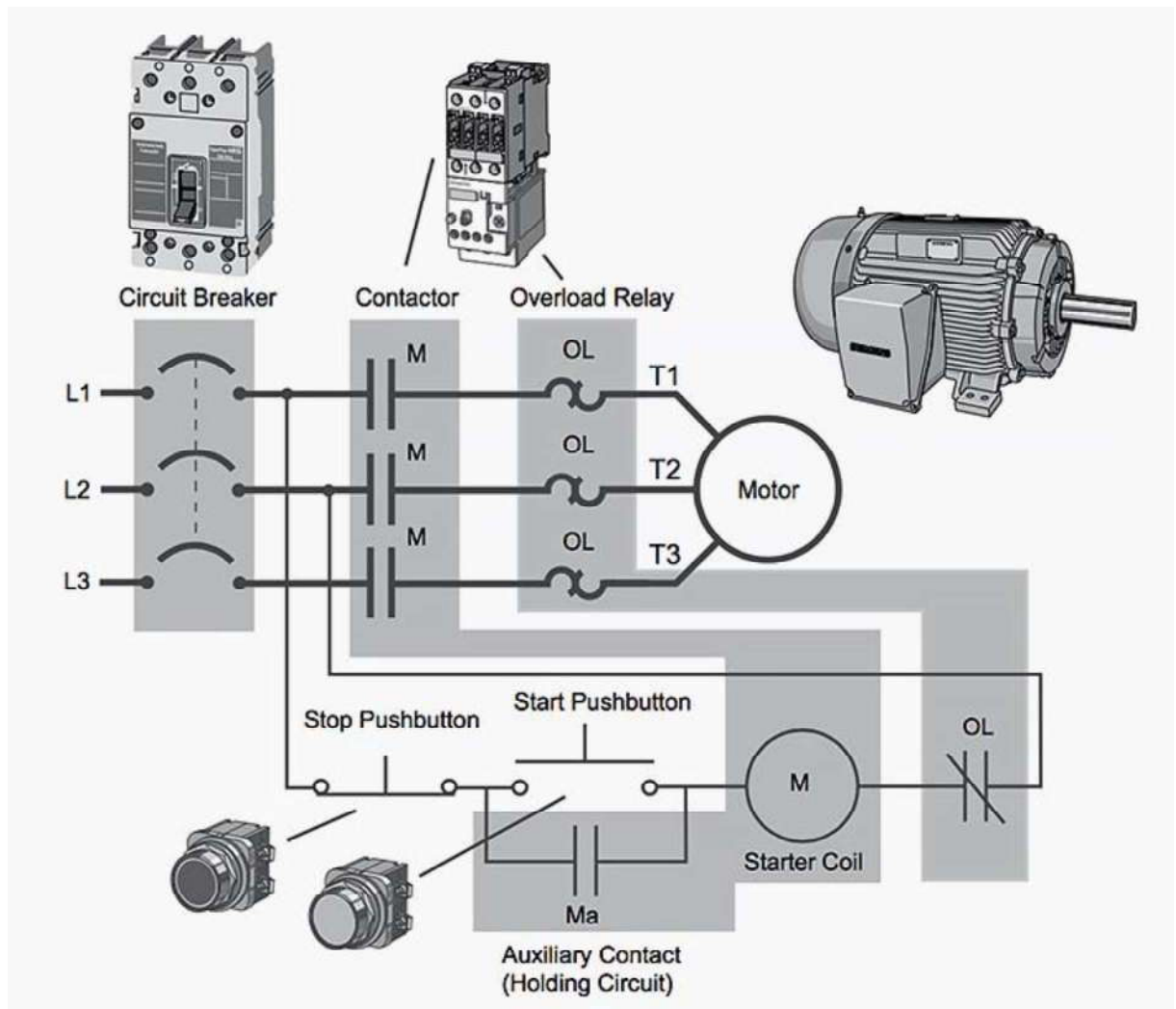


Figure 5.4. Schéma de bloc d'un moteur avec API.

En appuyant momentanément sur le bouton-poussoir Start, le courant circule et le démarreur du moteur (M) est mis sous tension. Cela ferme les contacts associés M et Ma (contact auxiliaire situé dans le démarreur du moteur).

Le moteur fonctionne jusqu'à ce qu'on appuie sur le bouton d'arrêt normalement fermé, à moins que les contacts du relais de surcharge (OL) ne s'ouvrent. Lorsque le bouton d'arrêt est enfoncé, le passage du courant est interrompu, ce qui ouvre les contacts M et Ma associés et le moteur s'arrête.

Cette application de commande de moteur peut également être réalisée avec un PLC. Dans l'exemple suivant, un bouton-poussoir de démarrage normalement ouvert est câblé à la première entrée (I0.0), un bouton-poussoir d'arrêt normalement fermé est câblé à la deuxième entrée (I0.1), et des contacts de relais de surcharge normalement fermés (faisant partie du démarreur du moteur) sont connectés à la troisième entrée (I0.2).

V.3.2. Application de contrôle de PLC et de moteur

Ces entrées sont utilisées pour commander des contacts normalement ouverts dans une ligne de logique en échelle programmée dans l'automate.

