

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Filière Électronique
Spécialité Instrumentation
présenté par
SIDIMOUSSA SALIM
&
BOUHAMIDI OUSSAMA

Étude d'une station SOGEME et développement d'un programme d'automatisatoïn

Proposé par : **Dr.YAKHLEF FARID** et **Mr.MOKRANI MAYAS**

Année Universitaire 2024-2025

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu de nous avoir accordé la foi, la force et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail. Sans Sa bénédiction, cette réalisation n'aurait pas été possible.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadrant, Monsieur Moukrani Mayas, pour son accompagnement constant, ses conseils judicieux et sa disponibilité tout au long de cette année universitaire. Son engagement et sa confiance ont été des moteurs essentiels dans l'avancement de notre projet.

Nous remercions chaleureusement nos enseignants, en particulier Monsieur Henhen et Madame Bougherira N., qui ont accepté d'évaluer notre mémoire. Leurs remarques pertinentes et leurs suggestions avisées ont grandement enrichi la qualité de notre travail.

Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble des enseignants de notre université « Saad Dahlab Blida », pour leur dévouement et la richesse de leurs enseignements tout au long de notre parcours académique. Leur contribution à notre formation a été précieuse et déterminante.

Nous tenons à exprimer notre sincère reconnaissance à l'usine BIMO ainsi qu'à tout le personnel technique de l'usine, pour leur accueil chaleureux, leur collaboration et les informations précieuses qu'ils nous ont fournies. Leur expertise et leur soutien pratique ont largement contribué à la réalisation concrète de notre projet.

Nous remercions aussi nos collègues et amis pour leur soutien moral, leur esprit de camaraderie et les moments de partage qui ont rendu ce parcours plus agréable et motivant.

Remerciement

Enfin, un immense merci à nos familles pour leur amour inconditionnel, leur patience et leur soutien, tant moral que matériel. Leur présence à nos côtés a été un pilier fondamental dans cette aventure.

À tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce travail par leur aide, leurs encouragements ou leurs conseils .

ملخص:

تقدم هذه الأطروحة تحديثاً جزئياً لمحطة فرز وتوزيع (من ماركة سوجام) تُستخدم في عملية التعبئة والتغليف في موقع إنتاج شركة بيمو. كشف تقييم النظام القديم عن عدة أعطال حرجية، بما في ذلك وحدة تحكم منطقية قديمة من طراز (شنايدر تي ار إكس ميكرو)، وعدم وجود واجهة تحكم بين الإنسان والآلة، وتعطل المشغلات.

و لمعالجة هذه المشكلات طبقنا ترقيات متنوعة: استبدال وحدة التحكم المنطقية القابلة للبرمجة بوحدة سيمانس اس 7 1200، ودمج شاشة واجهة المستخدم (اش ام اي)، و اضافة مراحل حماية الحالة الصلبة، وإعادة برمجة كاملة باستخدام منطق (لادار) في برنامج (تيا بورطل). جسد هذا المشروع التطبيق العملي لمهارات الأتمتة، وبرمجة التحكم الصناعي

كلمات المفاتيح: سوجام، شنايدر تي ار إكس ميكرو، سيمانس اس 7 1200، اش ام اي، تيا بورطل

Résumé :

Ce mémoire présente une mise à niveau partielle d'une station industrielle de tri et de distribution de gaufrettes (SOGEM) utilisée dans le processus de conditionnement sur le site de production de l'entreprise BIMO. L'évaluation du système existant a révélé plusieurs défaillances critiques, notamment un automate programmable obsolète Schneider, l'absence d'une interface homme-machine (IHM), ainsi que des actionneurs défectueux. Pour remédier à ces problèmes, diverses améliorations ont été mises en œuvre : remplacement de l'automate par un Siemens S7-1200, intégration d'un écran IHM, ajout de relais de protection à semi-conducteurs, et reprogrammation complète du système en langage Ladder à l'aide du logiciel TIA Portal. Ce projet illustre l'application concrète des compétences en automatisation.

Mots clés : SOGEM, Schneider TSX Micro, Siemens S7-1200, IHM, TIA Portal.

Abstract :

This thesis presents a partial upgrade of an industrial wafer sorting and distribution station (SOGEM) used in the packaging process at the BIMO production site. The evaluation of the existing system revealed several critical failures, including an obsolete Schneider programmable logic controller (PLC), the absence of a human-machine interface (HMI), and faulty actuators. To address these issues, several improvements were implemented: the PLC was replaced with a Siemens S7-1200, an HMI screen was integrated, solid-state protection relays were added, and the entire system was reprogrammed using Ladder language through the TIA Portal software. This project illustrates the practical application of skills in industrial automation

Keywords : SOGEM, Schneider TSX Micro, Siemens S7-1200, IHM, TIA Portal

Liste des tableaux

TABLEAU 3. 1: CONTACTS USUELS DU LANGAGE LADDER.....	65
TABLEAU 3. 2: BOBINES USUELLES DU LANGAGE LADDER	66
TABLEAU 3. 3: BLOCKS DE FONCTIONS.....	67
TABLEAU 3. 4: TABLEAU DES ENTRIES D'AUTOMATE	85
TABLEAU 3. 5: TABLEAU DES SORTIES D'AUTOMATE	86

Liste des figures

FIGURE 1. 1	LOCALISATOIN DE SARL GROUPE BIMO INDUSTRIE	3
FIGURE 1. 2:	MOTEUR ÉLECTRIQUE WEG [15]	11
FIGURE 1. 3:	VERIN PNEUMATIQUE SIMPLE EFFET	13
FIGURE 1. 4:	CAPTEUR PHOTOECTRIQUE SICK	14
FIGURE 1. 5:	VARIAREUR SINAMICE SIEMENS.....	16
FIGURE 1. 6:	DISTRIBUTEUR ET BOBINE FESTO.....	18
FIGURE 1. 7:	RELAIS FINDER 5A-250V.....	19
FIGURE 1. 8:	AUTOMATE SIEMENS S7-1500	25
FIGURE 1. 9:	TAPIS DE BISCUIT KUSTER.....	28
FIGURE 1. 10:	FLOWPACK AUCOUTURIER VUE DE GAUCHE	29
FIGURE 1. 11:	FLOWPACK AUCOUTURIER VUE DE HAUT	30
FIGURE 2. 1:	FLOWPACK AUCOUTURIER VUE DE HAUT PLUS STATION SOGEM	34
FIGURE 2. 2:	ORGANIGRAMME DE PROCESSUS	35
FIGURE 2. 3:	MOTEUR ELECTRIQUE TRIPHASE SA37 DT710.....	43
FIGURE 2. 4:	VERINS PNEUMATIQUES DOUBLE EFFET	45
FIGURE 2. 5:	L'AUTOMATE SIEMENS S7-1200.....	47
FIGURE 2. 6:	KTP700 BASIC POUR PROFINET	49
FIGURE 2. 7:	SCHNEIDER ALTIVAR 312 (ATV312).....	52
FIGURE 2. 8:	SCHNEIDER ALTIVAR 310 (ATV310).....	52
FIGURE 2. 9:	CAPTEURS PHOTOÉLECTRIQUE	54
FIGURE 2. 10:	RELAIS DE SECURITE	56
FIGURE 3. 1:	LES BLOCS DE TIA PORTAL	61
FIGURE 3. 2:	ICONE DE SIMULATEUR S7-PLCSIM.....	63
FIGURE 3. 3:	ORGANIGRAMME DE LA PARTIE ETUDIEE	69
FIGURE 3. 4:	GESTION D'AIGUILLAGE.....	72
FIGURE 3. 5:	CONDITION POUR ENVOYER VERS L EMBALEUSE 1	73
FIGURE 3. 6:	CONDITION POUR NE PAS ENVOYER VERS EMBALEUSE 1	75
FIGURE 3. 7:	CONDITION POUR ENVOYER VERS L EMBALEUSE 2.....	76
FIGURE 3. 8:	CONDITION POUR NE PAS ENVOYER VERS EMBALEUSE 2.....	77
FIGURE 3. 9:	MONT DE L'AIGUILLAGE VERS ENCAISSEUSE.....	78
FIGURE 3. 10:	CONDITION POUR ENVOYER VERS L EMBALEUSE 2	79
FIGURE 3. 11:	CONDITION POUR ENVOYER VERS L EMBALEUSE 1	80
FIGURE 3. 12:	SUPERVISER LA LARME DE BOURRAGE	81
FIGURE 3. 13:	SUPERVISER LA LARME DE BOURRAGE	81
FIGURE 3. 14:	SUPERVISER TOUT LES ALARMES	82
FIGURE 3. 15:	SUPERVISER TOUT LES ALARMES	83
FIGURE 3. 16:	SCHEMA ELECTRIQUE.....	84

Liste des abréviations et acronymes

HMI	interface Homme-Machine
IIoT	l'Internet des objets
IA	l'intelligence artificielle
DC	courant continu
TOR	Tout ou rien
NO	normalement ouverts
TPM	maintenance productive totale
UC	l'unité centrale
E/S	d'entrées/sorties
LD	Ladder Diagram
ST	Structured Text
FBD	Function Block Diagram
SFC	Sequential Function Chart
IL	le Instruction List
T.B.K	Tapis de Biscuit Juste
CPU	Central Processing Unit
TIA Portal	Totally Integrated Automation Portal
SM	Modules de Signaux
SIMATIC	Siemens Automatique
WINCC	Windows Control Center

Liste des abréviations et acronymes

FC	Function
FB	Function Bloc
FM	Function Module

Table des matières

introduction sur bimo	1
introduction generale.....	4
le but de ce memoire.....	5
chapitre1: generalites	7
INTRODUCTION	7
1.1 GENERALITES SUR LE DOMAINE INDUSTRIEL	7
1.2 GENERALITES SUR LES MACHINES INDUSTRIELLES.....	9
1.3 GENERALITES SUR LES EQUIPEMENTS INDUSTRIELS.....	10
1.3.1 moteurs.....	10
1.3.2 verins	11
1.3.3 capteur.....	13
1.3.4 variateurs	15
1.3.5 distributeurs	16
1.3.6 relais	18
1.3.7 l'interface homme-machine (hmi).....	20
1.4 GENERALITES SUR LES PROCESSUS INDUSTRIELS	21
1.5 GENERALITES SUR L'AUTOMATISME INDUSTRIEL	21
1.6 GENERALITES SUR LES AUTOMATES INDUSTRIELS.....	23
1.7 GENERALITES SUR LE PROGRAMME LADDER	25
1.8 LIGNE DE PRODUCTION DU PRODUIT GAUFRETTE.....	26
1.9 FLOW PACKS.....	28
conclusion	30
chapitre2 : etude de la station sogem.....	33
INTRODUCTION	33
2.1 INTRODUCTION SUR LA STATION SOGEM	33
2.2 FONCTIONNEMENT DE LA STATION SOGEM	34
2.3 PROBLEMATIQUE ET ANALYSE	38
2.3.1 defaillance du convoyeur pivotant.....	38

Table de matière

2.3.2 sorties et entrees hs de l'automate schneider modicon tsx micro	38
2.3.4 limitation de l'automate schneider modicon tsx micro	39
2.4 TRAVAILLE ET MODIFICATIONS A EFFECTUER	40
2.5 CONCLUSION SUR LA STATION SOGEM	40
2.6 EQUIPEMENTS DE LA MACHINERIE ET LEUR ROLE DANS LE PROCESSUS	42
2.6.1 actionneurs	42
2.6.1.1 moteurs electriques	42
2.6.1.2 verins pneumatiques	43
2.6.2 système de contrôle	45
2.6.2.1 l'automate siemens s7-1200	45
2.6.2.2 simatic hmi panel ktp700 basic	48
2.6.2.3 variateurs de frequence schneider altivar 312 (atv312)	50
2.6.3 système de detection	52
2.6.3.1 capteurs	52
2.6.4 système de protection	54
2.6.4.1 relais de securite	55
2.6.4.2 pressostat	56
conclusion	57
chapitre3: partie pratique	59
INTRODUCTION	59
3.1 LOGICIEL DE PROGRAMMATION TIA PORTAL V16	59
3.1.1 blocs de tia portal	60
3.1.2 simulation	61
3.1.2.1 simulation de s7-plcsim :	62
3.1.3 langage ladder « ld »	63
3.1.3.1 contacts	64
3.1.3.2 bobines	65
3.1.3.3 blocks de fonctions	66
3.1.4 plateforme de supervision a l'aide de l'outil wincc	67
3.2 PROGRAMMATION ET SUPERVISION	70
3.2.1 partie programmation gestion du transfert des produits vers les embaleuses	70
3.2.1.2 gestion d'aiguillage	70

Table de matière

3.2.1.3 condition pour envoyer vers l'embaleuse 1	72
3.2.1.4 condition pour ne pas envoyer vers embaleuse 1	74
3.2.1.5 condition pour envoyer vers l'embaleuse 2	75
3.2.1.6 condition pour ne pas envoyer vers embaleuse 2	76
3.2.1.7 mont de l'aiguillage vers encaisseuse	77
3.3. SUPERVISION.....	78
3.3.1 superviser la condition pour envoyer vers l'embaleuse 2	78
3.3.2 superviser condition pour envoyer vers l'embaleuse 1	79
3.3.3 superviser la larme de bourrage	80
3.3.4 superviser tout les alarmes	82
3.4 SCHEMA ELECTRIQUE	83
tableaux des entrees et des sorties d'automate	85
conclusion	86
conclusion generale	87

Introduction sur BIMO

L'agroalimentaire est la deuxième industrie du pays après l'industrie des hydrocarbures, qui représente 17 000 entreprises dont 95 % sont gérées par le privé et emploie plus de 140 000 salariés. Le privé a réussi dans le secteur agroalimentaire, soit en montant des entreprises en partenariat avec des étrangers, soit en s'associant avec des entreprises locales. Il est tourné en partie dans l'importation notamment sur les segments des produits alimentaires d'importation comme les grains, les produits agroalimentaires, ainsi que les matières premières. Dans la structure des importations agroalimentaires, il y a de tout : la farine, le sucre, la margarine, et le blé. Parmi les plus importantes, il est possible de citer : Cevital, Groupe Amor Benamor, La Belle, NCA Rouiba, Hamoud Boualam, Laiterie Soummam, Groupe Benhamadi, Sotravit, Groupe Bimo.

