

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERRI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D' INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'AUTOMATIQUE

**Mémoire de Fin d'Etudes
de MASTER PROFESSIONNEL**

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Automatique

Spécialité : **Automatique industrielle**

Présenté par
Lila Cherrou

Thème

**Automatisation de la banderoleuse
Robopac Helix HS 40 de l'unité Lalla -
Khedidja CEVITAL**

Mémoire soutenu publiquement le 03/10/2024 devant le jury composé de :

M Mourad ALLAD
MCB, UMMTO, Président

M Aldjia NAIT ABDESSELAM
MAA, UMMTO, Encadrant

M Massinissa HADID
Ingénieur, Entreprise LKH CEVITAL, Co-Encadrant

M Moussa CHARIF
MAA, UMMTO, Examinateur

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude envers le Tout-Puissant, qui m'a accordé la santé, la motivation et le courage nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je souhaite également remercier chaleureusement ma promotrice, Madame N.A.F. A.B.D.E.P.P.L.A.M, pour sa disponibilité constante et ses précieux conseils. Son soutien, sa patience et son expertise ont été des atouts inestimables tout au long de ce parcours, et je lui en suis profondément reconnaissante.

Enfin, je tiens à exprimer ma reconnaissance à mon encadrant en entreprise Monsieur H.A.D.I.D. M.A.P.P.I.N.I.P.P.A, qui a accepté de me diriger et à généreusement partagé son expérience et son savoir. Sa guidance m'a permis de mieux appréhender les enjeux de mon sujet et d'enrichir ma réflexion.

Je n'oublie pas de remercier les membres du jury qui ont accepté de juger mon travail. Leur temps, leur attention et leurs retours constructifs sont d'une grande valeur pour moi, et je suis honorée

De pouvoir présenter mes recherches devant eux.

A tous, un grand merci pour votre aide et votre précieux soutien.

Dédicaces

À ma tendre grand-mère,

C'est à toi que va ma plus profonde gratitude. Tu m'as élevée avec tant de soin et de tendresse, m'offrant non seulement l'amour mais aussi la force et la détermination qui m'ont permis de traverser chaque épreuve. Tes encouragements silencieux, tes prières et la sagesse ont toujours été des phares dans mes moments d'incertitude. Ce travail est dédié à toi, ma plus grande source d'inspiration et de courage.

À ma famille,

Pour votre soutien indéfectible et vos encouragements tout au long de ce parcours. Merci d'avoir toujours cru en moi.

À ma meilleure amie,

Malgré la distance qui nous sépare, tu as toujours su être là, dans les moments de joie comme dans ceux de doute. Ton soutien indéfectible, ta confiance en moi et ta présence, même à des kilomètres, ont été inestimables. Tu es la preuve que l'amitié véritable transcende toutes les frontières. Merci de n'avoir jamais cessé de m'épauler et de croire en moi.

À mes amis,

Merci pour votre précieuse amitié, vos encouragements et vos moments de partage. Vous avez su rendre ce voyage plus doux et plus supportable grâce à votre complicité et vos attentions.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont, de près ou de loin, contribué à la réalisation de ce travail.

Liste des figures

Figure I.1. Banderoleuse a anneau tournant	5
Figure I.2. Banderoleuse a plateau tournant.....	5
Figure I.3. Image réelle d'une banderoleuse a bras rotatif.....	6
Figure. I.4 : Convoyeurs motorisés	6
Figure. I.5 : Image réelle du convoyeur C4.....	7
Figure. I.6 : Convoyeur de sortie.....	8
Figure. I.7 : Bras rotatif.....	9
Figure. I.8 : Image réelle du chariot porte bobine	9
Figure. I.9 : Image réelle de coupe et soudeuse film.....	10
Figure. I.10: Pince film	11
Figure I.11 : Pupitre de commande de la banderoleuse.....	12
Figure. I.12 : Armoire électrique de la machine.....	13
Figure.I.13 : Schéma d'un distributeur 5/2	14
Figure. I.14 : Schéma de principe d'un variateur de vitesse	15
Figure. I. 15 : Principales parties du SINAMIC G120.....	15
Figure. I.16: Unité de contrôle du variateur	16
Figure. I.17 : Module de puissance du variateur	17
Figure. I.18 : Panneau de commande du variateur	17
Figure. I.19 : Image réelle du variateur SEW MOVIMOT	18
Figure. I.20 : Convertisseur de signaux MWA21A	19
Figure. I.21 : Schématisation d'un vérin	19
Figure. I.22. Schéma représentatif des constituants d'un moteur	20
Figure. I.23. Schéma d'un collecteur tournant.....	21
Figure. I.24. Collecteur tournant	21
Figure. I.25. Image réelle codeur optique	23
Figure. I.26. Schéma explicatif du codeur optique.....	23
Figure. I.27. Mode de raccordement du codeur vers un automate	25
Figure. I.28. Schéma interne capteur inductif	26

Figure. I.29: Schéma de détecteur photo électrique reflex.....	26
Figure. I.30. Interrupteur de fin de course.....	27
Figure. II. 1 : Structure d'un GRAFCET	30
Figure. II. 2. Symbolisation de la règle 04	31
Figure. II. 3. Illustration de la règle 5.....	32
Figure. II.4. Description d'une réceptivité par texte	32
Figure. II.5. Description d'une réceptivité par une expression booléenne.....	32
Figure. II.6. Réceptivité temporisée	33
Figure. II.7 Synchronisation de grafjets	33
Figure. II.8. Action conditionnelle	34
Figure. II.9. Action retardée	34
Figure. II.10. Action impulsionnelle	35
Figure. II. 11. Niveaux de GRAFCET	36
Figure. II. 12. GRAFCET a séquence unique	36
Figure. II.13. Divergence en OU.....	37
Figure. II.14. Convergence en OU	37
Figure. II.15. Reprise d'étape	37
Figure. II.16. Saut d'étape.....	38
Figure. II. 17. Divergence en ET.....	38
Figure. II.18. Convergence en ET	38
Figure. II.19. Cycle avec comptage.....	39
Figure. II. 20 : Divergence en OU	40
Figure. II. 21 : Convergence en OU	40
Figure. II.22: Divergence en ET.....	40
Figure. II.23: Convergence en ET	40
Figure. II.24: Grafjet du convoyeur 1 "C1"	43
Figure. II.25 : Grafjet centrage "centreur"	43
Figure. II.26 : Grafjet du convoyeur 2 "C2"	44
Figure. II. 27 : Grafjet du convoyeur 3 "C3"	44
Figure. II.28: Grafjet du convoyeur 4 "C4"	44

Figure. II.29: Grafcet du compteur rapide 2 "hsc2"	45
Figure. II.30 : Grafcet du compteur tours "TOURS"	45
Figure. II.31 : Grafcet chariot "chariot"	46
Figure. II.32: Grafcet bras rotatif "BRAS"	46
Figure. II.33: Grafcet du système de pré-étirage "p-étirage"	47
Figure. II.34 : Grafcet de la table élévatrice	47
Figure. II.35: Grafcet du convoyeur 5 "C5"	47
Figure. II. 36 : Grafcet du convoyeur 6 "C6"	48
Figure. II.37: Grafcet du convoyeur 7 "C7"	48
Figure. II.38: Grafcet du convoyeur 8 "C8"	48
Figure. II.39: Grafcet de la soudeuse	49
Figure. II.40: Grafcet ciseau.....	49
Figure III.1. Schéma synoptique d'une structure simplifiée de la CPU.....	51
Figure III.2. Représentation des séquences d'opération pour les APIs	55
Figure III.3. CPU de l'automate S7-1200	56
Figure III.4. L'automate programmable S7-1200 et ces modules	59
Figure III.5. Vue du portail.....	60
Figure III.6. Vue projet	61
Figure III.7. Structures du programme	62
Figure III.8. Syntaxe des données du DB	64
Figure III.10. Programmation de l'étape initial du grafcet 'C1' en langage contact.....	65
Figure III.9. Programme en logigramme.....	66
Figure III.11. Programmation de l'étape initial du grafcet 'C1' en langage SCL	67
Figure III.12. Bloc compteur rapide.....	69
Figure III.13. Coupleur DP/DP	70
Figure III.14. Module de communication Profibus.....	71
Figure III.15. Exemples de connecteurs PROFINET.....	72
Figure III.16. Représentation d'échange de données cyclique.....	73
Figure III.17. Structure télégramme	74
Figure. IV.1. Création du projet.....	79

Figure. IV.2. Ajout des modules complémentaires.....	80
Figure. IV.3. Adresse Ethernet de la CPU	81
Figure. IV.4. Tables de variables des E/S	81
Figure. IV.5. Etapes de configuration du compteur.....	82
Figure. IV.6. Les différents blocs de données pour la gestion du compteur.....	83
Figure. IV.7. Programme de configuration du compteur.....	84
Figure. IV.8. Ajout du contrôle unit du variateur	85
Figure. IV.9. Ajout de la partie puissance du variateur	85
Figure. IV.10. Configuration de télégramme.....	86
Figure. IV.11. Blocs de données de gestions des variateurs	87
Figure. IV.12. Appel de la FC 46 par OB1	88
Figure. IV.13 Table de visualisation.	88
Figure. IV.14 Schéma de raccordement du variateur SEW MOVIMOT vers l'automate S7-1200.	89
Figure. IV.15 Profil de vitesse du variateur.	89
Figure. IV.16 Données du programme de gestions des variateurs SEW.	90
Figure. IV.17 Appel de la FB1 par OB30.	90
Figure. IV.18.....	91
Figure. IV.19 Ajout du module de communication et du coupleur DP/DP.	92
Figure. IV.20. Module d'E/S virtuels attribués au coupleur	92
Figure. IV.21 Droite de mise à l'échelle.....	93
Figure. IV.22 Simulation du bloc de données.	94
Figure. IV.23 Appel de la FC16 PAR OB1.....	95

Liste des Tableaux

Tableau III.1. Différentes CPU.....	57
Tableau III.2. Paramètres compteur rapide	69
Tableau III.3. Trames PPO3	74
Tableau III.4. Contenu du Mot de Commande	76
Tableau III.5. Contenu du Mot d'état	77



Sommaire

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Liste des Tableaux

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Description de la Banderoleuse à Bras Tournant

I.1. Introduction.....	3
I.2 Processus de production.....	3
I.3. Les banderoleuses	4
I.3.1. Définition	4
I.3.2. Types de banderoleuses.....	4
I.4. Description de la machine.....	6
I.4.1. Différentes parties de la machine.....	6
I.4.1.1. Partie convoyeur	6
I.4.1.2. Partie bras tournant	8
I.4.1.3. Partie chariot porte bobine et pré-étirage.....	9
I.4.1.4. Partie coupe film	10
I.4.1.5. Partie pince.....	11
I.4.1.6. Partie alarme et sécurité	11
I.4.2. Pupitre de commande.....	12
I.4.3. Armoire électrique	12
I.5. Equipements et instrumentation.....	13
I.5.1. Près-actionneurs	13
I.5.1.1. Distributeurs.....	13
I.5.1.2. Variateurs de vitesse.....	14
I.5.2. Actionneurs	19
I.5.2.1. Vérins	19
I.5.2.2. Moteur asynchrone.....	20
I.5.3. Capteurs	22

I.5.3.1. Codeurs	22
I.5.3.2. Détecteurs	25
I.5.3.3. Capteur fin de course	27
I.6. Objectif du travail	27
I.7. Conclusion	28

Chapitre II : Modélisation de la machine par l’outil GRAFCET

Introductions	29
II.2.1. Définition du GRAFCET	29
II.2.2. Eléments de base d’un GRAFCET	29
II.2.3. Règle de syntaxe d’un GRAFCET	32
II.2.4. Types de réceptivité d’un GRAFCET.....	34
II.2.5. Types d’actions dans un GRAFCET.....	34
II.3. Niveau de GRAFCET.....	35
II.4. Types de GRAFCET	36
II.4.1. Séquence unique	36
II.4.2. Sélection d'une séquence ou aiguillage	36
II.4.3. Reprise et saut de séquence	37
II.4.4. Séquences simultanées ou parallélisme de séquences	38
II.4.5. Séquence avec cycle de comptage	38
II. 3Mise en équation d’un GRAFCET	39
II.4 Cahier des charges de la machine	41
II.5 Elaboration du GRAFCET de la machine	43
II.6 Conclusion	49

Chapitre III : API S7 1200 et Interface de programmation

III.1. Introduction	50
III.2. Automates Programmables Industriels (APIs)	50
III.2.1. Définition et structure.....	50
III.2.2. Architecture d’un API.....	51
III.2.2.1. Unité centrale de traitement (CPU).....	51

III.2.2.2. Les mémoires	52
III.2.3. Fonctionnement de l'automate programmable industriel.....	54
III.2.4. Critères de choix d'un API	55
III.3. Présentation de l'automate S7-1200.....	56
III.3.1. Unités de traitement	56
III.3.2. Caractéristiques de la CPU S7-1200 1214C DC DC RLY.....	57
III. 3.3. Entrées/Sorties.....	58
III.4. Logiciel de programmation	59
III.4.1. Présentation du logiciel de programmation TIA PORTAL V15.1	59
III.4.2. Types de vues	60
III.4.3. Approche de programmation	61
III.4.4. Descriptions des différents blocs du programme	62
III.4.5. Langages de programmation sous TIA PORTAL.....	65
III.4.6. Blocs technologiques sous TIA PORTAL	68
III.5. Appareils et liaison via réseaux	70
III.5.1. Communication entre le palettiseur et la banderoleuse.....	70
III.5.2. Commande du variateur SINAMIC G120 via PROFINET	71
III.6. Conclusion	78

Chapitre IV : programmation de la machine

IV.1. Introduction	79
IV.2. Programmation de l'automate S7-1200 sous le logiciel TIA PORTAL.....	79
IV.2.1. Programmation du compteur rapide	81
IV.2.1.1. Configuration des compteurs rapides	81
IV.2.1.2. Procédure de programmation du compteur	82
IV.2.2. Gestion du variateur de vitesse SINAMIC G120 par l'automate S7-1200 ...	84
IV.2.2.1. Configuration du variateur sous TIA-PORTAL.....	84
IV.2.2.2. Stratégie de programmation des variateurs SINAMIC G120.....	86
IV.2.2.3. Simulation.....	87
IV.2.3. Gestion du variateur de vitesse SEW MOVIMOT par l'automate s7-1200..	88
IV.2.3.1. Configuration du variateur sous TIA-PORTAL.....	88

IV.2.3.1. Stratégie de programmation du variateur SEW MOVIMOT	89
IV.2.3.2. Simulation.....	90
IV.2.4. Communication PROFIBUS entre la banderoleuse et le palettiseur	91
IV.2.4.1 Configuration sous TIA PORTAL	91
IV.2.5. Programmation de la fonction de mise à l'échelle SCALE FC105	93
IV.2.5.1. Equation de la droite.....	93
IV.2.5.2. Simulation.....	94
IV.3. Conclusion	95
Conclusion générale	96
Bibliographie	
Résumé	



Introduction

Générale

L'automatisation est aujourd'hui un élément clé dans l'industrie moderne, permettant d'améliorer l'efficacité, la qualité, et la sécurité des processus de production. Dans le secteur agroalimentaire, elle joue un rôle crucial en garantissant la continuité des opérations tout en réduisant les coûts et les erreurs humaines. Grâce à l'automatisation, les entreprises peuvent mieux répondre aux exigences croissantes de qualité et de compétitivité sur le marché. Parmi les groupes les plus prestigieux dans la production agroalimentaire en Algérie, on cite le groupe CEVITAL, filière mère de la marque emblématique Lalla Khedidja, réputée pour la qualité de ses produits. Afin de maintenir sa réputation et sa position de leader sur le marché, le groupe CEVITAL Lalla Khedidja a adopté des procédés de fabrication modernes, notamment en généralisant l'automatisation dans l'ensemble de ses processus de production pour garantir une qualité optimale.

Ce mémoire se concentre sur l'automatisation d'une nouvelle banderoleuse à bras tournant récemment installée à l'usine Lalla Khadîdja du groupe CEVITAL. Cette installation moderne remplace l'ancienne housseuse qui présentait plusieurs inconvénients : un positionnement imprécis des palettes, un emballage défectueux, et l'utilisation de gaz, source de gaspillage énergétique et de danger pour les opérateurs. La nouvelle banderoleuse, aura pour rôle d'emballer les palettes de packs d'eau avec un film plastique, assurant ainsi une meilleure stabilité durant le transport et le stockage, tout en optimisant la sécurité et l'efficacité énergétique.

Dans ce contexte, et dans le cadre de notre projet de fin d'études, l'entreprise CEVITAL Lalla Khedidja nous a chargé d'effectuer une étude approfondie de leur nouvelle installation : la banderoleuse à bras tournant.

L'objectif de ce travail est de concevoir et de mettre en œuvre une solution d'automatisation complète pour cette banderoleuse, afin d'augmenter le flux de production et d'améliorer la fluidité des opérations au sein de l'usine.

Le mémoire est structuré en quatre chapitres :

- **Le chapitre I** : présente une description détaillée de la machine et de ces principales parties, mettant en lumière ses différentes composantes et son fonctionnement global.
- **Le chapitre II** : traite de la modélisation de la machine à l'aide de l'outil Grafcet, permettant de représenter de manière claire et méthodique les différentes étapes de son

- processus. Cette modélisation facilitera la compréhension des séquences de fonctionnement et des interactions entre les composants.
- **Le chapitre III** : Ce chapitre aborde les APIs en général spécifiquement l'API S7-1200 de Siemens, en détaillant ses fonctions et avantages. Il introduit également TIA Portal, l'environnement de programmation, en soulignant les fonctionnalités qui facilitent le développement et la mise en œuvre de solutions d'automatisation.
- **Le chapitre IV** : se concentre sur la programmation proprement dite de la machine. Ce chapitre détaillera les algorithmes développés et les tests réalisés pour assurer le bon fonctionnement du système automatisé.

Et nous clôturons notre travail par une conclusion et quelques perspectives.



Avant-Propos

1. Présentation du groupe CEVITAL

Le Groupe CEVITAL est un conglomérat algérien actif dans les secteurs de l'agroalimentaire, de la grande distribution, de l'industrie et des services. Fondé par l'entrepreneur ISSAD REBRAB en 1998, il est le premier groupe privé d'Algérie et se classe comme troisième entreprise du pays en termes de chiffre d'affaires. Le groupe, qui emploie 18 000 salariés, est le leader du secteur agroalimentaire en Algérie.

Créé avec des fonds privés, CEVITAL a été pionnier en investissant dans plusieurs secteurs d'activité. Le groupe a connu des étapes historiques significatives pour devenir l'entité de renom qu'il est aujourd'hui, contribuant à la création d'emplois et de richesses. Au fil des investissements, CEVITAL s'est construit autour de l'idée de bâtir un ensemble économique solide. Avec plus de 10 200 collaborateurs, il est considéré comme un fleuron de l'économie algérienne.[1]

Le succès de CEVITAL repose sur sept principes fondamentaux définis par son fondateur : le réinvestissement systématique des gains dans des secteurs à forte valeur ajoutée, l'adoption des technologies les plus avancées, l'attention portée au choix et à la formation du personnel, l'esprit d'entreprise, l'innovation, la recherche de l'excellence, et la fierté et la passion de servir l'économie nationale.



Figure.1. Le logo et les différentes marques de CEVITAL.

2. Présentation de l'UNITE d'eau minérale Lalla Khedidja

L'usine d'eau minérale Lalla Khedidja est située au pied du mont Djurdjura, à environ 35 km au sud-ouest de Tizi Ouzou, dans la commune d'Agouni Gueghrane, Ouadhias. Elle s'étend sur une superficie de 25 000 m², répartie en plusieurs locaux. Sa capacité de production atteint 1,5 million de bouteilles par jour, avec chaque ligne capable de produire 32 000 bouteilles par heure, ce qui équivaut à une production quotidienne de 768 000 bouteilles.

L'eau minérale Lalla Khedidja provient des monts enneigés du Djurdjura. En s'infiltrant lentement à travers les roches, elle s'enrichit naturellement en minéraux essentiels tout en conservant une légèreté incomparable. Captée directement à la source Thinzer, située sur le flanc du mont Kouiret, cette eau de montagne est pure par nature, non gazeuse et Oligo-minérale. Son parcours géologique est protégé de toute pollution, permettant ainsi une mise en bouteille sans traitement chimique. L'eau est conditionnée en bouteilles PET de 1,5 L ou 0,5 L, préservant ses propriétés naturelles jusqu'au consommateur.[1]



Figure.2 Localisations de l'unité d'eau minérale Lalla Khedidja de CEVITAL.



Figure.3. L'unité d'eau minérale Lalla Khedidja de CEVITAL.

3. Structure hiérarchique de l'unité LALLA KHEDIDJA

L'unité est organisée en différents services représenté sur la figure ci-dessous : [2]

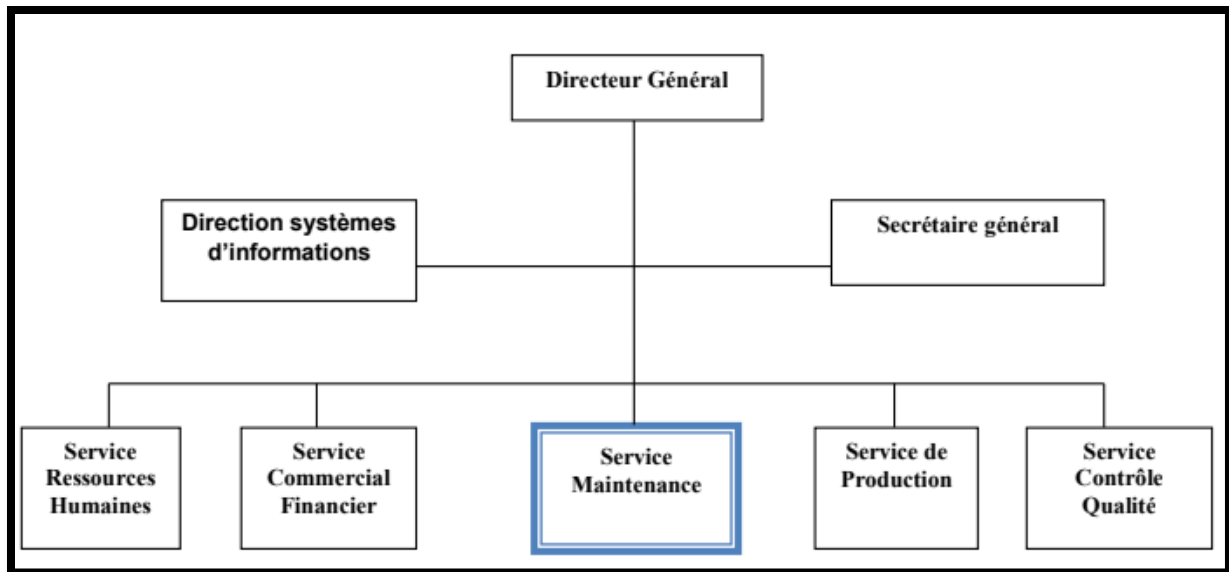


Figure.5. Structure hiérarchique de l'unité LALLA KHEDIDJA.

C'est au service maintenance au local production (ligne de production) que j'ai pu effectuer mon stage. Ce service a pour mission est de garantir le bon fonctionnement des machines pour assurer une production de qualité et ce en toute sécurité.

4. Présentation de la ligne de production

Les lignes de production sont constituées d'un combi, d'un contrôle des bouchons et d'un système de vérification du niveau des bouteilles à la sortie du combi. À la sortie de la salle blanche, séparée par une cloison en verre, ces lignes intègrent divers équipements complémentaires.

Les bouteilles remplies et contrôlées sont transportées via des convoyeurs unifilaires vers l'étiqueteuse. Pour garantir un étiquetage optimal, un sécheur est positionné en amont afin d'assurer que les bouteilles soient parfaitement sèches avant l'étiquetage. Après l'étiquetage, les bouteilles sont datées puis acheminées à nouveau par des convoyeurs unifilaires vers la fardeleuse, où elles sont conditionnées en fardeaux à l'aide d'un film thermo-rétractable.

Les packs sont ensuite dirigés vers la poseuse de poignées, puis vers le palettiseur. Ce dernier organise les bouteilles sur des palettes de 4 couches de 7 x 4 fardeaux pour les bouteilles

de 1,5 litre. Une fois la palette sortie du palettiseur via des convoyeurs à rouleau, la dernière machine de ligne qui est la housseuse, appliquait une housse thermo-rétractable sur la palette. Cependant, cette machine a été retirée pour laisser place à une nouvelle installation intégrée au système. Cette installation, qui est l'objet de notre étude, est une banderoleuse à bras tournant. Une fois opérationnelle, elle pourra résoudre les limitations de la Housseuse tout en offrant des avantages supplémentaires en termes d'efficacité et de productivité.

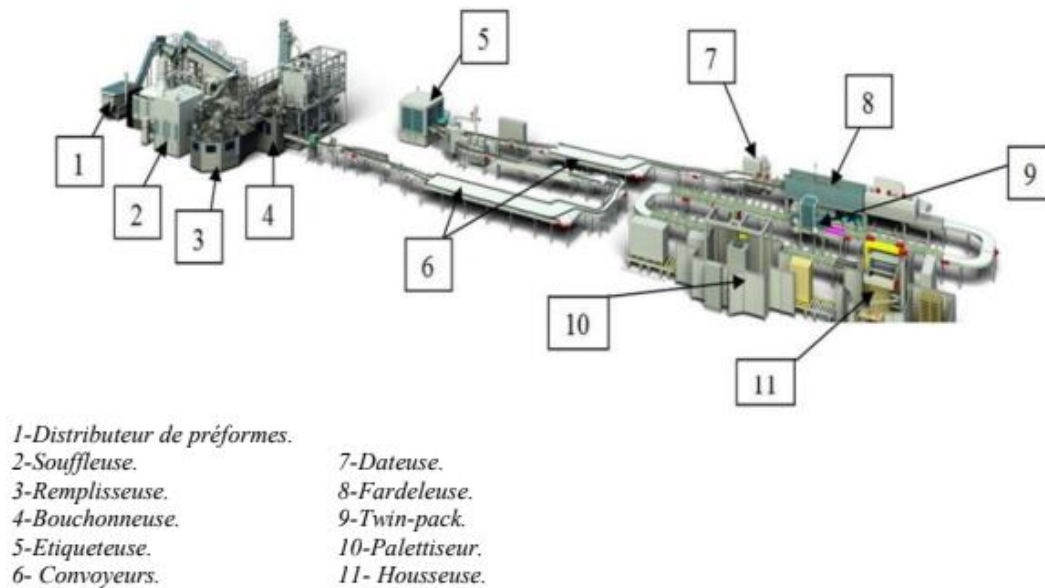


Figure.6. Présentation de la ligne de production.



Chapitre I

Description de la Banderoleuse à Bras Tournant

I.1. Introduction :

La production de bouteilles d'eau est un processus industriel complexe qui repose sur plusieurs étapes minutieusement reliées. Depuis la création des préformes en plastique jusqu'au conditionnement final des produits, chaque étape joue un rôle essentiel pour garantir la qualité et la sécurité des bouteilles prêtes à la consommation. L'objectif de ce chapitre est d'étudier la banderoleuse qui a pour rôle de stabiliser des palettes, garantissant la protection des produits lors du stockage et du transport, en mettant en lumière ces composants et son fonctionnement.

I.2 Processus de production :

1. **Fabrication des préformes :** Le processus débute avec la fabrication des préformes, qui sont des tubes en plastique qui servent de base à la production des bouteilles. Ces préformes sont réalisées à partir de résine de polyéthylène téréphtalate (PET), un matériau reconnu pour sa robustesse et sa légèreté. Une fois produites, elles sont prêtes à subir les étapes suivantes.
2. **Soufflage des bouteilles :** Les préformes sont ensuite acheminées vers des souffleuses, qui sont des machines qui les chauffent pour les rendre malléables. Elles sont ensuite étirées mécaniquement, puis gonflées à l'aide d'air comprimé pour prendre la forme définitive des bouteilles. Ce processus, qui inclut l'étirage axial et radial, permet de produire des bouteilles à la fois résistantes et conformes aux exigences de production.
3. **Remplissage et fermeture :** Une fois les bouteilles formées, elles sont transportées vers les remplisseuses, où elles sont remplies d'eau. L'eau provient de réservoirs reliés à des systèmes de traitement sophistiqués, garantissant qu'elle est pure et conforme aux normes de sécurité sanitaire. Après le remplissage, les bouteilles sont scellées hermétiquement par une bouchonneuse, qui appose des bouchons en plastique de manière automatique.
4. **Étiquetage et marquage :** Les bouteilles remplies et fermées sont ensuite étiquetées avec des informations importantes, telles que le nom du produit, la date de production, et d'autres données réglementaires. Cette opération est réalisée par des étiqueteuses qui appliquent les étiquettes avec rapidité et précision. Par ailleurs, des machines spécialisées, appelées dateurs, impriment la date de fabrication sur chaque bouteille afin de garantir la traçabilité.

5. **Regroupement en fardeaux :** Une fois étiquetées, les bouteilles sont regroupées en fardeaux, souvent enveloppées dans un film plastique pour faciliter leur manipulation. Les fardeaux sont ensuite placés sur des palettes à l'aide de palettiseurs automatisés, qui empilent les bouteilles en couches, prêtes pour le transport.
6. **Banderolage :** La dernière étape, avant le stockage et l'expédition, est cruciale : il s'agit du banderolage. Ce processus, effectué par une banderoleuse à bras tournant qui fait l'objet de notre étude. Elle consiste à enrouler un film plastique autour des palettes avec précision et uniformité, pour les stabiliser et les protéger pendant le transport. Cette opération assure que les produits ne se déplacent pas et ne subissent pas de dommages durant le stockage et la livraison.[2]

I.3. Les banderoleuses

I.3.1. Définition

La banderoleuse est une machine conçue pour l'industrie du conditionnement et de l'emballage. Elle permet d'envelopper des produits ou des charges palettisées, comme dans notre cas (palettes multi-niveaux de packs d'eau), avec une pellicule de plastique étirable. Ce processus est crucial pour stabiliser les charges et les protéger contre la poussière, l'humidité et les dommages physiques durant le transport et le stockage.