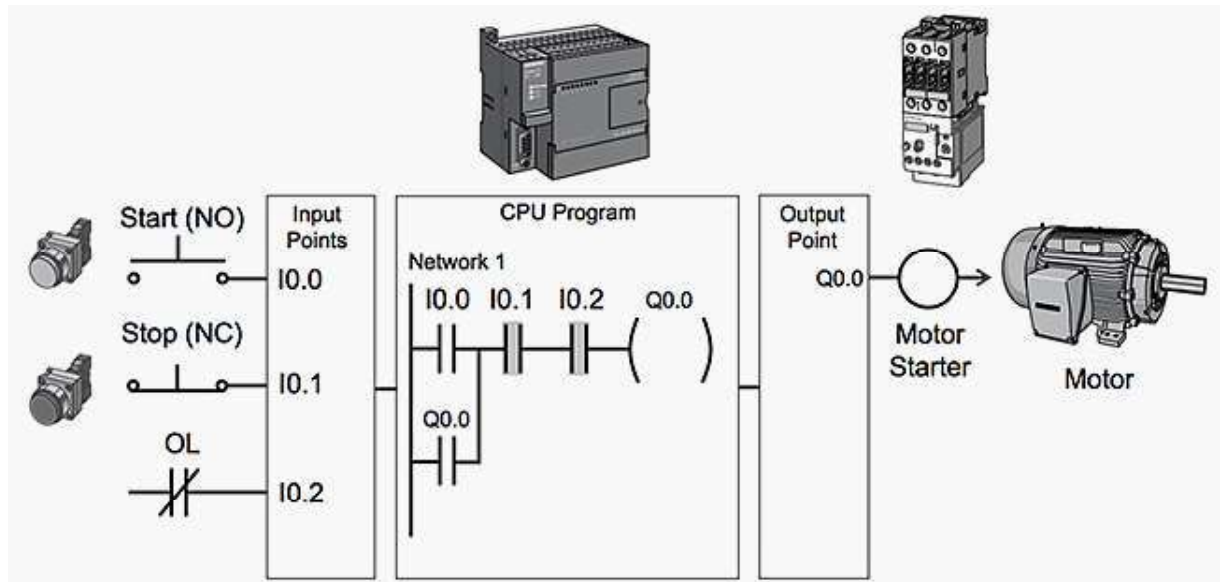


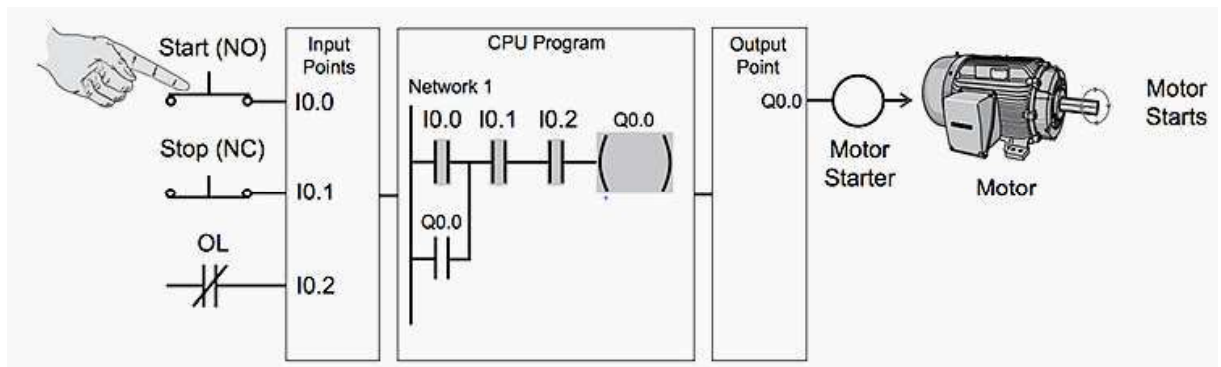
Figure 5.5. Schéma de contrôle de PLC et de moteur.

Initialement, le bit d'état I0.1 est un 1 logique parce que le bouton-poussoir d'arrêt normalement fermé (NC) est fermé. Le bit d'état I0.2 est un 1 logique parce que les contacts normalement fermés (NC) du relais de surcharge (OL) sont fermés. Le bit d'état I0.0 est un 0 logique, cependant, parce que le bouton-poussoir de démarrage normalement ouvert n'a pas été pressé.

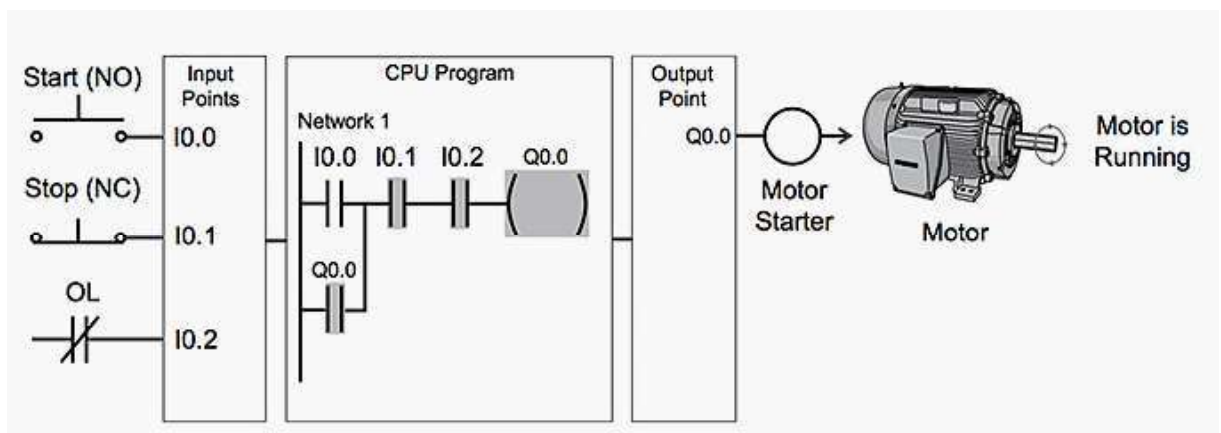
Le contact de sortie normalement ouvert Q0.0 est également programmé sur le réseau comme contact de fermeture. Avec ce réseau simple, l'excitation de la bobine de sortie Q0.0 est nécessaire pour mettre le moteur sous tension.

V.3.3. Opération de programmation de l'API

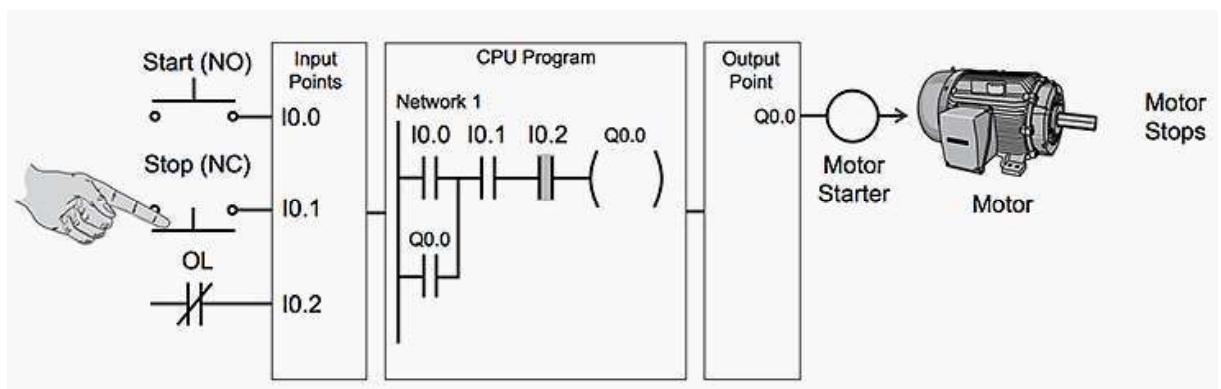
Lorsque le bouton poussoir Start est enfoncé, l'unité centrale reçoit un signal logique de l'entrée I0.0. Cela entraîne la fermeture du contact I0.0. Les trois entrées sont maintenant logiques. L'unité centrale envoie un signal logique à la sortie Q0.0. Le démarreur du moteur est mis sous tension et le moteur démarre.



Le bit d'état de sortie pour Q0.0 est maintenant a. Au prochain balayage, lorsque le contact normalement ouvert Q0.0 est résolu, le contact se ferme et la sortie Q0.0 reste activée même si le bouton-poussoir de démarrage est relâché.