La biscuiterie Bimo était une simple fabrique artisanale qui a su se hisser du statut d'entreprise familiale à celui de géant industriel de l'agroalimentaire. Depuis sa création, il y a déjà plus de quarante ans, un travail de longue haleine a été réalisé et le groupe Bimo a fini par connaître une formidable extension. Le secret de cet essor est la foi et la persévérance de son manager. Et Bimo est aujourd'hui un label qui trône allègrement sur les marques mondiales de l'agroalimentaire et qui a pour engagement aujourd'hui la pérennité du groupe à travers une amélioration constante de ses performances. C'est dans ce sens que Bimo s'est engagé dans un processus de modernisation et de développement de ses activités essentielles, soutenu par un plan de rationalisation notamment par la certification de l'ensemble de ses usines. L'ultime objectif étant d'être leader et de le demeurer dans son domaine d'activité. Adoptant une stratégie marketing très discrète, Bimo n'a de cesse, cependant, d'être à l'écoute du consommateur, avec le leitmotiv commercial de toujours satisfaire le client. En fait, c'est en 1984, que le groupe a créé une nouvelle biscuiterie dans la zone industrielle de Baba Ali dans la wilaya de Blida avec une nouvelle marque, dénommée « Biscuiterie Moderne », Bimo par abréviation. Plus tard, en 1986 et dans le cadre de sa stratégie de diversification de ses activités productives, Bimo industrie a créé une unité de fabrication de chocolat et de végécao et est devenu leader national de ces produits. Alors qu'en 1997, a été inaugurée une unité de transformation de

Introduction sur bimo

fèves de cacao, première unité de ce type d'industrie en Algérie. Cette dernière approvisionne les unités du groupe ainsi que les entreprises industrielles nationales. D'autre part, 50 % de sa production est destinée à l'export, entre autres vers la France et la Hollande. En 1999, le groupe Bimo industrie a mis en production une unité de gaufretterie à Baba Ali (wilaya d'Alger) où est concentré l'essentiel de ses activités. Actuellement, Bimo Industrie dispose de six unités de production travaillant toutes dans l'industrie agroalimentaire, elles sont constituées en Sociétés à responsabilité limitée (Sarl).

Bimo Industrie Algérie compte introduire de nouveaux produits sur le marché national et à l'export. D'autre part, à partir de 2011 le groupe s'est engagé dans une démarche d'amélioration de la qualité sous le référentiel ISO 9001 version 2008 pour satisfaire toujours plus sa clientèle, et ce pour l'ensemble de ses activités.

Aujourd'hui, son objectif est la pérennité du groupe à travers une amélioration continue de ses performances. L'innovation n'étant pas en reste, car la création de nouveaux produits lui permet de faire concurrence aux produits venus d'ailleurs.

Cette société possède un effectif de 2083 employés et regroupe aujourd'hui six filiales :

Fabrication du biscuit :

SARL Biscuiterie Moderne 'BIMO' sise à Baba-ali

SARL Biscuiterie du Maghreb « BM » sise à Boghni

Usine de chocolat :

SARL Chocolaterie Bimo : une unité de chocolaterie à Baba-ali

Transformation de cacao :

SARL CACAO Bimo : une unité de transformation de fève de cacao à Baba-ali

Unité de gaufrette :

SARL Gaufretterie Bimo : une unité de gaufretterie à Baba-ali

Confiserie :

SARL Confiserie Bulle d'Or

L'usine de production est dotée de trois laboratoires de contrôle qualité (Physicochimie, Microbiologie, Traitement des eaux) capable de fournir les prestations d'analyses nécessaires à son processus de production. La capacité de production de l'usine Gaufretterie Bimo est de 8500 tonnes/an. Son effectif moyen en personnel est de 80 employés dont 7 cadres.

Introduction sur bimo

Le groupe Bimo industrie assure également les fonctions d'approvisionnement et de commercialisation des produits fabriqués pour ses usines à travers son propre réseau de distribution, elle ne commercialise pas ses produits qu'en Algérie, on énumère aussi d'autres pays européens, africains et américains.

Avec un chiffre d'affaires qui dépasse les quatre-vingts milliards de dinars, la société domine complètement la concurrence locale en se retrouvant en tête des entreprises opérant dans le domaine.

La compagnie place environ 1700 employés dans ses différentes industries en leur offrant des salaires convenables en comparant les tâches exécutées, elle couvre aujourd'hui 35% de la demande globale.

Des marques comme Ambassadeur, double mix et tango sont les produits les plus demandés par les consommateurs.

localisation

la Sarl Gaufreterie bimo est organisée en mono unité et elle est située à 6A Rue Briqueterie , Baba Ali



Figure 1. 1 localisatoin de sarl groupe bimo industrie

Introduction générale

L'automatisation industrielle est devenue un élément central dans le développement des systèmes de production modernes. Elle permet d'optimiser les performances, d'améliorer la qualité des produits, de réduire les coûts de production et d'assurer une meilleure traçabilité des processus. Dans un environnement industriel de plus en plus concurrentiel, marqué par l'émergence de l'Industrie 4.0, les entreprises doivent continuellement moderniser leurs équipements pour rester compétitives, flexibles et réactives face aux exigences du marché.

C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent mémoire, qui traite de l'étude et de la modernisation d'une station de tri et d'orientation automatisée, appelée SOGEM, utilisée dans le processus de conditionnement des gaufrettes au sein de l'entreprise BIMO Industrie. Cette station joue un rôle clé dans la répartition des produits entre deux lignes d'emballage (flowpacks), tout en assurant un tri des produits non conformes. Cependant, plusieurs dysfonctionnements ont été constatés au niveau de cette installation, notamment la défaillance du convoyeur pivotant, des anomalies sur les entrées et sorties de l'automate Schneider Modicon TSX Micro, ainsi qu'un manque de flexibilité et d'évolutivité du système de commande.

L'objectif principal de ce projet est d'identifier ces problèmes, d'en analyser les causes, puis de proposer et mettre en œuvre une solution technique adaptée pour améliorer la fiabilité, la flexibilité et la maintenabilité de la station. Pour cela, plusieurs actions ont été réalisées : le remplacement de l'automate obsolète par un Siemens S7-1200, la reprogrammation du processus à l'aide du logiciel TIA Portal, l'intégration d'une interface homme-machine (HMI) et la mise en place de relais de couplage pour sécuriser les équipements.

Ce projet constitue également une opportunité de mettre en pratique les compétences techniques acquises durant la formation, notamment en automatisation, électrotechnique, programmation et supervision industrielle. Il permet de répondre à un besoin concret du milieu professionnel tout en contribuant à l'amélioration continue des systèmes de production.

Le but de ce mémoire

Analyser optimiser et automatiser une partie de la station industrielle du modèle SOGEM, dans le cadre d'un processus de production. À travers l'étude des équipements constituant la station (moteurs, vérins, capteurs, automates, variateurs...), ainsi que l'élaboration et la compréhension du programme en langage Ladder, ce travail vise à mettre en œuvre les compétences en instrumentation et automatisme industriel apprises tout au long du cursus.

Il s'agit également de diagnostiquer le fonctionnement actuel de la station, d'effectuer les tâches nécessaires à son automatisation, et de proposer des améliorations afin d'optimiser sa performance.

Ce mémoire s'inscrit dans une démarche d'apprentissage pratique, en lien direct avec les exigences du milieu industriel.

Chapitre 1

Généralités

Chapitre1: Généralités

Introduction

L'industrie moderne repose aujourd'hui sur un ensemble de systèmes techniques et organisationnels complexes visant à transformer des matières premières en produits finis de manière efficace, sécurisée et compétitive. Cette transformation est rendue possible grâce à l'utilisation d'un vaste éventail de machines, d'équipements et de technologies automatisées, qui forment l'ossature des installations industrielles. Comprendre les fondements du domaine industriel, les types de machines utilisées et les équipements qui les composent est essentiel pour appréhender les enjeux actuels de production, d'automatisation et de digitalisation. Cette partie présente ainsi les généralités liées au secteur industriel, en détaillant ses évolutions, les fonctions des machines industrielles, ainsi que les principaux composants qui permettent leur fonctionnement optimal.

1.1 Généralités sur le domaine industriel

Le domaine industriel regroupe l'ensemble des activités orientées vers la transformation des matières premières en produits finis ou semi-finis, à l'aide de machines, de systèmes automatisés et de technologies avancées. Ce secteur constitue un pilier essentiel de l'économie mondiale, en raison de son impact direct sur la productivité, l'innovation technologique et la compétitivité des entreprises. Il connaît actuellement une profonde mutation sous l'effet de plusieurs enjeux majeurs.

Parmi les défis les plus marquants figurent l'automatisation, qui vise à optimiser les processus, réduire les coûts et améliorer l'efficacité des chaînes de production. Par ailleurs, la transition vers l'Industrie 4.0 introduit de nouvelles dimensions technologiques telles que l'Internet des objets industriels (IIoT), l'intelligence artificielle (IA), l'analyse de données massives (Big Data) ou encore la connectivité via des réseaux industriels avancés. À cela s'ajoute une prise de conscience croissante des enjeux environnementaux, incitant les industriels à intégrer des pratiques durables :

Chapitre1: Généralités

réduction des déchets, recyclage, utilisation d'énergies propres, et limitation de l'empreinte carbone. La sécurité, tant humaine que numérique, devient également cruciale avec l'essor de la cybersécurité industrielle et la conformité aux normes internationales.

L'industrie est par ailleurs un domaine vaste et diversifié, englobant plusieurs secteurs clés. Le secteur manufacturier, par exemple, repose largement sur des solutions automatisées pour des opérations telles que l'assemblage ou l'emballage. L'industrie automobile utilise des automates pour piloter des robots sur les chaînes de montage. Le secteur agroalimentaire recourt à des lignes de production automatisées pour assurer le tri, le conditionnement et la traçabilité. Quant aux domaines pharmaceutique, énergétique et logistique, ils exploitent l'automatisation pour garantir précision, sécurité et efficacité.

Au cœur de cette automatisation se trouvent les automates programmables industriels (API ou PLC), qui assurent le contrôle de machines (moteurs, vérins, pompes), la régulation de processus (pression, température, débit), la communication industrielle (via des protocoles comme Modbus, Ethernet/IP ou Profibus), ainsi que la gestion des dispositifs de sécurité. Par exemple, dans une usine automobile, un automate peut piloter une ligne de peinture en contrôlant la température, le débit de peinture, tout en optimisant la consommation de matière.

L'évolution technologique de l'industrie se manifeste aussi par l'adoption de solutions avancées telles que le edge computing (traitement local des données en temps réel), la réalité augmentée pour la maintenance assistée, et les jumeaux numériques qui permettent de simuler et d'optimiser virtuellement les systèmes de production. Ces innovations s'inscrivent dans une logique d'usine intelligente, ou *Smart Factory*, où la connectivité, la flexibilité et l'autonomie sont maximisées [1]

Enfin, l'environnement industriel est strictement encadré par des normes et réglementations destinées à garantir la qualité, la sécurité et l'interopérabilité des systèmes. Parmi celles-ci, on retrouve les normes ISO 9001 (qualité), ISO 13849 (sécurité des machines), la norme CEI 61131-3 (programmation des automates), ou encore les réglementations liées à la cybersécurité industrielle et à la protection des données (RGPD, CEI 62443).

Chapitre1: Généralités

En somme, le domaine industriel est en constante évolution, porté par l'automatisation, la digitalisation et l'intégration de technologies intelligentes. Dans ce contexte, les automates industriels jouent un rôle central dans la conception de systèmes performants, sûrs et durables.

1.2 Généralités sur les Machines Industrielles

Les machines industrielles représentent l'ensemble des équipements mécaniques, électriques et électroniques utilisés dans les processus de production. Elles jouent un rôle essentiel dans la transformation des matières premières en produits finis ou semi-finis, à travers des opérations automatisées, précises et contrôlées. Leur développement a permis d'augmenter considérablement les capacités de production, d'améliorer la qualité des produits, de réduire les coûts de fabrication et de remplacer les tâches répétitives ou dangereuses par des solutions automatisées.

On distingue plusieurs types de machines selon leur fonction : les machines de production (tours, fraiseuses, robots), de transformation (presses, extrudeuses), de conditionnement (ensacheuses, étiqueteuses), ou encore les machines spéciales conçues pour des besoins industriels spécifiques. Chaque machine intègre des composants essentiels : une structure mécanique robuste, un système de commande piloté par automate, des moteurs et actionneurs, une alimentation électrique, ainsi qu'une interface homme-machine. Avec l'évolution technologique, ces équipements intègrent désormais des solutions avancées comme la commande numérique, la connectivité IIoT, la maintenance prédictive, ou encore l'intelligence embarquée. Les normes de sécurité, telles que la directive européenne 2006/42/CE ou la norme ISO 12100, encadrent leur conception et leur utilisation. La maintenance industrielle, qu'elle soit préventive ou prédictive, est également cruciale pour garantir leur performance. Véritable levier de productivité, les machines industrielles représentent un investissement stratégique, au cœur des enjeux actuels de compétitivité, de flexibilité et de durabilité dans l'industrie 4.0.[2]

1.3 Généralités sur les Équipements Industriels

Les équipements industriels jouent un rôle central dans l'automatisation des processus de production. Ils regroupent l'ensemble des composants utilisés pour l'action, la détection, la commande et le contrôle au sein des systèmes automatisés. Parmi les dispositifs les plus courants, on distingue les moteurs, les vérins, les capteurs (ou cellules), les variateurs, les distributeurs et les relais, chacun remplissant une fonction précise dans le fonctionnement global d'une machine.

1.3.1 Moteurs

Dans l'industrie, les moteurs électriques représentent l'un des éléments clés de l'automatisation et du mouvement mécanique. Il existe plusieurs types de moteurs, chacun adapté à des besoins spécifiques en termes de puissance, de précision, de vitesse ou de contrôle. Les moteurs asynchrones (ou moteurs à induction) sont les plus couramment utilisés. Ils se distinguent par leur robustesse, leur faible coût et leur facilité d'entretien. Ils sont souvent utilisés pour les applications nécessitant une vitesse constante, comme les convoyeurs, les pompes ou les ventilateurs. À côté de cela, les moteurs synchrones offrent une vitesse de rotation parfaitement stable, synchronisée avec la fréquence du réseau, ce qui les rend adaptés aux applications nécessitant une grande précision ou un couple constant [3]

Les moteurs à courant continu (DC) sont utilisés lorsqu'un contrôle fin de la vitesse et du couple est nécessaire. Ils sont particulièrement adaptés aux machines-outils, systèmes d'entraînement variables ou robots industriels. Leur principal avantage réside dans la facilité de variation de leur vitesse, mais ils nécessitent un entretien plus régulier à cause des balais et du collecteur. De plus, les moteurs pas à pas et les servomoteurs sont largement utilisés dans les systèmes automatisés modernes. Le moteur pas à pas est conçu pour effectuer des mouvements précis par incréments, ce qui le rend idéal pour le positionnement, les imprimantes ou les machines de dosage. Le servomoteur, quant à lui, est un moteur piloté par un système de boucle fermée (avec retour de position) permettant un contrôle très précis de la vitesse, de la position et du couple. Il est essentiel dans les systèmes robotisés, les machines CNC et les bras manipulateurs.