I.3.2. Types de banderoleuses

Il existe plusieurs types de banderoleuses dont certaines peuvent être manuelle automatique ou semi-automatique [3]

- **Banderoleuse a anneau tournant :** Elle fonctionne en faisant tourner un anneau auquel est superposée une bobine de film en plastique, autour de la palette pour appliquer uniformément le film.

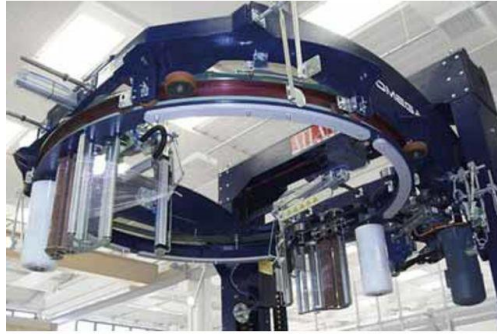


Figure I.1. Banderoleuse a anneau tournant

- **Banderoleuse a plateau tournant** : Elle fonctionne en faisant tourner un plateau sur lequel la palette est placée, pendant que le film est appliqué autour de la charge.



Figure I.2. Banderoleuse a plateau tournant

- **Banderoleuse à bras tournant** : Il s'agit du type que nous avons étudié, son principe de fonctionnement repose sur l'utilisation d'un bras rotatif pour envelopper une palette avec un film plastique étirable. La palette chargée de marchandises est positionnée sur la base de la banderoleuse. Une fois celle-ci en place, le bras tournant commence à se déplacer autour de la palette, enroulant progressivement le film autour de la charge. Pendant que le bras tournant se déplace, le film plastique étirable est tiré du rouleau et appliqué sur la palette. La tension du film est contrôlée pour assurer une enveloppe uniforme et sécurisée. Le bras tournant continue de tourner autour de la palette jusqu'à ce que toute la charge soit enveloppée par le film. Une fois l'emballage terminé, le film est coupé et soudé, assurant ainsi sa fixation sur la palette. Cette dernière peut être donc évacuée par les convoyeurs de sorties pour le transport ou le stockage.



Figure I.3. Image réelle d'une banderoleuse a bras rotatif

I.4. Description de la machine :

La banderoleuse à bras tournant est constituée de différentes parties.

I.4.1. Différentes parties de la machine

I.4.1.1. Partie Convoyeurs

➤ Convoyeurs d'entrées à rouleaux motorisés

Le convoyeur à rouleau motorisé est idéal pour le transport des palettes, facilitant sa manutention grâce à sa conception fiable et robuste.



Figure. I.4 : Convoyeurs motorisés

Le transport des palettes est assuré par les convoyeurs suivants :

- **Convoyeur C1 :**

La fonction principale de ce convoyeur est d'assurer le transfert efficace des palettes évacuées par le palettiseur vers le convoyeur suivant (convoyeur C2) dans la chaîne logistique.

- **Convoyeur C2 :**

Le convoyeur C2 transfère la palette vers le convoyeur suivant (C3) après l'avoir centrée.

➤ **Convoyeurs à chaîne**

Un convoyeur à chaîne est un système de transport qui déplace des matériaux à l'aide d'une chaîne continue. Dans le contexte d'une banderoleuse à bras tournant, ce type de convoyeur est souvent utilisé pour acheminer des palettes vers la station de filmage. Contrairement à un convoyeur motorisé, qui se concentre uniquement sur le déplacement, le convoyeur à chaîne est conçu pour supporter des charges lourdes et assurer une alimentation continue, facilitant ainsi le processus d'emballage.

Ainsi l'acheminement des palettes vers la zone de banderolage est assuré par les deux convoyeurs ci-dessous :

- **Convoyeur C3 :**

Ce convoyeur à chaîne joue un rôle central pour le positionnement de la palette, il transporte la palette vers le convoyeur C4.

- **Convoyeur C4 :**

Réalisé avec des chaînes, ce convoyeur constitue la plateforme principale sur laquelle s'effectue l'intégralité du processus de banderolage. Il sert de support essentiel pour le positionnement, l'élévation de la palette pendant l'opération d'emballage.

L'élément clé du convoyeur est sa table élévatrice intégrée « comme le montre la figure I.5 », conçue pour permettre un filmage complet de la palette, y compris ses extrémités inférieures.



Figure. I.5 : Image réelle du convoyeur C4

➤ **Convoyeurs de sortie :**

Réalisée avec des rouleaux motorisés, ils assurent une transition fluide et sécurisée des palettes, permettant de les acheminer efficacement vers le stockage ou le chargement.



Figure I.6 : Convoyeur de sortie

Ces convoyeurs comprennent :

- **Convoyeur C5 :**

Une fois l'opération de banderolage terminée, la palette sera évacuée du convoyeur machine vers le convoyeur de sortie.

- **Convoyeurs C6, C7 et C8 :**

La palette se déplace du convoyeur de sortie vers une série de trois convoyeurs successifs : C6, C7 et C8, optimisant ainsi le flux de production.

I.4.1.2. Partie bras tournant :

Cette partie se compose d'un portique métallique robuste encadrant la zone de banderolage. Au centre de ce portique se trouve une base métallique servant de support à l'axe vertical du bras rotatif, constituant ainsi le pivot central du système de rotation.



Figure. I.7 : Bras rotatif

I.4.1.3. Partie chariot porte bobine et pré-étirage :

Le chariot porte-bobine, situé à l'extrémité du bras, se déplace horizontalement grâce à un moteur asynchrone à vitesse variable, permettant un contrôle précis de la position et du déroulement du film.



Figure. I.8 : Image réelle du chariot porte bobine

- **Système d'enveloppement par film :**

Le dispositif d'enveloppement est composé d'un chariot porte-bobine positionné à l'extrémité du bras rotatif. Ce chariot repose sur une structure en acier à haute résistance, conçue pour supporter la masse de la bobine de film.

- **Système pré-étirage du film**

Le processus de pré-étirage s'effectue par le passage du film entre un rouleau d'alimentation et un rouleau tendeur. L'étirement du film est généré par la différence de vitesse entre ces deux rouleaux.

Un capteur inductif analogique est intégré au système pour fournir un retour d'information en temps réel sur l'état de tension du film. Ce capteur mesure en continu si le rouleau tendeur est trop tendu ou trop relâché, permettant ainsi l'uniformité du pré-étirage du film tout au long du processus d'emballage.

I.4.1.4. Partie coupe film :

Le mécanisme de coupe et de soudure du film est constitué d'un bras articulé dont le mouvement linéaire est actionné par un vérin pneumatique à double effet. Le bras est équipé de deux éléments chauffants distincts « voir figure I.9 », assurant deux fonctions séquentielles :

- Une résistance chauffante dédiée à la soudure thermique du film sur la charge.
- Une seconde résistance chauffante conçue pour la découpe thermique du film.

Cette configuration permet une séquence opérationnelle en deux temps : d'abord la soudure du film pour assurer l'étanchéité de l'emballage, suivie de la coupe nette du film pour séparer la charge emballée du reste de la bobine. Ce processus garantit une finition précise et efficace de l'opération d'emballage.



Figure. I.9 : Image réelle de coupe et soudeuse film

I.4.1.5. Partie pince

Ce dispositif est en forme de ciseaux qui s'ouvre et se ferme sous l'action d'un vérin double effet. La fonction principale de ce mécanisme est la saisie du film à la fin du cycle de banderolage. Cette opération est cruciale pour assurer une terminaison propre et sécurisée du processus d'emballage, en maintenant fermement le film avant sa coupe et sa fixation finale sur la charge.



Figure. I.10: Pince film

I.4.1.6. Partie alarme et sécurité

La banderoleuse est munie d'un système de sécurité comme toute machine industrielle, elle possède deux lignes de sécurité qui sont comme suit :

- **Barrière de sécurité**

L'ensemble banderoleuse et convoyeur est encerclé par des grilles métalliques, les grilles sont munies d'une porte à accès verrouiller pour le changement de la bobine.

- **Sécurité positionnement**

Sur le convoyeur C3, un capteur photoélectrique est installé pour surveiller en permanence la position de la palette. Ce capteur a pour fonction de déclencher une alarme ou d'arrêter la machine en cas de perte de position ou de détection incorrecte de la palette, ce qui permet d'éviter tout risque de blocage ou d'endommagement de l'équipement.

Quant au convoyeur C4, deux capteurs sont placés en diagonale, dans une configuration anti-basculement. Ces capteurs détectent si la palette est stable pendant son déplacement. En cas de détection d'une inclinaison anormale ou d'un basculement imminent de la palette, le

système de sécurité est activé pour arrêter immédiatement le convoyeur et éviter que la palette tombe, garantissant ainsi la sécurité du matériel et du personnel.

I.4.2. Pupitre de commande

Un pupitre de commande est une interface centralisée pour contrôler et surveiller des machines ou des systèmes, celui-ci peut être fixe ou mobile. Il comprend généralement un écran d'affichage, des boutons, des interrupteurs et des voyants lumineux. Ses fonctions principales incluent le démarrage et l'arrêt des processus, le réglage des paramètres, la surveillance des performances et le diagnostic des problèmes.

Un pupitre de gamme SIMATIC HMI TP700 COMFORT PANEL est utilisé pour la commande de la machine, il contient :

- Bouton marche arrêt
- Bouton arrêt d'urgence
- Bouton quitter l'alarme
- Bouton porte verrouillage



Figure I.11 : Pupitre de commande de la banderoleuse

I.4.3. Armoire électrique

Une armoire électrique est une enceinte fermée conçue pour centraliser, protéger et organiser les composants électriques et électroniques d'une installation. Sa fonction principale est de sécuriser l'équipement électrique tout en le protégeant des facteurs environnementaux

comme la poussière et l'humidité. L'armoire limite l'accès aux seules personnes autorisées et facilite la maintenance grâce à une disposition ordonnée des composants. Sa conception et son installation suivent des normes électriques strictes pour garantir la sécurité.

L'armoire électrique de la machine que nous avons étudiée contient un ensemble de composants électriques essentiels. On y trouve notamment des dispositifs de protection comme des disjoncteurs et des fusibles, des éléments de commande tels que des contacteurs et des relais, ainsi que des équipements de contrôle plus sophistiqués comme des automates programmables et des variateurs de fréquence. Elle intègre également des transformateurs pour adapter les tensions et des borniers de raccordement pour organiser les connexions électriques.



Figure. I.12 : Armoire électrique de la machine

I.5. Equipements et instrumentation

I.5.1. Près-actionneurs

Les pré-actionneurs sont des dispositifs qui déclenchent ou préparent une action dans un système automatisé, transformant des signaux de commande en actions physiques. Dans le système que nous avons étudié, nous avons principalement utilisé des distributeurs pour contrôler le flux des fluides pour actionner des vérins, et des variateurs pour ajuster la vitesse des moteurs, garantissant ainsi une efficacité et une réactivité optimales du processus.[4]

I.5.1.1. Distributeurs

Les **distributeurs** sont des composants essentiels dans les systèmes automatisés, contrôlant la distribution de fluides ou d'énergie pour les actionneurs pneumatiques ou

hydrauliques. Ils se caractérisent par leur nombre d'orifices et de positions, définissant ainsi leurs configurations d'interconnexion. Leur représentation schématique utilise des carrés pour illustrer les positions et les connexions internes « voir Figure.I.13 ». Le pilotage des distributeurs peut être électrique, manuel, automatique (par ressort) ou pneumatique, offrant une flexibilité adaptée aux diverses exigences.

Dans la banderoleuse étudiée, des distributeurs pneumatique 5/2 de type bistable sont utilisés, dont :

- Deux pour actionner les vérins qui font sortir les guides métalliques centrants la palette sur le convoyeur C2.
- Un pour le vérin responsable des mouvements de la soudeuse.
- Un pour le vérin permettant l'ouverture ou la fermeture du ciseau.

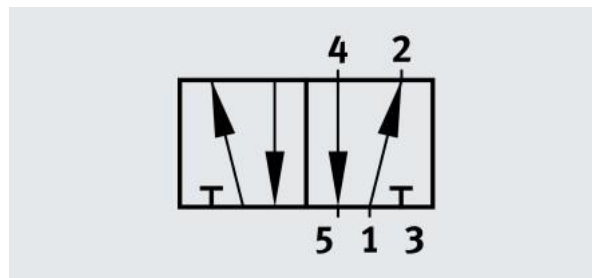


Figure.I.13 : Schéma d'un distributeur 5/2

I.5.1.2. Variateurs de vitesse

Les variateurs de fréquence sont essentiels pour gérer la vitesse et le couple des moteurs électriques en ajustant la fréquence et la tension de l'alimentation. Ils optimisent les performances des systèmes de propulsion, permettant des économies d'énergie et prolongent la durée de vie des équipements.

Le processus commence par la conversion du courant alternatif (AC) en courant continu (DC) via un redresseur, suivi d'un filtrage pour obtenir une tension stable. Ensuite, un onduleur reconvertisse le DC en AC avec une fréquence et une tension variable, en utilisant la modulation de largeur d'impulsion (PWM) pour réguler la puissance fournie au moteur. Cette méthode offre un contrôle précis et dynamique de la vitesse et du couple en fonction des besoins de l'application [13].

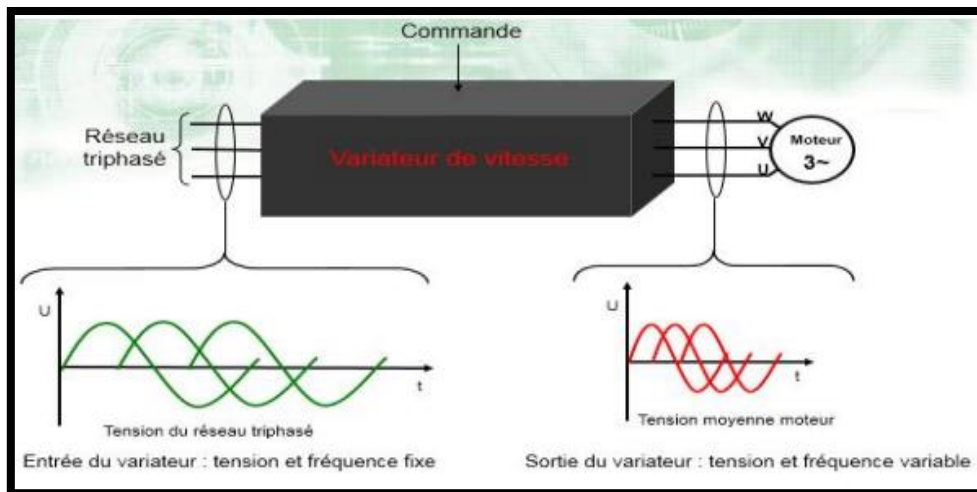


Figure. I.14 : Schéma de principe d'un variateur de vitesse

Dans le cadre de ce projet, deux gammes de variateurs se trouvent dans le système :

❖ Les variateurs de vitesse SINAMICS G120

Le SINAMICS G120, reconnu pour sa flexibilité et sa facilité d'intégration, a été déployé sur l'ensemble des parties de la machine. Le variateur de vitesse SINAMICS G120 a été appliqué sur les convoyeurs C3 et C5 pour régler la vitesse de leurs moteurs et changer leur sens de rotation. Il a également été utilisé pour gérer la vitesse de la table élévatrice du chariot porte-bobine, du bras rotatif et du système de pré-étirage, garantissant ainsi un processus optimisé et fluide [10].



Figure. I. 15 : Principales parties du SINAMIC G120

SINAMICS G120 est un système d'onduleur modulaire comprenant une variété d'unités fonctionnelles. Les unités principales sont :

- **Unité contrôle**

Cette unité contrôle et surveille le module d'alimentation et le moteur connecté en utilisant différents types de commande pouvant être sélectionnés. Il prend en charge la communication avec un local ou dispositifs de contrôle et de surveillance centralisés.

Chaque Control Unit comprend une structure de quantité d'E / S définie, une interface de bus de terrain spéciale, et éventuelles fonctions de sécurité supplémentaires.

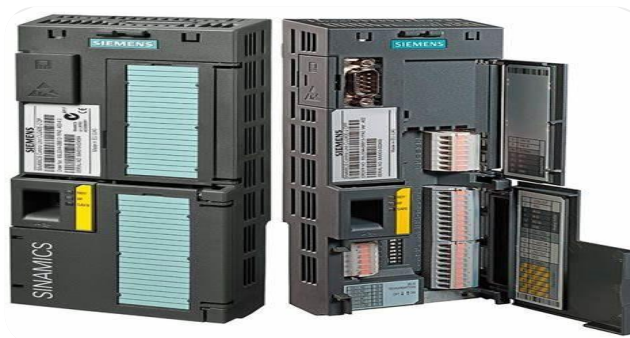


Figure. I.16: Unité de contrôle du variateur

- **Module de puissance**

Le module de puissance utilisé est le **PM230**, couvrant une gamme de puissance allant jusqu'à 90 kW et fonctionnant sur une alimentation triphasée de 380V à 480V AC, optimisé pour l'efficacité énergétique. Il est contrôlé par un microprocesseur dans l'unité de contrôle et utilise la technologie IGBT avec modulation de largeur d'impulsion pour garantir la fiabilité et la flexibilité dans le fonctionnement du moteur. De plus, des fonctions de protection complètes assurent une protection élevée pour le module de puissance et le moteur.



Figure. I.17 : Module de puissance du variateur

- **Panneau de commande intelligent (IOP)**

Le pupitre opérateur « INTELLIGENT OPERATOR PANEL (IOP) » a été conçu pour améliorer l'interface et les capacités de communication des variateurs SINAMICS. L'IOP se connecte au variateur via une interface RS232. Il a été conçu pour reconnaître automatiquement les dispositifs de gamme SINAMICS.

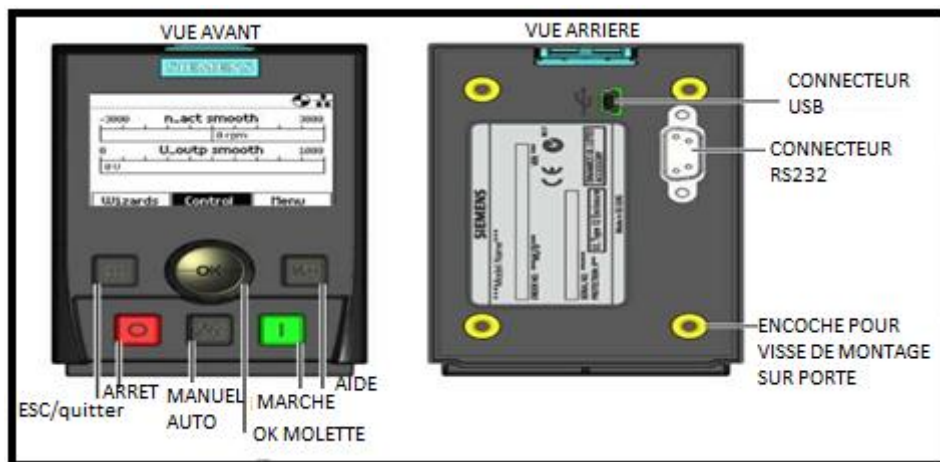


Figure. I.18 : Panneau de commande du variateur

- ❖ **Variateur de vitesse SEW EURODRIVE MOVIOT**

Le variateur SEW MOVIMOT est un dispositif électronique intégré dans les motoréducteurs de la marque SEW-EURODRIVE, simplifiant ainsi l'installation et réduisant l'encombrement électrique. Il permet le contrôle du couple, le démarrage progressif, la régulation automatique de la fréquence, et la protection contre les surcharges et les défauts. Il se distingue par sa robustesse et ses fonctionnalités avancées [17]. Il a été intégré sur le

convoyeur C4 assurant ainsi une gestion précise de sa vitesse de fonctionnement et du sens de marche de ce dernier.



Figure. I.19 : Image réelle du variateur SEW MOVIMOT

Le MOVIMOT supporte divers protocoles de communication industriels tels que Modbus RTU, Profibus, Pro finet, ce qui permet une intégration aisée dans des systèmes de contrôle automatisés.

Dans notre cas nous avons utilisé la méthode par câblage direct en se servant du dispositif MWA21A.

- **Convertisseur MWA21A**

Il s'agit d'un convertisseur de point de consigne qui peut convertir un signal de consigne de format analogique, des tensions (par exemple, 0-10V) ou des courants (par exemple, 4-20mA) provenant d'une source comme un API (c'est notre cas avec la CPUS7-1200), vers un autre signal de format numérique conforme au protocole RS-485, requis par un équipement ou un système spécifique tel que le variateur de fréquence que nous avons utilisé « voir Figure. I.20 » de la gamme SEW MOVIMOT [17].



Figure. I.20 : Convertisseur de signaux MWA21A

I.5.2. Actionneurs

Les actionneurs sont des dispositifs mécaniques ou électromécaniques qui convertissent l'énergie (électrique, hydraulique, pneumatique) en mouvement physique. Ils peuvent prendre différentes formes ; dans le cas du système étudié, on trouve notamment des vérins et des moteurs asynchrones.

I.5.2.1. Vérins

Un **vérin** est un actionneur linéaire ou rotatif qui convertit une énergie (généralement hydraulique, pneumatique ou électrique) en mouvement mécanique. Il exerce une force de poussée ou de traction, permettant de déplacer, soulever ou maintenir des charges.[4]

Les vérins à **double effet**, possédant deux orifices. Ils sont les plus répandus dans les systèmes automatisés, comme dans le cas de la machine étudiée pour le centrage des palettes et le contrôle des mouvements de la soudeuse et la pince film, car ils permettent des mouvements dans les deux sens, offrant ainsi une grande flexibilité d'utilisation.

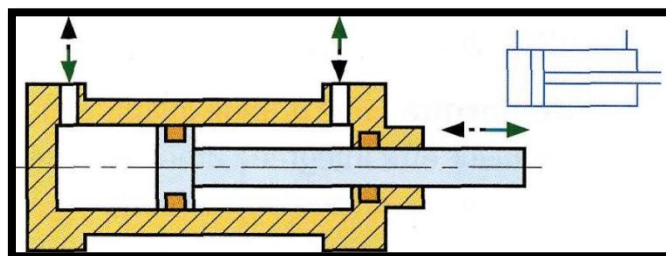


Figure. I.21 : Schématisation d'un vérin

I.5.2.2. Moteur asynchrone

L'intégralité des parties de notre machine convoyeurs, bras rotatif, chariot, table, rouleau porte bobine sont propulsés par des moteurs asynchrones, garantissant ainsi la robustesse et la fiabilité dans l'exécution des opérations de banderolage.

Un moteur asynchrone est un moteur électrique à courant alternatif basé sur le principe de l'induction électromagnétique, constitué de deux parties principales :

- **Stator** : Partie fixe qui comprend un enroulement triphasé, créant un champ magnétique tournant à la vitesse de synchronisme, déterminée par la fréquence du courant et le nombre de pôles. La formule pour calculer cette vitesse est :

$$N_s = 60 * \frac{f}{p} \text{ tour/min}$$

- **Rotor** : Partie mobile qui tourne librement à l'intérieur du stator. Le champ magnétique du stator induit des courants dans le rotor, créant un champ magnétique qui interagit avec celui du stator pour produire un couple. Le rotor tourne à une vitesse légèrement inférieure à celle du champ tournant, ce qui génère un phénomène appelé **glissement**, essentiel à son fonctionnement, et est calculé par :

$$G = \frac{N_s - N}{N_s} * 100 \%$$

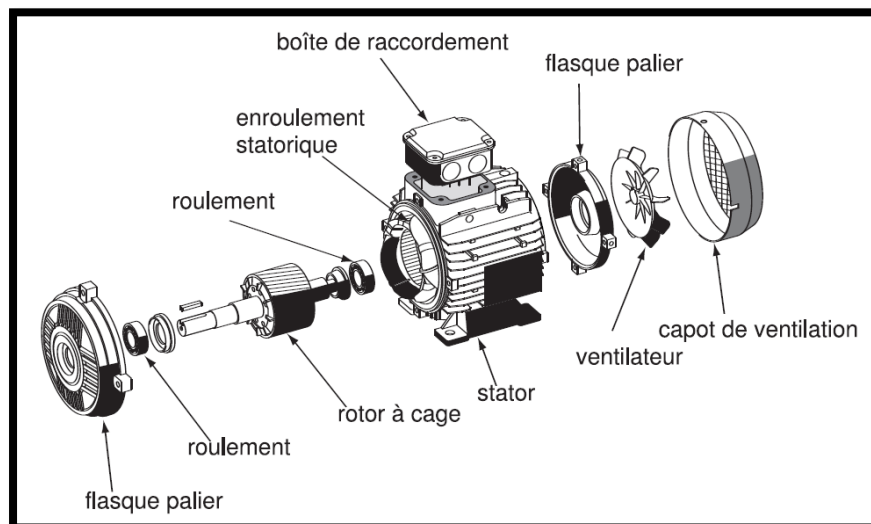


Figure. I. 22 : Schéma représentatif des constituants d'un moteur

➤ **Collecteurs tournants**

Bien que ce ne soit pas un actionneur, le collecteur tournant a eu un rôle essentiel dans notre machine en permettant l'alimentation continue des composants situés sur le bras rotatifs (capteurs, moteurs). Grâce à lui les signaux électriques peuvent être transmis sans interruptions, malgré les mouvements de rotation.

Un collecteur tournant est un dispositif électromécanique utilisé pour transférer de l'énergie électrique ou des signaux entre une partie fixe et une partie rotative d'un système.

Il se compose de bagues conductrices généralement conçues en cuivre ou en alliages montées sur un arbre rotatif, et de balais stationnaires fait de carbone-graphite en contact avec ces bagues. Elles sont fixées à l'arbre rotatif et tournent avec celui-ci. Tandis que Les balais sont positionnés de manière à entrer en contact avec ces bagues pendant que l'arbre tourne « comme le montre la figure I.23 ». Ce contact permet la transmission continue de l'électricité en assurant le mouvement de rotation.

Le collecteur tournant offre l'avantage d'un transfert continu d'énergie ou de signaux durant la rotation et permet l'utilisation de multiples circuits. Cependant, il présente des inconvénients tels que l'usure des balais et des anneaux, la possibilité de générer du bruit électrique et la nécessité d'une maintenance régulière.

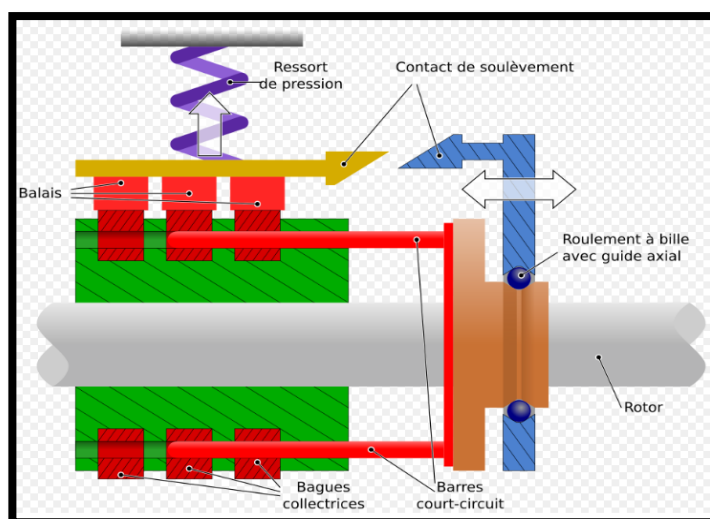


Figure. I.23. Schéma d'un collecteur tournant



Figure. I.24. Collecteur tournant

I.5.3. Capteurs

Les systèmes de détection conventionnels (interrupteurs et détecteurs de positions), ne peuvent fournir que des informations Tout Ou Rien à des endroits prédéterminés, et ne répondent que partiellement aux besoins de précision et de flexibilité.

Pour palier a tous ces inconvénients, la technologie des codeurs est apparue assurant ainsi les exigences croissantes de précision des systèmes automatisés.

I.5.3.1. Codeurs :

Un codeur est un dispositif utiliser dans de nombreuses industries pour fournir des informations en retour [7], qui sont :

- La position
- Le sens
- La vitesse

Le codeur utilise le mouvement selon diverses technologies et le traduit en signal électrique. Ce signal sera ensuite renvoyé à un API ou il sera mis à l'échelle afin d'avoir une valeur utilisable dans le programme. Dans le cas étudiée les deux codeurs sont utilisés pour fournir la position des palettes sur les convoyeurs C3 et C4.

– Technologie de détection utiliser dans la banderoleuse :

- **Codeurs inductifs** : c'est la technologie utilisée dans notre machine précisément sur le convoyeur C3, en raison de leur grande durabilité, et leurs adaptations au environnements industriels les plus rigoureux. Ils utilisent des bobines et des éléments métalliques. Le mouvement modifie l'inductance, générant ainsi un signal qui peut être interprété pour déterminer la position ou la vitesse.
- **Codeur incrémental optique** : Utilisés sur le convoyeur C4 pour mesurer précisément la position des palettes sur ce dernier. Un codeur optique est un capteur de position angulaire qui délivre des informations numériques, il est lié mécaniquement à un arbre qui l'entraîne, son axe fait tourner un disque qui lui est solidaire, et qui comporte une succession de parties opaques et transparent (fenêtres).

Une lumière émise par des Diodes Electroluminescentes (DEL), traverse les fentes de ce disque créant sur les photodiodes réceptrices un signal analogique, ce signal est amplifié puis converti en signal carré, qui est alors transmis à un système de traitement (API) qui va à son tour définir la position du mobil « voir figure I.26 ».