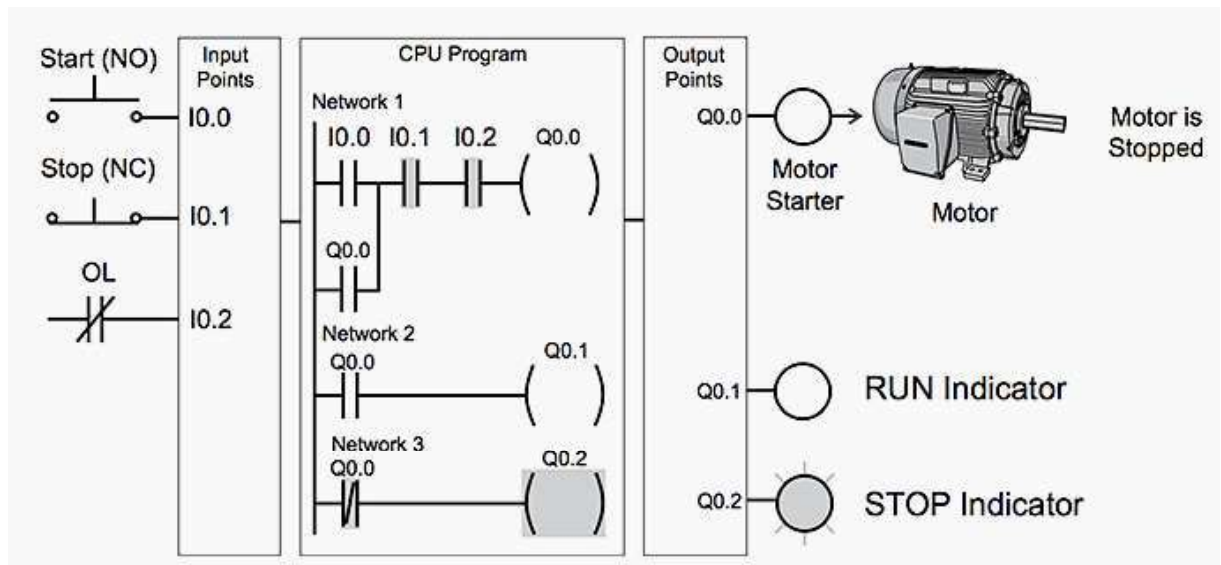
Lorsque l'on appuie sur le bouton-poussoir d'arrêt : l'entrée I0.0 se désactive, le contact I0.0 s'ouvre, la bobine de sortie Q0.0 se désactive et le moteur s'arrête.



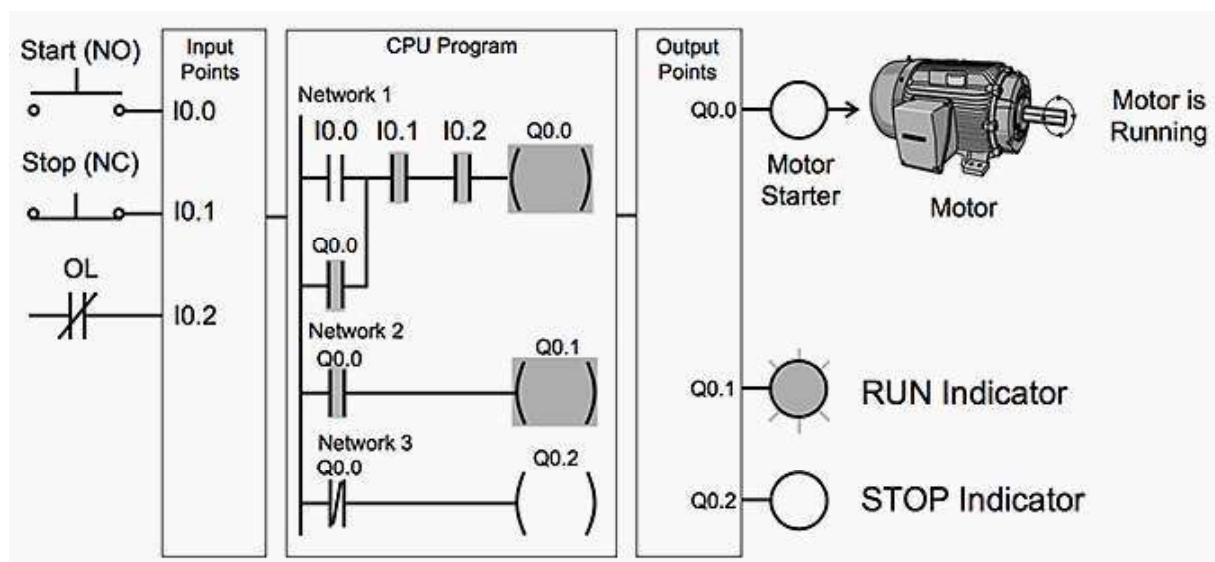
V.3.4. Ajout de voyants lumineux de marche et d'arrêt

L'application peut être facilement étendue pour inclure des voyants lumineux pour les conditions de marche et d'arrêt. Dans cet exemple, un témoin lumineux RUN est connecté à la sortie Q0 et un témoin lumineux STOP est connecté à la sortie Q0.2.

La logique ladder pour cette application comprend un contact Q0.0 normalement ouvert connecté sur le réseau 2 à la bobine de sortie Q0. et un contact Q0.0 normalement fermé connecté sur le réseau 3 à la bobine de sortie Q0.2. Lorsque Q0.0 est éteint, le contact normalement ouvert Q0.0 sur le réseau 2 est ouvert et l'indicateur RUN est éteint. Dans le même temps, le contact Q0.0 normalement fermé est fermé et l'indicateur STOP est allumé.