Chapitre1: Généralités

Le choix du moteur dépend donc des exigences de l'application : précision, puissance, environnement, coût et maintenance. Une documentation technique complète doit inclure les caractéristiques suivantes : puissance nominale, couple maximal, plage de vitesse, rendement, classe de protection (IP), type de commande et mode d'alimentation. Le moteur est souvent couplé à un variateur de vitesse ou un système de contrôle (API ou variateur de fréquence), qui permet d'optimiser ses performances selon les besoins de la machine.



Figure 1. 2: *Moteur électrique WEG [15]*

1.3.2 Vérins

Il existe principalement trois types de vérins utilisés dans l'industrie : les vérins pneumatiques, hydrauliques et électriques, chacun présentant des caractéristiques spécifiques adaptées à des besoins variés. Le vérin pneumatique, alimenté par de l'air

Chapitre1: Généralités

comprimé, est largement répandu dans les systèmes automatisés pour sa rapidité, sa simplicité et son faible coût. Il est particulièrement adapté aux applications nécessitant des efforts modérés, comme l'éjection, la translation de pièces légères ou le tri sur des lignes de production. En revanche, lorsqu'une grande force est requise, le vérin hydraulique est préféré. Alimenté par un fluide incompressible tel que l'huile, il permet d'obtenir un couple ou une poussée très élevée, tout en assurant un mouvement régulier. On le retrouve souvent dans les machines de forte puissance, telles que les presses industrielles ou les systèmes de levage. Le vérin électrique, quant à lui, fonctionne à l'aide d'un moteur électrique couplé à une vis sans fin ou à billes, permettant un contrôle très précis de la position, de la vitesse et du couple. Il est idéal pour les applications nécessitant de la précision, de la répétabilité et une intégration facile dans un système piloté électroniquement, comme en robotique, dans le domaine médical ou dans les systèmes automatisés hautement contrôlés.

Comparativement, chaque technologie présente des avantages et des limites. Le vérin pneumatique est rapide, propre et économique, mais limité en force à cause de la faible pression d'air (généralement autour de 6 bars). Le vérin hydraulique offre une force bien plus importante, mais nécessite un circuit plus complexe, une centrale hydraulique, et une maintenance plus rigoureuse en raison de la présence de fluide. Le vérin électrique est le plus précis et flexible en termes de pilotage, mais son coût est plus élevé et il est plus sensible aux conditions environnementales (poussière, humidité, température). Le choix entre ces types de vérins dépend donc des exigences de l'application : puissance nécessaire, vitesse souhaitée, niveau de précision, environnement de travail, coût et facilité de maintenance. Dans tous les cas, le vérin reste un élément central de l'action mécanique dans une machine industrielle, capable de répondre à une large gamme de besoins opérationnels. [4]

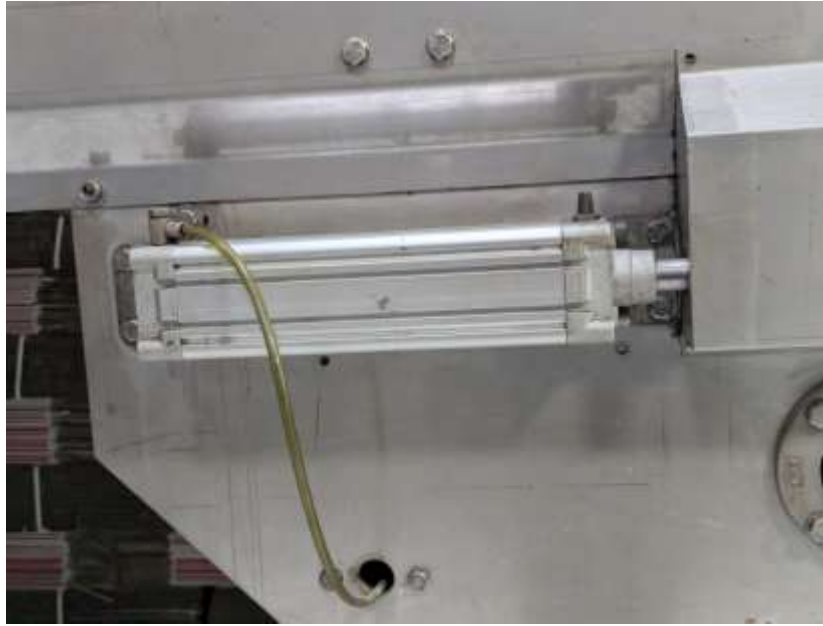


Figure 1. 3: VERIN PNEUMATIQUE SIMPLE EFFET [15]

1.3.3 capteur

Un capteur est un dispositif essentiel dans les systèmes automatisés industriels, dont le rôle est de détecter une grandeur physique ou chimique (position, température, pression, distance, vitesse, etc.) et de la convertir en un signal électrique exploitable par un automate programmable (API), un système de contrôle ou une interface homme-machine. Les capteurs permettent à la machine de percevoir son environnement et d'adapter son comportement en temps réel. Il en existe plusieurs types, classés selon la nature de la grandeur mesurée. Par exemple, les capteurs de position (fin de course, capteurs inductifs, capacitifs, optiques ou magnétiques) détectent la présence ou l'absence d'un objet à un point donné ; les capteurs de pression (comme les pressostats) mesurent la pression dans un circuit pneumatique ou hydraulique ; les capteurs de température tels que les thermocouples ou sondes PT100, surveillent la chaleur et les capteurs de proximité permettent de détecter un objet sans contact physique.

Chapitre1: Généralités

Dans une machine industrielle, les capteurs remplissent plusieurs fonctions essentielles : assurer la sécurité (détection d'obstacles, arrêt d'urgence), le suivi de position des éléments mobiles (comme un vérin ou un convoyeur), le contrôle qualité (vérification de présence ou de dimensions), ou encore la synchronisation d'actions (détection d'un produit pour déclencher un actionneur). Par exemple, un capteur inductif placé en bout de course d'un vérin peut confirmer que celui-ci a atteint sa position finale, permettant ainsi à l'automate de lancer l'étape suivante du cycle. Le bon choix du capteur dépend de plusieurs critères : la nature de l'objet à détecter (métallique, plastique, transparent), la distance de détection, les conditions environnementales (humidité, poussière, température), la fréquence de fonctionnement, la précision requise, et le type de signal de sortie (TOR, analogique, numérique).

Les capteurs contribuent donc directement à l'efficacité, la précision et la fiabilité des installations industrielles modernes, et leur intégration correcte dans un système automatisé est cruciale pour garantir un fonctionnement optimal [5]



Figure 1. 4: *CAPTEUR PHOTOELECTRIQUE SICK [15]*

1.3.4 Variateurs

Le variateur de vitesse, aussi appelé variateur de fréquence est un dispositif électronique utilisé dans les machines industrielles pour réguler la vitesse, le couple et parfois le sens de rotation d'un moteur électrique, en particulier les moteurs triphasés. Il joue un rôle crucial dans l'automatisation et l'optimisation énergétique des équipements motorisés. Le variateur agit en modifiant la fréquence et la tension du courant électrique envoyé au moteur. En abaissant la fréquence, le moteur tourne plus lentement ; en l'augmentant, il accélère. Cette capacité à ajuster dynamiquement la vitesse permet un contrôle précis du processus, une réduction de l'usure mécanique, et une consommation énergétique optimisée, car le moteur ne tourne que selon les besoins réels de la charge.

Dans l'industrie, les variateurs sont couramment utilisés pour piloter des convoyeurs, des pompes, des ventilateurs, des compresseurs ou encore des machines-outils. Par exemple, dans un système de tri ou d'emballage, un variateur peut ralentir ou accélérer le tapis roulant selon la cadence de production. Il permet également des démarrages et arrêts progressifs, évitant les à-coups nuisibles à la mécanique. Les variateurs modernes sont souvent connectés à des automates (API) et peuvent être programmés pour interagir avec des capteurs, des fins de course ou des interfaces opérateur, offrant ainsi une flexibilité et une automatisation avancées.

Le choix d'un variateur dépend de plusieurs critères : la puissance du moteur à piloter, la nature de la charge (constante ou variable), la précision du contrôle requis, ainsi que l'environnement d'installation (poussière, température, humidité). En résumé, le variateur de vitesse est un élément clé de performance, de sécurité et d'efficacité énergétique dans les systèmes industriels modernes.[6]



Figure 1. 5: *VARIAREUR SINAMICE SIEMENS [15]*

Remarques :

Les variateurs V/F sont parfaits pour des systèmes à fonctionnement constant ou peu critique.

Les variateurs vectoriels sont souvent utilisés lorsqu'un bon couple à basse vitesse est requis, sans aller jusqu'à la précision des servos.

Les servovariateurs sont essentiels dans les applications où la précision de positionnement et la réactivité sont primordiales.

1.3.5 Distributeurs

Dans une machine industrielle, le distributeur joue un rôle essentiel dans les systèmes pneumatiques et hydrauliques en contrôlant la direction, le débit et la pression des

Chapitre1: Généralités

fluides, tels que l'air comprimé ou l'huile. Il permet de réguler le flux de fluide vers différents actionneurs comme les vérins ou moteurs, facilitant ainsi leurs mouvements précis et coordonnés. Le distributeur guide le fluide vers les différentes voies du circuit en fonction des besoins de l'application, ce qui permet d'obtenir des mouvements de translation ou de rotation adaptés aux exigences du processus. Il peut également moduler la quantité de fluide envoyée à un actionneur, garantissant ainsi une pression et un débit constants pour un fonctionnement optimal. De plus, dans certains systèmes, il intègre des fonctions de sécurité en arrêtant le flux de fluide en cas de besoin, évitant ainsi des défaillances dues à des pressions excessives ou à des dysfonctionnements. Un autre rôle clé du distributeur est la synchronisation des actions ; en dirigeant le fluide vers plusieurs actionneurs de manière séquentielle ou simultanée, il assure la coordination de leurs mouvements, ce qui est crucial pour des processus industriels complexes. En fonction des besoins, les distributeurs peuvent être manuels, électromagnétiques ou à commande proportionnelle, chacun offrant un niveau de contrôle spécifique sur le système. Ainsi, le distributeur est indispensable pour garantir la précision, la sécurité et la fluidité des opérations dans les machines industrielles automatisées.[7]



Figure 1. 6: *DISTRIBUTEUR ET BOBINE FESTO [15]*

1.3.6 Relais

Le relais est un composant électromécanique fondamental dans de nombreuses installations industrielles, permettant de commander un circuit électrique à l'aide d'un signal de faible puissance. Son rôle principal est de commuter un circuit de puissance en utilisant un signal d'entrée de faible intensité, ce qui permet de contrôler des équipements nécessitant une puissance supérieure, comme des moteurs ou des dispositifs d'éclairage. Le relais fonctionne grâce à une bobine électromagnétique qui, lorsqu'elle est alimentée, génère un champ magnétique. Ce champ provoque le déplacement d'un contact mécanique, ouvrant ou fermant ainsi le circuit électrique qu'il commande. Cette fonctionnalité permet au relais de servir d'interface entre des systèmes de commande (tels qu'un automate programmable) et des équipements à haute puissance, tout en assurant l'isolation nécessaire pour protéger les composants sensibles.

Chapitre1: Généralités

En plus de son rôle de commande, le relais joue un rôle crucial dans la protection des circuits électriques. Il peut être utilisé pour éviter les risques de surcharge ou de court-circuit en coupant l'alimentation électrique en cas de détection de défaut. Par exemple, un relais thermique peut être intégré pour protéger un moteur contre les surcharges en surveillant l'intensité du moteur et en coupant le circuit si celle-ci dépasse un seuil critique. De plus, certains relais sont équipés de contacts normalement ouverts (NO) ou normalement fermés (NF), permettant d'effectuer des fonctions de commutation simples, tandis que des relais temporisés ou multifonctionnels peuvent être utilisés pour des applications nécessitant des délais spécifiques ou une logique de commande plus complexe.

Ainsi, le relais est un élément clé dans l'automatisation industrielle, permettant de sécuriser, isoler et commander des circuits de puissance de manière fiable et efficace, tout en offrant une protection essentielle contre les pannes et dysfonctionnements. Sa simplicité de fonctionnement et sa polyvalence en font un composant indispensable dans la conception des systèmes de commande modernes.[8]

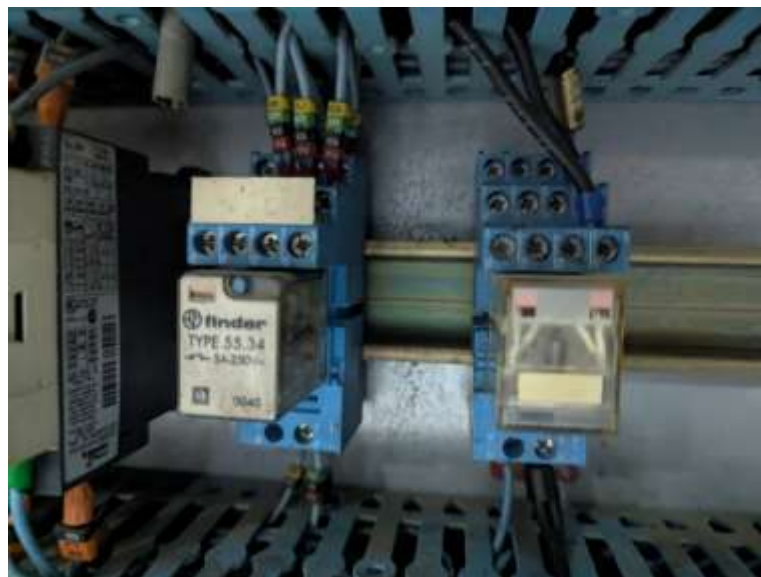


Figure 1. 7: Relais finder 5A-250V [15]

1.3.7 l'interface homme-machine (HMI)

Dans le cadre d'une installation industrielle automatisée, l'interface homme-machine (HMI) joue un rôle central en assurant la communication entre l'opérateur et le système de contrôle, généralement piloté par un automate programmable (API). Cet équipement, souvent matérialisé sous forme d'un écran tactile industriel, permet la visualisation en temps réel de l'état des différents composants du processus, tels que les moteurs, capteurs, vérins, convoyeurs ou encore les tableaux de comptage. Grâce à une interface graphique intuitive, l'opérateur peut surveiller le déroulement des opérations, détecter les anomalies (via des messages d'alarme ou des indicateurs d'état), et intervenir directement sur les paramètres de fonctionnement sans accéder physiquement à l'automate ou aux armoires électriques.

L'HMI permet notamment de modifier dynamiquement des valeurs de consignes telles que la vitesse des convoyeurs, les temporisations associées aux capteurs, ou encore les seuils de comptage. Ces réglages, qui seraient autrement figés dans le programme de l'automate, deviennent accessibles et ajustables depuis l'interface, apportant une grande flexibilité au processus de production. D'un point de vue technique, l'HMI est souvent connectée à l'automate via un protocole de communication industriel tel que Modbus TCP, Profinet ou Ethernet/IP, assurant un échange rapide et fiable des données.