Figure. I.25. Image réelle codeur optique

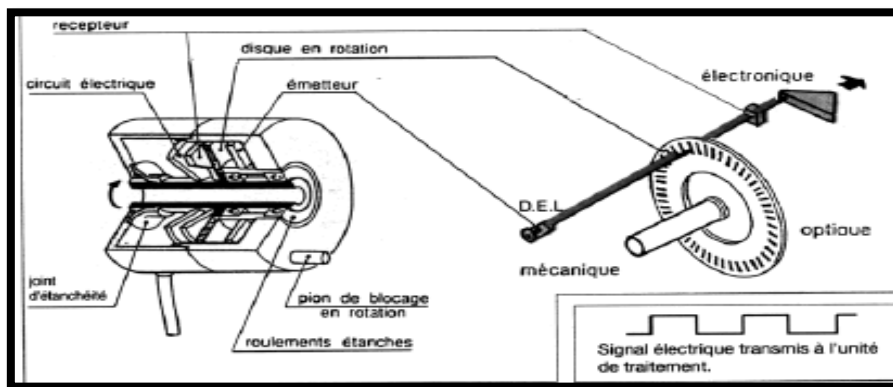


Figure. I.26. Schéma explicatif du codeur optique

Le disque comporte au maximum 3 pistes :

- 1 ou 2 pistes extérieurs A et B divisée en $2n$ intervalles d'angles égaux, alternativement opaques et transparents, pour un tour complet du codeur. Le faisceau lumineux est interrompu n fois et délivre n signaux carrés (A et B) en quadrature.
- La piste intérieure « Z : top zéro » comporte une seule fenêtre transparente et délivre un signal par tour. Ce signal Z, détermine une position de référence et permet la réinitialisation et le comptage des tours. Il permet aussi de corriger des erreurs de positionnement dues au non-comptage de certaines périodes (fréquence élevée).[6]

- *Critère de choix du codeur*

- ✓ **Résolution**

- **Exploitation simple** : Le système de traitement n'utilise que les fronts montants de la voie A, (la résolution est égale au nombre de points n).
- **Exploitation double** : Le système de traitement utilise les fronts montants et descendant de la voie A, (la résolution est multipliée par 2 (2*n)).
- **Exploitation quadruple** : Le système de traitement utilise les voies A et B, (la résolution est multipliée par 4 (4*n)).

- ✓ **Fréquence de rotation du codeur**

Pour les codeurs incrémentaux il est indispensable de calculer la fréquence maximale d'utilisation afin d'assurer les compatibilités des caractéristiques électriques avec les entrées du système de traitement

Cette fréquence est liée à la résolution du codeur et à la vitesse de rotation de l'axe entraînant

$$F = \frac{1}{60} * N * R$$

Avec :

- N : la vitesse d'utilisation réelle du codeur qui peut être différente de la vitesse maximale du moteur, notamment dans le cas d'un déplacement à grande vitesse, suivi d'un positionnement à petite vitesse.
- R : résolution du codeur

- **Raccordement du codeur incrémental vers la CPU**

Pour un raccordement sécurisé, il faut tenir en compte ce qui suit [7] :

- Les câbles des capteurs doivent être blindés.
- Les blindages des câbles doivent être appliqués aux deux extrémités.
- Câble souple, diamètre de 0,25 à 1,5 mm².

- Des embouts ne sont pas nécessaires. Si on souhaite toutefois en utiliser, on choisit des embouts sans collet d'isolation.

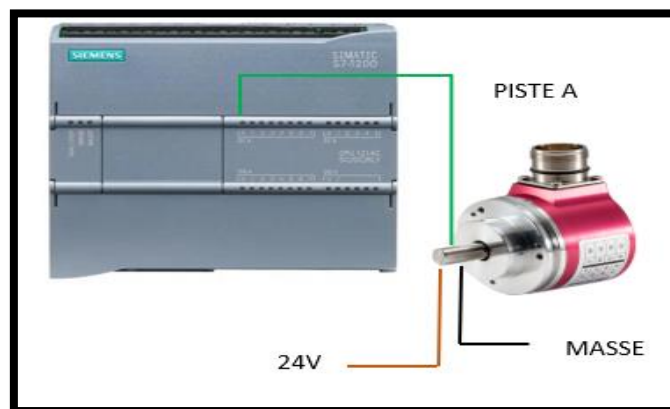


Figure. I.27 : Mode de raccordement pour une exploitation simple du codeur vers un automate

I.5.3.2. Détecteurs :

Un détecteur est un dispositif qui identifie la présence ou l'absence d'un événement ou d'une condition spécifique (comme la détection de mouvement ou la détection d'un gaz particulier) et réagir en conséquence, mais il n'a pas forcément la capacité de mesurer une grandeur. Dans la machine, on trouve les détecteurs suivants :

- **Détecteurs de proximité**

Ces détecteurs opèrent à distance sans contact avec l'objet dont ils contrôlent la position. Le détecteur interrompt ou établit un circuit électrique en fonction de la présence ou de la non présence de l'objet, dans sa zone sensible de détection.

Dans notre projet les principaux détecteurs de proximité existant sont :

- **Détecteur inductif** : Les détecteurs de proximité inductifs permettent de détecter sans contact des objets métalliques à une distance de 0 à 60 mm. Il est essentiellement composé d'un oscillateur dont les bobinages constituent la face sensible.

Les capteurs inductifs produisent à l'extrémité de leur tête de détection un champ magnétique oscillant. Ce champ est généré par une inductance et un condensateur monté en parallèle. Lorsqu'un corps conducteur métallique est placé dans ce champ, des courants de Foucault prennent naissance dans la masse du métal ; il y a perturbation de ce champ qui entraîne une réduction de l'amplitude des oscillations au fur et à mesure de l'approche de

l'objet métallique, jusqu'à blocage complet. Cette variation est exploitée par un amplificateur qui délivre un signal de sortie, le capteur commute.

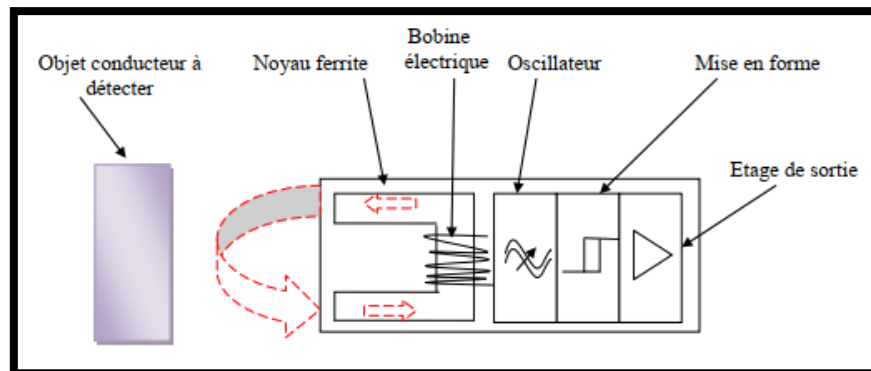


Figure. I.28: Schéma interne capteur inductif

- **Détecteur photo électrique** : L'objet est détecté à distance lorsqu'il interrompt ou fait varier l'intensité d'un faisceau lumineux. Ils se composent :
 - D'un émetteur de lumière visible ou infrarouge produite en général par une LED.
 - D'un récepteur photosensible (photo résistances, photodiode ou phototransistor).

La technologie utiliser pour notre système de détection photoélectrique est le type REFLEX :

- **Reflex** : Emetteur et récepteur sont incorporés dans le même boîtier. Le retour du faisceau est assuré par un réflecteur monté en vis à vis. Ce système permet de détecter tout objet non réfléchissant interrompant le faisceau lumineux. Ils sont idéals pour la détection d'objets volumineux opaque en ambiance non polluée de portée moyenne et courte, d'environ 8mètres.

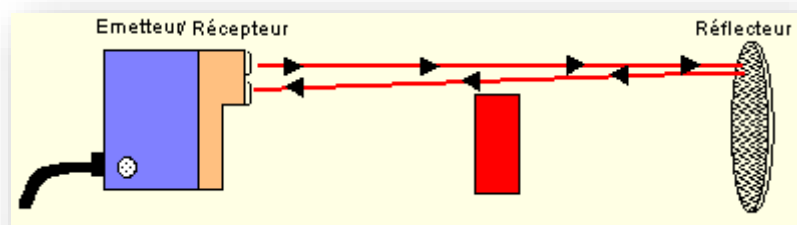


Figure. I.29: Schéma de détecteur photo électrique reflex

I.5.3.3. Capteur fin de course

Contrairement aux détecteurs de proximité qui utilisent des champs électromagnétiques, de la lumière ou des sons pour détecter des objets, le capteur fin de course nécessite un contact physique pour fonctionner. Lorsqu'un levier ou un bouton poussoir est activé, cela provoque le déplacement d'un contact électrique, entraînant un changement d'état (ouvert à fermer ou vice versa) qui génère un signal transmis au système de contrôle. Ces capteurs sont souvent dotés d'un indice de protection élevé (IP65 ou supérieur) pour résister aux environnements industriels difficiles et ont une durabilité remarquable, avec une durée de vie mécanique pouvant atteindre 10 millions de cycles.

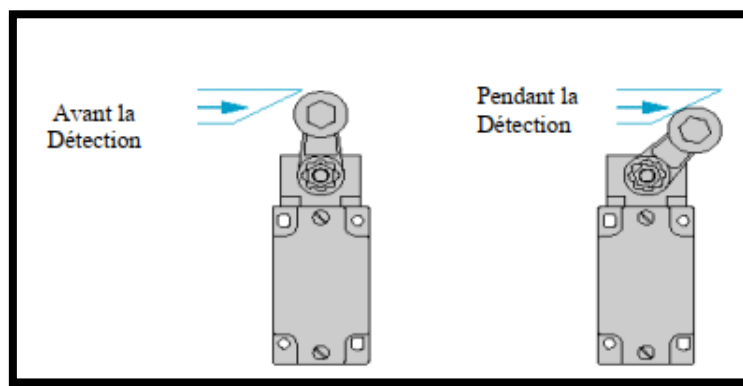


Figure. I.30. Interrupteur de fin de course

I.6. Objectif du travail

La banderoleuse à bras rotatif est récemment installée dans l'usine où ce travail a été réalisé. Notre objectif est d'automatiser cette nouvelle machine afin de répondre aux besoins spécifiques de l'entreprise, notamment en optimisant l'emballage des palettes de packs d'eau. En automatisant ce processus, nous visons à améliorer la stabilité des palettes filmées, à réduire les temps d'arrêt, et à augmenter le débit de production. Grâce à une programmation adaptée, cette automatisation permettra non seulement d'optimiser le flux de production, mais aussi de mieux répondre aux exigences logistiques de l'entreprise, tout en garantissant une maintenance plus efficace des palettes.

I.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté en détail les différentes parties et le principe de fonctionnement de la banderoleuse à bras rotatif. Nous avons également mis en avant les divers équipements, incluant les près-actionneurs, actionneurs et capteurs, qui ont contribué au bon fonctionnement du processus d'emballage.

Cette analyse constitue une base solide pour la modélisation du système avec l'outil GRAFCET, qui sera abordé dans le prochain chapitre.



Chapitre II

*Modélisation de la
machine par l'outil
GRATCET*

II.1. Introductions

La conception, l'analyse et la mise en œuvre d'un système automatisé nécessitent une approche méthodique utilisant des outils pour décrire les systèmes automatisés séquentiels dans l'ordre chronologique des étapes. Parmi ces outils figurent le chronogramme, l'organigramme et le GRAFCET.

Dans ce chapitre nous allons traduire le principe de fonctionnement de notre système de banderolage en utilisant le GRAFCET qui est considéré comme un outil simple, permettant de modéliser parfaitement le système en tenant compte des conditions de fonctionnement.

II.2. GRAFCET et sa structure

II.2.1. Définition du GRAFCET

Le GRAFCET (Graphe Fonctionnel de Commande des Etapes et Transitions) est un outil de représentation graphique d'un cahier des charges. Il représente le déroulement chronologique des actions sous la forme d'un diagramme fonctionnel en utilisant un formalisme précis.

Créé par l'ADEPA en 1977 et normalisé en 1982 par la norme NF C03-190, le GRAFCET fournit une représentation visuelle claire des processus automatisés en alternant entre des étapes et des transitions.[9]

II.2.2. Eléments de base d'un GRAFCET

Le GRAFCET est défini par un ensemble constitué [2] :

➤ *D'éléments graphiques de base comprenant :*

- **Etape**

Une étape représente une situation stable de l'automatisme. Une étape est soit active soit inactive. On peut associer à chaque étape i une variable X_i , image de son activité ($X_i = 0$ lorsque l'étape i est inactive et $X_i = 1$ lorsque l'étape i est active).

- **Etape initiale**

C'est une étape active au début du fonctionnement. Elle se représente par un double carré.

- **Transition**

Une transition indique une possibilité d'évolution d'activité entre deux ou plusieurs étapes. Cette évolution s'accomplit par le franchissement de la transition.

- **Liaisons orientées**

Elles relient les étapes aux transitions et les transitions aux étapes. Le sens général d'évolution est du haut vers le bas. Dans le cas contraire, des flèches doivent être ajoutées pour préciser le sens de l'évolution.

➤ *D'une interprétation* : traduisant le comportement de l'automatisme caractérisée par :

- **Réceptivité**

La réceptivité associée à une transition est une fonction logique :

- Des entrées (capteurs, commande opérateur).
- Des activités des étapes.
- Des variables auxiliaires.

- **Action**

L'action indique, dans un rectangle, comment agir sur la variable de sortie.

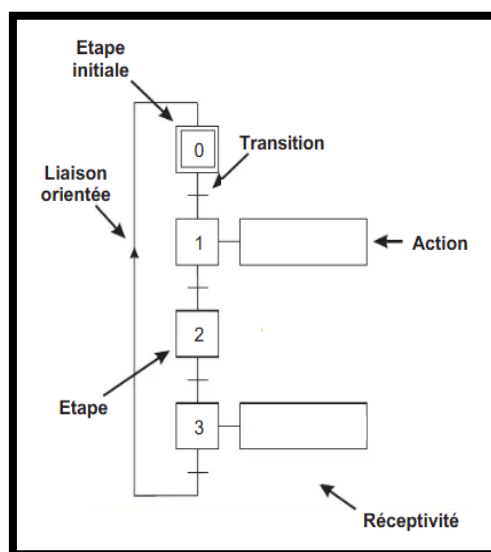


Figure.II.1: structure d'un GRAFCET

➤ *De 5 règles d'évolution* : définissant formellement le comportement dynamique du système :[6]

• **Règle N°1 : Situation initiale**

Les étapes initiales sont actives au début du fonctionnement. Elles sont représentées par un double carré, et sont souvent des étapes d'attente pour un équipement qui ne fait rien dans cette phase (par exemple à la mise sous tension du secteur).

• **Règle N°2 : Franchissement d'une transition**

Une transition est soit validée, soit non validée. Elle est validée lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes sont actives. Elle est franchissable lorsqu'elle est validée et que sa réceptivité est vraie. Elle est alors obligatoirement franchie.

• **Règle N°3 : Evolutions des étapes actives**

Le franchissement d'une transition entraîne l'activation de toutes les étapes immédiatement suivantes et la désactivation de toutes les étapes immédiatement précédentes.

• **Règle N°4 : Transitions simultanées**

Plusieurs transitions simultanément franchissables sont simultanément franchies (ou du moins toutes franchies dans un laps de temps négligeable pour le fonctionnement).



Figure.II.2 : symbolisation de la règle 4

• **Règle N°5 : Activation et désactivation simultanée d'une étape**

Si une étape doit être à la fois activée et désactivée elle reste active.

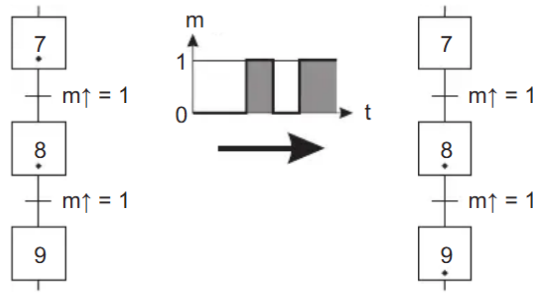


Figure.II.3: illustration de la règle 5

II.2.3. Règle de syntaxe d'un GRAFCET

L'alternance étape -transition et transition-étape doit toujours être respectée quelle que soit la séquence parcourue, en conséquent :

- Deux étapes ou deux transitions ne doivent jamais être reliées par une liaison orientée.
- Une liaison orientée relie nécessairement une étape à une transition ou l'inverse.

II.2.4. Types de réceptivité d'un GRAFCET

a. Réceptivité associée aux transitions

Une proposition logique, appelée réceptivité qui peut être vraie ou fausse est toujours associée à chaque transition

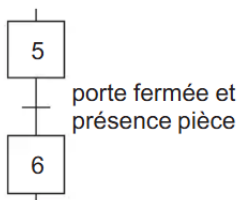


Figure.II.4: Description d'une réceptivité par un texte

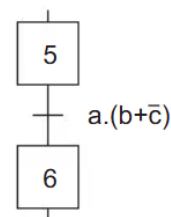


Figure.II.5: Description d'une réceptivité par une expression

b. Réceptivité temporisée

Pour prendre en compte le temps dans les réceptivités, il suffit d'indiquer, dans l'ordre :

- L'origine (étape d'origine),

- La durée.

Exemple : T1/X12/20s signifie que 20 secondes s'écouleront après l'activation de l'étape 12 pour que la réceptivité soit vraie

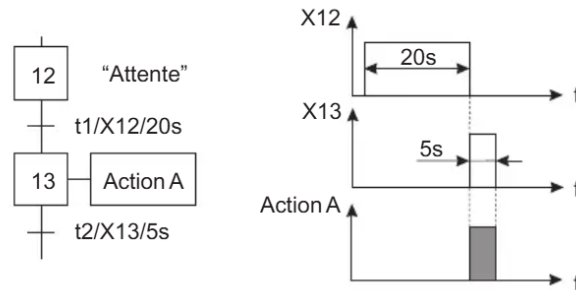


Figure.II.6 : Réceptivité temporisée

c. Réceptivité prenant en compte l'état d'une étape

Il est possible de prendre en compte l'état logique X_i d'une étape i pour faire évoluer un grafcet, cette utilisation permet de synchroniser les évolutions de plusieurs grafkets connexes.

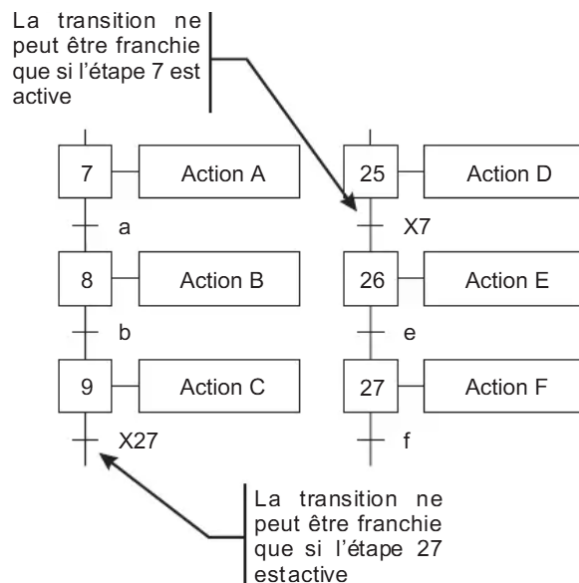


Figure.II.7: Synchronisation de grafkets

II.2.5. Types d'actions dans un GRAFCET

- **Action conditionnelle**

L'action est exécutée si l'étape est activée et si la condition est vérifiée ou égal à 1.

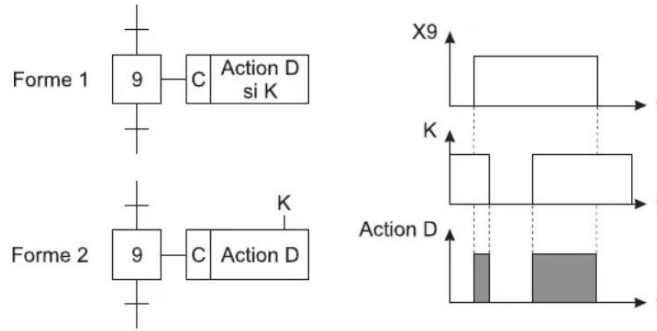


Figure.II.8 : Action conditionnelle

• Action retarder

Dès que l'étape est active, l'action est exécutée après un délai obtenu par une temporisation (D=délaye)

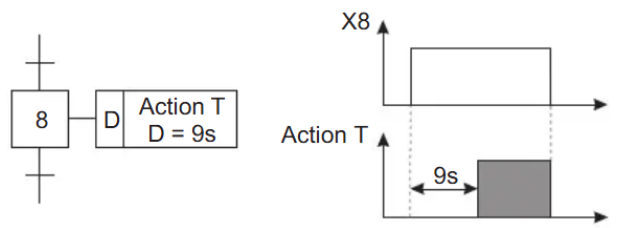


Figure.II.9: Action retardée

• Action impulsionnelle

L'action démarre dès que l'étape est active et s'arrête presque immédiatement, elle dure le temps d'une impulsion (p=pulse)

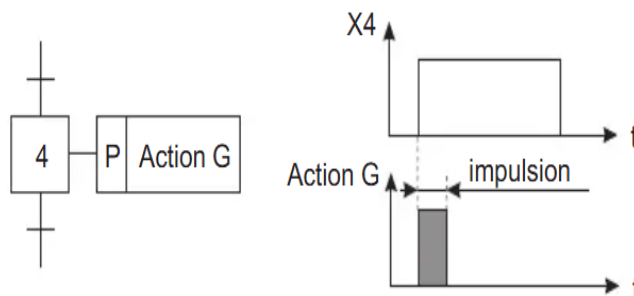


Figure.II.10: Action impulsionnelle

II.3. Niveau de GRAFCET

- **GRAFCET de niveau 1**

Ce GRAFCET décrit le fonctionnement global du système. Il traduit le cahier des charges sans préjuger de la technologie adoptée. Il permet de dialoguer avec des personnes non spécialistes (fournisseurs, décideurs ...), Son écriture en langage clair permet donc sa compréhension par tout le monde.

- **GRAFCET de niveau 2**

Ce GRAFCET point de vue commande, met en évidence les organes électriques, mécaniques, pneumatiques, etc...qui servent à décrire les différentes étapes/transitions du GRAFCET.

C'est la retranscription technique du GRAFCET point de vue système. Avant de pouvoir réaliser ce GRAFCET, il est nécessaire de créer une table de variables afin d'affecter les noms de variables des différents capteur/actionneurs utilisées.

- **GRAFCET de niveau 3**

Dans ce cas on reprend le GRAFCET de niveau 2, en affectant les informations aux étiquettes d'entrée de l'automate et les ordres aux étiquettes de sortie de l'automate. Il s'adapte aux caractéristiques de traitement d'un automate programmable industriel donné, de façon à pouvoir élaborer le programme, procéder à la mise en œuvre et assurer son évolution.[9]

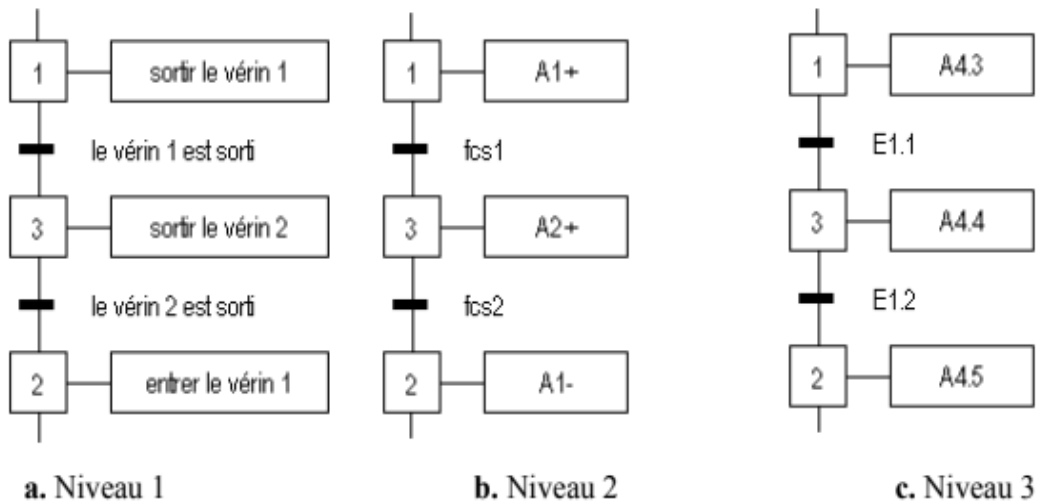


Figure.II.11. Niveaux de GRAFCET

II.4. Types de GRAFCET

II.4.1. Séquence unique

Un automate est représenté par un grafcet à séquence unique lorsqu'il peut être décrit par un ensemble cohérent de plusieurs étapes formant une suite dans le déroulement s'effectue toujours dans le même ordre. Chaque étape est suivie d'une seule transition et chaque transition n'est validée que par une seule étape.

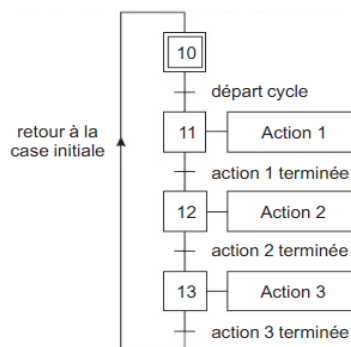


Figure.II.12. GRAFCET à séquence unique

II.4.2. Sélection d'une séquence ou aiguillage

Une machine a souvent plusieurs cycles de fonctionnement, sélectionnés par des informations fournies, soit par l'opérateur (commutateurs, claviers, etc. ...), soit par la machine elle-même (capteurs de position, détecteurs, etc. ...).

L'aiguillage représente une alternative d'évolution vers plusieurs étapes, à partir d'une situation donnée. Les réceptivités associées aux transitions d'un aiguillage doivent être exclusives (elles ne doivent pas être vraies simultanément).

Après l'évolution dans une branche il y a une convergence en où. Le nombre de branches peut être supérieur à 2. La convergence de toutes les branches ne se fait pas obligatoirement au même endroit.

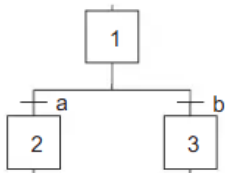


Figure. II.13. Divergence en OU

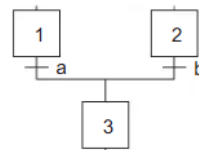


Figure. II. 14. Convergence en OU

II.4.3. Reprise et saut de séquence

La reprise de séquence est représentée par une boucle d'étape réalisée en général à partir d'un aiguillage en fin de séquence. Un cas particulier de reprise de séquence est la reprise de cycle (GRAFCET boucle).

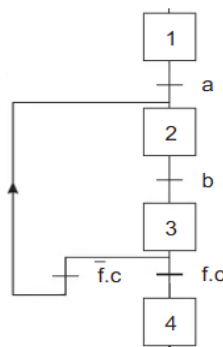


Figure.II.15. Reprise d'étape

Un saut de séquence réalisé à l'aide d'un aiguillage permet d'éviter une séquence.

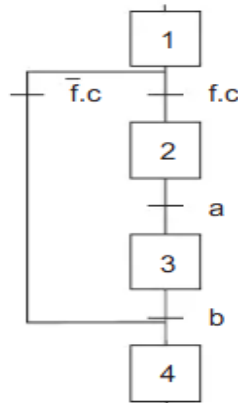


Figure.II.16. Saut d'étape

II.4.4. Séquences simultanées ou parallélisme de séquences

C'est un ensemble de séquences pouvant évoluer indépendamment, à partir du franchissement d'une transition activant simultanément plusieurs étapes (figure 2.33). Cette forme de parallélisme est appelée parallélisme structural. Sur une machine, plusieurs séquences peuvent se dérouler en même temps. Ce cas est très fréquemment rencontré sur des machines de type transfert et plus généralement sur toutes les machines décomposables en sous-machines relativement indépendantes.

Après l'évolution dans les branches il y a une convergence en ET. Le nombre de branche peut être supérieur à 2.

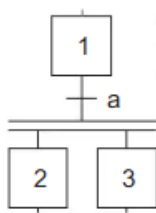


Figure. II.17. Divergence en ET

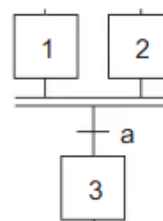


Figure. II.18. Convergence en ET

II.4.5. Séquence avec cycle de comptage

Il est souvent nécessaire de compter un nombre de cycle, de pièces ou d'événements dans un GRAFCET. Un cycle de comptage comprend en général :

- Une initialisation de la variable de comptage,

- Une incrémentation (ou décrémentation) de cette variable,
- Des réceptivités qui testent la valeur de la variable de comptage.