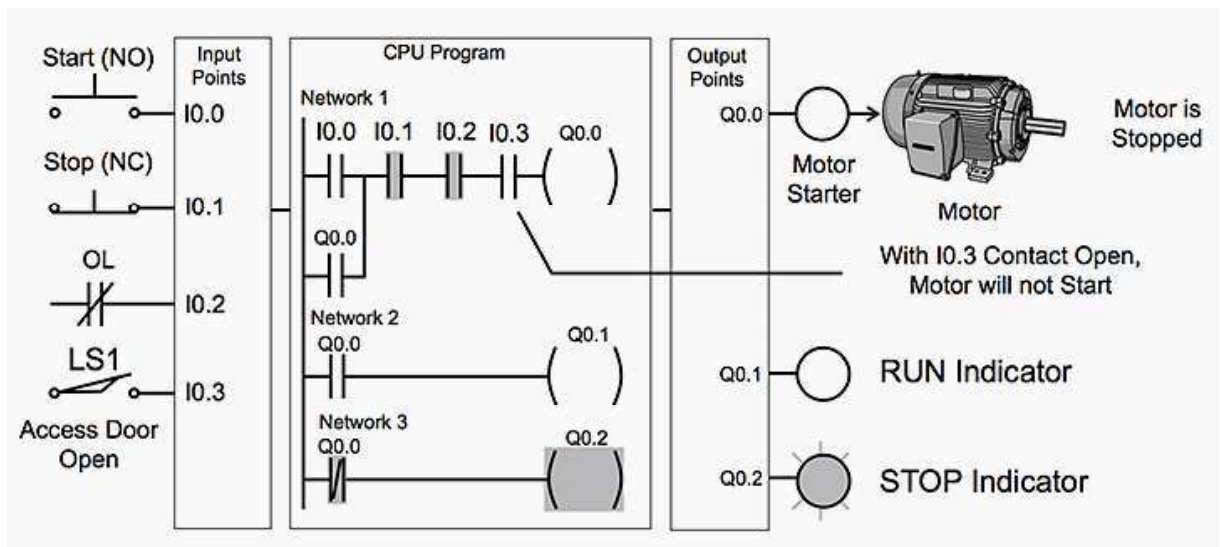
Lorsque vous appuyez sur le bouton Star, l'automate démarre le moteur. La sortie Q0.0 est maintenant activée. Le contact normalement ouvert Q0.0 du réseau 2 est maintenant fermé et le témoin RUN est allumé. Dans le même temps, le contact normalement fermé Q0.0 du réseau 3 est ouvert et le voyant STOP connecté à la sortie Q0.2 est éteint.



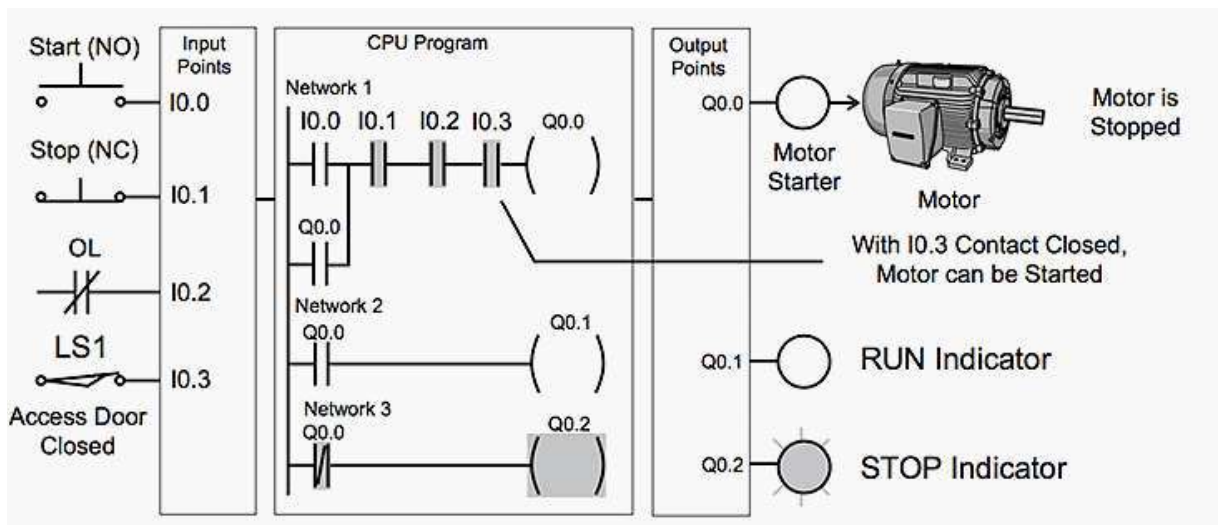
V.3.5. Ajout d'un interrupteur de fin de course

L'application peut encore être étendue en ajoutant un interrupteur de fin de course. L'interrupteur de fin de course peut être utilisé dans cette application pour une variété de fonctions. Par exemple, l'interrupteur de fin de course peut être utilisé pour arrêter le moteur ou empêcher le moteur de démarrer.

Dans cet exemple, l'interrupteur de fin de course est associé à une porte d'accès au moteur ou à son équipement associé. L'interrupteur de fin de course est connecté à l'entrée I0.3 et commande un contact normalement ouvert dans le programme. Si la porte d'accès est ouverte, le commutateur de fin de course LS est ouvert et le contact normalement ouvert I0.3 est également ouvert. Cela empêche le moteur de démarrer.



Lorsque la porte d'accès est fermée, le commutateur de fin de course LS est fermé et le contact normalement ouvert I0.3 est également fermé. Cela permet au moteur de démarrer lorsque le bouton poussoir Start est enfoncé.