Par ailleurs, l'interface peut intégrer différents niveaux d'accès sécurisés, permettant de restreindre certaines modifications aux seuls techniciens habilités. Elle améliore également la maintenance préventive en fournissant des informations détaillées sur les états de fonctionnement, les erreurs rencontrées, et les statistiques de production. En résumé, l'HMI constitue un outil indispensable dans l'architecture d'une machine automatisée moderne, car elle favorise l'autonomie de l'opérateur, optimise la réactivité face aux incidents, et renforce la supervision globale du système industriel [9]

1.4 Généralités sur les Processus Industriels

Les processus industriels de production englobent l'ensemble des opérations organisées visant à transformer les matières premières en produits finis.

Ils répondent à trois enjeux majeurs : efficacité, qualité et rentabilité.

Selon leur organisation, ces processus se déclinent en plusieurs types : la production continue (raffineries, cimenteries) assure un rendement maximal grâce à une automatisation totale ; la production par lots, plus flexible, s'adapte à des séries limitées, typique dans les secteurs pharmaceutiques ou cosmétiques ; la production en chaîne, quant à elle, repose sur la spécialisation des postes pour une cadence élevée, comme dans l'automobile ; enfin, la production sur commande permet la fabrication unitaire, souvent personnalisée, à forte valeur ajoutée.

Un processus performant combine des flux physiques (approvisionnement, transformation, contrôle qualité), des flux d'information (MES, traçabilité numérique) et une gestion efficace des ressources humaines. Pour améliorer ces systèmes, les industriels s'appuient sur des méthodes comme le Lean Manufacturing (réduction des gaspillages), Six Sigma (maîtrise de la variabilité) et la TPM (maintenance productive totale).

La métrologie industrielle joue aussi un rôle clé via des capteurs intelligents, la vision industrielle et les essais de contrôle qualité. Avec l'automatisation croissante, les niveaux d'autonomie s'étendent jusqu'à l'intégration de l'intelligence artificielle, appuyée par des technologies comme les cobots ou les véhicules autonomes. Aujourd'hui, les défis incluent la transition écologique, la digitalisation des usines, et l'augmentation de la flexibilité pour répondre à des marchés de plus en plus personnalisés

[10]

1.5 Généralités sur l'Automatisme Industriel

L'automatisme industriel désigne l'ensemble des techniques permettant de piloter, contrôler et surveiller des processus industriels de manière automatique, sans intervention humaine directe. Il repose sur des dispositifs programmables tels que les automates (API), des capteurs servant à collecter des informations du terrain, des

Chapitre1: Généralités

actionneurs qui exécutent les ordres (moteurs, vannes, vérins), ainsi que des réseaux de communication qui assurent la transmission fiable des données entre les différents composants. Ce domaine constitue un pilier fondamental de l'industrie moderne.

Les objectifs de l'automatisation sont multiples. Elle vise avant tout à augmenter la productivité en optimisant les cycles de production et en réduisant les arrêts non planifiés. Elle améliore également la qualité des produits grâce à une précision accrue et à une meilleure répétabilité des opérations. La sécurité est un autre enjeu majeur, les automatismes permettant de limiter les interventions humaines dans des environnements potentiellement dangereux. Enfin, ces systèmes contribuent à la réduction des coûts, tant sur le plan de la maintenance que sur celui des pertes liées aux défauts de fabrication.

Un système d'automatisme industriel repose sur plusieurs composants clés. L'automate programmable industriel (API) constitue le centre de traitement, capable d'analyser les signaux entrants et de générer les actions appropriées. Des marques comme Siemens (S7) ou Schneider Electric (M340) proposent des modèles performants, programmés selon la norme IEC 61131-3. Les capteurs, quant à eux, mesurent en temps réel les grandeurs physiques telles que la température (PT100, thermocouples), la pression, la position (capteurs de fin de course, codeurs), ou le débit. Les actionneurs, tels que les moteurs électriques, vérins pneumatiques ou électrovannes, exécutent les commandes issues du programme de l'automate.

L'interface homme-machine (IHM), via des écrans tactiles ou des logiciels SCADA, permet à l'opérateur de superviser et d'interagir avec l'installation. Enfin, les réseaux de communication, comme Profibus, Modbus, Ethernet/IP ou Profinet, assurent la cohésion entre tous ces éléments ; des protocoles sans fil tels que LoRa ou Wi-Fi industriel gagnent aussi en importance avec l'émergence des technologies connectées.

L'automatisation s'organise généralement en trois niveaux : le niveau terrain, qui regroupe les capteurs et actionneurs ; le niveau commande, correspondant aux automates ; et le niveau supervision, où s'intègrent les systèmes SCADA et les applications IoT. Les champs d'application sont très variés : lignes d'assemblage dans

Chapitre1: Généralités

l'automobile, machines-outils à commande numérique, processus continus dans la chimie ou l'agroalimentaire, ou encore gestion intelligente des réseaux d'énergie.

Parmi ses avantages majeurs, l'automatisme industriel offre une grande précision, une flexibilité élevée grâce à la reprogrammation, et une sécurité renforcée. Les évolutions récentes, telles que l'Industrie 4.0, l'intégration des objets connectés (IIoT), l'usage croissant des robots collaboratifs (cobots) et le recours à l'intelligence artificielle pour la maintenance prédictive, dessinent les contours d'une industrie de plus en plus intelligente, connectée et autonome.[11]

1.6 Généralités sur les Automates Industriels

Les automates industriels, également appelés Automates Programmables Industriels (API) ou PLC (Programmable Logic Controllers), sont des dispositifs électroniques conçus pour automatiser les processus industriels. Ils ont remplacé les anciens systèmes à relais électromécaniques en offrant une solution plus flexible, modifiable par programmation, et nettement plus fiable. Leur rôle principal est de collecter des données issues du terrain à travers des capteurs (température, pression, position, etc.), de traiter ces informations selon un programme logique défini par l'utilisateur, puis de commander des actionneurs tels que des moteurs, vérins, ou électrovannes. Les automates modernes sont également capables de communiquer avec d'autres systèmes, notamment les interfaces de supervision ou les bases de données industrielles.

L'architecture typique d'un automate programmable repose sur une série de composants interconnectés. Le cœur du système est l'unité centrale (UC), dotée d'un microprocesseur chargé d'exécuter le programme et de gérer les échanges d'informations. Elle contient également une mémoire pour stocker les instructions ainsi que des interfaces de communication permettant l'interconnexion avec des réseaux industriels. Les modules d'entrées/sorties (E/S) sont essentiels : les entrées numériques (tout-ou-rien) et analogiques (valeurs continues) transmettent les signaux provenant des capteurs, tandis que les sorties numériques ou analogiques pilotent les dispositifs sur le terrain. Des modules complémentaires peuvent être ajoutés selon les besoins : fonctions de comptage rapide, régulation PID, ou encore communication via des bus industriels comme Ethernet, Profibus ou CANopen. L'ensemble du système

Chapitre1: Généralités

est alimenté par un module de puissance convertissant le courant secteur en une tension de 24 V DC, adaptée à l'électronique de l'automate.

La programmation de ces automates repose sur la norme internationale IEC 61131-3, qui définit cinq langages standards. Le plus courant est le Ladder Diagram (LD), ou langage à contacts, qui s'inspire directement des logiques de relais et reste privilégié pour les commandes de base telles que les démarrages ou arrêts. Le Structured Text (ST), langage textuel structuré, permet de traiter des calculs complexes et d'exécuter des conditions avancées. Le Function Block Diagram (FBD) repose sur une logique de blocs fonctionnels reliés entre eux, très utile pour les régulations, temporisations ou alarmes. Le Sequential Function Chart (SFC), basé sur la représentation GRAFCET, décrit les séquences de fonctionnement sous forme d'étapes et de transitions, ce qui le rend particulièrement pertinent dans les processus cycliques, comme ceux de la station de tri SOGEM. Enfin, l'Instruction List (IL), proche de l'assembleur, tend à disparaître en raison de sa complexité et de sa lisibilité réduite .

Comparés aux systèmes câblés traditionnels, les automates offrent des avantages décisifs : la reprogrammation logicielle permet une grande flexibilité sans intervention matérielle, les installations sont allégées grâce à la suppression des armoires à relais, et les fonctions de diagnostic intégrées facilitent l'entretien et le dépannage. Leur capacité à s'intégrer à des réseaux industriels via des protocoles tels que Modbus, Profinet ou Ethernet/IP permet une interopérabilité aisée avec les autres équipements de l'usine, tout en réduisant les coûts d'installation, de câblage et de maintenance.

Les évolutions technologiques récentes ont renforcé le rôle stratégique des automates. On observe l'émergence d'API plus compacts mais plus puissants, intégrant nativement des protocoles modernes (OPC UA, MQTT), des fonctions de cybersécurité, et même des capacités de traitement en périphérie (Edge Computing). À l'horizon, les automates se dirigent vers l'intégration de l'intelligence artificielle, l'usage de jumeaux numériques pour la simulation en temps réel, et une connectivité 5G permettant la mise en œuvre d'usines intelligentes entièrement interconnectées et réactives. .[12] [21]



Figure 1. 8: automate Siemens S7-1500 [15]

1.7 Généralités sur le Programme LADDER

Le langage LADDER, également appelé logique à échelles, est un langage de programmation graphique utilisé dans le développement de programmes pour les automates programmables industriels (API), ou PLC en anglais. Ce langage est très répandu dans l'industrie, notamment parce qu'il s'inspire directement des schémas électriques traditionnels utilisés en électrotechnique, ce qui le rend particulièrement accessible aux techniciens et automaticiens familiarisés avec les relais électromécaniques.

Le LADDER se présente sous la forme de rangs horizontaux appelés "rungs", placés entre deux lignes verticales représentant l'alimentation électrique (généralement la

Chapitre1: Généralités

phase à gauche et le neutre ou la masse à droite). Chaque rang correspond à une logique conditionnelle : il lit les états des entrées (comme des capteurs ou des boutons), exécute une opération logique, puis commande des sorties (moteurs, voyants, vérins, etc.). Les éléments fondamentaux de ce langage incluent les contacts normalement ouverts ou fermés, utilisés pour tester des conditions, ainsi que les bobines, qui représentent les actions à déclencher. On y retrouve également des fonctions avancées telles que les temporisateurs, les compteurs ou les comparateurs, qui permettent d'élargir les possibilités logiques du programme.

Le principal atout du LADDER réside dans sa lisibilité et son aspect visuel. Il est intuitif, ce qui facilite sa compréhension et sa maintenance sur le terrain, même pour des personnels peu familiers avec les langages de programmation informatiques. De plus, il est normalisé selon la norme IEC 61131-3, ce qui en fait un standard dans le domaine de l'automatisation. Toutefois, le LADDER présente certaines limites, notamment dans les applications complexes nécessitant des calculs mathématiques élaborés, la gestion de données ou l'intégration de protocoles de communication avancés. Dans de tels cas, des langages textuels comme le Structured Text (ST) sont souvent plus appropriés.

En résumé, le langage LADDER reste une référence incontournable dans l'industrie pour la programmation des automates, grâce à sa simplicité, sa compatibilité avec les habitudes des électrotechniciens, et son efficacité pour des processus logiques clairs et bien structurés [13]

1.8 ligne de production du produit gaufrette

La ligne de production du produit gaufrette se déroule selon un enchaînement d'étapes techniques bien définies, assurant la qualité et la régularité du produit fini. Elle débute dans la salle de préparation, où les ingrédients (farine, sucre, huiles, arômes, etc.) sont pesés et mélangés pour obtenir une pâte homogène.

Cette pâte est ensuite envoyée vers le four, qui cuit la pâte en fines feuilles croustillantes grâce à des plaques chauffées en continu. À la sortie du four, les feuilles passent sur le T.B.K (Tapis de Biscuit Kuster), un convoyeur permettant leur refroidissement progressif pour éviter toute déformation. Les feuilles refroidies arrivent

Chapitre1: Généralités

ensuite à la tartineuse, où une ou plusieurs couches de crème sont étalées de manière uniforme entre les feuilles pour former des sandwiches de feuilles de gaufrettes.

Ces empilements sont ensuite dirigés vers le frigo spiral, qui sert à raffermir la crème et à stabiliser la structure avant découpe. La découpeuse prend alors le relais pour sectionner les plaques en gaufrettes individuelles aux dimensions précises. Les produits découpés passent ensuite dans l'enrobeuse, où une couche de chocolat ou d'un autre enrobage est appliquée pour ajouter goût et protection, les gaufrettes enrobées sont dirigées vers le décorateur pour être décoré de bandelettes blanches.

Enfin vers un tunnel de refroidissement, destiné à solidifier l'enrobage et garantir un aspect final net avant leur mise en conditionnement par une flowpack. Ce processus complet assure un produit à la fois savoureux, structuré et conforme aux standards de qualité industrielle



Figure 1. 9: *Tapis de Biscuit Kuster [15]*

1.9 Flow packs

La machine Flowpack est un équipement industriel automatisé spécialisé dans les opérations d'emballage et de conditionnement. Principalement utilisée dans les secteurs agroalimentaire, pharmaceutique et chimique, cette machine permet des opérations d'ensachage, de remplissage et de scellage de produits avec une grande précision en continu. Son fonctionnement repose sur un système de mâchoires. La machine peut supporter des charges importantes dans des processus industriels continus.