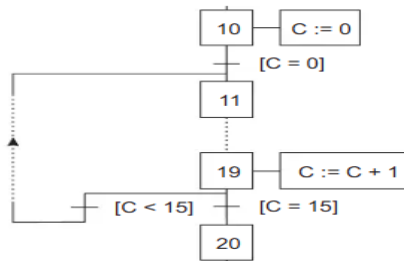
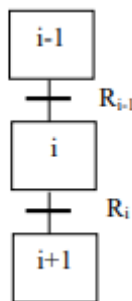


Figure. II. 19. Cycle avec comptage

II.3. Mise en équation d'un GRAFCET

Un grafcet est constitué par un ensemble d'étapes, à chacune de ces étapes, on associe une variable X_i qui est égale à " 1" si l'étape est active et à "0" si l'étape est inactive. La mise en œuvre du GRAFCET consiste à déterminer les variables qui interviennent dans l'activité de l'étape.[12]



- D'après la règle 2 du GRAFCET, la Condition d'Activation (CA) de l'étape i donne :

$$CAX_i = X_{i-1} * R_{i-1}$$

- D'après la règle 3 du GRAFCET, la Condition de Désactivation (CD) de l'étape i donne :

$$CDX_i = X_i * R_i = X_{i+1}$$

- Si la CA et la CD de l'étape i sont fausses, l'étape i reste dans son état (effet mémoire). L'état de X_i à l'instant $t +$ et dépend de l'état précédent de X_i à l'instant t .

$$X_i = CAX_i + \overline{CDX_i} * X_i$$

où

$$X_i = X_{i-1} * R_{i-1} + \overline{X_{i-1}} * X_i$$

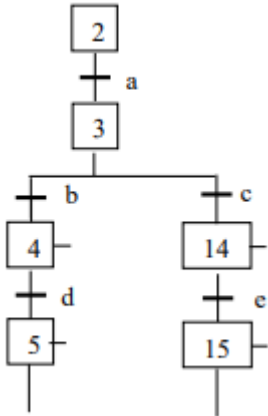


Figure. II.20. Divergence en OU

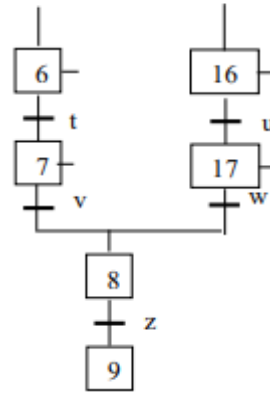


Figure. II.21. Convergence en OU

- **Choix de séquence**

$$X_3 = X_2 * a + X_3 * (\overline{X_4} + \overline{X_{14}}) = X_2 * a + X_3 * \overline{X_4} * \overline{X_{14}}$$

$$X_8 = X_7 * v = X_{17} * w + X_8 * \overline{X_9}$$

- **Séquence parallèle**

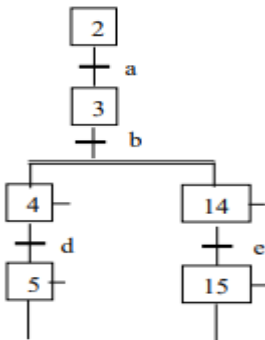


Figure. II.22: Divergence en ET

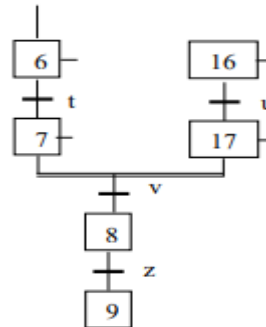


Figure. II. 23 : Convergence en ET

$$X_3 = X_2 * a + X_3 * \overline{X_4 * X_{14}} = X_2 * a + X_3 * (\overline{X_4} + \overline{X_{14}})$$

$$X_8 = X_7 * X_{17} * v + X_8 * \overline{X_9}$$

II.4. Cahier des charges de la machine

Le processus de filmage des palettes à l'aide de la banderoleuse a bras tournant peut-être décrit comme suit :

Le processus commence par la transmission d'un signal du capteur photoélectrique (SP) du convoyeur de sortie du palettiseur à l'automate de la banderoleuse via une communication Profibus, signalant l'évacuation d'une palette. Celle-ci est alors dirigée vers le premier convoyeur d'entrée (MC1) de la banderoleuse, équipé d'un capteur photoélectrique (CP1) chargé de vérifier la présence effective de la palette sur le convoyeur.

La palette est ensuite transférée vers le deuxième convoyeur (MC2), qui dispose d'un capteur fin de course (CP2) détectant la présence de la palette par son poids. À ce stade, deux guides métalliques, actionnés par des vérins, se déploient pour centrer la palette pendant trois secondes avant de se rétracter. Un capteur inductif (Crecul) vérifie la position rétractée des guides, assurant ainsi le bon positionnement de la palette pour le convoyeur suivant.

À l'extrémité du convoyeur (C2), un rouleau palpeur entre en contact avec un capteur inductif (PAL) sous l'effet du poids de la palette en transit. Ce capteur envoie un signal à l'automate, déclenchant la fonction de comptage rapide après un délai d'une seconde. Lors du passage de la palette sur le convoyeur 3 (MC3) piloté par un variateur de vitesse. Ce convoyeur est équipé d'un codeur inductif configuré en comptage rapide, trois distances sont calculées :

1. **Longueur de la palette** : essentielle pour un bon positionnement sur la table élévatrice, cette distance est mesurée tant que le capteur (PAL) est actif.
2. **Distance ajoutée (DA)** : représente la distance manquante pour atteindre la limite de positionnement de la palette, fixée à 1,40 m. Les convoyeurs C2 et C3 restent en marche jusqu'à ce que cette distance soit atteinte.
3. **Distance de sortie (DS)** : c'est une distance pour évacuer la palette vers le convoyeur suivant (C4). Le convoyeur C3 reprend sa marche pour une distance de sortie supplémentaire de 60 cm seulement si aucune palette n'est détectée sur le convoyeur

C4, et si la machine est en phase (c-à-d en position adéquate) indiqué par le capteur inductif (MPH), et si la soudeuse est en position reculée (Sd) avec le convoyeur C5 à l'arrêt.

Une fois la distance de sortie atteinte, le compteur (hsc1) est réinitialisé et la palette est transportée vers le convoyeur C4 (MC4), qui lui aussi est contrôlé par un variateur de vitesse. Ce dernier est équipé d'un codeur optique également configuré pour le comptage rapide, activant ainsi le compteur (hsc2), qui calcule la distance (D) de positionnement de la palette sur la table. La formule utilisée est : $D = 1,40 \text{ m} + \text{longueur de la palette} / 2$.

Lorsque la palette est correctement positionnée sur la table, le capteur inductif de position basse (TAB1) de la table est activé, et les convoyeurs C3 et C4 s'arrêtent. La table également munie d'un variateur de vitesse, commence alors à monter à une vitesse V1. En atteignant le capteur inductif (TAB2), la montée se poursuit à une vitesse V2 inférieure, marquant le début de l'opération de banderolage.

La machine, initialement en phase indiqué par (MPH), a le chariot en position basse (Cb). Le vérin de la soudeuse (Vs) est en position reculée (Sd), le capteur de présence de bobine de film (Pb) est actif, le compteur de tours est initialisé, et le bras rotatif équipé d'un variateur de vitesse tourne à une vitesse V1. Parallèlement, le moteur responsable de la rotation du rouleau tendeur munie d'un variateur de vitesse, pour le contrôle de la libération du film étirable est en marche. Après un tour complet, le vérin du ciseau (Vc) se rétracte pour libérer le film (Co), entraînant le mouvement du chariot vers le haut jusqu'à ce qu'il touche le capteur d'extrémité haute du chariot (Chaut), tout en s'assurant que le capteur Pb est actif. À cette position, le bras effectue deux tours. Après ces deux tours, le chariot contrôlé par un variateur de vitesse, s'arrête, le compteur de tours sera réinitialisé. Le chariot redescend jusqu'à la position basse (Cb) ou le bras rotatif continue à tourner jusqu'à ce qu'il ait effectué cinq tours supplémentaires pour assurer un bon maintien de la base de la palette. Une fois ces cinq tours terminés, le chariot s'arrête. À ce moment, le compteur de tours est réinitialisé et le ciseau est refermée (Cf). En cas d'épuisement du film, le chariot s'arrêtera toujours en position basse.

Après les cinq tours, lorsque le chariot est au repos à sa position basse, le bras rotatif continue de tourner à une vitesse V2 jusqu'à l'activation du capteur inductif de contrôle d'arrêt (CTRL Arrêt), ce qui réduit la vitesse de rotation du bras à V3 jusqu'à l'activation du capteur

(MPH), provoquant l'arrêt du bras rotatif et du rouleau tendeur. En cas d'épuisement du film, un tour supplémentaire est effectué pour vérifier s'il est épuisé ou simplement relâché.

Lorsque le bras, le chariot, et le tendeur sont à l'arrêt, la table redescend avec une vitesse $V1$ jusqu'à (TAB2), puis avec une vitesse inférieure $V2$ jusqu'à atteindre la position basse (TAB1). La soudeuse avance pour souder le film avec une résistance chauffante $R1$ pendant une seconde, puis après l'activation du capteur inductif (Sa), $R1$ s'arrête et la résistance $R2$ coupe le film pendant une seconde. Ensuite, la soudeuse recule jusqu'à atteindre le capteur (Sd).

Une fois l'opération de banderolage terminée et en l'absence de palette détectée par le capteur $CP5$ du convoyeur $C5$, la palette banderolée est évacuée vers le convoyeur $C5$ contrôlé par un variateur de vitesse, puis vers une série de trois convoyeurs synchronisés dans le temps, $C6$, $C7$, et $C8$, en respectant les signaux de chacun de leurs capteurs photoélectriques $CP6$, $CP7$, et $CP8$.

II.5. Elaboration du GRAFCET de la machine

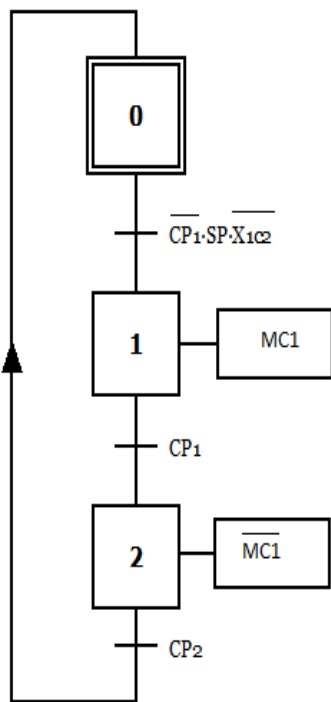


Figure. II.24: Grafcet du convoyeur 1 "C1"

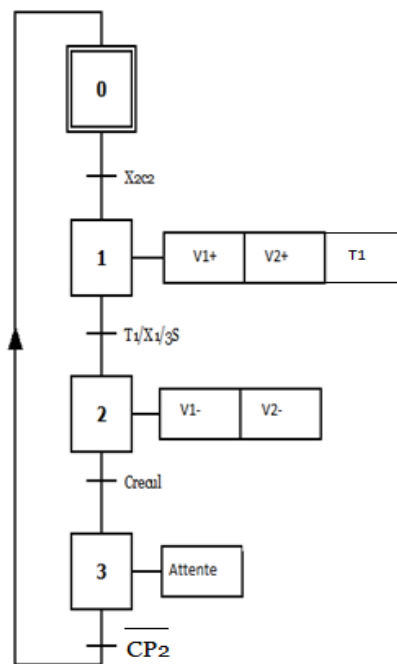


Figure. II.25: Grafcet centrage "centreur"

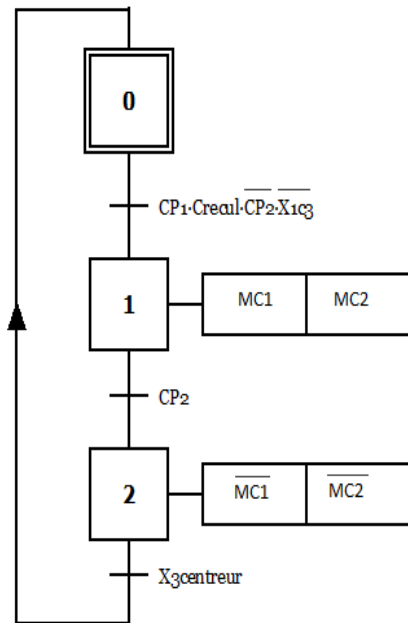


Figure. II.26 : Grafcet du convoyeur 2 "C2"

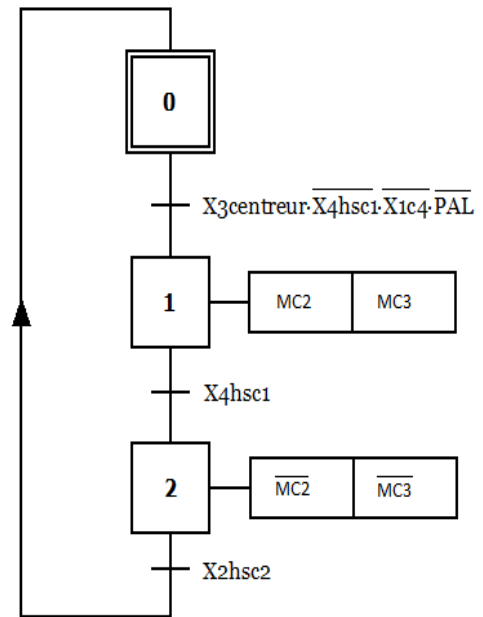


Figure. II.27 : Grafcet du convoyeur 3 "C3"

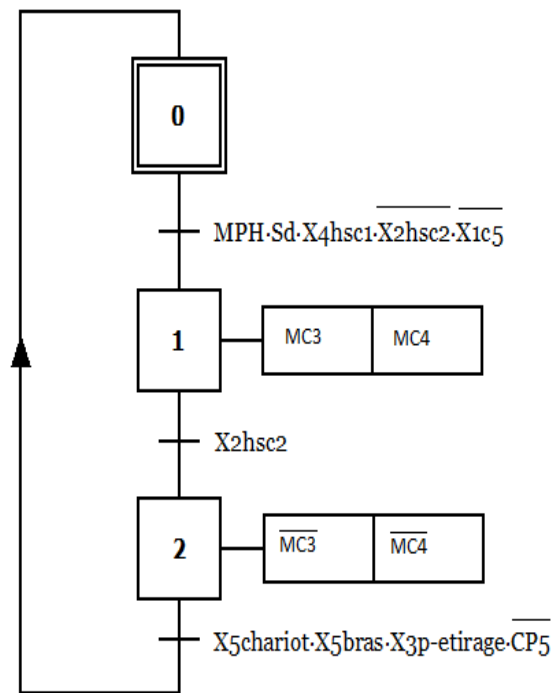


Figure. II. 28 : Grafcet du convoyeur 4 "C4"

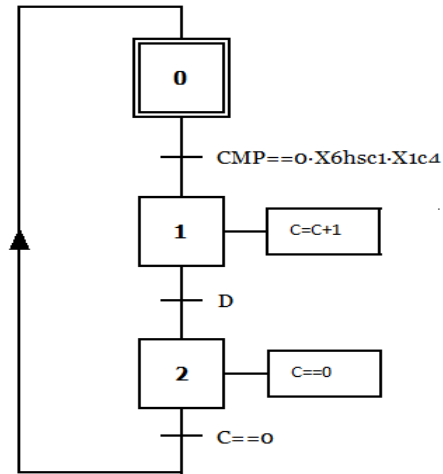


Figure.II.29 : Grafcet du compteur rapide 2 "hsc2"

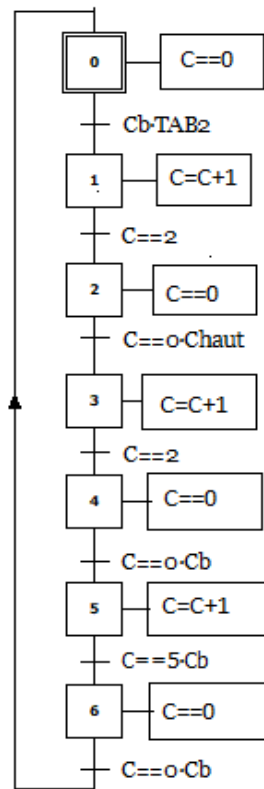


Figure.II.30 :Grafcet du compteur tours "TOURS"

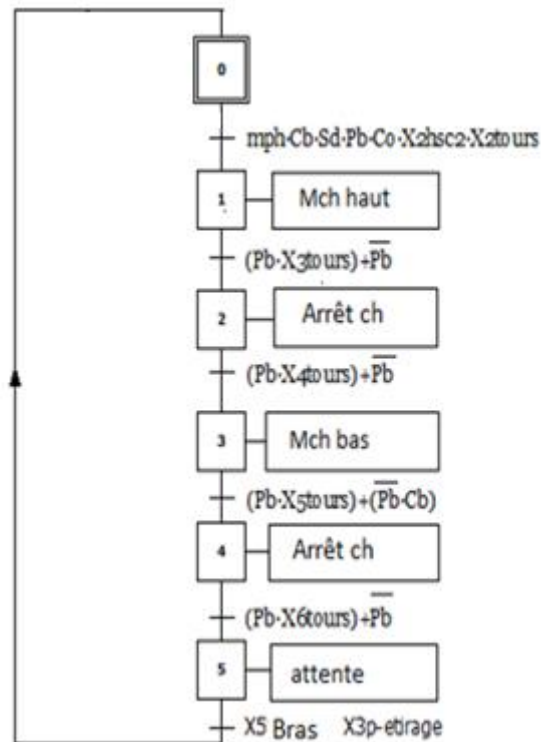


Figure.II.31 : Grafcet chariot "chariot"

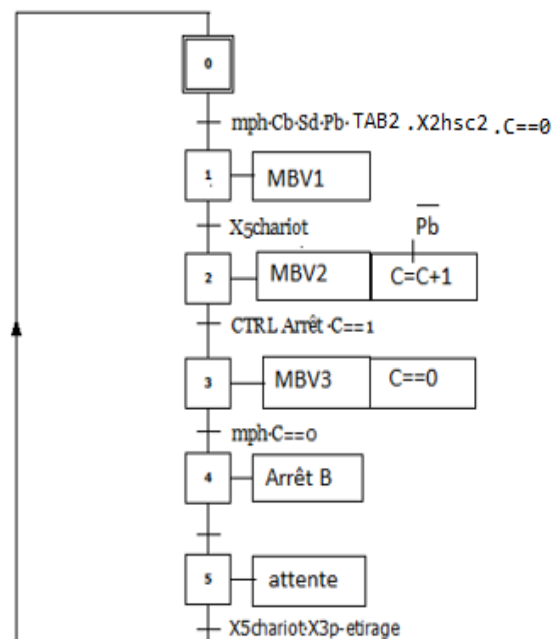


Figure.II.32 : Grafcet bras rotatif "BRAS"

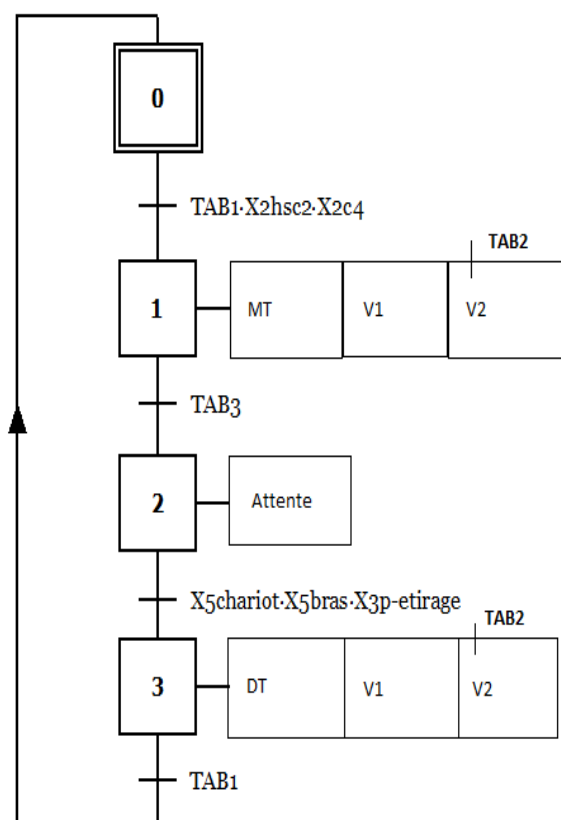
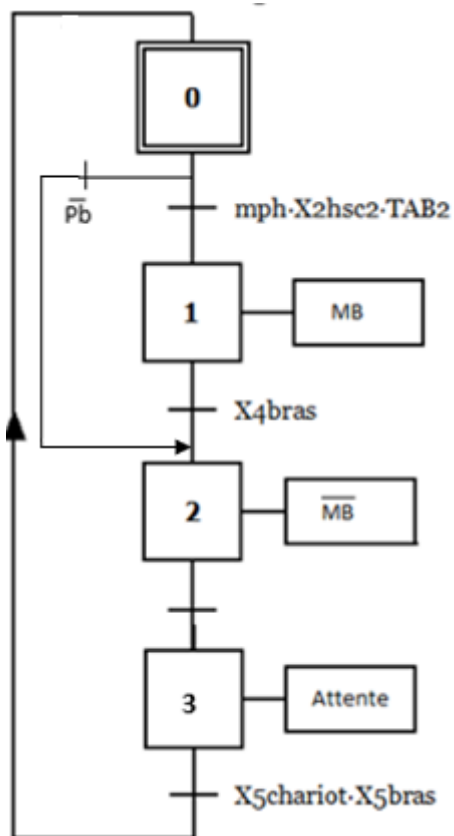


Figure. II.33: Grafcet du système de pré-étirage "p-étirage"

Figure. II.34: Grafcet de la table élévatrice

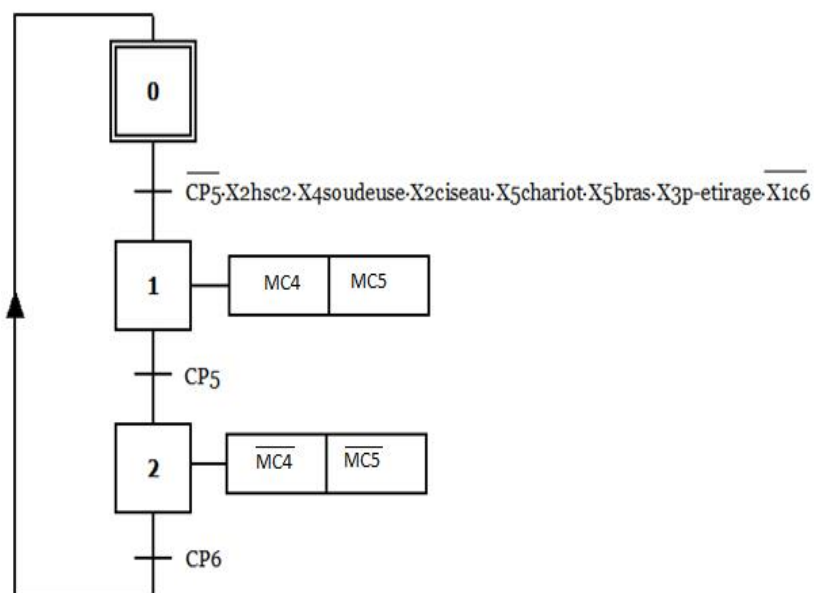


Figure.II.35 : Grafcet du convoyeur 5 "C5"

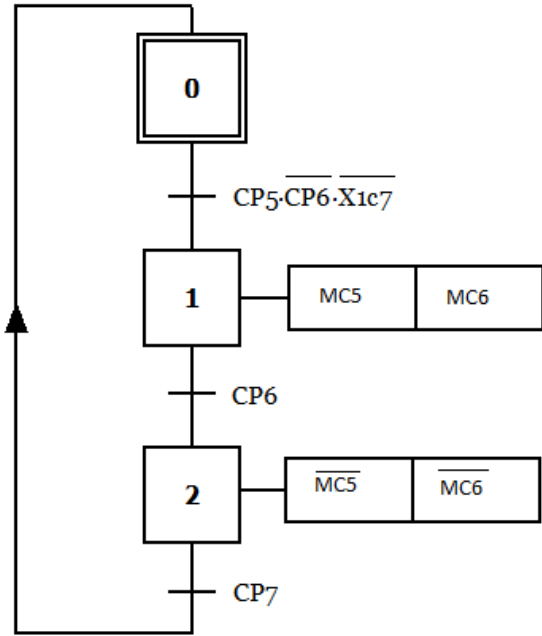


Figure. II.36: Grafcet du convoyeur 6 "C6"

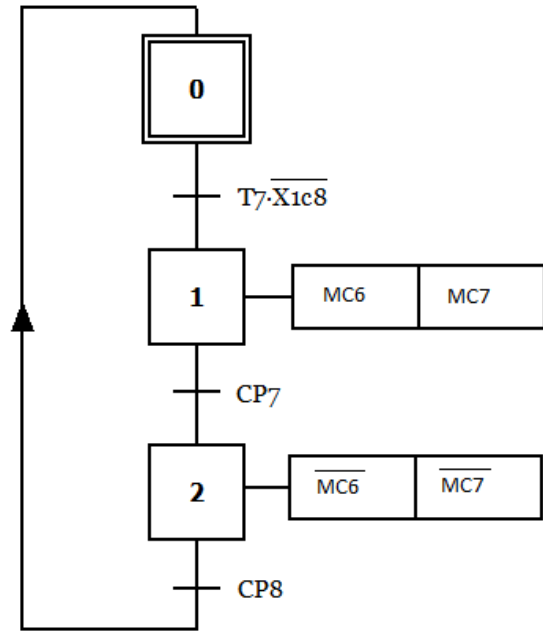


Figure. II.37 : Grafcet du convoyeur 7 "C7"

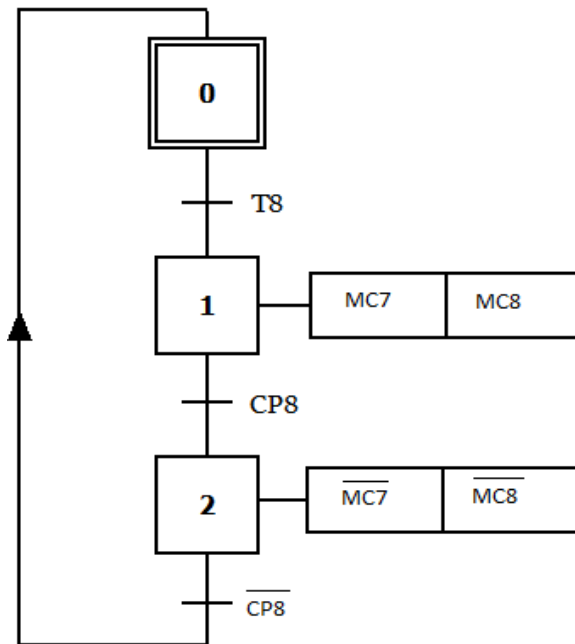


Figure.II.38 : Grafcet du convoyeur 8 "C8"

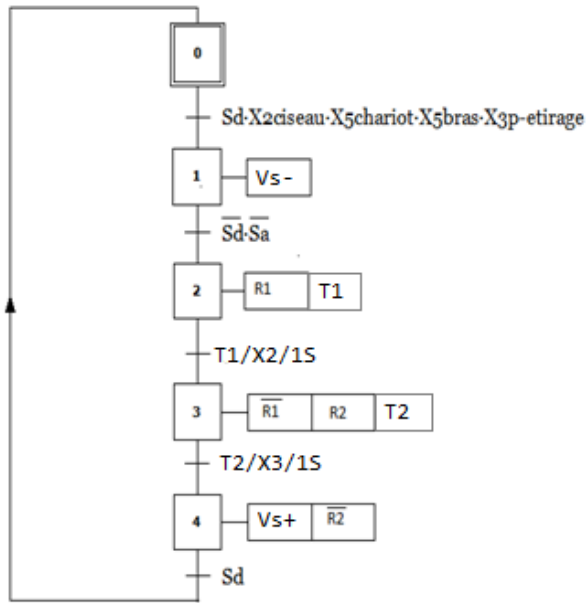


Figure. II.39: Grafcet de la soudeuse

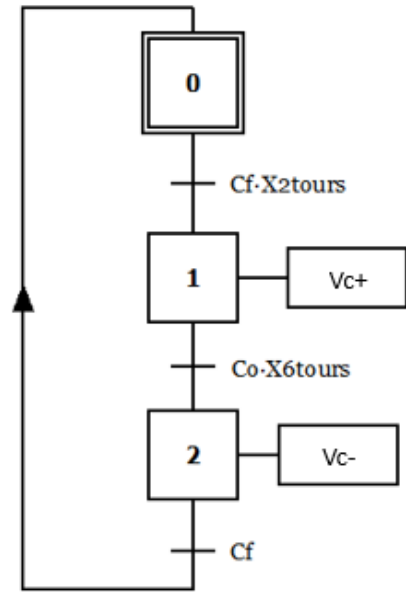


Figure. II.40: Grafcet ciseau

II.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons développé un modèle de fonctionnement de la machine étudiée en utilisant l'outil de modélisation GRAFCET. Nous avons pu constater l'efficacité de cet outil, dont la simplicité et les résultats obtenus facilitant l'implantation de la solution sur un automate programmable, comme nous le verrons dans les chapitres suivants.



Chapitre III

*AP9 S7 1200 et
Interface de programmation*

III.1. Introduction

La recherche scientifique a pour objectif de générer des avancées technologiques afin d'améliorer la vie humaine. Le désir de l'homme d'accomplir davantage et d'obtenir plus avec moins d'efforts et moindres coûts, l'a conduit à développer des systèmes autonomes répondant à ses besoins. Ainsi, les outils manuels ont progressivement été remplacés par des dispositifs électriques, mécaniques ou hydrauliques. Ce processus de remplacement du travail humain par des systèmes automatisés définit l'automatisation. Ce chapitre se concentre sur les Automates Programmables Industriels (APIs) et leur interface de programmation, qui forment un aspect important de l'automatisation moderne.

III.2. Automates Programmables Industriels (APIs) :

III.2.1. Définition et structure :

Un automate programmable industriel (API), appelé en anglais Programmable Logic Controller (PLC), est un dispositif électronique essentiel dans l'automatisation des processus industriels. Sa fonction principale est de contrôler des machines ou des processus de manière automatisée et répétitive, offrant ainsi une solution flexible et puissante pour l'industrie moderne. La structure de base d'un automate comprend :

- Une alimentation électrique
- Des modules d'entrées/sorties (E/S)
- Une unité centrale de traitement (CPU)
- Une mémoire pour stocker le programme et les données
- Une interface de communication

Son fonctionnement repose sur trois étapes clés : l'acquisition des données via les entrées, le traitement des informations selon un programme préétabli, et l'envoi de commandes via les sorties. La programmation s'effectue à l'aide de langages spécifiques, via des logiciels dédiés fournis par les fabricants [5].

Caractérisés par leur robustesse pour résister aux environnements industriels, leur fiabilité, leur temps de réponse rapide, et leur modularité, les automates programmables trouvent leur application dans divers domaines :

- Contrôle de machines.
- Gestion de lignes de production.
- Régulation de processus continus.
- Supervision d'installations.