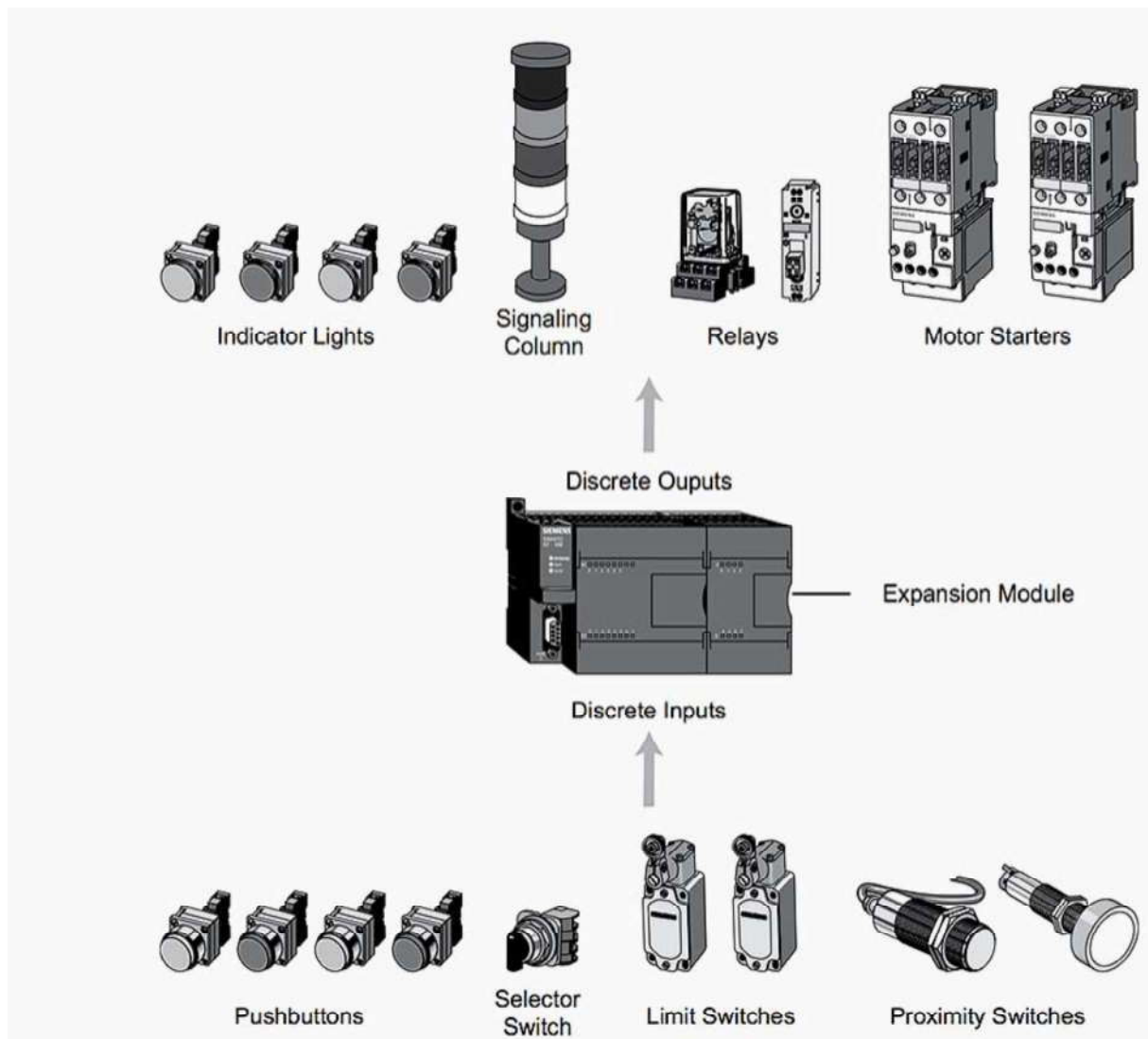


V.3.6. Extension d'un programme PLC

Le programme de l'automate peut être étendu pour s'adapter à une grande variété d'applications commerciales et industrielles.

Il est possible d'ajouter des boutons-poussoirs marche/arrêt, des sélecteurs, des voyants lumineux et des colonnes de signalisation. Des démarreurs de moteur peuvent être ajoutés pour la commande de moteurs supplémentaires. Des interrupteurs de fin de course de dépassement peuvent être ajoutés, ainsi que des détecteurs de proximité pour détecter la position de l'objet. Différents types de relais peuvent être ajoutés pour étendre la variété des dispositifs contrôlés.

Si nécessaire, des modules d'extension peuvent être ajoutés pour augmenter encore la capacité d'E/S. Les applications ne sont limitées que par le nombre d'E/S et la quantité de mémoire disponible pour l'automate.



V.3.7. Contrôle d'un moteur à induction triphasé à l'aide d'un PLC

Vous trouverez ci-dessous, les étapes de base sur la façon de contrôler un moteur à induction triphasé en utilisant un contrôleur logique programmable.

Étape 1 : Décidez des entrées et des sorties.

Entrées

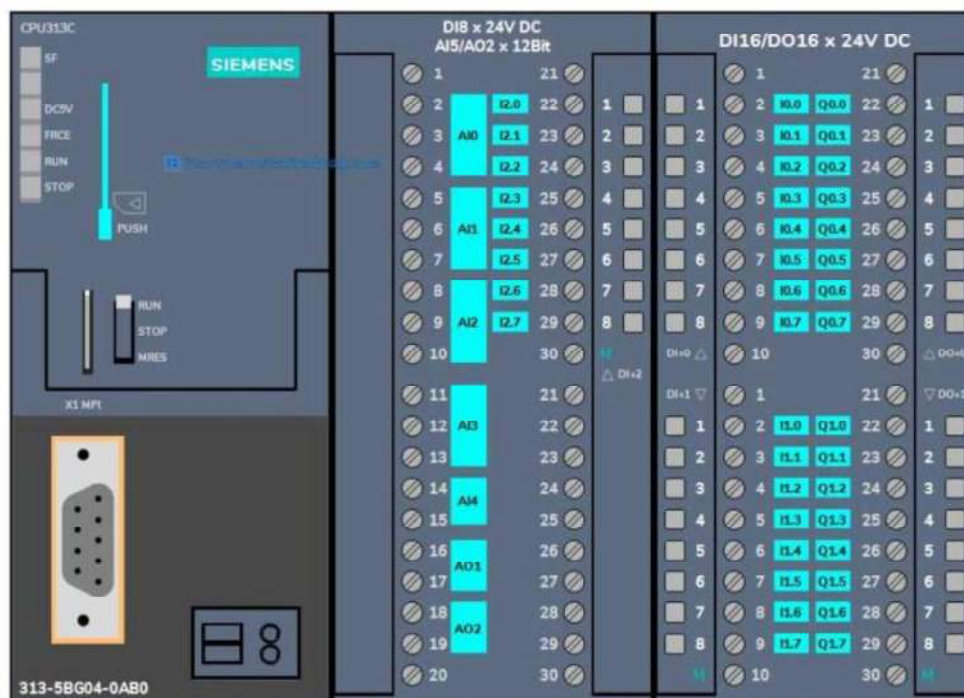
- Interrupteur de sécurité
- Interrupteur à bouton-poussoir de démarrage
- Bouton poussoir d'arrêt
- Retour du MCCB
- Retour du contacteur
- Retour du relais de surcharge

Sorties

- Bobine de contacteur qui entraîne un moteur à induction

Étape 2 : Choisir l'automate

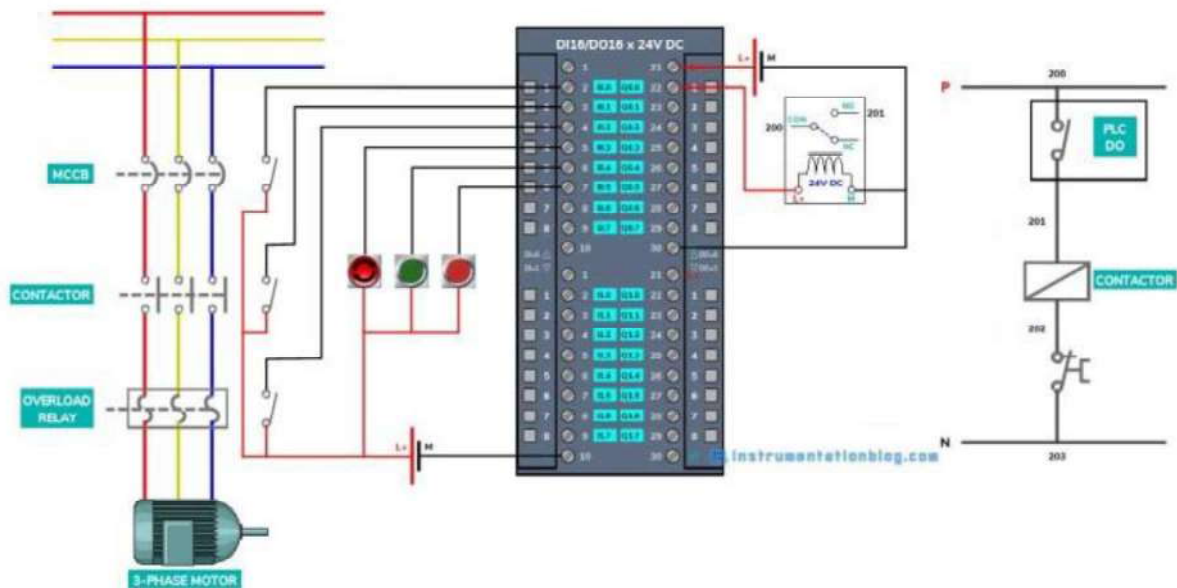
- Nous allons prendre un automate Siemens de la série S7-300, modèle n°. S7 314C.