L'automatisation de la machine Flowpack est gérée par un automate programmable (PLC), qui contrôle les différentes étapes du processus d'emballage, depuis la détection des produits jusqu'au scellage final. Des capteurs et actionneurs intégrés permettent une régulation précise des opérations, tandis que des protocoles de sécurité, (NF EN 60204-1), conformes aux normes industrielles garantissent un fonctionnement sûr. Fabriquée par AUCOUTURIER S.A, cette machine est conçue

Chapitre1: Généralités

pour répondre aux besoins des industries modernes, incluant des interfaces homme-machine (HMI) pour une supervision optimisée. Son utilisation améliore significativement la productivité en réduisant les temps de traitement et en minimisant les erreurs humaines, faisant d'elle un élément clé dans les chaînes de production automatisées.[14]

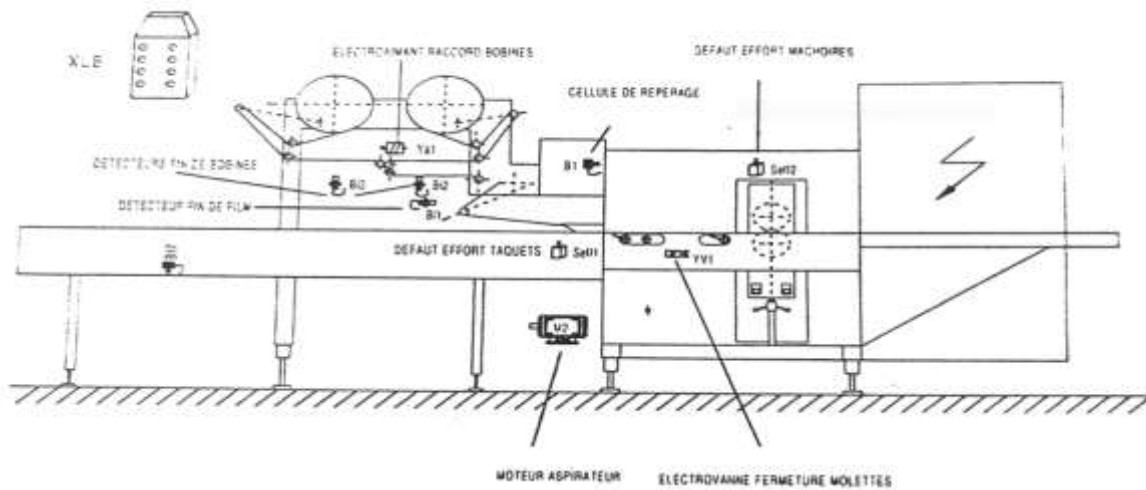


Figure 1. 10: Flowpack Aucouturier vue de Gauche [15]

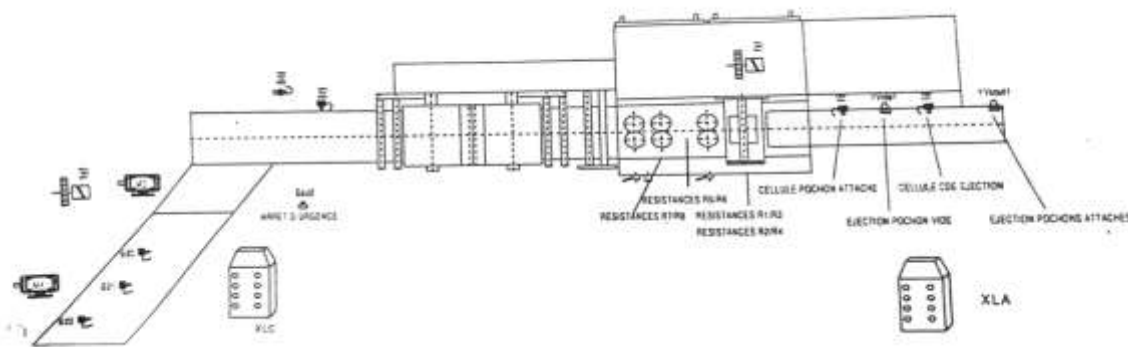


Figure 1. 11: Flowpack Aucouturier vue de Haut [15]

Conclusion

À travers cette première partie, nous avons exploré les fondements du domaine industriel moderne, en mettant en évidence l'importance des machines, des équipements et des technologies d'automatisation dans les processus de production. L'évolution vers une industrie de plus en plus connectée et intelligente impose une compréhension rigoureuse des composants techniques, des logiques de fonctionnement des automates programmables, ainsi que des langages de programmation adaptés comme le LADDER.

L'étude s'est également intéressée à un cas concret de ligne de production industrielle, à savoir la fabrication de gaufrettes, avec un focus sur la machine Flowpack, dont le rôle est essentiel dans la phase finale d'emballage. Cette mise en contexte technique permet de mieux cerner les problématiques pratiques liées à la gestion, l'automatisation et la fiabilité des systèmes industriels.

Chapitre1: Généralités

Ces connaissances générales constituent ainsi un socle indispensable pour aborder les étapes suivantes du mémoire, qui porteront sur l'analyse, l'optimisation et la mise en œuvre de solutions adaptées au sein de la chaîne de production étudiée.

Chapitre 2

Étude de la Station SOGEM

Chapitre2 : Etude de la station SOGEM

Introduction

Dans le contexte d'une automatisation industrielle en constante évolution, la station SOGEM représente un maillon essentiel dans la chaîne de tri et de conditionnement des produits agroalimentaires. Ce chapitre s'attache à étudier en profondeur cette station, mise en œuvre dans l'unité de gaufretterie du groupe BIMO. Conçue pour orienter les paquets de gaufrettes vers deux lignes distinctes d'emballage, elle intègre plusieurs sous-systèmes automatisés tels que des convoyeurs, tables pivotantes, capteurs intelligents et un automate programmable. Cette étude débute par une présentation de l'architecture et du fonctionnement de la station, avant de mettre en lumière les dysfonctionnements identifiés, principalement liés à l'obsolescence de certains équipements. En réponse à ces contraintes, des modifications techniques ciblées ont été proposées et implémentées, notamment le remplacement de l'automate Schneider TSX Micro par un Siemens S7-1200 et l'ajout d'une interface homme-machine (HMI). Ce chapitre constitue ainsi une étape critique dans la compréhension des limitations actuelles du système et la justification des choix techniques retenus pour sa modernisation

2.1 Introduction sur la Station SOGEM

La station SOGEM est conçue pour le tri et l'orientation des produits via un (convoyeur U3) qui dirige les objets selon deux flux distincts vers une des deux Flow Packs destine stockage. Le produit arrive par le convoyeur d'entrée (repère 10), traverse un système de détection et de tri (repères 11 à 13), puis est orienté à l'aide de bras ou de déflecteurs (repère 16) vers deux lignes de distribution différentes

(repères 17 et 18). Ces lignes peuvent être affectées à différents types de produits ou à des étapes successives du processus (par exemple, emballage et stockage)

Ce type de configuration permet une gestion intelligente du flux de production et s'adapte facilement à des cadences variables ou à des produits de typologies différentes.

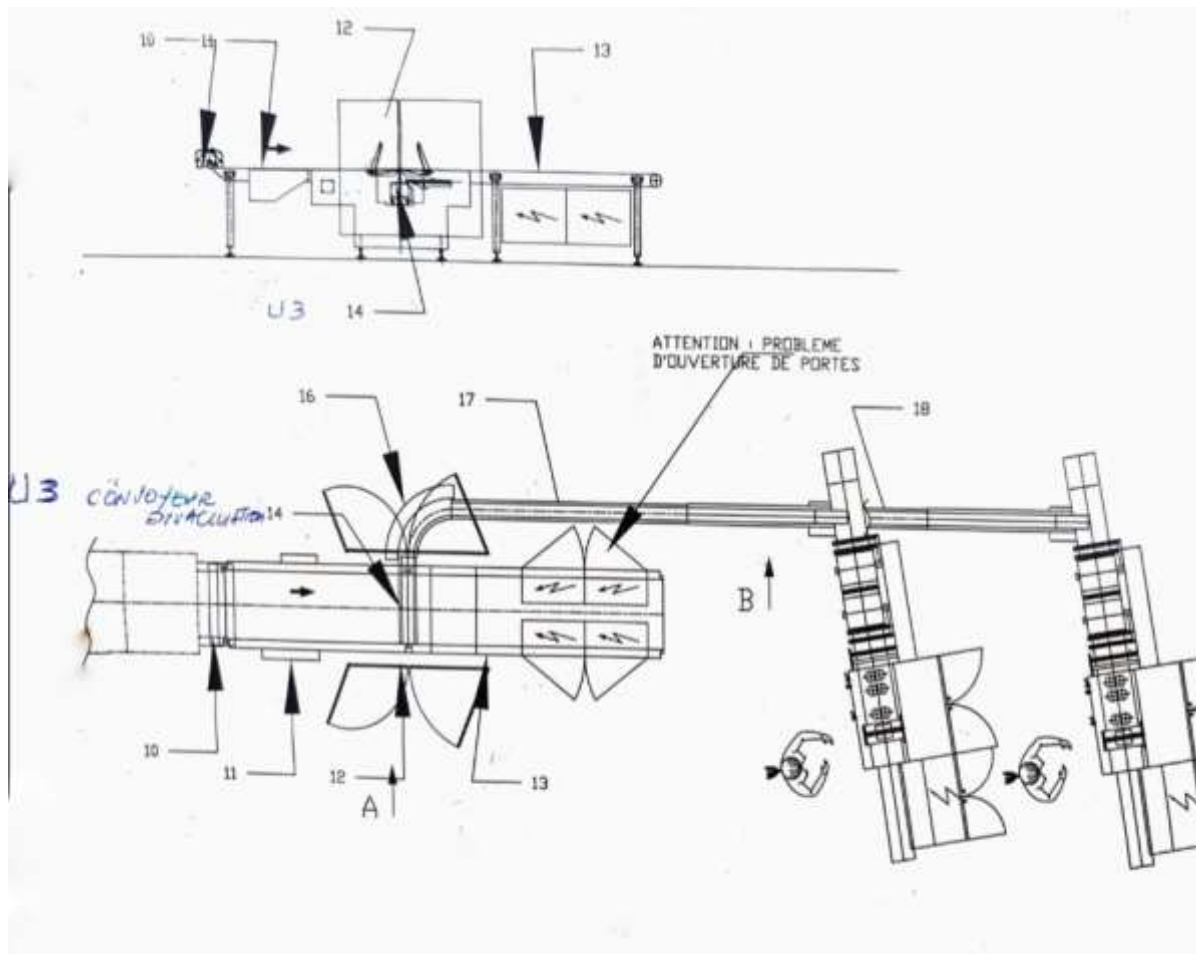


Figure 2. 1: Flowpack Aucouturier vue de Haut plus station SOGEM [15]

2.2 Fonctionnement de la Station SOGEM

La station SOGEM est conçue pour gérer le tri, l'alignement et la distribution de gaufrettes alimentaires à l'aide d'un système automatisé structuré en cinq étapes fonctionnelles. Chaque étape repose sur une combinaison de capteurs intelligents, de tables pivotantes motorisées, de convoyeurs synchronisés a un automate programmable assurant la logique de commande.

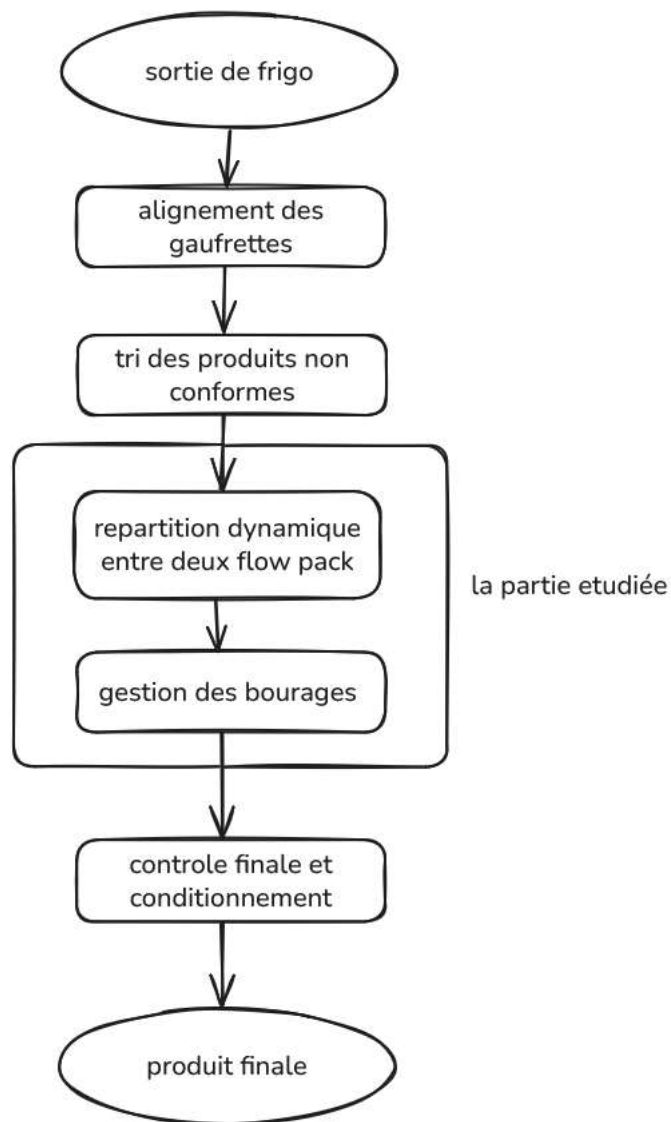


Figure 2. 2: *organigramme de processus [15]*

Étape 1 : Alignement des Gaufrettes à la Sortie du Frigo

À la sortie de l'unité de réfrigération, les gaufrettes sont acheminées sur un premier convoyeur, où intervient un dispositif essentiel nommé aligneuse. Son rôle est de réaligner les gaufrettes de façon ordonnée sur une seule file, assurant ainsi un positionnement précis et uniforme des produits. Cette action mécanique est accompagnée d'un léger effet de temporisation, permettant une gestion fluide du flux avant les étapes suivantes du processus. Un capteur laser est intégré à ce dispositif pour vérifier la conformité de l'alignement. Seules les gaufrettes qui satisfont les critères de positionnement géométrique sont autorisées à poursuivre sur la ligne principale. Cette étape constitue un filtrage initial de qualité, garantissant que les produits présentés aux systèmes de tri et de conditionnement sont correctement positionnés, ce qui contribue directement à la fiabilité et à la performance de la ligne de production en aval.

Étape 2 : Tri des Produits Non Conformés

La deuxième étape du processus intègre une table pivotante motorisée, positionnée en sortie directe de l'aligneuse. Cette table joue un rôle crucial dans le tri automatisé des gaufrettes en fonction de leur positionnement. Le tri repose sur les informations fournies par un capteur photoélectriques installé à l'étape précédente, qui analyse la conformité de l'alignement des gaufrettes. Lorsque la gaufrette est correctement alignée, la table s'active et l'oriente vers la ligne principale de conditionnement. En revanche, si le capteur détecte un défaut d'alignement ou une gaufrette cassée, la table reste immobile, redirigeant ainsi le produit non conforme vers la ligne de rebut, destinée aux déchets. Ce système de tri en temps réel permet d'éliminer précocement les gaufrettes défectueuses, contribuant de manière significative à l'assurance qualité dès les premières étapes de production, tout en optimisant l'efficacité du processus industriel.

Étape 3 : Répartition Dynamique entre Deux Flowpacks

Dans le processus de conditionnement automatisé, les gaufrettes conformes sont regroupées en paquets de 14 unités, formant ainsi une unité standard de production. Ces paquets sont ensuite dirigés vers une table pivotante, qui se charge de répartir dynamiquement les flux entre deux machines de conditionnement de type Flow Pack. La logique de répartition suit un cycle régulier prédéfini, basé sur le comptage précis des paquets en amont. Ce comptage est assuré par un capteur photoélectrique placé

juste avant la table pivotante, qui détecte le passage de chaque paquet. Une fois quatre paquets consécutifs sont envoyés vers la deuxième ligne, la table se repositionne automatiquement pour rediriger les deux paquets suivants vers la première ligne. Ce cycle de répartition 4 + 2 se répète en continu, garantissant ainsi une répartition équilibrée de la charge entre les deux machines de conditionnement. Ce mécanisme d'alternance permet non seulement d'optimiser le débit de production, mais également d'éviter la surcharge d'une seule ligne, assurant ainsi une meilleure fluidité et fiabilité du processus global de conditionnement.