III.2.2. Architecture d'un API

Un API comprend plusieurs composants essentiels :

III.2.2.1. Unité centrale de traitement (CPU)

L'unité centrale (CPU) constitue le cœur du système dans un automate programmable, assurant le traitement des données et la gestion des opérations. Elle est composée de quatre parties : un processeur, une mémoire, des interfaces d'entrées/sorties et d'une alimentation (240Vac, 24Vcc). Ces quatre parties sont reliées entre elles par des bus (ensemble de câbles autorisant le passage de l'information entre ces 4 secteurs de l'API).

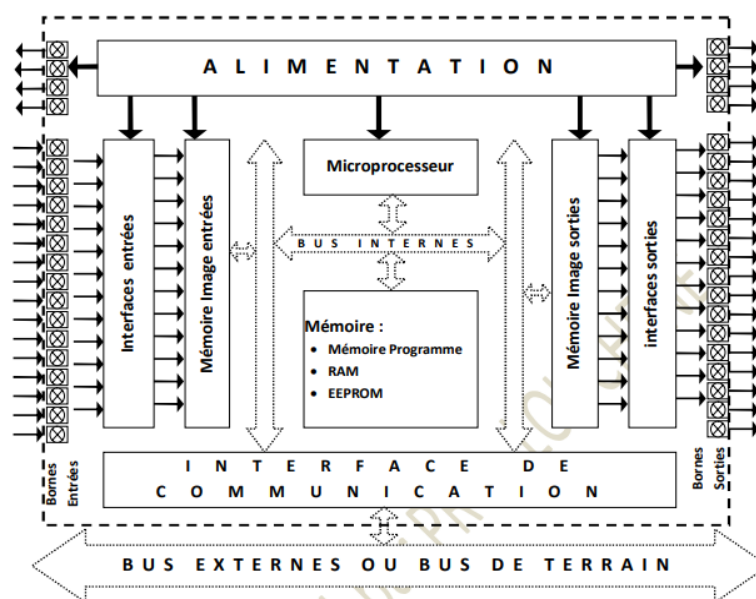


Figure III.1. Schéma synoptique d'une structure simplifiée de la CPU

➤ **Le processeur (microprocesseur) :**

Le microprocesseur définit l'élément principal d'une unité centrale. C'est à ce niveau que s'effectuent les traitements et les prises de décisions suivant l'interprétation et l'exécution d'un programme écrit par un utilisateur, d'une façon cyclique.

Le processeur est organisé autour d'un certain nombre de registres, ce sont des mémoires rapides permettant la manipulation des informations qu'elles retiennent, ou leur combinaison avec des informations extérieures [6].

Les principaux registres existants dans un processeur sont :

- **L'accumulateur** : C'est le registre où s'effectuent les opérations du jeu d'instruction, les résultats sont contenus dans ce registre spécial.
- **Le registre d'instruction** : Il reçoit l'instruction à exécuter et décode le code opération. Cette instruction est désignée par le pointeur.
- **Le registre d'adresse** : Ce registre reçoit, parallèlement au registre d'instruction, la partie opérande de l'instruction. Il désigne le chemin par lequel circulera l'information lorsque le registre d'instruction validera le sens et ordonnera le transfert.
- **Le registre d'état** : C'est un ensemble de positions binaires décrivant, à chaque instant, la situation dans laquelle se trouve précisément la machine.

III.2.2.2. Les mémoires

Pour garantir un fonctionnement efficace, la mémoire de la CPU S7 1200 et des automates en général est repartie en certaines zones mémoires :

- **Mémoire de chargement** : Il s'agit de la mémoire utilisée pour stocker les programmes téléchargés depuis l'ordinateur de programmation via le logiciel TIA Portal. Elle est généralement constituée de mémoire flash pour conserver les données en mémoire même après un redémarrage ou une coupure de courant.

Une extension de la mémoire de chargement avec une carte mémoire est possible.

- **Mémoire de travail** : Elle est utilisée pour stocker les variables et les données temporaires nécessaires à l'exécution du programme. Cela inclut les variables locales, les résultats intermédiaires des calculs, et les données manipulées pendant le traitement du programme.

Elle permet à l'API de traiter les instructions du programme en temps réel, offrant une zone rapide et accessible pour les opérations et le calcul des données, cependant son contenu est perdu lorsque l'alimentation du PLC est coupée ou en cas de redémarrage.

- **Mémoire système** : Elle contient les éléments de mémoire que chaque CPU met à la disposition du programme utilisateur comme, par exemple, mémoire image des entrées, mémoire image des sorties, mémentos, temporisation et compteurs. La mémoire système contient, en outre, la pile des blocs et la pile des interruptions. Elle fournit aussi la mémoire temporaire allouée au programme (pile des données locales), elle inclue :
 - ✓ **Mémoire image des entrées** : A chaque cycle d'exécution du PLC, le contrôleur lit les valeurs actuelles des entrées physiques à partir des modules d'entrée. Les valeurs lues des entrées physiques sont ensuite stockées dans la mémoire image des entrées. Cette mémoire est une représentation temporaire de l'état des entrées au début du cycle de traitement. Pendant l'exécution du programme utilisateur, le PLC utilise les valeurs stockées dans la mémoire image des entrées pour prendre des décisions logiques, exécuter des calculs, et déterminer les actions à entreprendre. Après l'exécution du programme, les résultats peuvent être écrits dans la mémoire image des sorties, qui sera ensuite transférée aux sorties physiques du PLC [8].
 - ✓ **Mémoire image des sorties** : A la fin de chaque cycle d'exécution, les valeurs stockées dans la mémoire image des sorties sont transférées aux sorties physiques du PLC. Cela signifie que les signaux envoyés aux dispositifs externes (comme des moteurs ou des voyants) sont mis à jour en fonction des résultats du programme. Pendant l'exécution du programme, les valeurs de la mémoire image des sorties sont utilisées pour déterminer quelles commandes doivent être envoyées aux dispositifs externes.
 - ✓ **La pile** : C'est une structure de mémoire volatile qui gère l'exécution des sous-programmes, des blocs de fonctions, et les interruptions en suivant le principe *Last In, First Out (LIFO)*. Lorsqu'un sous-programme est appelé ou une interruption survient, la pile empile les informations nécessaires pour sauvegarder l'état du programme principal, permettant ainsi de revenir à cet état après l'exécution ou le traitement [13].
- **Mémoire RAM non volatile** : Utilisée pour stocker de manière permanente le FireWire, les configurations de base, et les paramètres essentiels du système. Elle conserve ses données

même en l'absence d'alimentation, offrant une solution fiable et sécurisée pour les informations critiques.

- **Mémoire ROM :** Ce sont des mémoires mortes dont l'utilisateur ne peut que lire le contenu, dans le cas des automates programmables, elle contient le système d'exploitation qui gère la CPU.

III.2.3. Fonctionnement de l'automate programmable industriel

Tous les automates fonctionnent selon le même mode opératoire :

- **Traitement interne :** L'automate effectue des opérations de contrôle et met à jour certains paramètres systèmes (détection des passages en RUN / STOP, mises à jour des valeurs, ...).
- **Lecture des entrées :** L'automate lit les entrées (de façon synchrone) et les recopie dans la mémoire image des entrées.
- **Exécution du programme :** L'automate exécute le programme instruction par instruction et écrit les sorties dans la mémoire image des sorties.
- **Ecriture des sorties :** L'automate bascule les différentes sorties (de façon synchrone) aux positions définies dans la mémoire image des sorties.

Ces quatre opérations sont effectuées continuellement par l'automate (fonctionnement cyclique). Le temps d'exécution d'un cycle est contrôlé par une surveillance du temps. Si le temps de cycle dépasse ce temps, la CPU se mettra en défaut. Sur certains modèles d'automates, le temps de surveillance de cycle est réglable [12].

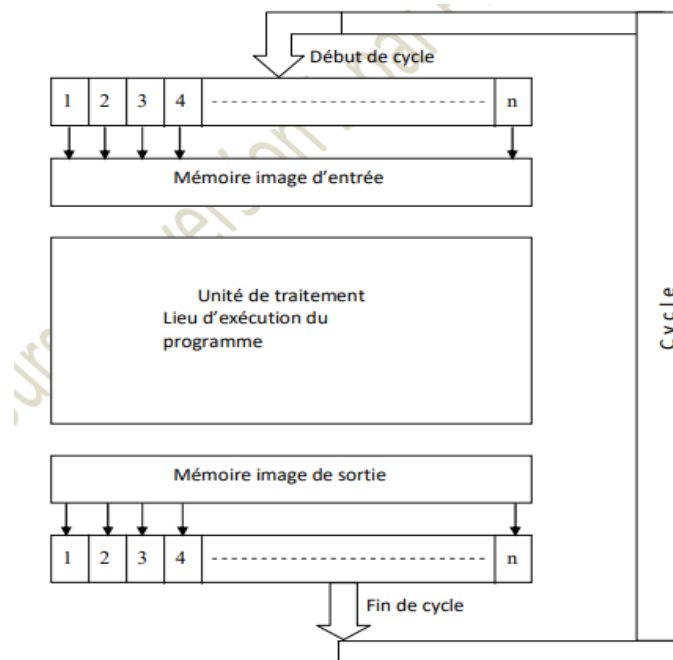


Figure III.2. Représentation des séquences d'opération pour les APIs

III.2.4. Critères de choix d'un API :

- **Capacité de traitement** : Vitesse du processeur, Taille de la mémoire, Temps de cycle.
- **Nombre et types d'entrées/sorties** : Entrées/sorties numériques et analogiques requises, Possibilité d'extension future.
- **Modularité et évolutivité** : Facilité d'ajout de modules supplémentaires, Compatibilité avec différents types de modules
- **Langages de programmation supportés** : Ladder, Grafcet, SCL, etc.
- **Connectivité et protocoles de communication** : Support des protocoles industriels (Profinet, Modbus, etc.)
- **Robustesse et fiabilité** : Résistance aux conditions environnementales (température, vibrations, etc.)
- **Fonctionnalités spécifiques** : Contrôle de mouvement, Régulation PID, Gestion de sécurité intégrée.
- **Support technique et disponibilité des pièces** : Qualité du service après-vente, Disponibilité à long terme des composants.

- **Coût total de possession** : Prix d'achat initial, Coûts de maintenance et de mise à niveau.
- **Certification et conformité aux normes** : Certifications industrielles spécifiques, Conformité aux normes de sécurité

En tenant compte des points mentionnés ci-dessus, et après une étude étendue de la machine on choisit l'automate S7-1200 qui est la nouvelle gamme de SIEMENS.

III.3. Présentation de l'automate S7-1200

L'API S7-1200 se distingue par sa CPU, qui représente le cœur du système. Conçue pour optimiser les performances, cette unité intègre plusieurs éléments essentiels qui font une solution puissante et polyvalente pour l'automatisation.

III.3.1. Unités de traitement :

Tout d'abord, la CPU est équipée d'un microprocesseur performant, garantissant un traitement rapide et efficace des données. Cette rapidité est cruciale pour gérer des applications complexes où la réactivité est essentielle. L'alimentation intégrée permet une installation simplifiée, évitant la nécessité d'une source d'alimentation externe, ce qui réduit l'encombrement et facilite l'intégration dans des environnements variés.

L'intégration d'un PROFINET dans la CPU favorise une communication optimisée avec d'autres équipements et systèmes, notamment avec les dispositifs de l'architecture PROFINET IO. Des modules supplémentaires sont disponibles pour communiquer via les réseaux PROFIBUS, GPRS, RS485 ou RS232.

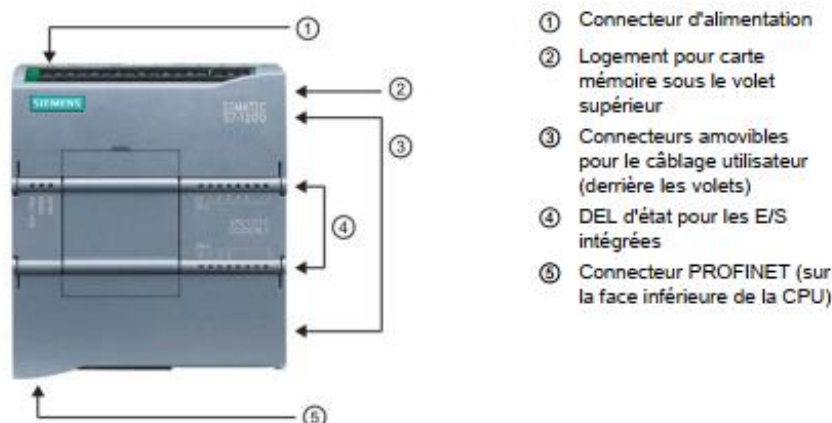


Figure III.3. CPU de l'automate S7-1200

Les CPU du système SIMATIC S7-1200 se déclinent en cinq classes de performances :

CPU1211C, CPU1212C et CPU1214C, CPU1215C et CPU 1217C, chacune d'elles pouvant être étendue en fonction des besoins de la station. Les CPUs de l'automate S7-1200 sont données dans le tableau suivant [8] :

	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU1214C	CPU1215C	CPU1217C
Mémoire de travail	50 ko	75 ko	100 ko	125 ko	150 ko
E/S TOR	6 entrées 4 sorties	8 entrées 6 sorties	14 entrées 10 sorties	14 entrées 10 sorties	14 entrées 10 sorties
E/S analogiques	2 entrées	2 entrées	2 entrées	2 entrées 2 sorties	2 entrées 2 sorties
Modules E/S extensible	Aucune	2 modules	8 modules	8 modules	8 modules
Module de communication (CM)	3 modules	3 modules	3 modules	3 modules	3 modules
Port de communication Ethernet PROFINET	1 porte	1 porte	1 porte	2 portes	2 portes

Tableau III.1. Différentes CPU

III.3.2. Caractéristiques de la CPU S7-1200 1214C DC DC RLY

Après une analyse approfondie de la machine à automatiser et en tenant compte des critères évoqués précédemment, ainsi que d'une comparaison des différentes CPU disponibles, nous avons choisi l'automate S7-1200 doté de la CPU 1214C DC/DC/RLY. Ce modèle répond largement à nos exigences en matière de performances et de fonctionnalités,

a) Module d'alimentation intégré : La CPU 1214C intègre une alimentation qui fonctionne avec une entrée 24V DC. Une LED verte indique le bon fonctionnement de l'alimentation. En cas de surcharge ou de problème, un diagnostic est disponible via les LEDs de statut du CPU.

b) Unité centrale (CPU) : Le CPU 1214C est une version à performances moyennes de la gamme S7-1200. Il offre :

- Une mémoire de travail de 100 Ko
- Des fonctions technologiques intégrées (compteurs rapides, sorties PWM)
- Une interface PROFINET intégrée pour la communication et la programmation

c) Extension modulaire :

- Jusqu'à 8 modules de signaux (SM) connectés directement au CPU
- Jusqu'à 3 modules de communication (CM) pour des interfaces supplémentaires

d) Fonctions intégrées :

- 6 compteurs rapides
- Fonctions de positionnement
- 3 sorties d'impulsions pour le contrôle de moteurs pas à pas ou servomoteurs

e) Module de communication (CM) : Des CM optionnels peuvent être ajoutés pour des interfaces supplémentaires comme RS232 ou RS485.

f) Modules de signaux (SM) : Le CPU 1214C dispose de signaux intégrés :

- 14 entrées TOR
- 10 sorties TOR (relais)
- 2 entrées analogiques des SM supplémentaires peuvent être ajoutées pour étendre les E/S.

III. 3.3. Entrées/Sorties

Les circuits d'entrée et de sortie (E/S) sont conçus pour assurer une interaction fluide avec les différents capteurs et actionneurs d'un système automatisé. Ces E/S permettent de collecter des données en temps réel et de contrôler des dispositifs tels que des moteurs, des vannes et d'autres équipements, assurant ainsi un fonctionnement harmonieux de l'ensemble du système.

De plus, la présence d'E/S rapides est un atout majeur pour les applications nécessitant un contrôle de mouvement précis. Ces E/S permettent de réaliser des opérations en temps réel, ce qui est essentiel dans des environnements industriels dynamiques.

Les entrées analogiques intégrées offrent également une flexibilité supplémentaire, permettant de traiter des signaux analogiques pour des applications comme le contrôle de la température ou de la vitesse. Cette capacité à traiter différents types de signaux élargit considérablement les possibilités d'utilisation de l'automate [8].

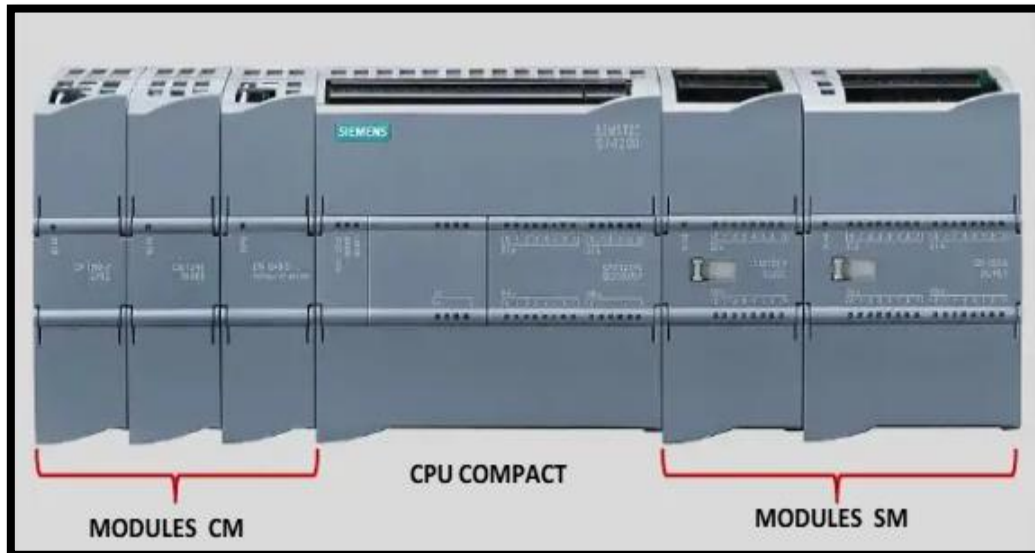


Figure III.4. L'automate programmable S7-1200 et ces modules

III.4. Logiciel de programmation :

Après avoir sélectionné la CPU appropriée, il est essentiel de se pencher sur l'outil de programmation qui permettra de tirer pleinement parti de ses capacités. Le logiciel de programmation intégré pour l'automatisation industrielle, TIA Portal, est idéal pour la configuration et la gestion des automates SIEMENS.

III.4.1. Présentation du logiciel de programmation TIA PORTAL V15.1

TIA Portal « Totally Integrated Automation » est une plateforme d'ingénierie intégrée pour l'automatisation industrielle, offrant un environnement de développement unifié pour les systèmes Siemens. Il permet la programmation des automates S7-1200, S7-1500, et S7-300/400 via les langages normalisés IEC 61131-3 (LAD, FBD, SCL, STL, et GRAPH). L'environnement intègre la configuration des réseaux PROFINET et PROFIBUS, ainsi que la conception d'interfaces IHM et SCADA WinCC [11].

Lorsqu'on lance TIA Portal, l'environnement de travail se décompose en deux types de vues :

III.4.2. Types de vues

➤ Vue du portail :

Interface d'accueil orientée tâches, organisée en tuiles thématiques pour un accès rapide aux fonctions principales. Idéale pour les débutants et les tâches spécifiques.

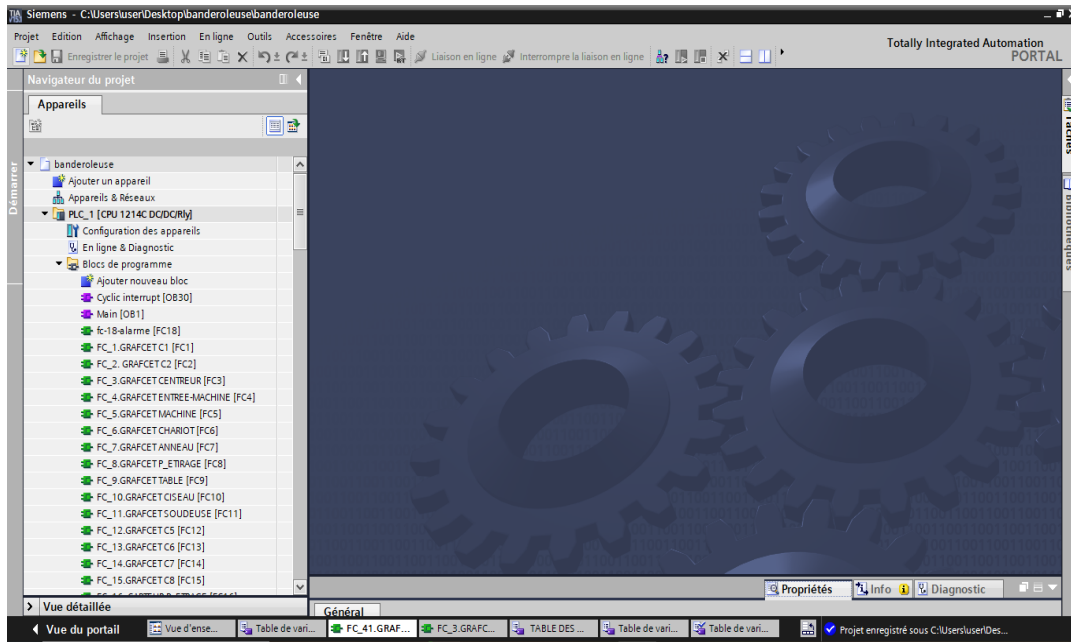


Figure III.5. *Vue du portail*

➤ Vue du projet :

Environnement de travail détaillé offrant une vue d'ensemble du projet, avec un accès à tous les composants, éditeurs et outils. Permet une gestion fine du projet et convient aux utilisateurs expérimentés pour des tâches complexes.

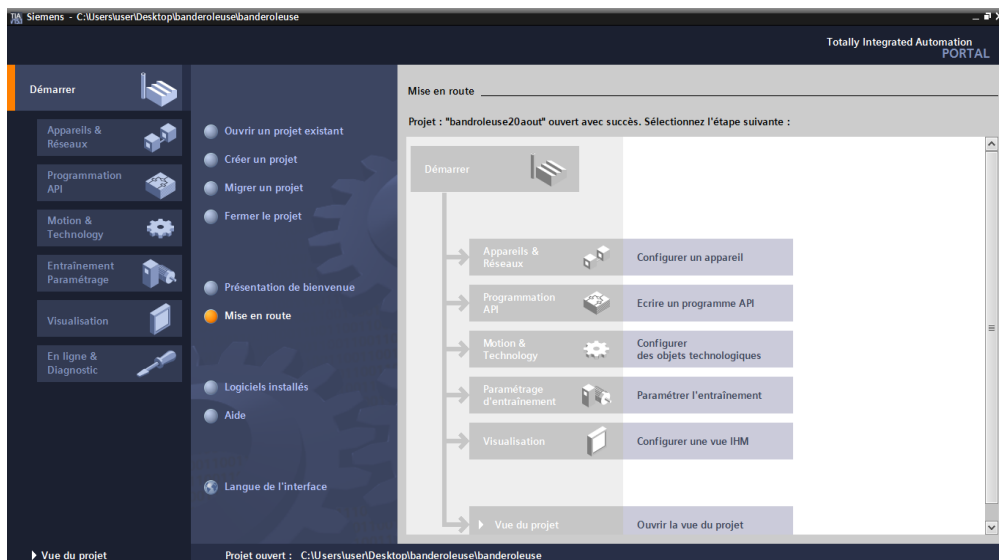


Figure III.6. Vue projet

III.4.3. Approche de programmation

Dans le domaine de l'automatisation, deux approches principales de programmation se distinguent :

➤ Programmation linéaire :

C'est une technique de programmation où l'entièreté du code utilisateur est écrit à l'intérieur d'un OB cyclique et est exécuté séquentiellement, ligne après ligne, d'où le terme "linéaire" en raison de son ordre d'exécution.

Cette approche est idéale pour des systèmes de contrôle simples, où la logique est relativement directe, et les opérations ne nécessitent pas de gestion complexe des états ou des transitions.

➤ Programmation structure :

C'est la technique de programmation que l'on a utilisée pour assurer une clarté, une maintenance et une réutilisabilité optimales dans notre projet. Celle-ci se base sur la répartition des tâches complexes d'un système automatisé en unités plus simples et indépendantes appelées blocs fonctionnels. Chaque bloc gère une fonction spécifique du processus d'automatisation. Ces blocs sont ensuite intégrés dans un Organisateur de Bloc (OB), où ils sont exécutés de manière cyclique, permettant une gestion et un contrôle continus et efficaces du système.

Cette technique offre plusieurs avantages dont :

- **Clarté et lisibilité améliorées** : Le programme est organisé en blocs fonctionnels distincts, facilitant la compréhension du code.
- **Maintenance simplifiée** : Les blocs indépendants permettent d'isoler et de corriger les erreurs plus facilement, sans affecter le reste du système.
- **Testabilité optimisée** : Chaque bloc peut être testé individuellement, assurant une validation plus précise et rapide des fonctionnalités.
- **Réutilisabilité accrue** : Les blocs fonctionnels peuvent être réutilisés dans différents projets, évitant la duplication de code.

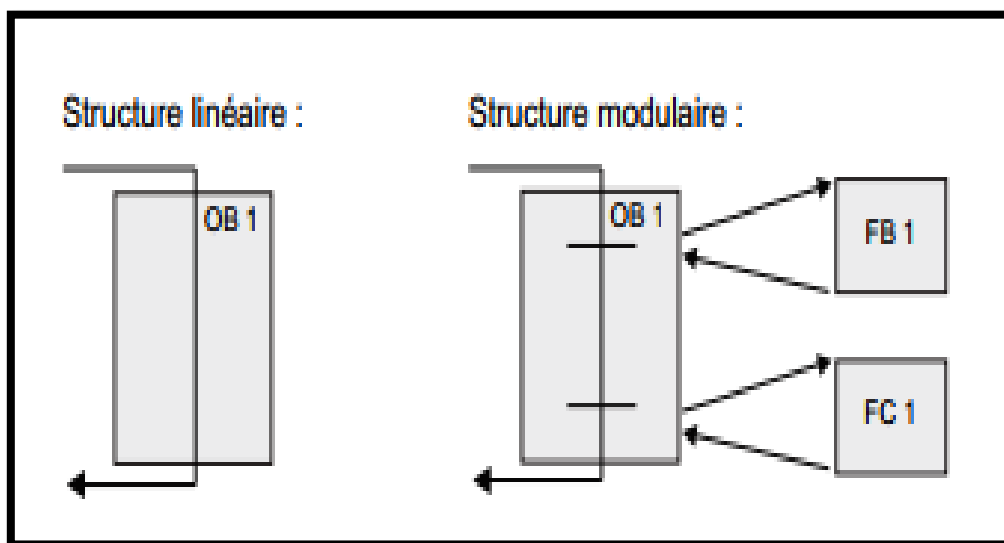


Figure III.7. Structures du programme

Pour une meilleure compréhension, le programme est organisé autour de différents blocs, notamment les blocs d'organisation (OB), les blocs fonctionnels (FB), les blocs de code (FC) et les bases de données (DB), qui structurent l'exécution et la gestion des tâches de manière cohérente et efficace.

III.4.4. Descriptions des différents blocs du programme :[11]

➤ Bloc d'organisation (OB) :

Il permet de structurer et de gérer le programme utilisateur de l'automate programmable, celui-ci agit comme une interface entre le système d'exploitation de l'automate et le programme utilisateur, en orchestrant le déroulement général de l'exécution.

Le bloc OB est reparti en différents types ayant des fonctions et des tâches bien définies. On présente quelques-uns :

- Le bloc OB1 est le bloc principal d'exécution cyclique, servant de point d'entrée et de sortie du programme.
- Les blocs OB35 à OB38 gèrent quant à eux les interruptions temporelles, tandis
- Les blocs OB40 à OB47 s'occupent des interruptions d'entrées/sorties,
- Les blocs OB80 à OB87 qui gèrent les alarmes système.
- Le bloc OB80, dédié à la gestion des erreurs.

➤ **Fonctions FC :**

Ce bloc encapsule un ensemble d'instructions pour réaliser une tâche spécifique, Il se compose de variables d'entrée servant à transmettre les données à traiter au bloc, tandis que les variables de sortie renvoient les résultats du traitement. Il existe aussi des variables d'entrée/sortie qui peuvent à la fois recevoir et émettre des informations. Le bloc peut également contenir des variables constantes, dont la valeur ne peut pas être modifiée pendant l'exécution. En complément, le bloc FC dispose de variables temporaires utilisées pour les calculs intermédiaires, dont la valeur n'est pas conservée d'un appel à l'autre. Enfin, Cette structure modulaire avec ces différents types de variables permet une grande flexibilité d'utilisation du bloc FC, qui peut être appelé à différents endroits du programme avec des jeux de données variés, favorisant ainsi une programmation organisée et réutilisable des automates.

- **Remarque :** Un FC ne comporte pas de bloc de données (DB) d'instance associé. La FC se sert de la pile des données locales pour les données temporaires utilisées pour effectuer l'opération. Les données temporaires ne sont pas sauvegardées. Pour stocker les données de manière permanente, nous devons affecter la valeur de sortie à une adresse de mémoire globale, un memento M ou un DB global par exemple.

➤ **Bloc fonction FB :**

Ce bloc aussi rassemble un ensemble d'instructions pour réaliser une tâche spécifique mais contrairement au FC, le bloc FB dispose de son propre bloc de données (DB) d'instance associé, qui lui permet de conserver ses propres variables internes. Ces variables internes persistent entre les différents appels du bloc FB, ce qui lui confère une grande flexibilité

d'utilisation. On retrouve ainsi dans le FB, des variables d'entrée pour recevoir les données à traiter, des variables de sortie pour renvoyer les résultats, ainsi que des variables internes dite 'STATIC' utilisées pour les calculs intermédiaires et le maintien de l'état d'exécution. Grâce à ces variables internes stockées dans le DB, le FB peut effectuer des opérations complexes nécessitant le stockage de données temporaires, comme des compteurs ou des temporisateurs. Cette structure modulaire avec son espace de stockage dédié confère aux blocs FB une meilleure maintenabilité et réutilisabilité dans le programme de l'automate.