Étape n°3 : Préparez les plans d'alimentation et de contrôle.

- Il y a un MCCB, un contacteur et un relais de surcharge dans le schéma d'alimentation. Nous avons utilisé le retour comme contact NO du MCCB, du contacteur et du relais de surcharge et l'avons connecté aux entrées I0.0, I0.1 et I0.2.

- Il y a un interrupteur de sécurité, un bouton poussoir de démarrage et un bouton poussoir d'arrêt qui sont connectés à I0.3, I0.4 et I0.5.
- La sortie Q0.0 est dirigée vers un relais 24V DC et le contact NO du relais sera utilisé comme conducteur principal pour conduire une bobine de contacteur dans la commande.



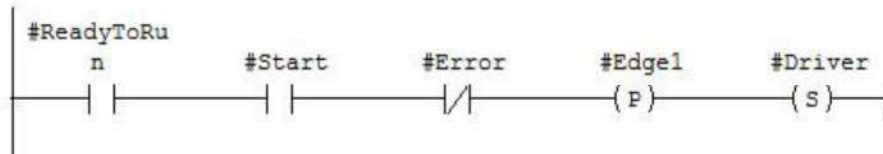
Étape 4 : Préparer un programme PLC.

- **Réseau n°1** : Ce réseau montre l'état de préparation du moteur, si le MCCB est sur ON et que l'interrupteur de sécurité est en position normale, le moteur est prêt à démarrer.
- **Réseau n°2** : Ce réseau montre la logique de démarrage du moteur. S'il n'y a pas d'erreur et que le moteur est prêt à démarrer, lorsque l'opérateur appuie sur le bouton de démarrage depuis le panneau local, il active le pilote pour démarrer le moteur.
- **Réseau n°3** : Chaque fois que l'opérateur appuie sur le bouton d'arrêt, le conducteur est désactivé.
- **Réseau n°4** : Ce réseau arrête le moteur en cas de dysfonctionnement du contacteur.

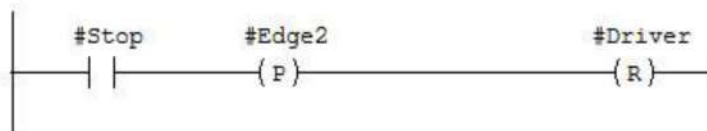
□ **Network 1** : It will show the ready status of the motor



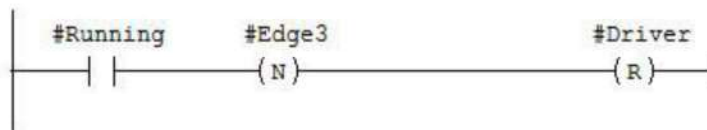
□ **Network 2** : It will show the local start logic



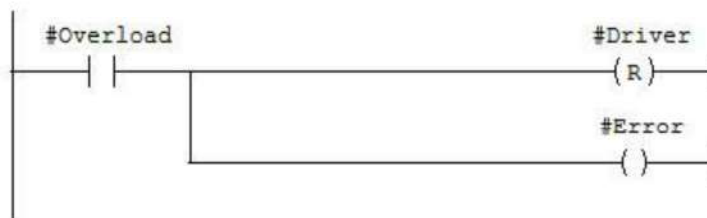
□ **Network 3** : It will show the local stop logic



□ **Network 4** : It will show running feedback



□ **Network 5** : It will show the error status



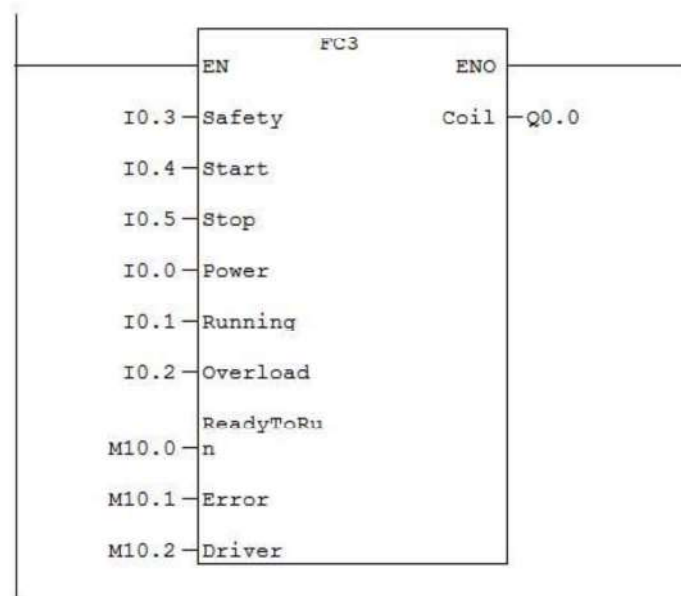
□ **Network 6** : Other Interlocks



□ **Network 7** : Title:



- **Réseau n°5** : Ce réseau indique l'état d'erreur ou l'état de déclenchement du moteur en raison d'un courant excessif provenant du relais de surcharge.
- **Réseau 6** : Chaque fois que l'opérateur appuie sur l'interrupteur de sécurité ou que l'alimentation du MCCB est coupée, le conducteur est désactivé dans ce réseau.
- **Réseau n°7** : Le statut du driver est transféré à la bobine qui est la sortie principale de l'automate.



Ceci est le bloc fonctionnel de la commande du moteur à induction triphasé.

Remarque : il s'agit d'un tutoriel de base sur la commande d'un moteur à induction triphasé à l'aide d'un PLC. Cependant, l'application pratique peut être quelque peu différente

V.4. Automatisation du processus de protection électromagnétique des moteurs électriques

Différentes unités de protection sont utilisées pour protéger les moteurs électriques. Les moteurs sont utilisés à différents niveaux dans diverses applications. Les moteurs à induction sont très utilisés tant au niveau domestique qu'au niveau industriel ou commercial. Différentes catégories de moteurs à induction sont utilisées dans les unités industrielles. Les gros moteurs industriels sont coûteux, la protection d'un moteur est donc un paramètre important. Différentes unités de protection des moteurs sont utilisées pour la protection des moteurs.