Étape 4 : Gestion Intelligente des Bourrages

Dans le système de tri automatisé, chaque ligne de Flow Pack est équipée de deux convoyeurs successifs accompagnés de capteurs de présence positionnés en fin de ligne assurent la détection en temps réel d'éventuels bourrages ou interruptions du flux. Lorsqu'un blocage est détecté sur le deuxième convoyeur de la première ligne, le système interrompt automatiquement le fonctionnement du premier convoyeur de cette même ligne afin de prévenir toute accumulation. Simultanément, la table pivotante de l'étape 3 s'oriente vers la deuxième ligne, redirigeant ainsi les paquets entrants pour maintenir la continuité de la production. À l'inverse, si un bourrage survient sur la deuxième ligne, le système adopte une logique inverse : la table se repositionne vers la première ligne. En cas de blocage simultané sur les deux lignes, la table est immobilisée, le convoyeur en amont est arrêté, et la table d'alignement suspend son action. Dans ce cas critique, les nouvelles gaufrettes sont dirigées automatiquement vers la ligne de rebut, prévue pour l'évacuation des produits non traités. Ce mécanisme de régulation intelligente assure une grande résilience du système, en évitant les engorgements majeurs et en facilitant une reprise rapide du cycle après résolution des incidents.

Étape 5 : Contrôle Final et Conditionnement

Après leur conditionnement dans les flowpacks, les paquets de gaufrettes passent par une dernière étape de vérification visuelle avant d'être dirigés vers le stockage. Un contrôle qualité est alors effectué par un opérateur, qui s'assure de l'intégrité de chaque paquet, en vérifiant notamment la qualité de l'emballage et l'absence de défauts visibles. En cas de non-conformité, les paquets défectueux sont automatiquement éjectés vers une zone de rebut secondaire.

Les paquets validés, quant à eux, sont transférés vers le convoyeur de sortie. Le processus se poursuit par le routage vers le stockage : les produits conformes sont acheminés soit vers une zone de palettisation, soit vers un espace de stockage temporaire, en fonction de la configuration et de l'organisation logistique de l'usine. Pour assurer la traçabilité tout au long de la chaîne de production, un système de suivi basé sur l'étiquetage RFID ou le marquage par code-barres peut être intégré à cette étape. Cette vérification finale garantit que seuls les produits répondant aux normes de qualité sont stockés et préparés pour l'expédition, venant ainsi conclure l'ensemble du processus automatisé de la station industrielle SOGEM. [15]

2.3 Problématique et analyse

Lors de l'analyse de l'état initial de la station SOGEM, plusieurs dysfonctionnements majeurs ont été identifiés, freinant le bon déroulement du processus de tri et de distribution des gaufrettes.

Les principales problématiques rencontrées sont les suivantes

2.3.1 Défaillance du convoyeur pivotant

Le convoyeur pivotant, élément clé dans l'orientation des paquets entre les deux Flow Packs (17 et 18), est bloqué en une seule position. Cette panne empêche la répartition dynamique des produits et déséquilibre le flux de production, provoquant des engorgements et une perte de cadence.

L'accumulation non régulée des produits sur une seule ligne.

Une surcharge sur l'un des convoyeurs et une sous-utilisation de l'autre.

Une perte d'équilibre dans la cadence globale, affectant l'efficacité de l'emballage en aval.

2.3.2 Sorties et entrées HS de l'automate Schneider Modicon TSX Micro

Dans le système automatisé, le mauvais état ou la défaillance partielle des entrées et sorties de l'automate Schneider entraîne des dysfonctionnements critiques affectant

l'ensemble de la ligne de tri. Ces défaillances compromettent la capacité de l'automate à piloter efficacement les actionneurs tels que les vérins de la table de pivotation ou les moteurs de convoyage, ce qui se traduit par une exécution incorrecte ou incomplète des séquences de fonctionnement. Par ailleurs, la perte de signal provenant de certains capteurs rend les retours d'information inexploitable, empêchant le système de valider certaines positions ou états nécessaires à la poursuite du cycle. Ces anomalies conduisent à l'apparition d'erreurs récurrentes, telles que des erreurs de comptage ou une mauvaise orientation des paquets, nuisant directement à la qualité du tri. En conséquence, la ligne devient instable et subit une augmentation significative des arrêts non planifiés, affectant négativement la productivité, la disponibilité de l'installation et la fiabilité globale du processus industriel. Une révision ou un remplacement ciblé des E/S défectueuses s'impose donc pour restaurer un fonctionnement optimal du système.

2.3.4 Limitation de l'automate Schneider Modicon TSX Micro

L'automate Schneider utilisé dans la station SOGEM est un Modicon TSX Micro, un modèle désormais obsolète tant sur le plan matériel que logiciel. Conçu pour répondre aux besoins d'automatisation des décennies précédentes, il présente aujourd'hui de nombreuses limitations techniques qui entravent la flexibilité et l'évolution du système. En premier lieu, cet automate ne permet pas de modifier aisément les séquences de contrôle, ce qui complique considérablement toute tentative d'ajustement ou d'optimisation du processus en fonction des nouvelles exigences de production ou des évolutions technologiques. Son architecture rigide et son environnement de programmation daté rendent également l'implémentation de nouvelles fonctionnalités difficile, voire impossible, sans revoir entièrement l'installation.

Par ailleurs, le TSX Micro souffre d'un manque de compatibilité avec les outils modernes de diagnostic et de communication, ce qui complique la maintenance prédictive et allonge les temps d'arrêt en cas de panne. La rareté des pièces détachées, due à l'arrêt de sa production et de son support par le fabricant, rend sa remplaçabilité problématique en cas de dysfonctionnement, exposant ainsi l'usine à des interruptions prolongées. Enfin, ce type d'automate ne répond plus aux normes

actuelles de cybersécurité ni aux exigences d'interconnexion industrielle (comme l'IoT ou l'intégration dans des systèmes SCADA modernes), limitant fortement son intégration dans une démarche d'usine connectée ou d'Industrie 4.0.

En résumé, le maintien en fonctionnement d'un automate TSX Micro constitue un frein majeur à la modernisation de l'installation, à sa fiabilité, ainsi qu'à sa capacité à s'adapter aux besoins futurs de la production. Un remplacement par un modèle plus récent, tel qu'un Schneider M340 ou un Siemens S7-1200, est vivement recommandé pour garantir la pérennité, la flexibilité et la performance du système automatisé.

2.4 Travaile et modifications à effectuer

Remplacement de l'automate par un modèle Siemens S7-1200, beaucoup plus moderne, modulaire et accessible via le logiciel TIA Portal. Ce choix a permis une reprogrammation complète du process avec une logique plus robuste et évolutive, et une intégration facilitée des périphériques.

Installation de relais de couplage en amont des départs moteurs et des équipements critiques. Ces relais assurent une protection électrique de l'automate et des organes associés en cas de surcharge ou de court-circuit, réduisant ainsi les risques de dégradation.

Ajout d'un écran HMI (Human-Machine Interface), connecté à l'automate Siemens, permettant à l'opérateur de suivre le processus en temps réel, d'ajuster la vitesse des convoyeurs en fonction du flux de production, et de modifier les temporisations des capteurs selon les besoins spécifiques. Cette interface offre aussi des messages d'alerte, des compteurs de production, et améliore l'autonomie de l'utilisateur sur site sans nécessiter d'intervention systématique du personnel de maintenance.

2.5 Conclusion sur la Station SOGEM

La station SOGEM représente une solution automatisée performante dédiée au tri et à l'orientation des gaufrettes dans un environnement industriel agroalimentaire. Grâce à l'intégration de capteurs intelligents, de tables pivotantes et d'un système de gestion

dynamique des flux, elle assure un processus de distribution fluide et fiable. Cette automatisation permet non seulement de garantir une meilleure qualité de production en éjectant les produits non conformes, mais aussi de répartir de manière équilibrée les gaufrettes vers les deux lignes de conditionnement flowpack, optimisant ainsi l'utilisation des ressources en aval. En outre, la station SOGEM dispose de mécanismes de détection et de dégagement des bouchages, limitant les arrêts de production non planifiés. Elle se distingue également par son adaptabilité : que ce soit pour faire face à des variations de cadence ou à des changements de format de produit, elle s'ajuste dynamiquement. Enfin, son architecture modulaire et polyvalente la rend transposable à d'autres secteurs industriels nécessitant un tri, une orientation ou un conditionnement automatisé de produits.

L'étude approfondie de la station SOGEM a permis de mettre en évidence à la fois la complexité du processus de tri et de distribution des gaufrettes, et les limites techniques auxquelles cette installation était confrontée. Le fonctionnement repose sur une architecture automatisée structurée en plusieurs étapes logiques, allant de l'alignement des produits jusqu'à leur orientation vers deux lignes de conditionnement distinctes. Ce processus, fut un temps idéal, souffre de plusieurs défaillances majeures aujourd'hui : un convoyeur pivotant hors service, des sorties et entrées d'automate défectueuses, et une impossibilité d'adapter ou de modifier le programme à cause de l'obsolescence de l'automate Schneider Modicon TSX Micro.

Face à ces contraintes, un ensemble de solutions concrètes et efficaces ont été mis en œuvre. Le remplacement de l'automate par un Siemens S7-1200 a permis non seulement de restaurer les fonctionnalités initiales, mais aussi d'introduire une flexibilité accrue dans la gestion du process. L'ajout d'un écran HMI a facilité la modification et l'affinement des réglages liées au process et l'interaction avec l'opérateur, tandis que l'intégration de relais de couplage a sécurisé les composants sensibles. Ces modifications ont redonné à la station SOGEM sa pleine capacité opérationnelle, tout en préparant son évolution vers une gestion plus intelligente, durable et résiliente.

2.6 Équipements de la Machinerie et Leur Rôle dans le Processus

Le bon fonctionnement de la SOGEM repose sur une combinaison cohérente de composants électromécaniques, pneumatiques et électroniques. Ces équipements sont répartis selon trois fonctions principales : actionnement, détection et commande.

2.6.1 Actionneurs

Les actionneurs assurent l'exécution physique des ordres transmis par le système de commande. Ils sont indispensables à la dynamique de la ligne.

2.6.1.1 Moteurs électriques

Le moteur électrique triphasé référencé SA37 DT710 est un dispositif asynchrone conçu pour des applications industrielles exigeantes, conforme à la norme IEC 34. D'une puissance nominale de 0,37 kW (soit environ 0,5 CV), il présente une vitesse de rotation standard de 1380 tr/min, caractéristique d'un moteur 4 pôles fonctionnant sous une fréquence de 50 Hz. Ses plages de tension d'alimentation sont multiples, incluant 220-240 V et 415-460 V, avec des courants associés variant entre 1,12 A et 2,15 A, ce qui lui confère une adaptabilité aux différents réseaux électriques industriels.

Le moteur est doté d'une protection IP55, garantissant son étanchéité contre la poussière et les jets d'eau, et intègre une classe thermique KL F, optimisée pour résister aux contraintes de température. Son indice de protection mécanique IM M1A et son facteur de puissance de 0,76 soulignent son efficacité énergétique. La présence d'un redresseur (Gleichrichter) suggère une possible fonction de conversion AC/DC, utile pour des applications nécessitant un contrôle précis de la vitesse ou du couple.

La lubrification est assurée par une huile minérale de type CLP 680, avec un volume de 0,25 L, adaptée aux conditions opératoires jusqu'à 24°C. D'un poids de 13,24 kg, ce moteur combine compacité et robustesse, typique des fabrications allemandes.

Ces caractéristiques en font un composant idéal pour des systèmes tels que les convoyeurs, pompes, ou machines-outils, où fiabilité et durabilité sont essentielles.

Mots-clés techniques : Moteur asynchrone triphasé, IEC 34, puissance 0,37 kW, vitesse 1380 tr/min, protection IP55, redresseur, lubrification CLP 680, courant nominal 1,12-2,15 A [16]

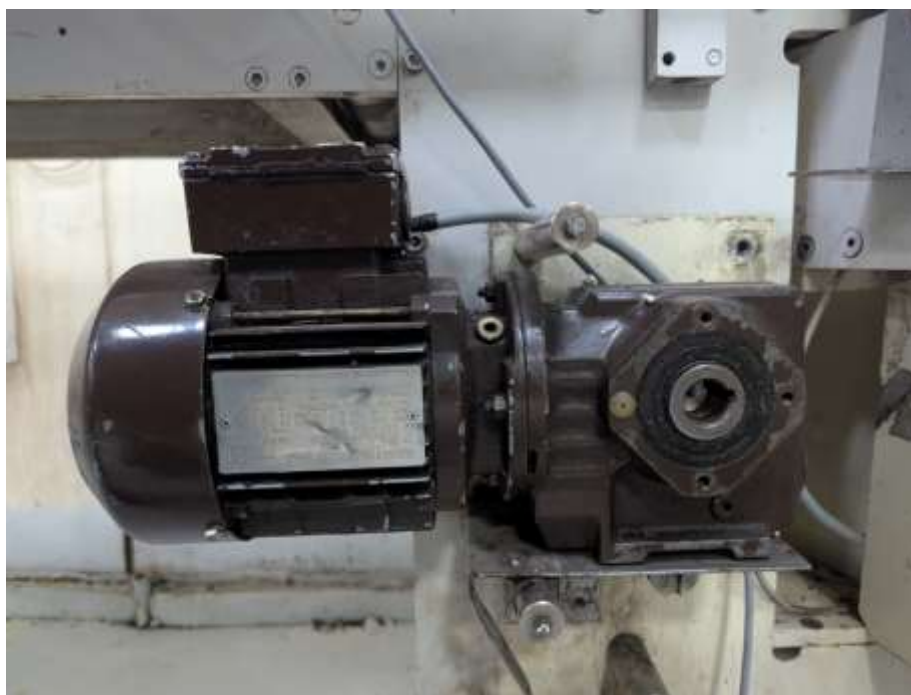


Figure 2. 3: *moteur électrique triphasé SA37 DT710 [15]*

2.6.1.2 Vérins pneumatiques

Dans cette application, le vérin pneumatique à double effet a pour rôle de provoquer la rotation d'un convoyeur autour d'un axe défini, généralement pour permettre l'orientation de produits dans une ligne de tri ou de production. Le vérin convertit un mouvement linéaire en un mouvement de pivot grâce à un système de bielle, levier ou articulation. Il agit dans les deux sens du mouvement grâce à une double alimentation, ce qui permet d'assurer une poussée et un retour contrôlés. Le vérin doit

être capable non seulement d'effectuer cette rotation, mais aussi de maintenir le convoyeur dans la position atteinte, sans retour ou dérive accidentelle.