➤ Bloc de données DB :

Il sert de structure de stockage des variables, permettant de conserver des données de manière persistante entre les cycles d'exécution du programme. Le DB joue ainsi un rôle essentiel dans la mémorisation des états et des paramètres nécessaires au bon fonctionnement de l'application. On distingue deux types principaux de blocs de données :

- **DB global** : contient les données des blocs de code du programme. Tous les OB, FB et FC peuvent accéder aux données dans un DB global.
- **DB d'instance** : contient les données d'un FB spécifique. La structure des données dans un DB d'instance reflète les paramètres (Input, Output et InOut) et les données statiques du FB. La mémoire Temp pour le FB n'est pas stockée dans le DB d'instance.

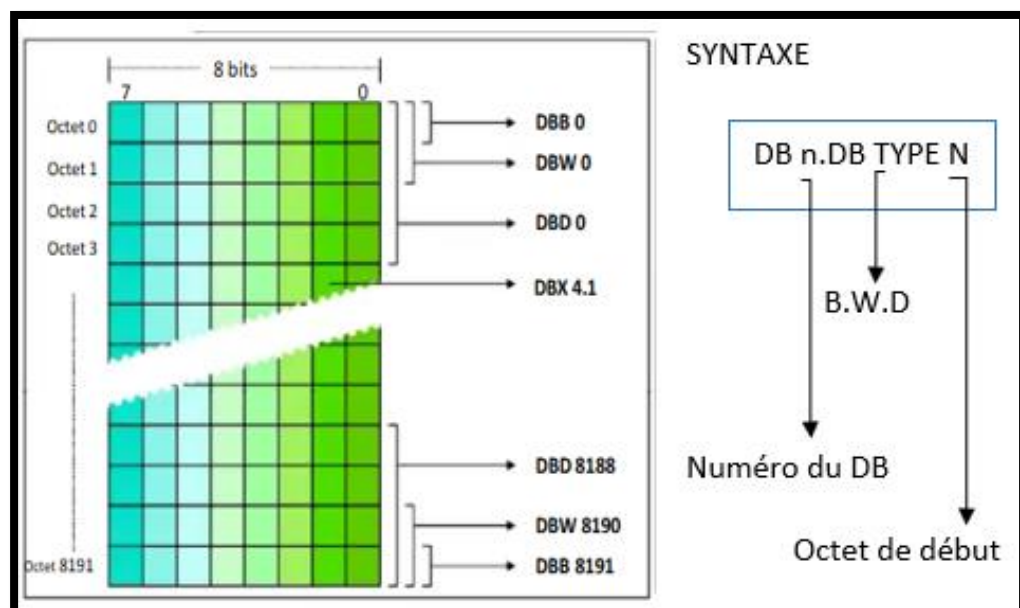


Figure III.8. Syntaxe des données du DB

Pour mieux comprendre le développement d'applications en automatisation, il est essentiel d'explorer les langages de programmation utilisés, chacun offrant des caractéristiques et des fonctionnalités spécifiques qui répondent aux besoins variés des systèmes automatisés

III.4.5. Langages de programmation sous TIA PORTAL

TIA PORTAL fournit les trois langages de programmation standard suivants pour le S7-1200 :

➤ CONTACT (schéma à contacts) :

Le langage contact, ou diagramme en échelle, est un langage graphique de programmation utilisé pour les automates programmables industriels (API). Inspiré des schémas électriques à relais, il est structuré en deux rails verticaux représentant respectivement l'alimentation positive et la masse, avec des échelons horizontaux illustrant la logique de contrôle.

Les éléments de base incluent des contacts (normalement ouverts ou fermés), des bobines (sorties), et des blocs fonctionnels comme les timers et compteurs. La logique suit un flux de gauche à droite et de haut en bas, où les contacts en série symbolisent des opérations AND et ceux en parallèle des opérations OR.

Bien que ce langage soit limité pour des opérations complexes, sa force réside dans sa simplicité et son efficacité pour les tâches de contrôle séquentiel.

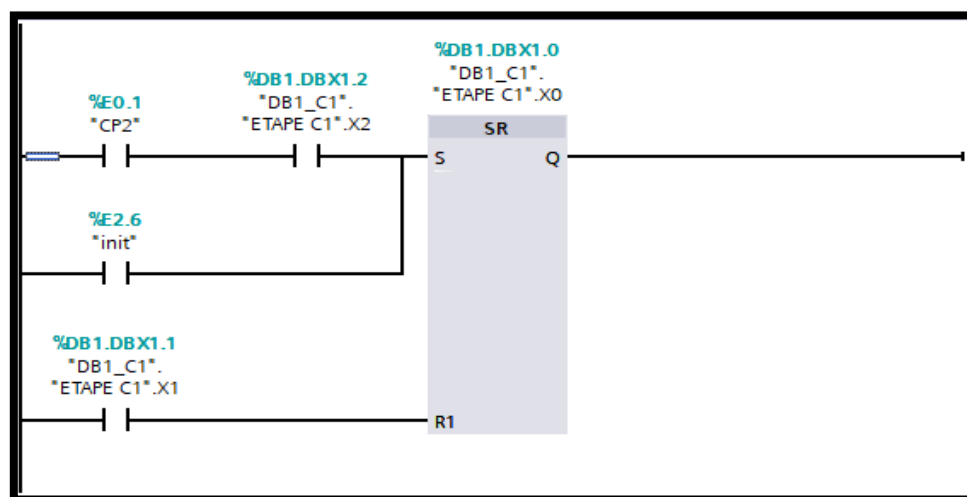


Figure III.9. Programmation de l'étape initial du grafcet 'C1' en langage contact

➤ **Le langage LOG (Logigramme) :**

C'est un langage de programmation graphique basé sur l'algèbre booléenne, utilisant des symboles logiques pour représenter les opérations. Les fonctions sont illustrées par des boîtes interconnectées, intégrant des portes logiques de base (AND, OR, NOT) et des fonctions mathématiques complexes. La logique est élaborée grâce à des branches parallèles, facilitant la création d'opérations sophistiquées. Cette approche visuelle, bien que similaire au langage CONT (Ladder), est mieux adaptée aux opérations logiques complexes et offre une représentation claire du flux de contrôle. LOG est particulièrement prisé par les ingénieurs maîtrisant les circuits logiques, alliant clarté visuelle et flexibilité pour la programmation d'automates.



Figure III.10. Programme en logigramme

➤ **SCL (Structure Control Language) :**

C'est le langage que l'on a utilisé dans notre programme, c'est un langage textuel basé sur le langage Pascal et conforme à la norme IEC 61131-3. Il combine des éléments de programmation structurée avec des fonctionnalités spécifiques aux APIs.

Le SCL est particulièrement efficace pour implémenter des algorithmes complexes, effectuer des calculs, et gérer des opérations sur des données. Il offre une grande flexibilité et puissance, permettant une programmation plus concise que les langages graphiques pour certaines tâches [8].

✓ **Avantages du langage SCL**

- Simplifie la gestion des structures de données complexes et les opérations mathématiques avancées
- Facilite la réutilisation du code

- Développement rapide pour certaines tâches
- Flexible et adaptable
- Lisible pour les logiques complexes
- Performances optimisées pour certaines applications

```
REGION _GRAFCEC1_
  IF (BYTE_TO_USINT(PEEK_BYTE(area := 16#84, dbNumber := 1, byteOffset := 0)) = 0)
  OR ((PEEK_WORD(area := 16#84, dbNumber := 1, byteOffset := 1)) = 0) OR "init" THEN
    POKE(area := 16#84,
          dbNumber := 1,
          byteOffset := 1,
          value := W#16#0100);
  END_IF;
CASE "DB1_C1"."ETAPE C1"."SEQUENCE ETAPE" OF
  0:
    IF NOT "CP1" AND "SP" AND NOT "DB2_C2"."ETAPE C2".X1 THEN
      "DB1_C1"."ETAPE C1"."SEQUENCE ETAPE" := 1;
      "DB1_C1"."ETAPE C1".X1 := 1;
      "DB1_C1"."ETAPE C1".X0 := 0;
    END_IF;
```

Figure III.11. Programmation de l'étape initial du grafcet 'C1' en langage SCL

✓ Explications de certaines instructions de contrôle

Le langage SCL utilise des instructions textuelles pour définir la logique de contrôle, incluant des structures conditionnelles (IF-THEN-ELSE), des boucles (FOR, WHILE), et des fonctions mathématiques avancées.

○ Instruction IF-THEN

Une instruction IF-THEN est une instruction conditionnelle qui contrôle le déroulement du programme en exécutant un groupe d'instructions en fonction de l'évaluation de la valeur Bool d'une expression logique

▪ Remarque :

- La première séquence d'instructions dont l'expression logique est vraie (TRUE) est exécutée. Les séquences d'instructions restantes ne sont pas exécutées.
- Si aucune expression booléenne n'est vraie, c'est la séquence d'instructions introduite par ELSE qui est exécutée.

- Le nombre d'instructions ELSIF possibles est illimité.

○ **Instruction CASE**

Une instruction CASE exécute un groupe d'instructions parmi plusieurs groupes en fonction de la valeur d'une expression.

▪ **Remarque :**

- L'expression de la valeur à exécutée doit renvoyer une valeur de type Int.
- Lors de l'exécution d'une instruction CASE, le programme vérifie si la valeur de l'expression valeur à exécutée figure dans la liste de valeurs spécifiée. Si tel est le cas, la section d'instructions affectée à la liste est exécutée.
- Si la valeur de l'expression de sélection est introuvable, c'est la section d'instructions suivant ELSE qui est exécutée ou aucune instruction s'il n'y a pas de branche ELSE.

○ **Instruction FOR**

Une instruction FOR sert à répéter une séquence d'instructions aussi longtemps qu'une variable de contrôle se trouve dans la plage de valeurs spécifiée.

La définition d'une boucle avec FOR comporte aussi l'indication d'une valeur initiale et d'une valeur finale. Ces deux valeurs doivent avoir le même type que la variable de contrôle. On peut imbriquer des boucles FOR. L'instruction END_FOR se réfère à la dernière instruction FOR exécutée

▪ **Remarque**

- La variable de contrôle doit être exclusivement du type de données Int ou DInt.
- Il est possible d'omettre l'instruction d'incrément, si aucun incrément est indiqué, la valeur +1 est prise par défaut

III.4.6. Blocs technologiques sous TIA PORTAL

✓ **Compteurs rapides**

Une application typique du compteur rapide est son utilisation pour surveiller la réponse d'un codeur angulaire incrémental. Le codeur angulaire fournit un nombre défini de valeurs de

comptage par tour que nous pouvons utiliser comme entrée de générateur d'horloge pour le compteur rapide. Sa fonction est de compter des impulsions apparaissant à une fréquence supérieure au cycle de l'automate programmable.

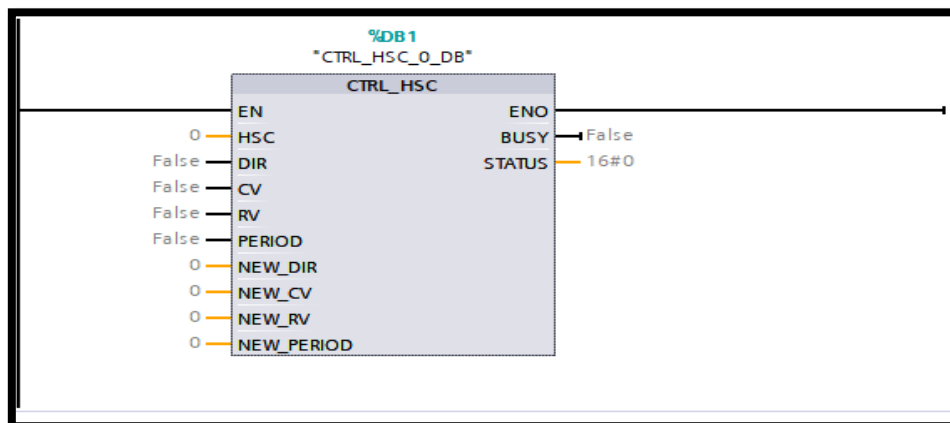


Figure III.12. Bloc compteur rapide

Paramètre	Type de données	Description
HSC	HW_HSC	Identificateur de compteur rapide
DIR	Bool	1 = Demande de nouveau sens de comptage
CV	Bool	1 = Demande de paramétrage d'une nouvelle valeur de compteur et initialisation
RV	Bool	1= Demande de paramétrage d'une nouvelle valeur de référence
PERIOD	Bool	1 = Demande de paramétrage d'une nouvelle valeur de période (uniquement pour le mode de mesure de fréquence)
NEW_DIR	Int	Nouveau sens de comptage : 1= incrémentation, -1= décrémentation
NEW_CV	DInt	Nouvelle valeur de compteur
NEW_RV	DInt	Nouvelle valeur de référence
NEW_PERIOD	Int	Nouvelle valeur de période en millisecondes (uniquement pour le mode de mesure de fréquence).

Tableau III.2. Paramètres compteur rapide

III.5. Appareils et liaison via réseaux :

III.5.1. Communication entre le palettiseur et la banderoleuse

Dans le système automatisé étudié, le palettiseur est positionné en amont des convoyeurs d'entrée de la banderoleuse. Celui-ci est responsable de l'évacuation des palettes prêtes à être transportées pour les opérations de bande rôlage ultérieures. Un capteur photoélectrique situé sur le convoyeur de sortie du palettiseur indique la présence ou l'absence de la palette. Les informations relatives à l'état de cette palette doivent être transmises à la CPU de la banderoleuse

Pour assurer une coordination efficace entre ces deux équipements, nous avons mis en place une solution de communication basée sur le protocole Profibus. Pour se faire, nous avons déployé une configuration comprenant un module de communication Profibus maître-maître et un coupleur DP-DP. Cette architecture permet une intégration fluide et une transmission fiable des données critiques entre le palettiseur et la banderoleuse, garantissant ainsi une synchronisation précise des processus de palettisation et de bande rôlage.

➤ **Coupleur DP/DP :**

Un coupleur DP/DP est un dispositif de communication qui permet de connecter deux réseaux Profibus DP entre eux pour permettre des échanges de données entre les maîtres des deux réseaux tout en maintenant leur séparation électrique et logique. Il fonctionne comme un pont bidirectionnel, apparaissant comme un esclave sur chacun des deux segments qu'il relie. Il assure une flexibilité accrue dans la conception des réseaux industriels en facilitant l'intégration de systèmes complexes sans compromettre l'intégrité ou la performance de chaque segment.

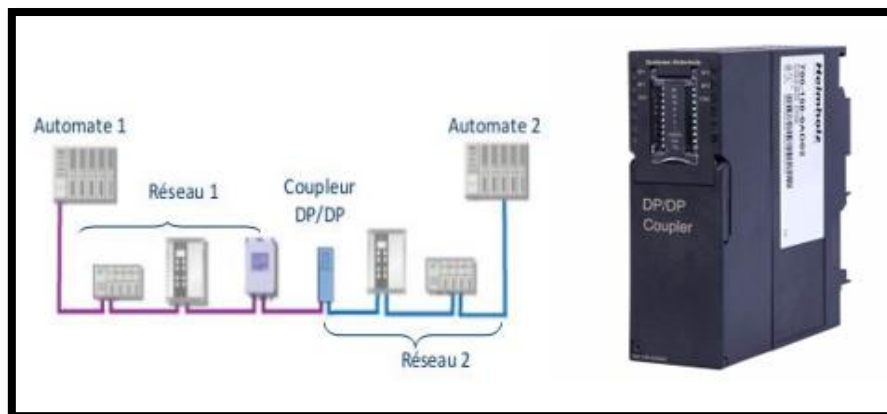


Figure III.13. Coupleur DP/DP

- **Profibus (Process Field Bus)** est un standard ouvert de communication industrielle largement utilisé dans l'automatisation. Normalisé selon les standards EN 50170 et IEC 61158, il est conçu pour interconnecter divers équipements et systèmes dans des installations industrielles il permet une communication efficace et rapide entre les dispositifs de terrain (capteurs, actionneurs) et les systèmes de contrôle centralisé [16].



Figure III.14. Module de communication Profibus.

➤ **Architecture du Réseau Profibus**

- **Maître et Esclave :** L'architecture classique de Profibus utilise un modèle maître-esclave. Dans ce modèle, le maître initie les communications et gère le bus, tandis que les esclaves répondent aux requêtes du maître.
- **Maître-Maître :** Dans certaines configurations, notamment avec des modules Profibus maître-maître, plusieurs maîtres peuvent coexister sur le même réseau. Dans cette architecture, chaque maître peut prendre l'initiative de communiquer avec les esclaves et d'autres maîtres. Cette configuration est souvent utilisée pour permettre une communication parallèle ou pour diviser un réseau en segments plus petits tout en conservant une interconnexion efficace entre les maîtres.
- **Topologie :** Le réseau Profibus peut être configuré en topologie linéaire, en étoile ou en arbre. La topologie linéaire est la plus courante, où les dispositifs sont connectés en série à un câble principal. Les topologies en étoile ou en arbre peuvent être utilisées pour faciliter la gestion des connexions et améliorer la fiabilité du réseau.

III.5.2. Commande du variateur SINAMIC G120 via communication réseau PROFINET

C'est la méthode que nous avons utilisée pour contrôler les variateurs, celle-ci est basée sur une communication entre la CPU S7-1200 et l'unité de commande du variateur

SINAMIC G120 via un réseau Ethernet industriel (PROFINET). Cela permet d'envoyer et de recevoir des données en temps réel sans câblage direct des signaux de commande [15].

➤ Le réseau local industriel PROFINET

PROFINET (Process Field Network) est le standard ouvert d'Industrial Ethernet développé par PROFIBUS international pour l'automatisation industrielle avancée. Il offre une connectivité omniprésente, permettant l'intégration des appareils depuis le niveau terrain jusqu'au niveau de gestion, Il utilise un matériel et des logiciels Ethernet traditionnels pour définir un réseau qui structure la tâche d'échanger des données des alarmes et des diagnostics avec des contrôleurs programmables et d'autres contrôleurs d'automatisation.



Figure III.15. Exemples de connecteurs PROFINET

➤ Définition Ethernet

Ethernet est la technologie de réseau local la plus largement installée. C'est un protocole de couche liaison dans la pile TCP / IP, décrivant comment les périphériques en réseau peuvent formater les données pour la transmission à d'autres périphériques réseau sur le même segment réseau et comment mettre ces données sur la connexion réseau d'erreurs pour détecter les problèmes de transmission.

✓ Gestion des données cycliques entre la CPU S7-1200 et variateurs SINAMIC G120 via PROFINET

La commande du SINAMIC G120 s'effectue sur le canal cyclique de PROFINET. De plus il est possible d'échanger des paramètres par cette voie. La structure des données utiles pour le canal cyclique est définie dans le profil PROFI Drive est appelée PPO (Objet Paramètres Données processus) [14].

Le profil PROFI Drive définit la structure des données utiles pour les entraînements, qui permet au maître d'accéder aux entraînements esclaves par un échange de données cyclique.

Dans le profil PROFI Drive, des paquets de données précis sont définis pour les applications typiques et sont dotés d'un numéro de télégramme PROFI Drive défini. Ce numéro

correspond à une composition définie de signaux et décrit de manière univoque l'échange de données cycliques.

Les télégrammes sont identiques pour PROFIBUS et PROFINET. Lors du paramétrage du variateur et de la liaison PROFINET, il faut choisir le type des télégrammes en fonction du contenu qu'ils peuvent transmettre.

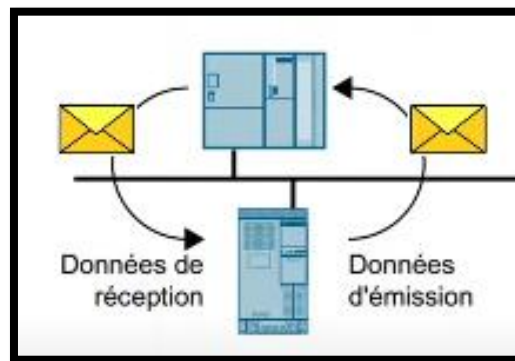


Figure III.16. Représentation d'échange de données

✓ Description de la structure des données utile selon la norme PPO

Le variateur et la CPU encapsulent chacun leurs données dans des télégrammes [16].

• Télégrammes

Ce sont des trames Ethernet, formant un assemblage de différentes zones, celle-ci sont-elles même découpées en mots dans des blocs de 16 bits, ils présentent la structure de base suivante :

- L'en-tête et la terminaison, forment le cadre du protocole.
 - Les données utiles (PPO) sont placées à l'intérieur du cadre elles sont séparées en deux morceaux :
- **PKW** : (PARAMETER-KENNUNG-WERT en allemand) les "données PKW" permettent à la commande de lire ou de modifier chaque paramètre dans le variateur. La "section PKW" n'est pas contenue dans chaque télégramme [15].
 - **PZD** : (PROZESSDATEN-KANAL-WERT en Allemand) les "données PZD" permettent au variateur de recevoir les ordres de commande et les valeurs de consigne de la commande ou d'envoyer des signalisations d'état et des mesures.

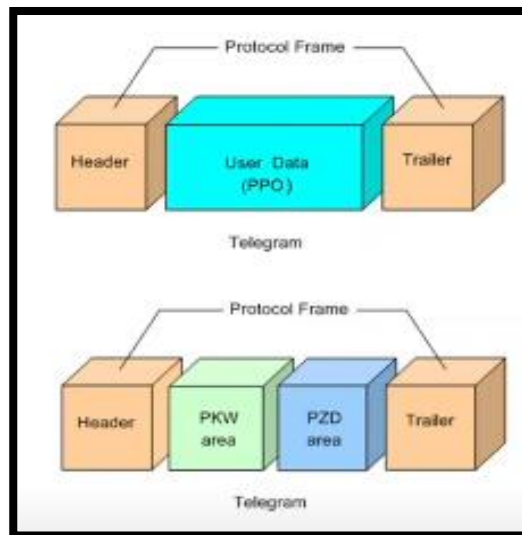


Figure III.17. Structure télégramme

Il existe cinq types de PPO, dont la différence réside dans la longueur des trames échangées entre maître-esclave, pour l’application étudiée, on a utilisé pour l’échange de données commande /état le type PPO3 (télégramme 1), qui sera détaillé dans ce qui suit :

• **Description du type PPO3 :**

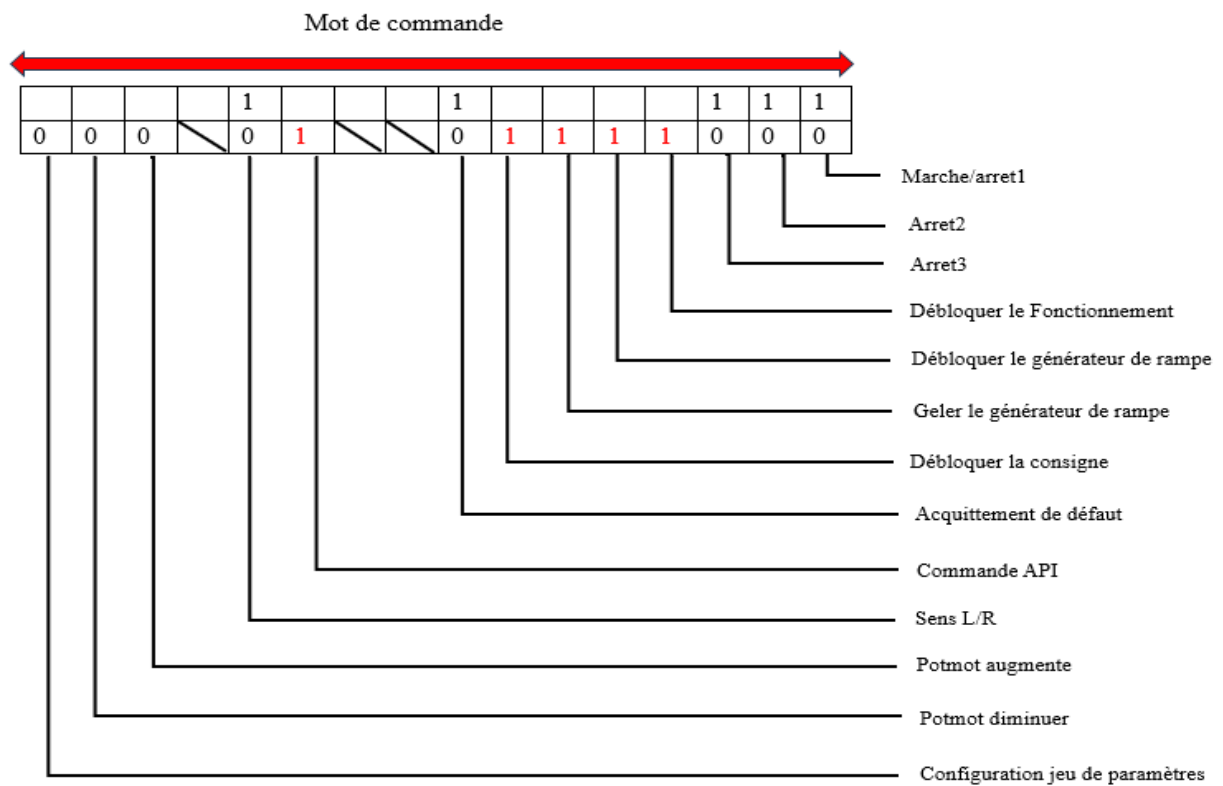
Ce type de PPO ne contient que des données PZD, il est utilisé uniquement pour la commande en temps réel, celui-ci est très répandu pour sa simplicité, et son intégration des fonctionnalités nécessaires dans les entraînements avec les données de processus, les mots de commande et les valeurs théoriques Maître variateur ainsi que les mots d’état et les valeurs pratiques variateur Maître [10].

TRAMES	PZD1	PZD2
TRAME DE REQUETTE (MAITRE-ESCLAVE)	MOT DE COMMANDE STW1	CONSIGNE VITESSE N-SOLLA
TRAME DE REPONSE (ESCLAVE-MAITRE)	MOT D ETAT ZTW1	VITESSE REELLE NIST-A

Tableau III.3. Trames PPO3

➤ Structure du mot de commande du variateur

Mot de commande



➤ Explication du mot de commande

BIT	PARAMETRE	SIGNIFICATION
0	0 = ARRET1	Arrêt contrôlé du moteur
	0 → 1 = MARCHE	Le variateur passe à l'état "Prêt à fonctionner". Si, en outre, le bit 3 = 1, le variateur met le moteur en marche.
1	0 = ARRET2	Mettre immédiatement le moteur hors tension. Le moteur s'arrête ensuite par ralentissement naturel en 'roue libre'.
	1 = pas d'ARRET2	La mise en marche du moteur (ordre MARCHE) est possible.
2	0 = arrêt rapide (ARRET3)	Arrêt d'urgence le moteur freine jusqu'à l'immobilisation avec le temps de descente
	1 = pas d'arrêt rapide (ARRET3)	La mise en marche du moteur (ordre MARCHE) est possible.
3	1 = Débloquer le fonctionnement	Mettre le moteur sous tension (déblocage Des impulsion possible).
4	1=débloquer le générateur de rampe	Le variateur met sa sortie de générateur de Rampe immédiatement à 1
5	1 = Geler le générateur de Rampe	La sortie du générateur de rampe reste à la Valeur actuelle.
6	1 = Débloquer la consigne	Le moteur accélère jusqu'à la consigne avec le temps de montée
7	0 → 1 = Acquitter les défauts	Acquitter le défaut. Si l'ordre ON est encore présent, le variateur passe à l'état "Blocage d'enclenchement".
8,9	Réservé	
10	1 = Pilotage par API	Commande via bus de terrain, le variateur reprend les données process du bus de terrain.
11	Inversion sens	0 : sens 1 1 : sens 2
12	Réserve	
13	1=PotMot Augmenter	Augmenter la consigne enregistrée dans le potentiomètre motorise
14	1=PotMot diminuer	Diminuer la consigne enregistrée dans le potentiomètre motorise
15	0=jeu 1 1=jeu2	Configuration des jeux de paramètres sur des modes de fonctionnement précis

Tableau III.4. Contenu du Mot de Commande

➤ Explication du mot d'état

BIT	PARAMETRE	SIGNIFICATION
0	1 = Prêt à l'enclenchement	L'alimentation en courant est mise en marche, le système électronique est initialisé, les impulsions sont bloquées.
1	1 = Prêt au fonctionnement	Le moteur est en marche (MARCHE/ARRET1 = 1), aucun défaut n'est actif. Avec l'ordre "Débloquer le fonctionnement" (STW1.3), le variateur met le moteur en marche.
2	1 = Fonctionnement débloqué	Le moteur suit la consigne.
3	1 = Défaut actif	Un défaut est présent dans le variateur. Acquitter le défaut par STW1.7.
4	1 = ARRET2 inactif	L'arrêt par ralentissement naturel n'est pas actif.
5	1 = ARRET3 inactif	L'arrêt rapide n'est pas actif.
6	1 = Blocage d'enclenchement actif	La mise en marche du moteur est seulement possible après un ARRET1 et un nouvel ordre de MARCHE.
7	1 = Alarme active	Le moteur reste enclenché ; aucun acquittement nécessaire.
8	1 = Ecart de vitesse à l'intérieur de la plage de tolérance	Ecart consigne/mesure à l'intérieur de la plage de tolérance.
9	1 = Commande demandée	La demande de prise en charge de la commande du variateur est adressée au système d'automatisation.
10	1 = Vitesse de comparaison Atteinte ou dépassée	La vitesse est supérieure ou égale à la vitesse maximale correspondante.
11	La vitesse est supérieure ou égale à la vitesse maximale correspondante.	La valeur de comparaison pour le courant ou le couple est dépassé par le bas.
12	Réservé	
13	0 = Alarme surchauffe	Surchauffe du moteur
14	1 = Le moteur tourne vers la droite	Mesure interne au variateur > 0.
	0 = Le moteur tourne vers la gauche	Mesure interne au variateur 0.
15	0 = Alarme surcharge thermique	Surcharge thermique variateur

Tableau III.5. Contenu du Mot d'état

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'automate S7-1200, en mettant en avant ses capacités de communication via les protocoles PROFIBUS et PROFINET, qui sont essentiels pour l'intégration et l'échange de données entre les équipements. Nous avons également souligné ses fonctionnalités avancées, comme le comptage rapide, contribuant à une synchronisation précise et à une gestion efficace des processus.