La protection des moteurs a été divisée en plusieurs catégories en fonction du fonctionnement du moteur. Les différentes catégories de protection d'un moteur sont présentées ci-dessous.

V.4.1. Protection contre les surcharges

La protection contre les surcharges est le type de protection contre les conditions de surcharge mécanique. Les conditions de surcharge mécanique peuvent se produire dans un moteur pour diverses raisons lorsqu'il est en marche. Les situations de surcharge peuvent entraîner une augmentation de la température du moteur, ce qui peut l'endommager. La protection utilisée pour les conditions de surcharge peut déconnecter le moteur en surcharge de l'alimentation principale. Lorsque le moteur est surchargé pour quelque raison que ce soit, les enroulements du moteur peuvent prendre feu car la température du moteur augmente en cas de surcharge, ce qui peut endommager les enroulements du moteur. De même, si les sorties du moteur sont couvertes et qu'il n'y a pas de point d'émission de chaleur, la température du moteur augmente lorsque le moteur continue de tourner, ce qui peut également endommager les enroulements du moteur. Les unités de protection contre les surcharges se déclenchent en cas de surcharge, l'alimentation du moteur est coupée et le moteur est protégé contre tout dommage supplémentaire.

V.4.2. Protection contre les surintensités

Lorsqu'une quantité excessive de courant passe dans le moteur, l'unité de protection du moteur se déclenche. Les disjoncteurs et les fusibles sont utilisés comme unités de protection pour les différents moteurs. La protection contre les surintensités peut protéger le personnel contre les chocs électriques, l'équipement de commande du moteur, les conducteurs des circuits de dérivation du moteur et le moteur lui-même contre les courants élevés.

V.4.3. Protection contre la basse tension

L'unité de protection ou le dispositif est utilisé pour déconnecter le moteur de la source de tension ou de la source d'alimentation dans le cas où la tension descend en dessous de la valeur nominale du moteur. Le moteur fonctionne à nouveau lorsque la tension est équilibrée à la valeur normale. Les différentes unités de protection ont leurs propres points de réinitialisation. Certaines unités de protection se réinitialisent manuellement. Elles se remettent automatiquement à la normale en suivant différents algorithmes. Certaines unités de protection se remettent à la normale après un intervalle de temps prédéfini. Certaines unités peuvent être remises à la normale lorsque la tension se stabilise à sa valeur normale.

V.4.4. Protection contre les défaillances de phase

La protection contre les défaillances de phase est utilisée pour protéger le moteur en cas de défaillance de phase pendant le fonctionnement du moteur. Elle est normalement utilisée dans les moteurs triphasés et, en cas de défaillance d'une phase, le moteur se déconnecte de l'alimentation électrique. Un moteur sans protection contre les défaillances de phase continue

de fonctionner même si une phase est défaillante dans le circuit, ce qui peut endommager le moteur ou affecter son fonctionnement. Si une phase est défaillante, l'autre phase commence à fournir plus de courant au circuit, ce qui peut brûler le moteur ou le circuit auquel il est relié.

V.4.5. Protection contre l'inversion de phase

Il s'agit d'une technique de protection qui est utilisée pour protéger un moteur contre l'inversion de phase. L'inversion de phase dans un moteur peut se produire pour de nombreuses raisons qui peuvent causer des problèmes de sécurité et de fonctionnement. Si deux des trois connexions d'un moteur sont inversées, le moteur commence à tourner dans la direction opposée. Dès la détection de la rotation opposée du moteur, l'unité de protection contre l'inversion de phase déconnecte le moteur de l'alimentation principale.

VI. Travaux dirigés

VI.1. Série de TD N° : 1

Exercice 1

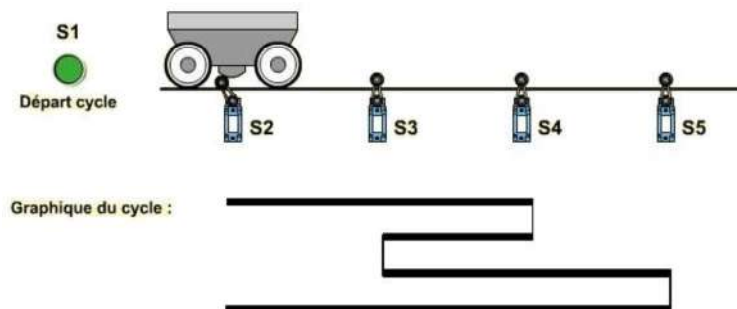
Un wagonnet doit aller chercher des produits aux endroits matérialisés par les capteurs **S4**, **S3** et **S5** puis revenir à son point de départ.

Le système comporte les éléments suivants :

- 1 bouton poussoir pour démarrer le cycle,
- 4 capteurs pour détecter la position du wagonnet,
- 2 contacteurs (avant et arrière) pour le moteur :
- **KM_AV** : Contacteur moteur avant.
- **KM_AR** : Contacteur moteur arrière.

Chaque nouvel appui sur **S1** (Départ Cycle) relance un nouveau cycle.

On remarque bien que le wagonnet ne démarre qu'une fois le **S1** est relâché après avoir été appuyé en présence du wagonnet au point initial (**S2** : Appuyé).



- Tracez le grafcet niveau 2 de cet automatisme.

Exercice 1 : Traitement de surface

Présentation du système

Soit une installation de traitement de surface comprenant un chariot automoteur desservant 4 bacs, un poste de chargement et un poste de déchargement. Des informations **S1** à **S6** permettent le positionnement au-dessus des différents postes.

L'opérateur après avoir accroché les pièces à traiter sur le cadre situé au point de chargement, en position basse, donne l'information de départ de cycle

- Le chariot automoteur élève le châssis en position haute,

- Il effectue une translation et se positionne au-dessus de la première cuve,
- Le chariot descend le châssis dans le bac,
- Il le laisse pendant le temps déterminé (**20s pour S2**)
- A l'expiration du temps, le chariot remonte le châssis pour aller ensuite au bac suivant. Il recommence les mêmes opérations jusqu'au poste de déchargement où un opérateur décroche les pièces avant de renvoyer le chariot.

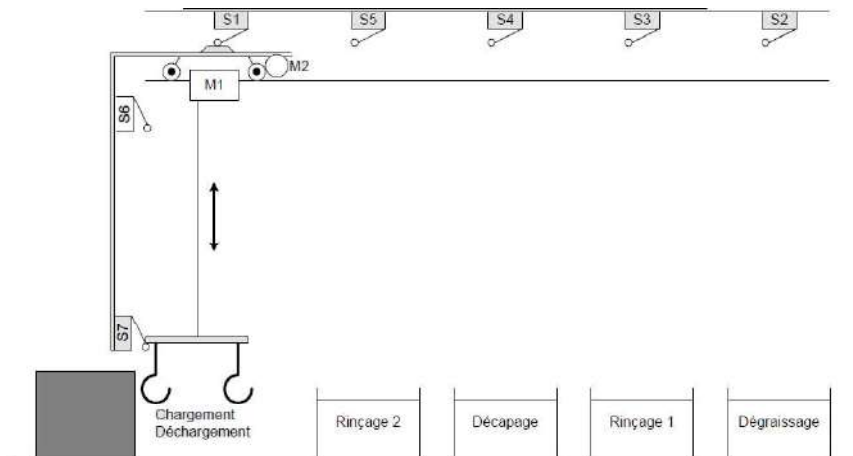


Figure 2 : Système de traitement de surface.