Le dimensionnement du vérin repose sur plusieurs facteurs techniques : la masse du convoyeur à déplacer, la distance entre l'axe de rotation et le point d'application de la force (bras de levier), les frottements mécaniques dans le système, ainsi que la pression de service disponible, souvent autour de 6 bars dans les installations industrielles. À partir de ces données, on estime la force nécessaire à fournir par le vérin pour assurer le pivotement. Cette force permet ensuite de déterminer le diamètre du piston et de la tige, en se basant sur les standards des fabricants. Par exemple, pour une masse de 30 kg placée à 0,4 m de

l'axe, un vérin de diamètre 40 mm peut être suffisant, sous réserve de validation par calcul et tests.

Pour assurer le maintien de la position du convoyeur en fin de course, plusieurs solutions techniques sont envisageables. La plus simple consiste à installer des clapets anti-retours pilotés sur les orifices du vérin, empêchant tout mouvement en cas de chute de pression. Il est également possible d'utiliser un vérin avec un système de frein intégré ou un verrouillage mécanique, qui garantit la stabilité sans consommation d'air permanente. L'ensemble doit être complété par des capteurs de fin de course pour garantir le bon positionnement, et éventuellement par des amortisseurs réglables afin d'éviter les chocs en fin de mouvement. [17]



Figure 2. 4: *Vérins pneumatiques double effet [15]*

2.6.2 Système de Contrôle

Le système de commande est le cœur décisionnel de la station. Il collecte les informations des capteurs, les traite, puis pilote les actionneurs en conséquence.

2.6.2.1 L'automate Siemens S7-1200

L'automate Siemens S7-1200 est un contrôleur logique programmable (API) appartenant à la gamme SIMATIC de Siemens. Il est spécialement conçu pour répondre aux besoins des systèmes d'automatisation de petite à moyenne envergure. Polyvalent, compact et modulaire, cet automate constitue une solution efficace et évolutive pour des applications industrielles telles que le contrôle de processus, la gestion de machines, ou encore la surveillance d'équipements automatisés.

Architecture et caractéristiques techniques

Le S7-1200 se décline en plusieurs modèles de CPU, notamment les CPU 1211C, 1212C, 1214C, 1215C et 1217C, chacun offrant des capacités croissantes en termes de mémoire, de nombre d'E/S intégrées et de performances. Chaque processeur intègre une interface Ethernet PROFINET permettant à la fois la communication entre automates et la programmation via le logiciel TIA Portal (Totally Integrated Automation). Le S7-1200 est également extensible : des modules d'E/S numériques ou analogiques, des modules de communication (Modbus, PROFIBUS, etc.) et des modules technologiques (compteurs rapides, régulation PID) peuvent être ajoutés selon les besoins de l'application.

Programmation et environnement de développement

L'automate est programmé via le logiciel TIA Portal, qui centralise tous les outils nécessaires à la configuration, à la programmation, au diagnostic et à la mise en service de systèmes d'automatisation. Ce logiciel prend en charge plusieurs langages de programmation standardisés tels que Ladder (LD), FBD (schéma à blocs fonctionnels), SCL (langage structuré) et ST (texte structuré). L'interface utilisateur du TIA Portal est intuitive et favorise une prise en main rapide, même pour des développeurs novices.

Avantages de la gamme S7-1200

L'un des principaux atouts du S7-1200 réside dans sa modularité, qui offre une grande souplesse pour adapter l'automate aux exigences spécifiques de chaque installation. Cette flexibilité permet également de réduire les coûts, en n'investissant que dans les modules nécessaires.

Par ailleurs, l'intégration native de la communication Ethernet facilite le dialogue entre les équipements, la supervision via des IHM, et même l'accès à distance aux données via un serveur web intégré. Cette connectivité avancée est particulièrement appréciée dans les environnements où l'interopérabilité et la supervision à distance sont essentielles.

L'automate dispose également de fonctionnalités de diagnostic avancé, permettant de détecter rapidement les anomalies de fonctionnement. Ces diagnostics peuvent être consultés directement via le TIA Portal ou à travers un simple navigateur web, ce qui contribue à une maintenance plus rapide et à une réduction des temps d'arrêt.

Fiabilité sécurité et pérennité

Le S7-1200 est conçu pour fonctionner dans des environnements industriels exigeants, avec une robustesse mécanique et une résistance aux interférences électromagnétiques conformes aux normes industrielles. En termes de sécurité, il propose des fonctionnalités telles que la protection par mot de passe, le contrôle d'accès, et des niveaux de protection contre les accès non autorisés au programme.[18] [21]



Figure 2. 5: *l'automate Siemens S7-1200 [15]*

2.6.2.2 SIMATIC HMI Panel KTP700 Basic

Le SIMATIC HMI Panel KTP700 Basic est un pupitre opérateur de la gamme Basic Panels de Siemens, destiné à la visualisation, à la surveillance et à la commande des processus industriels. Il constitue une interface essentielle entre l'homme (opérateur) et la machine, en facilitant l'interaction avec l'automate via une interface utilisateur graphique claire et intuitive. Dans une installation automatisée, le KTP700 Basic permet la représentation graphique des processus, la saisie de consignes, la gestion des alarmes, l'archivage des données et l'administration des utilisateurs. Il est configuré à l'aide du logiciel WinCC Basic dans le TIA Portal, et peut être connecté à un automate SIMATIC S7-1200 via l'interface PROFINET. Ce pupitre combine un écran tactile couleur de 7 pouces avec des touches de fonction, un port USB pour le transfert de projets ou de licences, et une mémoire interne dédiée à l'exploitation, à la gestion des utilisateurs, aux recettes et aux fichiers projet. Il dispose également d'un système d'exploitation embarqué Windows CE et offre la possibilité de calibrer l'écran tactile, de configurer l'adresse IP, de régler la date et l'heure, ainsi que de désactiver le son. Grâce à ses fonctionnalités de diagnostic, d'affichage d'alarmes et de personnalisation des vues, le KTP700 Basic s'intègre parfaitement dans les architectures d'automatisation modernes, garantissant un contrôle efficace, sécurisé et structuré des installations industrielles.[19]

Structure du KTP700 Basic pour PROFINET

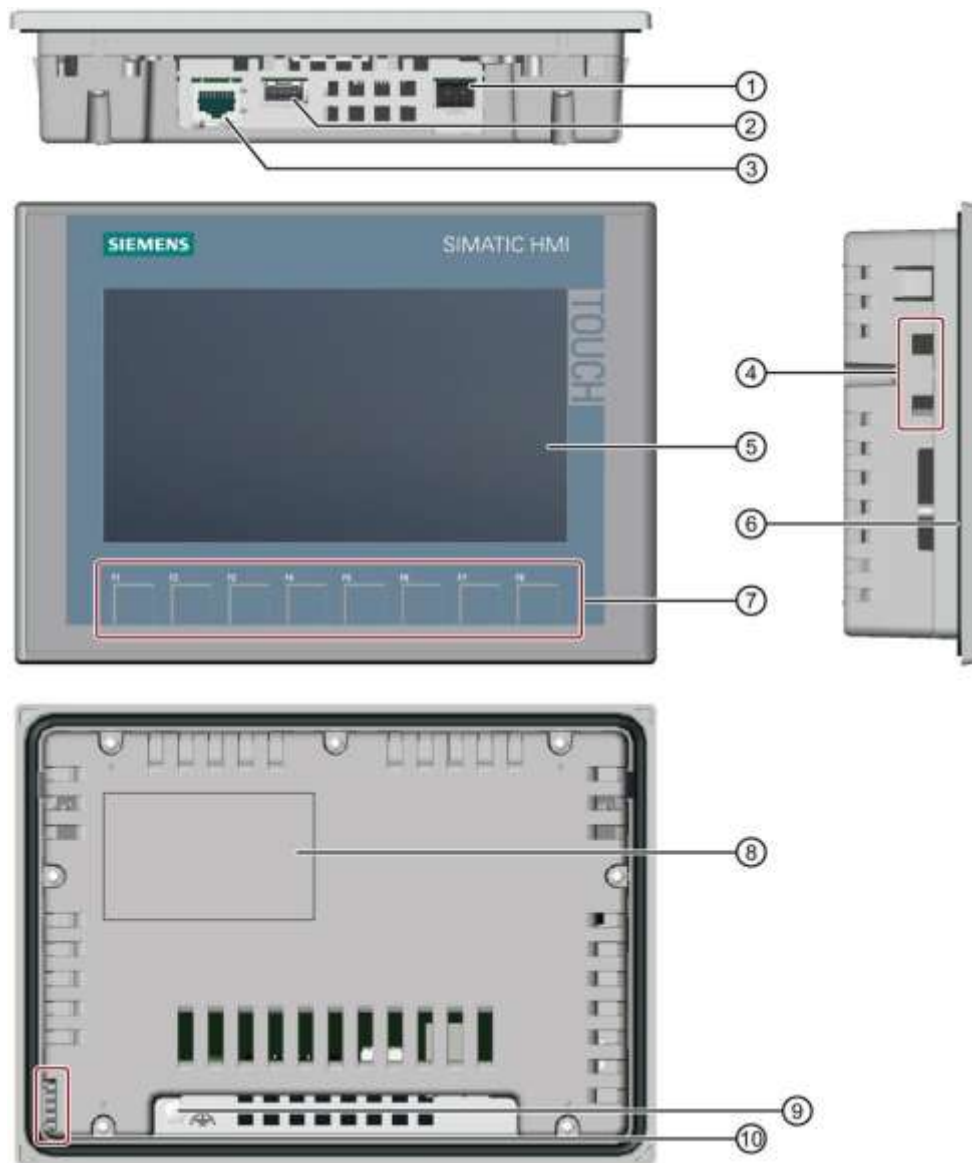


Figure 2. 6: KTP700 Basic pour PROFINET

- 1 Connecteur pour l'alimentation
- 2 Port USB pour périphérique de mémoire de masse USB ou souris USB
- 3 Interface PROFINET
- 4 Encoches pour un clip de montage
- 5 Afficheur/écran tactile
- 6 Joint de montage
- 7 Touches de fonction
- 8 Plaque signalétique
- 9 Prise de terre fonctionnelle

10 Glissière des bandes de repérage

Fiche technique – SIMATIC HMI Panel KTP700 Basic

2.6.2.3 Variateurs de fréquence Schneider Altivar 312 (ATV312)

Le variateur de vitesse Schneider Altivar 312 (ATV312) est un équipement électronique destiné à la commande de moteurs asynchrones triphasés, principalement dans des applications industrielles nécessitant un contrôle précis de la vitesse, du couple et du sens de rotation. Conçu pour des puissances allant de 0,18 à 15 kW, l'ATV312 se distingue par sa compacité, sa robustesse et sa simplicité d'intégration. Il est particulièrement adapté aux machines simples telles que les convoyeurs, les mélangeurs, les ventilateurs ou encore les pompes. Ce variateur offre une interface conviviale avec un clavier intégré pour la mise en service, et peut être piloté via des signaux analogiques, des entrées logiques, ou par communication série grâce à la compatibilité avec des protocoles comme Modbus ou CANopen. Il propose également des fonctions de protection intégrées pour le moteur et le variateur, telles que la surveillance de la température, la limitation de courant et la détection de défauts. Par ailleurs, sa capacité à optimiser les performances énergétiques du moteur en adaptant précisément la fréquence et la tension d'alimentation contribue à réduire la consommation électrique et à améliorer la durabilité des équipements. L'ATV312 s'impose ainsi comme une solution fiable, économique et performante pour la variation de vitesse dans des systèmes d'automatisation industriels.

Dans le contexte de la station de tri de gaufrettes SOGEM, huit variateurs de fréquence sont utilisés, chacun assurant le pilotage indépendant d'un moteur de convoyeur ou de la table pivotante 01

Grâce à leur intégration, il est possible d'ajuster dynamiquement la vitesse de chaque convoyeur selon les consignes définies via l'interface homme-machine (IHM). Cette régulation permet d'optimiser la cadence de production, de réduire l'usure mécanique, de minimiser les risques de bourrage ou de blocage, et de préserver l'intégrité des produits transportés. Par ailleurs, les variateurs assurent une protection du moteur contre les surtensions, les surintensités, les déséquilibres de phase ou les arrêts brusques, prolongeant ainsi leur durée de vie et garantissant une exploitation sécurisée du système.[20]



Figure 2. 7: Schneider Altivar 312 (ATV312) [15]



Figure 2. 8: Schneider Altivar 310 (ATV310) [15]

2.6.3 système de detection

Le système de détection repose sur l'utilisation de capteurs industriels capables de convertir des phénomènes physiques en signaux électriques exploitables par l'automate programmable. Ces signaux permettent à l'automate de prendre des décisions en temps réel. Le choix des capteurs (inductifs, optiques, ou de niveau) est effectué en fonction de la nature des objets à détecter et de l'environnement industriel. Cette intégration contribue à améliorer la précision, la fiabilité et la réactivité du système automatisé

2.6.3.1 Capteurs

Les capteurs permettent de surveiller en permanence l'état et la position des produits, actionneurs, vérins... tout au long du processus.

capteur photoélectrique :

Le capteur photoélectrique SICK WTB12-3P2431 (réf. 1061411) est un détecteur optique de la série W12-3 conçu pour des environnements industriels exigeants. Il fonctionne selon le principe de la réflexion directe avec suppression d'arrière-plan, ce qui permet de détecter de manière fiable des objets de différentes tailles, couleurs ou textures, tout en ignorant les éléments situés à l'arrière du plan de détection. Il dispose d'une plage de détection allant de 30 à 175 mm, avec un spot lumineux précis de 2 mm de diamètre à 60 mm, généré par une LED rouge visible (640 nm). Son temps de réponse rapide ($\leq 330 \mu s$) et sa fréquence de commutation élevée (jusqu'à 1500 Hz) en font un capteur idéal pour les applications dynamiques sur lignes de production ou convoyeurs automatisés. L'ajustement de la distance de commutation se fait via un potentiomètre de précision à 5 tours, ce qui permet une configuration fine selon les besoins de l'installation. Doté d'une sortie PNP avec commutation clair/foncé, le capteur fonctionne sous une tension d'alimentation de 10 à 30 V DC et supporte un courant de sortie allant jusqu'à 100 mA. Sa construction robuste en zinc moulé sous pression et son indice de protection IP67 lui assurent une excellente résistance à la poussière, à l'humidité et aux chocs mécaniques. Compact et performant, le WTB12-3P2431 est couramment utilisé dans les systèmes de tri, de convoyage et de détection de présence d'objets en milieu industriel automatisé. Elles détectent la présence, à l'aide d'un laser l'alignement ou le passage des gaufrettes à différents points clés de la ligne. Leur signal est crucial pour synchroniser les actions des vérins ou activer le comptage des paquets.[15] [5]

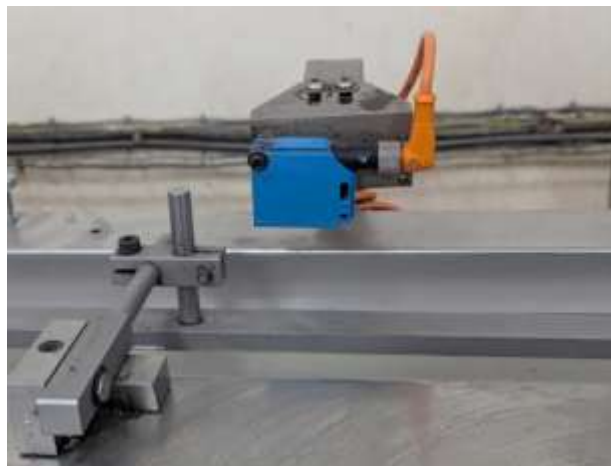


Figure 2. 9: *Capteurs photoélectrique [15]*

2.6.4 Système de protection

La protection des machines industrielles repose sur des dispositifs fiables tels que les relais de sécurité et les pressostats. Le relais de sécurité garantit l'arrêt rapide et sûr de la machine en cas de défaillance ou d'urgence. Le pressostat, quant à lui, contrôle la pression dans les circuits pneumatiques ou hydrauliques pour éviter tout dépassement dangereux. Ensemble, ces composants assurent la sécurité des opérateurs et la protection des équipements

2.6.4.1 relais de securite

Le relais de sécurité Pilz PNOZ X1, utilisé dans la station industrielle Sogem, assure la protection des équipements électromécaniques comme les moteurs et pompes.