L'interface de programmation TIA Portal a été présentée comme un environnement intégré pour la configuration et la programmation. Nous avons discuté des langages pris en charge, notamment le LAD et le SCL, que nous avons utilisé pour structurer et optimiser la logique de commande selon les exigences spécifiques du projet. Dans le chapitre suivant, nous aborderons la programmation de l'automate, en décrivant la logique de commande et les algorithmes garantissant son fonctionnement optimal.



Chapitre **IV**

Programmation de la machine

IV.1. Introduction

La programmation d'un automate programmable industriel est une étape cruciale qui détermine l'efficacité et la fiabilité d'un système automatisé. Elle permet de traduire les exigences opérationnelles en instructions logiques, garantissant ainsi une gestion précise des processus industriels. Une bonne programmation assure non seulement une synchronisation optimale des équipements, mais elle permet également d'adapter le fonctionnement du système aux variations de production et aux exigences spécifiques.

Après avoir étudié l'automate S7-1200 et ses fonctionnalités dans le chapitre précédent, nous allons maintenant nous pencher sur la programmation de la machine. Ce chapitre abordera la mise en place des algorithmes de contrôle permettant de gérer efficacement les différents processus. Nous détaillerons les étapes de création du programme, en expliquant comment les blocs fonctionnels et les logiques de commande ont été structurés pour assurer le bon fonctionnement de l'ensemble du système. Cette partie mettra également en lumière les stratégies de synchronisation des équipements pour garantir des performances optimales.

IV.2. Programmation de l'automate S7-1200 sous le logiciel TIA PORTAL

➤ Création d'un projet :

La première étape pour démarrer notre projet est de cliquer sur (créer un nouveau projet) et deuxièmement sur (ouvrir).

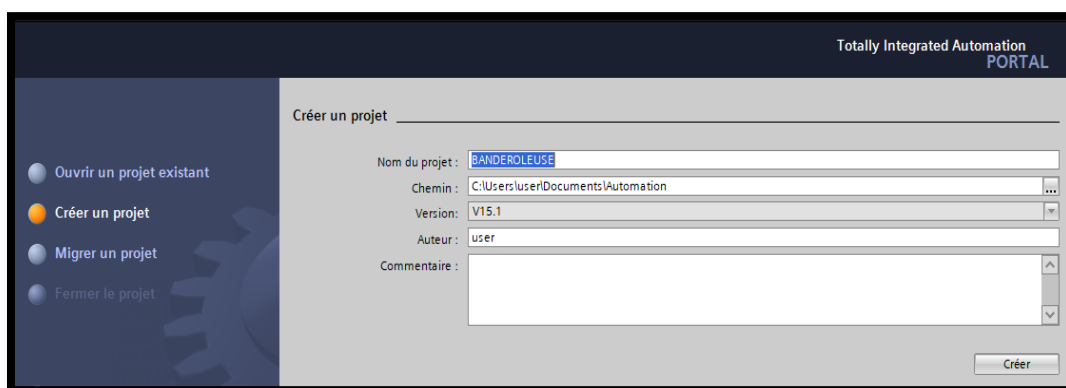


Figure.IV.1. Création du projet

➤ Configuration et paramétrage du matériel

• Configuration matérielle

Pour configurer la station de travail, on suit impérativement les étapes suivantes :

- ✓ Ouvrir le projet dans TIA Portal.
- ✓ Cliquer sur "Ajouter un appareil" dans le navigateur du projet.
- ✓ Choisir parmi les options disponibles (contrôleurs, HMI, etc.).
- ✓ Faire glisser le CPU " CPU1214C DC DC RLY " du catalogue du matériel sur l'emplacement n° 1.
- ✓ Ajouter les modules complémentaires à partir du catalogue de matériels dans notre cas on a ajouté :
 - Un module de 16 entrées digital
 - Un module de 16 sorties digital
 - Un module de sortie analogique

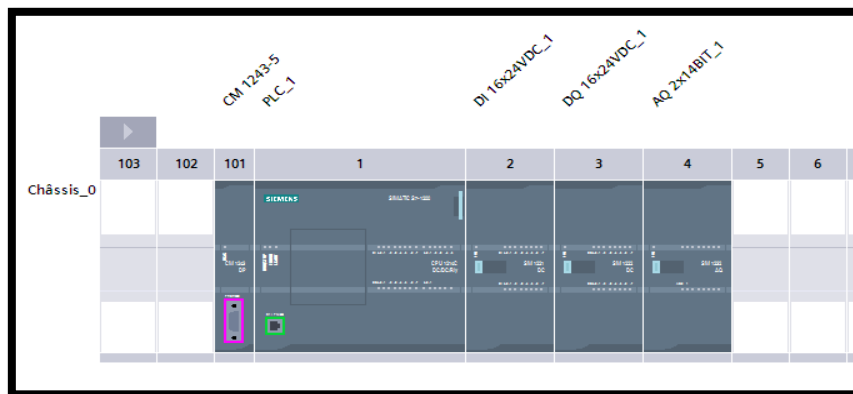


Figure.IV.2. Ajout des modules complémentaires

• Adresse Ethernet de la CPU

Pour définir l'adresse Ethernet, on doit procéder comme suit :

- "Propriétés >Général> Interface PROFINET> Adresses Ethernet>Adresse IP :192.168.0.1 et Masq.S/res :255.255.255.0".

▪ Remarque :

Pour établir une liaison entre la CPU et la console de programmation, il faut affecter aux deux appareils des adresses appartenant au même réseau.

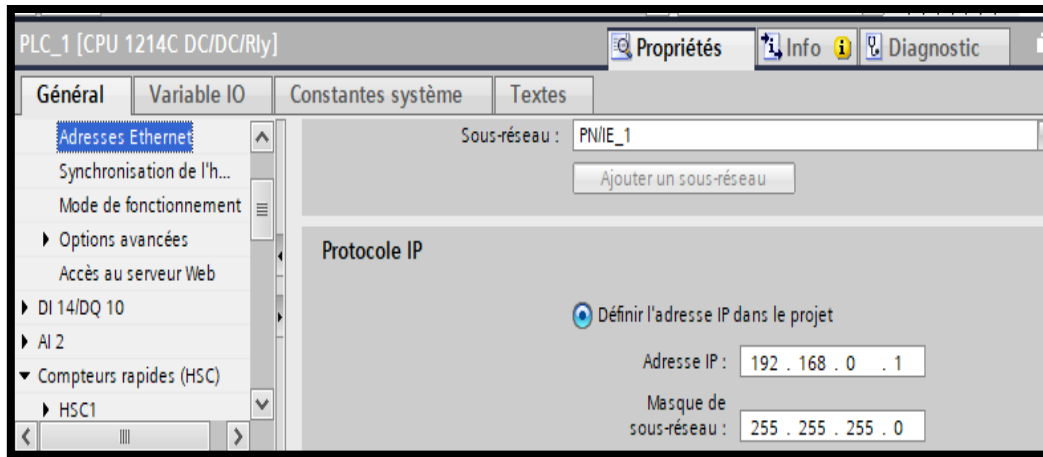


Figure.IV.3. Adresse Ethernet de la CPU

➤ **Création de la table des variables**

Pour une meilleure organisation nous avons créé deux tables de variable une pour les entrées et une autre pour les sorties.

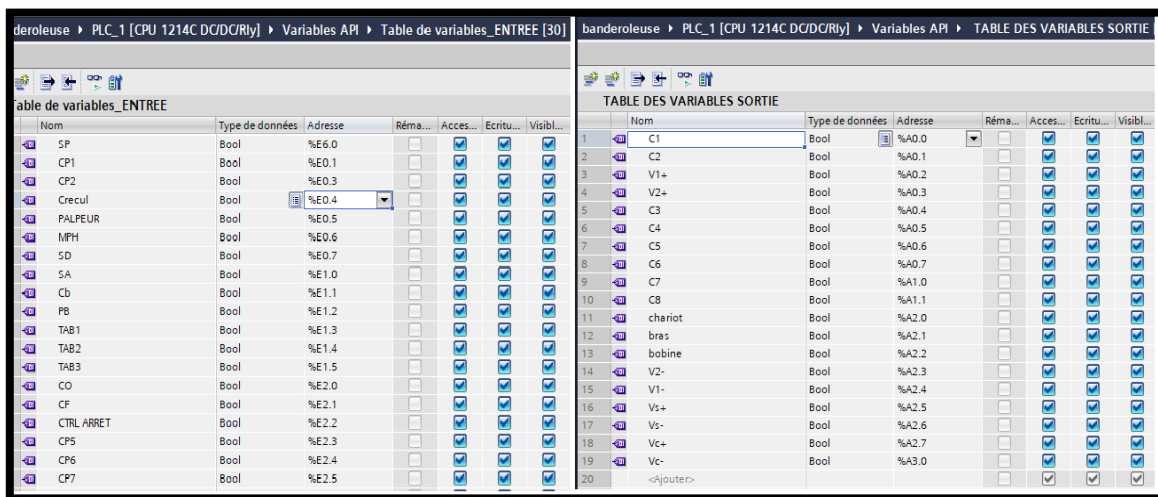


Figure.IV.4. Tables de variables des E/S

IV.2.1. Programmation du compteur rapide

Pour utiliser la fonction HSC, on doit d'abord valider et configurer le compteur rapide à l'aide de l'onglet Propriétés de la CPU dans l'écran Configuration des appareils. Une fois qu'on a chargé la configuration matérielle, le compteur rapide peut compter les impulsions,

IV.2.1.1. Configuration des compteurs rapides

Pour configurer un compteur rapide on doit passer par quelques étapes :

- On sélectionne la CPU que nous voulons configurer.

- On clique sur l'onglet Propriétés de la fenêtre d'inspection.
- On sélectionne le compteur rapide à activer dans la liste affichée dans l'onglet Général
- On active le HSC en sélectionnant l'option "Activer ce compteur rapide"
- On passe à la fonction du hsc :
 - Mode de comptage : comptage (dans notre cas on compte les impulsions pour avoir la positions)
 - La phase de fonctionnement : monophasé (on utilise que une seule piste, on n'aura pas le contrôle sur le sens)
 - Sens de comptage initiale : incrémental
- On définit le filtre d'entrée TOR pour l'entrée générateur d'horloge.
- Les adresse d E/S on les laisse généralement par défaut pour éviter toute confusion (Chaque compteur rapide utilise un double mot en mémoire I pour stocker la valeur de comptage en cours)

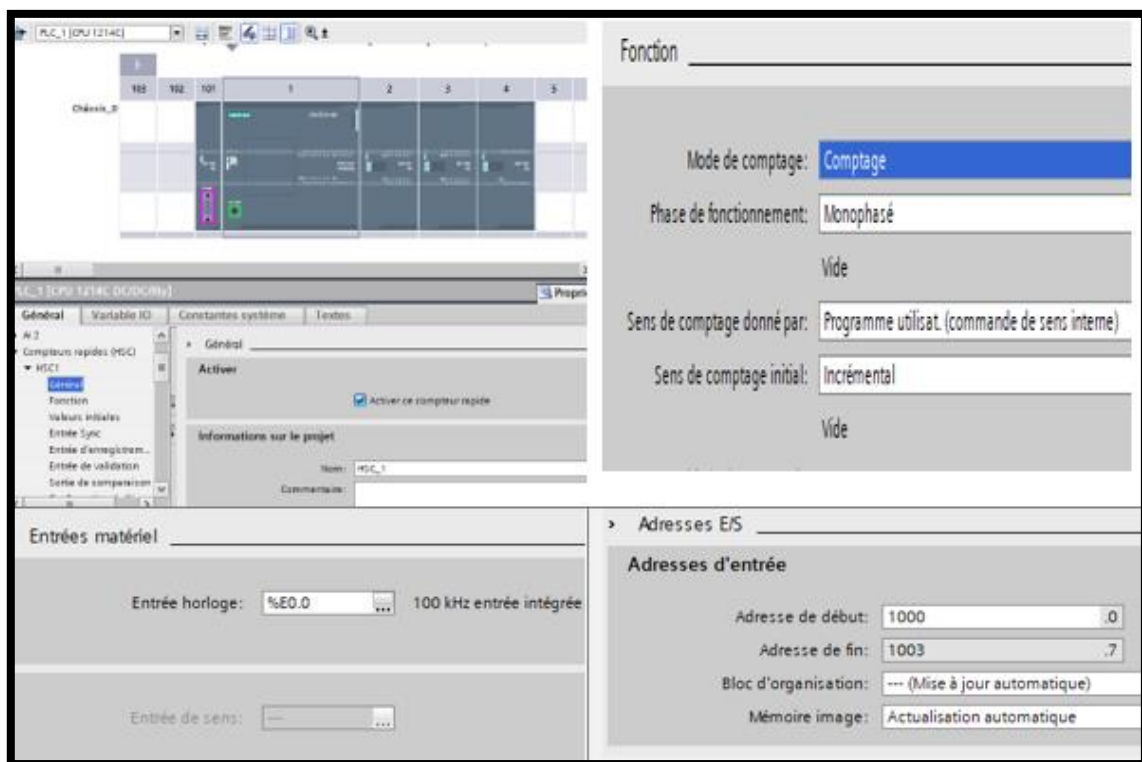


Figure.IV.5. Etapes de configuration du compteur

IV.2.1.2. Procédure de programmation du compteur

Pour commencer nous avons créé trois blocs de donnée :

- Le premier est pour les entrées de configuration du compteur

- Le deuxième pour la base de données de l'application qui va être géré par le compteur
- Le troisième est pour les étapes du grafctet

DB31_HSC1 BASE DONNEE				
	Nom	Type de données	Décalage	Valeur de départ
1	Static			
2	DATA HSC1	*type_3_DONNE...	0.0	
3	activer	Bool	0.0	false
4	reset	Bool	0.1	false
5	coefficient	Real	2.0	0.75
6	impulsion	DInt	6.0	0
7	distance lineaire	Real	10.0	0.0

DB30_HSC IN/OUT					DB32_GRAFCTET HSC1			
	Nom	Type de données	Décalage	Valeur de départ		Nom	Type de données	Décalage
1	Static				1	Static		
2	hsc1	*type_2_IN OUT...	0.0		2	ETAPE HSC	*type_1_ETAPES...	0.0
3	EN HSC	Struct	0.0		3	SEQUENCE ETAPE	USInt	0.0
4	HSC	HW_HSC	0.0	257	4	X0	Bool	1.0
5	DIR	Bool	2.0	false	5	X1	Bool	1.1
6	CV	Bool	2.1	false	6	X2	Bool	1.2
7	RV	Bool	2.2	false	7	X3	Bool	1.3
8	PERIODE	Bool	2.3	false	8	X4	Bool	1.4
9	NEW_DIR	Int	4.0	0	9	X5	Bool	1.5
10	NEW_CV	DInt	6.0	0	10	X6	Bool	1.6
11	NEW_RV	DInt	10.0	0	11	X7	Bool	1.7
12	NEW_PERIOD	Int	14.0	0	12	X8	Bool	2.0
13	ENO HSC	Struct	16.0		13	X9	Bool	2.1
14	BUSY	Bool	16.0	false	14	X10	Bool	2.2
15	STATUS	Word	18.0	16#0	15	X11	Bool	2.3
16	hsc2	*type_2_IN OUT HSC*	20.0		16	X12	Bool	2.4
17	EN HSC	Struct	20.0		17	X13	Bool	2.5
18	HSC	HW_HSC	20.0	258	18	X14	Bool	2.6
19	DIR	Bool	22.0	false	19	X15	Bool	2.7
20	CV	Bool	22.1	false	20	X16	Bool	3.0
21	RV	Bool	22.2	false				
22	PERIODE	Bool	22.3	false				
23	NEW_DIR	Int	24.0	0				

Figure.IV.6. Les différents blocs de données pour la gestion du compteur

Ensuite on a créé deux FC le premier est pour configurer le compteur et l'autre pour programmer son grafctet

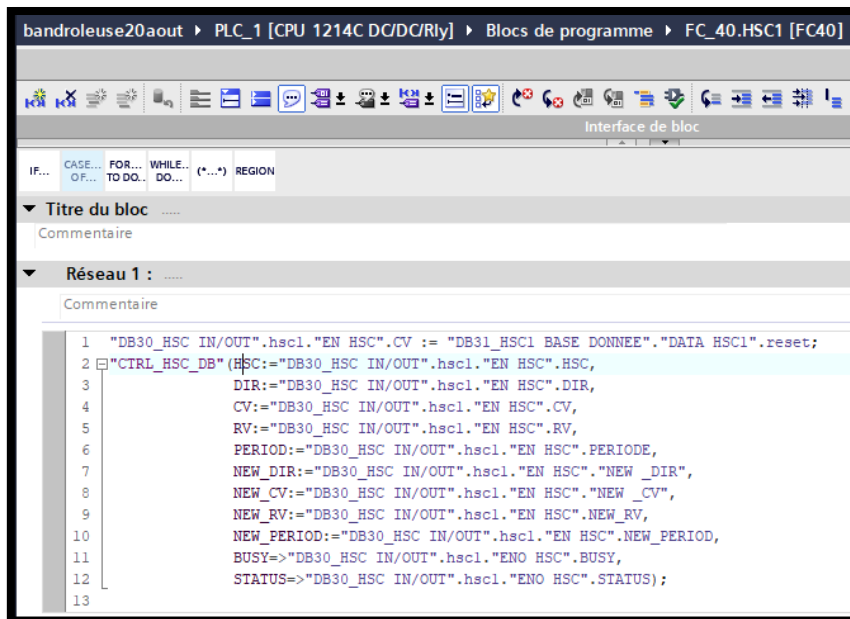


Figure.IV.7. Programme de configuration du compteur

IV.2.2. Gestion du variateur de vitesse SINAMIC G120 par l'automate S7-1200

IV.2.2.1. Configuration du variateur sous TIA-PORTAL

La configuration du variateur passe par deux étapes essentielles

1. Première étape

Ajouter le modèle du variateur utilisé :

- **Partie commande** : On charge la vue réseau, puis on va vers le catalogue du matériel > entraînement et départ moteur > entraînement SINAMICS > SINAMICS G120 > module de régulation > CU240E-2 PN > nous glissons les 6 contrôle unit.
- **Partie puissance** : En double cliquant sur la CU on charge la vue des appareils ou on sélectionnera la partie puissance > PM230 > IP20 > FILT A 400V 1.1Kw.

Enfin on Relie les interfaces Ethernet de la Control Unit du G120 et de la CPU1214C avec la souris. Et on se charge de connecter la CPU et la CU du variateur et paramétrer leur adresse IP tout en s'assurant qu'elles soient toutes uniques et dans la même plage d'adresses afin d'éviter les conflits.

CPU : (Interface PROFINET [X1]) → (Propriétés) → (Adresses Ethernet) PN/IE-1)
 → (Protocole IP) → (Adresse IP) : 192.168.0.1)

Variateur : (Interface PROFINET [X150]) → (Propriétés) → (Adresses Ethernet)
 PN/IE-1) → (Protocole IP) → (Adresse IP) : 192.168.0.2

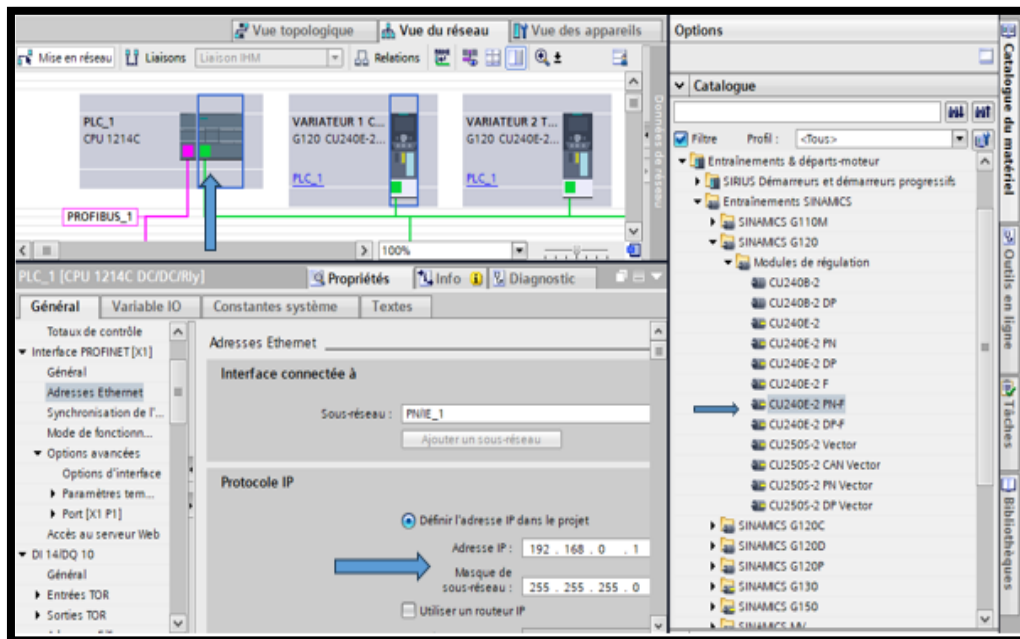


Figure.IV.8. Ajout du contrôle unit du variateur

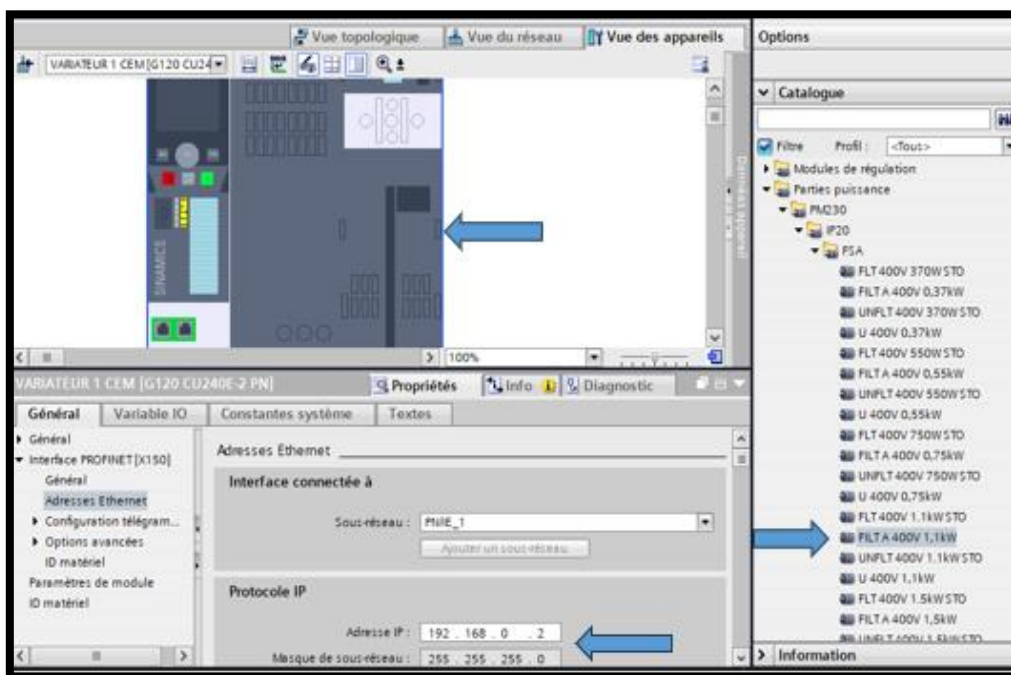


Figure.IV.9. Ajout de la partie puissance du variateur

2. Deuxième étape :

Sélectionner le type de télégramme utilise, dans notre cas c'est le « Télégramme standard 1 » IL est défini pour "l'échange de données cyclique" entre la CPU et le variateur.

((Interface PROFINET [X150]>configuration télégrammes>télégramme>télégramme standard 1)

Les adresse de début et de fin "E 256...259" et "A 256 ... 259".

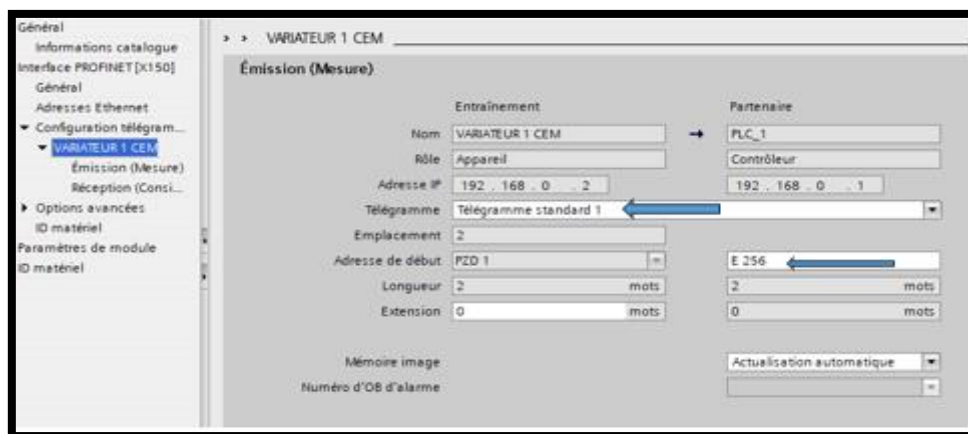


Figure.IV.10. Configuration de télégramme

A la fin on charge la configuration des appareils avec le convertisseur de fréquence G120 en tant que "Device" dans la "CPU_1214C

IV.2.2.2. Stratégie de programmation des variateurs SINAMIC G120

Dans le système étudié il y a en tout 6 variateurs de vitesses SINAMIC G120, pour contrôler ces derniers nous avons suivies ces étapes :

- ✓ Créer un data bloc qui va stocker la base de données de tous les variateurs.
- ✓ Créer une fonction ou écrire un programme valable pour la gestion de tous les variateurs.

Dans notre programme on a utilisé :

Une boucle for qui va parcourir les variateurs de manière automatique en appliquant les mêmes opérations, ainsi on évite de dupliquer les mêmes instructions pour chaque variateur

L’instruction PEEK/POKE qui va nous permettre d’accéder dynamiquement aux variables dans un DB, et ainsi pouvoir manipuler l’adresse byte offset de façon à modéliser une suite arithmétique de forme :

$$Un = Un - 1 + (n - 1) * R$$

Avec :

- Un : décalage de la donnée actuel
- Un-1 : décalage de la donnée précédente
- n : ou I dans notre CODE est le nombre de variateur à gérer
- R : raison et c’est la différence entre deux décalages de deux variateurs consécutifs elle est constante et est égal à 26 octets

DB_36_DONNEES VARIATEURS			
	Nom	Type de données	Décalage
2	VARIATEUR 1 CEM	Struct	0.0
3	CONTROLE	*type_6_donne con...	0.0
4	EMISSIONS	*type_5_donne emi...	2.0
5	RECEPTION	*type_4_donne rec...	16.0
6	VARIATEUR 2 TABLE	Struct	26.0
7	CONTROLE	*type_6_donne con...	26.0
8	EMISSIONS	*type_5_donne emi...	28.0
9	RECEPTION	*type_4_donne rec...	42.0
10	VARIATEUR 3 CHARIOT	Struct	52.0
11	CONTROLE	*type_6_donne con...	52.0
12	EMISSIONS	*type_5_donne emi...	54.0
13	RECEPTION	*type_4_donne rec...	68.0
14	VARIATEUR 4 ANNEAU	Struct	78.0
15	CONTROLE	*type_6_donne con...	78.0
16	EMISSIONS	*type_5_donne emi...	80.0
17	RECEPTION	*type_4_donne rec...	94.0
18	VARIATEUR 5 P_ETIRA...	Struct	104.0
19	CONTROLE	*type_6_donne con...	104.0
20	EMISSIONS	*type_5_donne emi...	106.0
21	RECEPTIONS	*type_4_donne rec...	120.0
22	VARIATEUR 6 SORTIE	Struct	130.0
23	CONTROLE	*type_6_donne con...	130.0
24	EMISSIONS	*type_5_donne emi...	132.0

DB_36_DONNEES VARIATEURS			
	Nom	Type de données	Décalage
3	CONTROLE	*type_6_donne ...	0.0
4	EMISSIONS	*type_5_donne emi...	2.0
5	STW1	Word	2.0
6	MARCHE/ARRET 1	Bool	4.0
7	ARRET 2	Bool	4.1
8	ARRET3	Bool	4.2
9	debloquer le fo...	Bool	4.3
10	debloquer le g...	Bool	4.4
11	demarrage du ...	Bool	4.5
12	debloquer la c...	Bool	4.6
13	acquitter les de...	Bool	4.7
14	reserve 1	Bool	5.0
15	reserve 2	Bool	5.1
16	pilotage par API	Bool	5.2
17	inversion de sen...	Bool	5.3
18	reserve 3	Bool	5.4
19	potmot	Bool	5.5
20	potmot -	Bool	5.6
21	reserve 4	Bool	5.7
22	NSOLL_A (SVEL...	Int	6.0
23	VITESSE MAX(N...	Real	8.0
24	CONSIGNE DE ...	Real	12.0
25	RECEPTION	*type_4_donne rec...	16.0

Figure.IV.11. Blocs de données de gestions des variateurs

IV.2.2.3. Simulation

Pour simuler notre programme on a utilisé l’outil de simulation PLCSIM intégrée au logiciel TIA PORTAL. On charge la fonction ou est éditer le programme (FC46) vers OB1, ensuite on crée une table de visualisation pour vérifier nos résultats.