Cycle de production

Les pièces à traiter sont Placées dans un panier par l'opérateur.

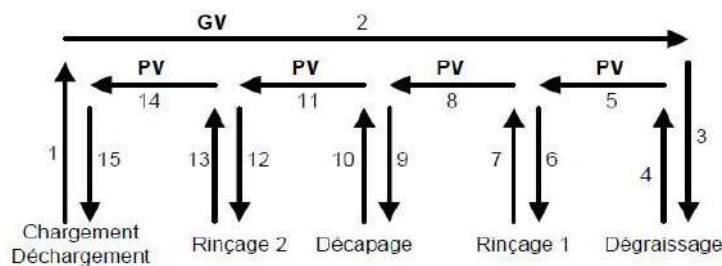


Figure 3 : Cycle de production.

Cycle de production

En fonctionnement normal, l'opérateur dispose de 2 modes de marche : la marche manuelle et la marche automatique.

- ✓ **Marche manuelle** : l'opérateur peut choisir d'effectuer une marche manuelle en validant par un commutateur 2 positions à clé le mode **MANU** et un bouton poussoir de validation **VAL**. L'équipement est alors piloté par des boutons poussoir **S14** (droite),

S15 (gauche), **S16** (haut), **S17** (droite). Cette marche peut servir de réglage, pour la maintenance ou en cas de défaillance du système. Pour sortir de cette marche, il suffit de mettre le commutateur 2 positions à clé sur **AUTO** et d'appuyer sur **VAL**. Dans ce cas, il y a retour de la nacelle au poste de chargement.

- ✓ **Marche automatique** : ce choix est fait par l'intermédiaire du commutateur 2 positions à clé (AUTO/MANU) en position **AUTO**. Le départ du cycle est donné par une impulsion un bouton poussoir **DCY**. Si la nacelle est en position de chargement, le système effectue un cycle. Si la nacelle n'est pas en position de chargement, elle se met automatiquement en position chargement. A ce moment, une autre impulsion sur **DCY** est nécessaire pour lancer le cycle. A partir de cet état, il est possible d'arrêter le cycle par l'intermédiaire d'un bouton poussoir **ARRET**. Dans ce cas, le cycle en cours se termine, et une fois terminé, le système retrouve sa position initiale.
- ✓ **Procédure de défaillance : arrêt d'urgence** : En cas d'arrêt d'urgence, la procédure de défaillance est traitée de la façon suivante :
 - Arrêt total si la nacelle est en position haute.
 - Arrêt total après remontée si la nacelle n'est pas en position haute.

Lorsque l'opérateur enlève l'arrêt d'urgence, il peut alors intervenir sur le système car celui-ci est figé.

Ensuite, 2 modes de reprise lui sont proposés :

- Marche automatique si le commutateur 2 positions est sur la position **AUTO** et que l'opérateur appuie sur **VAL** : dans ce cas, une procédure de retour automatique est prévue.
- Marche manuelle si le commutateur 2 positions est sur la position **MANU** et que l'opérateur appuie sur **VAL**.

Travail demandé :

1. Etablir sur le GEMMA du système.
2. Etablir le grafctet de production normale **GPN**.
3. Etablir le grafctet d'initialisation de la PO **GIPO**.
4. Etablir le grafctet de sécurité **GS**.
5. Etablir le grafctet de conduite **GC**.

VI.3. Série de TD N° : 3

Exercice 1

Un chariot doit circuler entre un poste de chargement (*poste A*) et un poste de déchargement (*poste B*). Le chariot peut se déplacer de droite à gauche, à l'aide du moteur *M1*, et de gauche à droite, à l'aide du moteur *M2*.

Deux capteurs *a* et *b* signalent respectivement la présence du chariot en *poste A* ($a = 1$) et en *poste B* ($b = 1$). Le chariot est aussi équipé de deux capteurs *p1* et *p2* qui signalent la présence d'un obstacle sur la voie.

Le chariot doit faire *des allers-retours* en partant initialement du *poste A* quand l'interrupteur principal est en mode marche ($m = 1$).

Arrivé en *poste B*, il doit effectuer une pause de **30 secondes** pour permettre le déchargement du chariot. De retour en *poste A*, la pause est **d'une minute** avant de repartir, pour permettre le chargement du chariot.

S'il y a un obstacle sur la voie devant le chariot, il s'arrête immédiatement. Si l'obstacle est présent pour **plus de 5s**, un **signal sonore** (*action AL*) est déclenché. Dès que l'obstacle disparaît, le chariot continue son chemin.

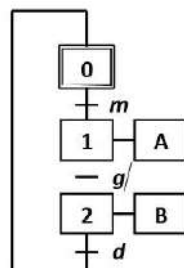
- Réaliser le grafctet de niveau 2 de cet automatisme.

VI.3. Série de TD N° : 4

Exercice 1

Soit le grafctet ci-dessous :

- Donner les équations des étapes et des actions.
- Matérialiser le grafctet à l'aide de bascules RS.



Références bibliographiques :

1. Jean-Claude Humblot, "Automates programmables industriels", Hermès, 1993.
2. Sandre Serge, Jacquar Patrick, "Automates programmables industriels", Lavoisier, 1993.
3. P. Le Brun, "Automates programmables", 1999.
4. Jean-Yves Fabert, "Automatismes et Automatique", Ellipses, 2005.
5. William Bolton, "Les Automates Programmables Industriels", Dunod, 2009.
6. KhushdeepGoyal and Deepak Bhandari, "Industrial Automation and Robotics", Katson Books, 2008.
7. Gérard Boujat, Patrick Anaya, "Automatique industriel en 20 fiche"s, Dunod, 2013.
8. Simon Moreno, Edmond Peulot, "Le Grafcet: Conception-Implantation dans les automates programmables industriels", Edition Casteill,a 2009.
9. G. Michel, "Les API:Architecture et applications des automates programmables industriels", Edition Dunod, 1988.
10. William Bolton, "Les Automates Programmables Industriels", Edition Dunod, 2010.
11. Frederic P. Miller, Agnes F. Vandome, John McBrewster, "Automates Programmables Industriels: Programmation informatique, Automatique, Industrie, Programmation (informatique), Interrupteur, Automaticien", Edition AlphascriptPublishing, 2010.