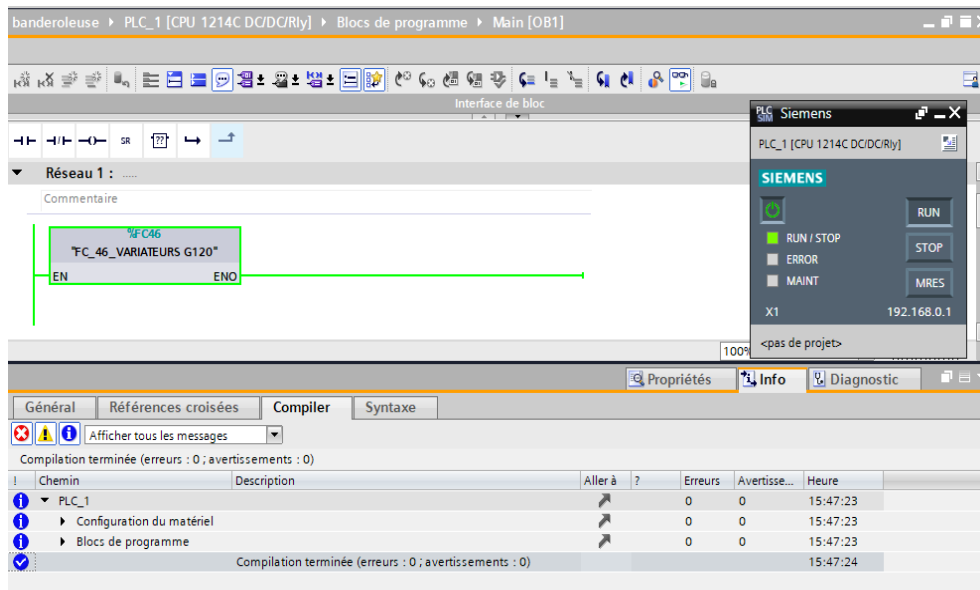


Figure.IV.12. Appel de la FC 46 par OBI

	i	Nom	Adresse	Format d'affichage	Valeur visualisatio	Vi...
1		"DB_36_DONNEES VARIATEURS"."VARIATEUR 1 CEM".CONTROLE."controle sens"	%DB36.DBX0.4	BOOL	TRUE	P...
2		"DB_36_DONNEES VARIATEURS"."VARIATEUR 1 CEM".EMISSIONS.STW1	%DB36.DBW2	Hexa	16#0C78	P...
3		"DB_36_DONNEES VARIATEURS"."VARIATEUR 1 CEM".EMISSIONS."inversion de s...	%DB36.DBX5.3	BOOL	TRUE	P...
4		"MOT COMMANDE"	%AW256	Hexa	16#0C78	P...
5		"DB_36_DONNEES VARIATEURS"."VARIATEUR 1 CEM".EMISSIONS."NSOLL_A (SVE...	%DB36.DBW6	DEC+/-	8192	P...
6		"DB_36_DONNEES VARIATEURS"."VARIATEUR 1 CEM".EMISSIONS."VITESSE MAX(...	%DB36.DBW8	Nombre à virgule...	1500.0	P...
7		"DB_36_DONNEES VARIATEURS"."VARIATEUR 1 CEM".EMISSIONS."CONSIGNE DE ...	%DB36.DBW12	Nombre à virgule...	750.0	P...
8		"CONSIGNE VITESSE"	%AW258	DEC+/-	8192	P...
9			<Ajouter>			

Figure.IV.13. Table de visualisation

IV.2.3. Gestion du variateur de vitesse SEW MOVIMOT par l'automate s7-1200

IV.2.3.1. Configuration du variateur sous TIA-PORTAL

Pour piloter le variateur de vitesse SEW MOVIMOT, nous avons utilisé la méthode par câblage direct entre l'automate et le variateur via un convertisseurs de signaux RS 485 MWA21A.

Pour cela nous avons utilisé :

- 3 sorties digital pour le contrôle du sens à gauche et à droite et pour l'acquiescement du défaut.
- 1 entrée digitale qui reçoit un signal de défaut généré par le variateur en cas d'anomalie.
- 1 sortie analogique pour l'envoi de la consigne de vitesse de l'automate vers le variateur.

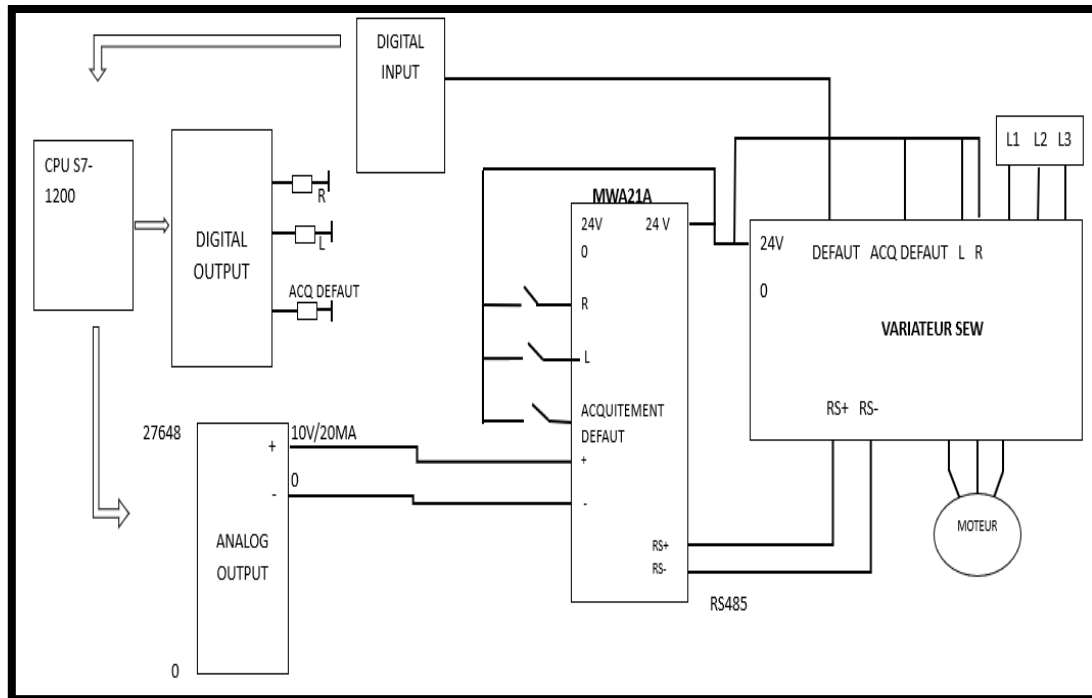


Figure.IV.14. Schéma de raccordement du variateur SEW MOVIMOT vers l'automate S7-1200

IV.2.3.1. Stratégie de programmation du variateurs SEW MOVIMOT

La configuration du variateur avec la méthode de raccordement comprend la prise en charge manuelle des caractéristiques suivantes :

- L'accélération / décélération pour marche arrêt
- Décélération rapide pour l'arrêt d'urgence
- Les rampes de montée et de descente

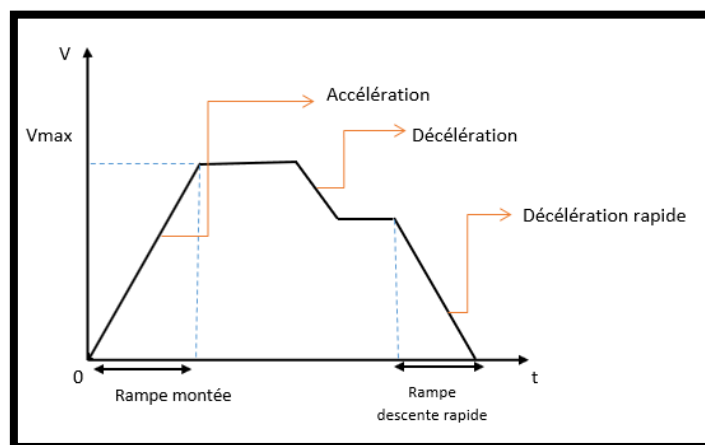


Figure.IV.15. Profil de vitesse du variateur

Pour ce faire nous avons mis en œuvre une base de données valable pour tous les variateurs qu'on a stocker dans un DB et un bloc fonction FB ou l'on a édité un programme qui va gérer Les paramètres et les commande de base des variateurs grâce à une boucle for.

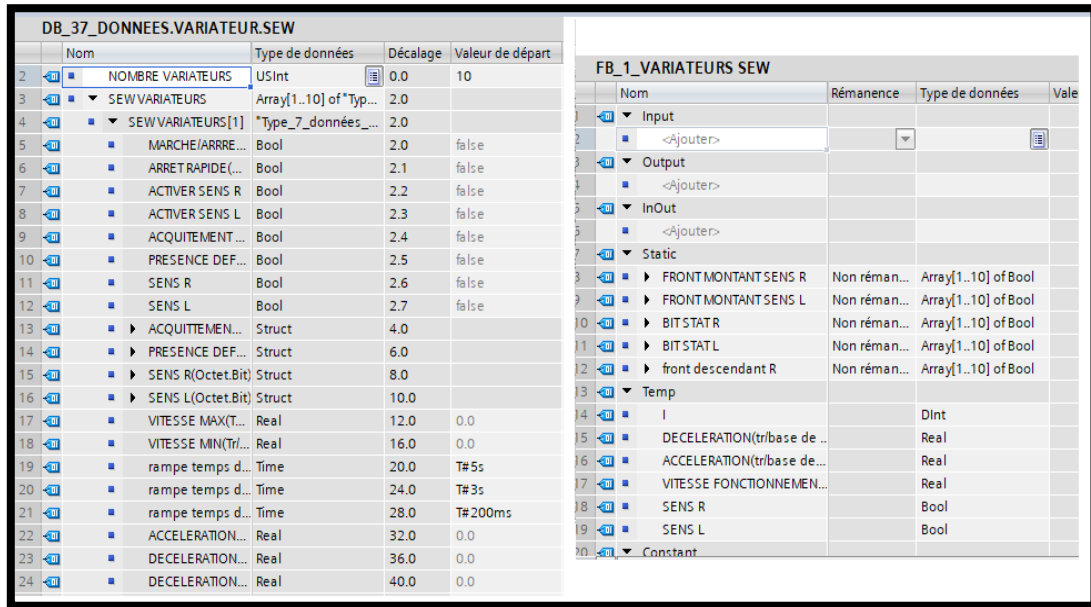


Figure.IV.16. Données du programme de gestions des variateurs SEW

IV.2.3.2. Simulation

Pour tester notre programme on a utilisé l'outil de simulation PLCSIM intégrée au logiciel TIA PORTAL. On a chargé notre fonction dans un bloc d'organisation cyclique OB30 afin d'avoir le contrôle sur le temps de cycle

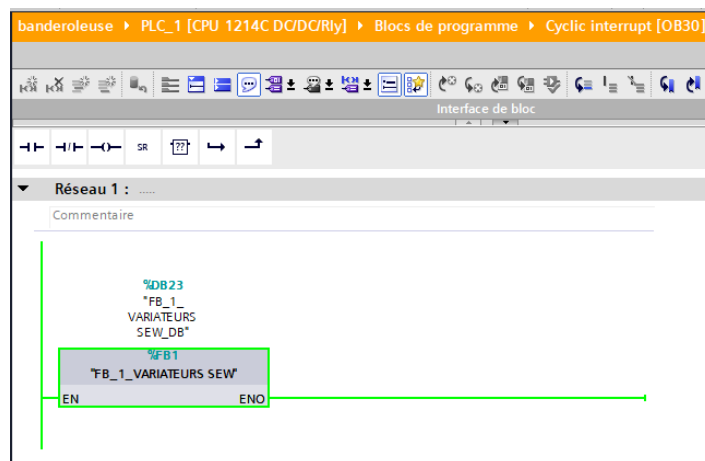


Figure.IV.17. Appel de la FB1 par OB30

	Nom	Type de données	Décalage	Valeur de départ	Valeur de visualisati.	Rémanence	Accessible ...	Ecritu.
5	MARCHE/ARRRE...	Bool	2.0	false	TRUE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	ARRETRAPIDE(...)	Bool	2.1	false	FALSE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	ACTIVER SENS R	Bool	2.2	false	FALSE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	ACTIVER SENS L	Bool	2.3	false	FALSE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	ACQUITEMENT ...	Bool	2.4	false	FALSE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	PRESENCE DEF...	Bool	2.5	false	FALSE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	SENS R	Bool	2.6	false	FALSE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	SENS L	Bool	2.7	false	FALSE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	ACQUITEMEN...	Struct	4.0			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	PRESENCE DEF...	Struct	6.0			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	SENS R(Octet.Bit)	Struct	8.0			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	SENS L(Octet.Bit)	Struct	10.0			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	VITESSE MAX(T...	Real	12.0	1500.0	1500.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	VITESSE MIN(Tr...	Real	16.0	0.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	rampe temps d...	Time	20.0	T#5s	T#5S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	rampe temps d...	Time	24.0	T#3s	T#3S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	rampe temps d...	Time	28.0	T#200ms	T#200MS	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	ACCELERATION...	Real	32.0	0.0	300.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
23	DECELERATION...	Real	36.0	0.0	500.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
24	DECELERATION...	Real	40.0	0.0	7500.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
25	VITESSE FONCT...	Real	44.0	0.0	750.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
26	VITESSE REELLE...	Real	48.0	0.0	750.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
27	vitesse num	Int	52.0	0	13824	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figure.IV.18. Simulation du bloc données

IV.2.4. Communication PROFIBUS entre la banderoleuse et le palettiseur

IV.2.4.1 Configuration sous TIA PORTAL

Pour configurer ces deux appareils sous TIA PORTAL on suit les étapes suivantes :

✓ L'ajout du module de communication PROFIBUS :

Dans la vue des appareils on va dans le catalogue du matériel >module de communication (CM)>Profibus>CM 1243-5>

✓ L'ajout du coupleur DP-DP :

Dans la vue réseau on va dans le catalogue du matériel>autres appareillent de terrains >Profibus DP>passerelles>siemens AG>coupleur DP-DP version 2

✓ Liaison entre le réseau et le coupleur :

On connecte l'une des interfaces du coupleur au réseau Profibus de la CPU

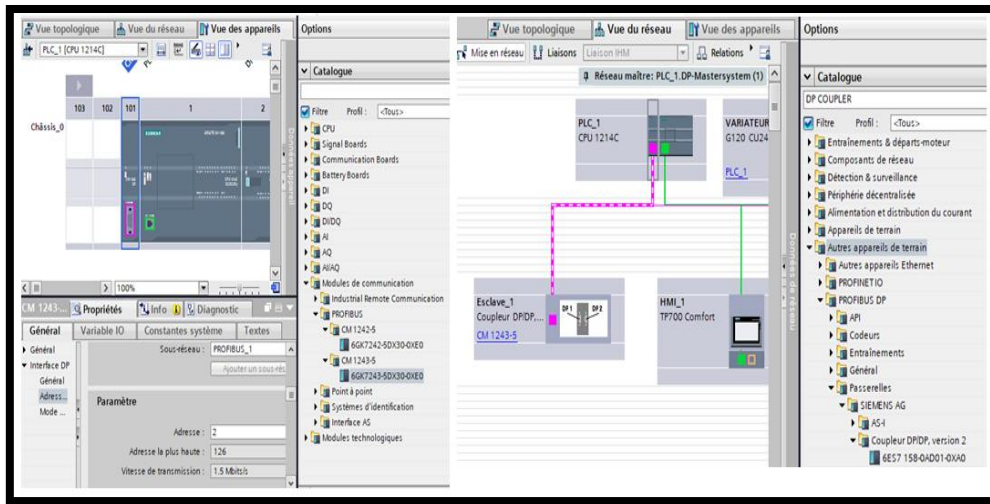


Figure.IV.19. Ajout du module de communication et du coupleur

✓ **Transmission/ réception de donnée :**

Afin d'éviter les conflits pendant la transmission et la réception de donnée nous devons vérifier et noter la plage d'adresse des E/S attribuée au coupleur, il est primordial que les adresse des données envoyer ou reçu soient comprise dans cette plage, dans notre cas :

- Donnée reçue [E6.0_E6.7]
- Donnée transmise [A4.0_A4.7]

Vue d'ensemble des appareils						
Module	Châssis	Empla..	Adresse I	Adresse...	Type	
Esclave_1	0	0			Coupleur DP/DP, ve...	
Entree 1 octet_1	0	1	6		Entree 1 octet	
Sortie 1 octet_1	0	2		4	Sortie 1 octet	
	0	3				
	0	4				
	0	5				
	0	6				
	0	7				
	0	8				
	0	9				
	0	10				
	0	11				
	0	12				
	0	13				
	0	14				
	0	15				
	0	16				

Figure.IV.20. Module d'E/S virtuels attribués au coupleur

IV.2.5. Programmation de la fonction de mise à l'échelle SCALE FC105

Dans le système étudié la tension de déroulement du film à partir de la bobine doit être ajustée en temps réel pour assurer un enroulement uniforme des palettes et éviter les froissements ou les déchirures.

Pour ce faire nous avons utilisé un système basé sur un capteur inductif analogique qui grâce aux variations du champ magnétique qu'il génère, surveille la position d'une plaque métallique fixée au rouleau tendeur. Lorsque la distance entre le capteur et la plaque diminue, cela signifie que le film est trop tendu. Le capteur envoie cette information via une entrée analogique à l'automate, qui ajuste la consigne de vitesse du moteur pour réduire la vitesse du déroulement du film

Inversement lorsque la distance augmente cela indique le relâchement du film l'automate augmentera alors la consigne de vitesse pour resserrer le film.

IV.2.5.1. Equation de la droite

Pour convertir le signal analogique du capteur en une valeur exploitable pour le contrôle du moteur, une fonction de mise à l'échelle est nécessaire, cette fonction peut être programmée manuellement grâce à l'équation de la droite.

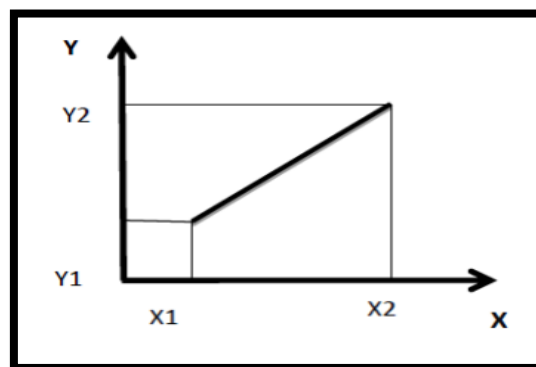


Figure.IV.21. Droite de mise à l'échelle

L'équation a pour forme :

$$Y = aX + b$$

Avec

- Y : la valeur échelonnée [0-1500tr/min]
- X : la valeur d'entrée brute [0-27648]

D'après la figure, La pente a est donnée par :

$$a = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1}$$

$$b = Y1$$

En utilisant le point (X1, Y1), on trouver b

$$Y1 = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1} * X1 + b$$

$$b = Y1 - (a * X1)$$

En remplaçant b

$$F(X) = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1} * X - \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1} * X1 + Y1$$

$$F(X) = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1} * (X - X1) + Y1$$

IV.2.5.2. Simulation

On charge la fonction ou est éditer le programme et on visualise dans le DB.

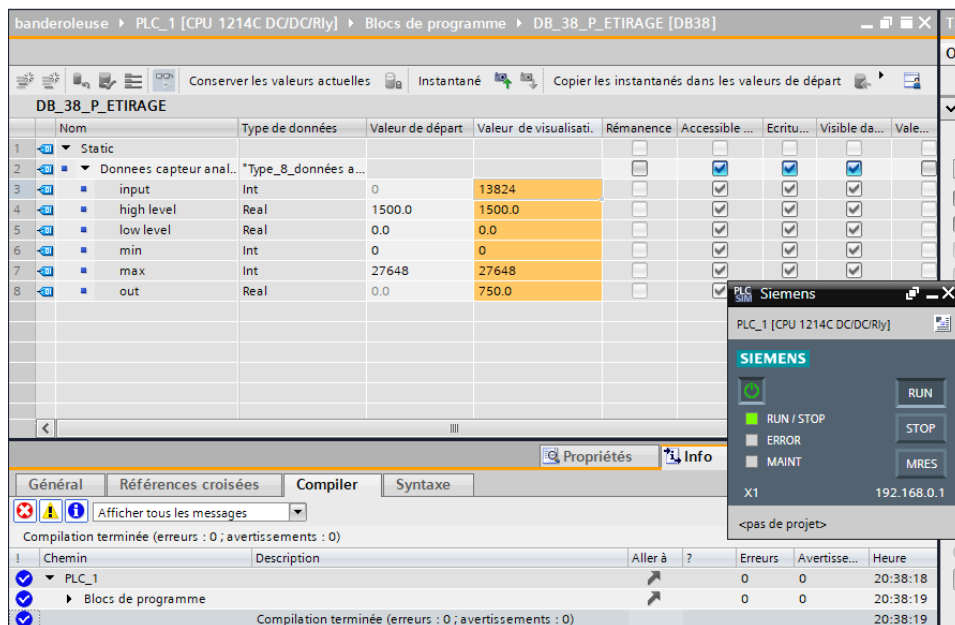


Figure.IV.22. Simulation du bloc de données

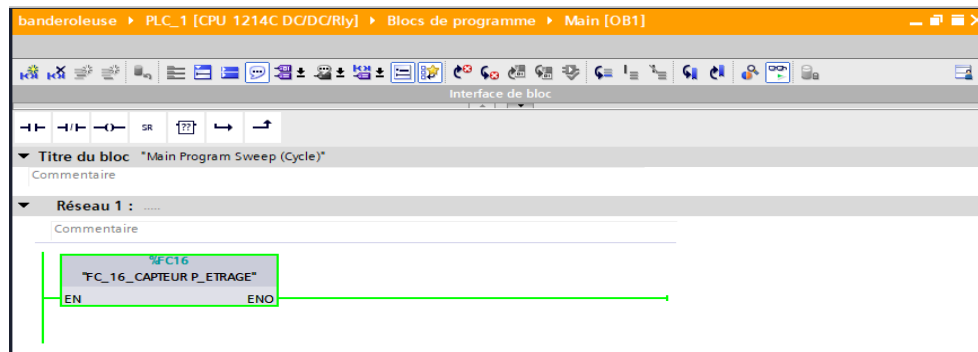


Figure.IV.23. Appel de la FC16 PAR OB1

IV.3. Conclusion

En conclusion de ce chapitre, nous avons examiné la programmation des fonctions clés qui garantissent le fonctionnement efficace de la banderoleuse à bras tournant. En adoptant des méthodes de programmation modulaires, nous avons intégré des éléments essentiels tels que l'utilisation d'un compteur rapide pour le positionnement précis, la gestion des variateurs, et la communication entre le palettiseur et la banderoleuse. De plus, nous avons appliqué la fonction de mise à l'échelle pour un contrôle optimal des performances. Cette approche méthodique répond aux exigences d'automatisation tout en offrant la flexibilité nécessaire pour de futures optimisations. Ainsi, ce chapitre met en lumière l'importance d'une programmation rigoureuse pour assurer un fonctionnement optimal et sécurisé de l'ensemble du système.



Conclusion

Générale

Ce projet de fin d'études a été réalisé au sein de l'unité de traitement d'eau Lalla Khedidja, située dans les hauteurs de la Kabylie. L'objectif était d'automatiser le processus de filmage de palettes grâce à une nouvelle installation de bande rôlage à bras tournant. Cette machine remplace une ancienne installation peu pratique. L'automatisation est un domaine complexe qui exige des connaissances théoriques et logiques solides. Elle nécessite une compréhension approfondie des systèmes de contrôle, des capteurs, des actionneurs et des variateurs, tout en intégrant des solutions logicielles avancées. En tenant compte de ces éléments, j'ai pu mener à bien la tâche qui m'a été confiée par l'entreprise.

Pour comprendre le fonctionnement du système et sa modélisation, nous l'avons modélisée avec l'outil GRAFCET, celui-ci a permis de structurer les différentes étapes de l'automatisation, tout en optimisant la gestion des capteurs et des variateurs de la machine.

L'intégration de l'automate programmable Siemens S7-1200, associé à l'interface TIA Portal, nous a permis de mettre en œuvre des solutions de programmation et de réaliser des tests afin d'assurer le bon fonctionnement du système automatisé. À travers ce travail, nous visons non seulement à améliorer la productivité de l'usine, mais aussi à proposer une solution programmable pour la nouvelle banderoleuse, qui s'intègre harmonieusement aux systèmes automatisés déjà en place. Ce qui renforcera la position de leader de CEVITAL Lalla Khadîdja dans l'industrie de l'eau minérale, en liant innovation technologique, sécurité accrue et optimisation énergétique.

Ce projet m'a également été bénéfique car il m'a permis de mettre en application les connaissances théoriques acquises à l'université, notamment l'initiation au logiciel TIA Portal, largement utilisé dans l'industrie. J'ai également découvert un nouveau langage de programmation, le SCL, qui est de plus en plus utilisé dans le cadre de l'Industrie 4.0. Par ailleurs, ce projet m'a enseigné les différentes étapes nécessaires à l'élaboration de projets d'automatisation, depuis l'analyse des besoins jusqu'à la mise en service.

Une partie importante du projet qui aurait pu enrichir l'installation est l'intégration d'un système de supervision. Ce système aurait permis un suivi en temps réel du processus, ainsi qu'une gestion proactive des incidents ou des pannes. Malheureusement, par manque de temps, cette partie n'a pas pu être réalisée. Cependant, l'ajout de cette fonctionnalité reste une initiative prometteuse pour l'avenir, offrant une meilleure visibilité sur le fonctionnement de la machine et une optimisation plus fine.

Enfin nous espérons que ce projet servira de ressource complémentaire à l'équipe de l'unité d'eau minérale Lalla Khedidja de CEVITAL, ainsi que pour les futures promotions d'étudiants.



Bibliographie

Bibliographie

- [1]: CEVITAL. (n.d.). *Documentation interne de l'entreprise*.
- [2]:Djerrou, L., Belkacemi, A., &Gounane, M. J. (2022). *Automatisation et supervision sous TIA Portal d'une station de traitement d'eau minérale Lalla-Khedidja CEVITAL*. Mémoire de fin d'études.
- [3]:Robopac. (n.d.). *Robopac - Banderoleuses et solutions d'emballage*.
<https://www.robopac.com/fr> (consulté en 2024)
- [4] : Technologue Pro. (n.d.). *Les pré actionneurs électriques*.
<https://www.technologuepro.com/cours-capteurs-actionneurs-instrumentation-industrielle/ch31-les-preactionneurs-electriques.pdf> (consulté en 2024)
- [5] : Allen, B. *Cours : Automate programmable industriel*.
- [6] : Carpon, N., &Serot, N. (2010). *Science industrielle*.
- [7]: Kaced, O., & Hadj Ali, K. (2014). *Automatisation et supervision d'une banderoleuse Robopac Helix HS30*. Mémoire de fin d'études.
- [8] : Siemens. (2019). *Manuel S7-1200*.
- [9] : Université de Montpellier. (2015). *Résumé de la norme GR7*.
https://moodle.umontpellier.fr/pluginfile.php/219000/mod_resource/content/1/ResumeNormeGR7_2015.pdf (consulté en 2024)
- [10] : Siemens. (2018). *Manuel SINAMICS G120C*.
- [11] : Siemens. (2019). *Support d'apprentissage de formation TIA PORTAL*.
- [12] : Bolton, W. (2015). *Automates programmables industriels*. Dunod.
- [13] : Siarry, P. (1989). *Automatique de base*. Éditions Ellipses.
- [14] : Achab, A., &Meftout, F. (année). *Simulation et commande en temps réel des systèmes continus et discontinus par automates programmables : applications sur automate Siemens*. Mémoire de fin d'études, École Nationale Polytechnique.

- [15] :Abriche, A., &Belkas, S.-E. (2007). *Réalisation et gestion d'un prototype de station de pompage à base d'automates programmables industriels*. Mémoire de projet de fin d'étude,
- [16] : Profibus. (2018). *PROFINET : description du système*. https://www.profibus.fr/wp-content/uploads/2021/04/profinet_descriptionssysteme_dec_2018_fr.pdf (consulté en 2024)

Résumé

Ce projet porte sur l'automatisation d'une banderoleuse à bras tournants, une machine conçue pour emballer des palettes de packs d'eau à l'aide de film plastique, nouvellement intégrée dans une chaîne de production existante dans l'usine d'eau minérale Lalla Khedidja Cevital.

Après une description détaillée des composants de la banderoleuse, la machine est modélisée à l'aide de Grafsets, en utilisant la méthode des sous-GRFCETS synchronisés, ce qui permet de visualiser les différentes étapes du processus. Chaque Grafset est structuré de manière à éviter les conflits d'adresse en présentant les étapes dans des blocs de données distincts.

Le cœur de l'automatisation repose sur l'utilisation de l'automate Siemens S7-1200, programmé via le logiciel TIA Portal, avec un focus particulier sur l'optimisation des performances du système d'entraînement à travers la communication Profinet avec les variateurs SINAMIC G120. Ces variateurs, jouent un rôle crucial dans la gestion des moteurs de la machine, en régulant avec précision la vitesse et le couple pour assurer un fonctionnement fluide et sécurisé.

Le projet fait appel à des blocs de fonctions édités en SCL (Structured Control Language), permettant de simplifier la gestion des communications entre les différents éléments de la banderoleuse et d'assurer une modularité dans la programmation.

Ce travail, illustre une initiation aux outils d'automatisation avancée et l'utilisation des technologies Siemens pour améliorer la performance et la fiabilité des systèmes d'entraînement dans une application industrielle complexe.

Mots clés : S7-1200,TIA PORTAL,SCL,FC,DB,GRFCET,SINAMIC G120S,SEW MOVIMOT,PROFINET,PROFIBUS.