Il surveille les circuits de sécurité (arrêt d'urgence, portes) via deux canaux redondants, garantissant une coupure rapide en cas de danger.

Conforme aux normes industrielles (EN ISO 13849-1, IEC 62061), il renforce la sécurité, la fiabilité et la conformité du processus automatisé.

relais de couplage

Le relais de couplage, également appelé relais d'interface, est un élément essentiel dans les systèmes automatisés. Il joue un rôle d'interface entre les sorties logiques de l'automate (généralement en 24V DC) et les équipements de terrain nécessitant des tensions ou courants plus élevés, tels que les moteurs, voyants, contacteurs ou électrovannes.

Ce relais permet d'assurer une isolation galvanique entre les circuits de commande (basse puissance) et les circuits de puissance, ce qui protège l'automate contre les surtensions, courts-circuits ou pics de courant.

Doté de LED de signalisation intégrées, il offre un retour visuel immédiat sur l'état des sorties, facilitant ainsi le diagnostic et la maintenance.

Grâce à sa conception modulaire et enfichable, il est facile à installer dans les armoires électriques. Robuste et fiable, le relais de couplage est indispensable pour garantir la sécurité, la durabilité et la fiabilité des installations industrielles. [22]



pression n'est pas dans une plage sécurisée, évitant ainsi l'usure prématurée ou les pannes. Dans la pratique, on retrouve des pressostats dans divers domaines d'application. En pneumatique, ils permettent d'activer une électrovanne lorsque la pression est insuffisante ; en hydraulique, ils arrêtent une pompe en cas de pression excessive ; dans les chaudières et compresseurs, ils régulent automatiquement les cycles de marche et d'arrêt pour maintenir un fonctionnement stable et sécurisé.

Dans le cas spécifique du vérin de la table de pivotation, le pressostat a pour rôle de surveiller la pression d'alimentation afin de garantir que le vérin fonctionne dans des conditions sûres et efficaces. Il permet de contrôler que la pression reste suffisante pour réaliser le mouvement de pivot, tout en assurant la protection de l'ensemble du système contre toute surpression susceptible d'endommager les composants mécaniques. [23]

Conclusion

L'étude de la station SOGEM a permis de mettre en évidence la complexité et l'importance stratégique de ce dispositif dans le processus global de conditionnement des gaufrettes. Bien que reposant sur une architecture automatisée performante, la station présentait plusieurs limites techniques, parmi lesquelles la défaillance du convoyeur pivotant, les dysfonctionnements des entrées/sorties de l'automate, et l'impossibilité de modifier le programme de commande. Face à ces problèmes, une solution complète de modernisation a été mise en œuvre, incluant un changement d'automate, l'intégration d'un HMI et la sécurisation électrique des composants critiques. Ces améliorations ont permis non seulement de restaurer le bon fonctionnement du système, mais aussi d'accroître sa flexibilité, sa maintenabilité et sa résilience. Ce travail ouvre ainsi la voie à une exploitation plus efficace de la station dans un environnement industriel moderne, et prépare les fondations de l'étape suivante du projet, à savoir la mise en œuvre concrète de la nouvelle logique de commande et de supervision détaillée dans le chapitre pratique suivant

Chapitre 3

PARTIE PRATIQUE

Chapitre3: PARTIE PRATIQUE

Introduction

La réussite d'un projet d'automatisation industrielle repose sur la capacité à traduire les besoins opérationnels identifiés en solutions concrètes, efficaces et pérennes. Ce troisième chapitre constitue la phase pratique du projet, où les différentes étapes de reprogrammation, de configuration et de mise en œuvre technique sont détaillées. Il s'articule autour de l'utilisation du logiciel TIA Portal V16, qui a permis la programmation du nouvel automate Siemens S7-1200 selon une logique adaptée aux exigences de la station SOGEM. La démarche inclut la conception du programme en langage Ladder, la simulation via S7-PLCSIM, la mise en place d'un système de supervision avec WinCC, ainsi que la gestion intelligente des flux de produits entre les lignes de conditionnement. Ce chapitre illustre concrètement l'intégration des outils et compétences en automatisme, tout en respectant les contraintes de fonctionnement en milieu industriel réel. L'objectif est de garantir un système plus fiable, plus flexible et apte à évoluer avec les besoins futurs de la production.

3.1 Logiciel de programmation Tia portal v16

La plateforme Totally Integrated Automation Portal est le nouvel environnement de travail SIEMENS qui permet de mettre en œuvre des solutions d'automatisation avec un système d'ingénierie intégré comprenant les logiciels SIMATIC STEP 7 V16 , PLCSIM V16 et Win CC.

TIA Portal est un environnement d'automatisation unique permettant de configurer jusqu'aux processus de production les plus complexes de manière tout à fait simple, depuis un écran d'ordinateur unique. Il permet la réalisation optimale de processus de planification et de production.

Grâce à sa présentation intuitive et à la navigation simple, la compréhension et la familiarisation des fonctions de programmation est très rapides. Divisé en vue portail pour guider intuitivement l'utilisateur à travers les différentes étapes de l'ingénierie et une « vue projet » qui procure un accès rapide aux outils pertinents TIA Portal aide

ainsi les nouveaux utilisateurs comme les utilisateurs expérimentés à travailler de manière aussi productive que possible.

La conception des éditeurs logiciels du TIA Portal s'appuie sur une présentation commune et sur un concept de navigation commun. La configuration d'un matériel, la programmation logique, le paramétrage d'un variateur ou la conception d'une image IHM. Chaque environnement reprend le même design pour les éditeurs.

Les fonctions, les caractéristiques et les bibliothèques sont affichées automatiquement dans leur vue la plus intuitive en fonction de l'activité souhaitée pour tous les composants de sécurité également.

La configuration de l'ensemble de la partie matérielle et de sa mise en réseau s'effectue dans

une vue graphique intégrale des appareils et du réseau. En effet, la mise en réseau du contrôleur, des IHM ou encore du PC et des entraînements s'effectue par simple configuration graphique des connexions .[24]

3.1.1 Blocs de TIA Portal

TIA Portal propose différents types de blocs pour la programmation des automates et des systèmes automatisés. Voici une liste des principaux types de blocs disponibles dans TIA Portal

Bloc Organisation (OB)

Un OB est appelé cycliquement par le système d'exploitation et réalise ainsi l'interface entre le programme utilisateur et le système d'exploitation. Le dispositif de commande est informé dans cet OB par des commandes d'appel de blocs, de quels blocs de programme il doit traiter.

Blocs de données (DB)

Ils servent à définir et à gérer les variables utilisées dans le programme. Les blocs de données permettent de déclarer les entrées, les sorties, les variables internes et les constantes. Ils peuvent être structurés en différents types de données tels que des booléens, des entiers, des réels, des chaînes de caractères, etc.

Blocs de fonctions (FB)

Ces blocs permettent de regrouper un ensemble d'instructions ou de traitements spécifiques pour les réutiliser dans différents endroits du programme. Les blocs de

fonctions favorisent la modularité et la réutilisation du code, ce qui facilite la maintenance et la mise à jour du système automatisé.

Fonction (FC)

Un FC ne possède pas un espace mémoire attribué. Les données locales d'une fonction sont perdues après le traitement de la fonction. D'autres FB et FC peuvent être appelés dans une fonction par des commandes d'appel de blocs [24]

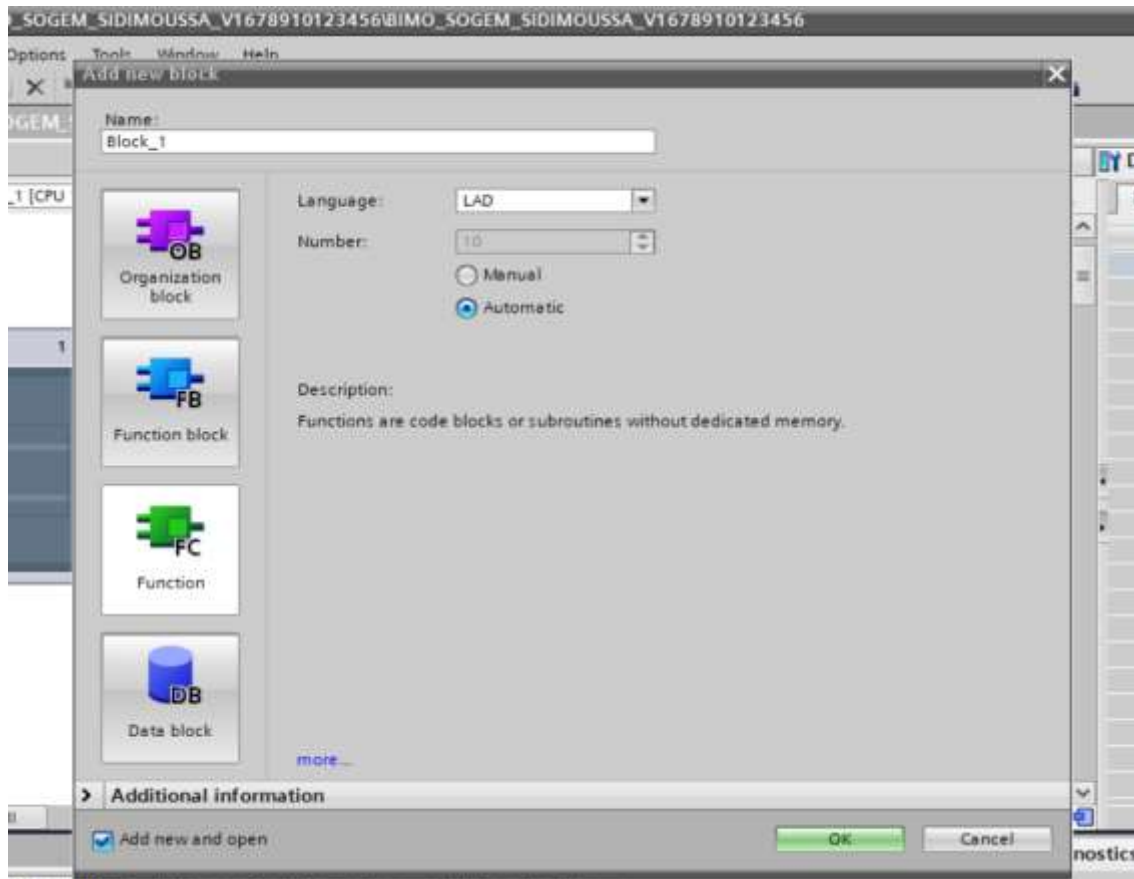


Figure 3. 1: Les blocs de TIA portal

3.1.2 simulation

La simulation est un processus utilisé pour représenter ou reproduire le fonctionnement d'un système réel, souvent complexe, dans un environnement contrôlé. Il s'agit de créer un modèle informatique ou mathématique qui reproduit les comportements, les interactions et les dynamiques du système réel.

Les avantages de la simulation incluent la possibilité d'expérimenter dans un environnement virtuel sans risque, de tester des scénarios multiples, de comprendre les interactions entre les différents composants d'un système, d'optimiser les performances, de prendre des décisions éclairées et d'améliorer la planification et la gestion des ressources.

Il existe différents types de simulations, tels que les simulations numériques basées sur des modèles mathématiques, les simulations informatiques basées sur des algorithmes et des logiciels spécifiques, les simulations physiques utilisant des maquettes ou des prototypes, ainsi que les simulations virtuelles utilisant des environnements virtuels ou des réalités virtuelles.

3.1.2.1 Simulation de s7-PLCSIM :

S7-PLCSIM est un logiciel de simulation de l'automate programmable SIMATIC S7 de Siemens. Il permet de créer un environnement virtuel dans lequel le programme de l'automate peut être testé et vérifié avant sa mise en service réelle.

S7-PLCSIM reproduit les fonctionnalités d'un automate SIMATIC S7 en exécutant le code du programme dans un environnement logiciel. Il prend en charge différents types d'automates S7, tels que S7-300, S7-400 et S7-1500, permettant ainsi de simuler diverses configurations matérielles.

L'utilisation de S7-PLCSIM présente de nombreux avantages. Tout d'abord, il permet de tester et de déboguer le programme de l'automate sans nécessiter de matériel réel, ce qui réduit les coûts et les risques associés aux erreurs de programmation. De plus, il offre un environnement sûr pour effectuer des tests, sans risque d'endommager des équipements ou de perturber des processus en cours.

S7-PLCSIM est compatible avec l'environnement de développement TIA Portal de Siemens, ce qui permet une intégration facile avec d'autres outils de programmation et de configuration. Il prend également en charge les fonctions avancées de diagnostic, permettant de détecter et de résoudre les problèmes plus rapidement.

Grâce à S7-PLCSIM, les ingénieurs et les programmeurs peuvent valider et optimiser leur programme de contrôle, simuler des scénarios complexes, tester différentes configurations matérielles et effectuer des analyses de performance avant le déploiement réel de l'automate . [24]

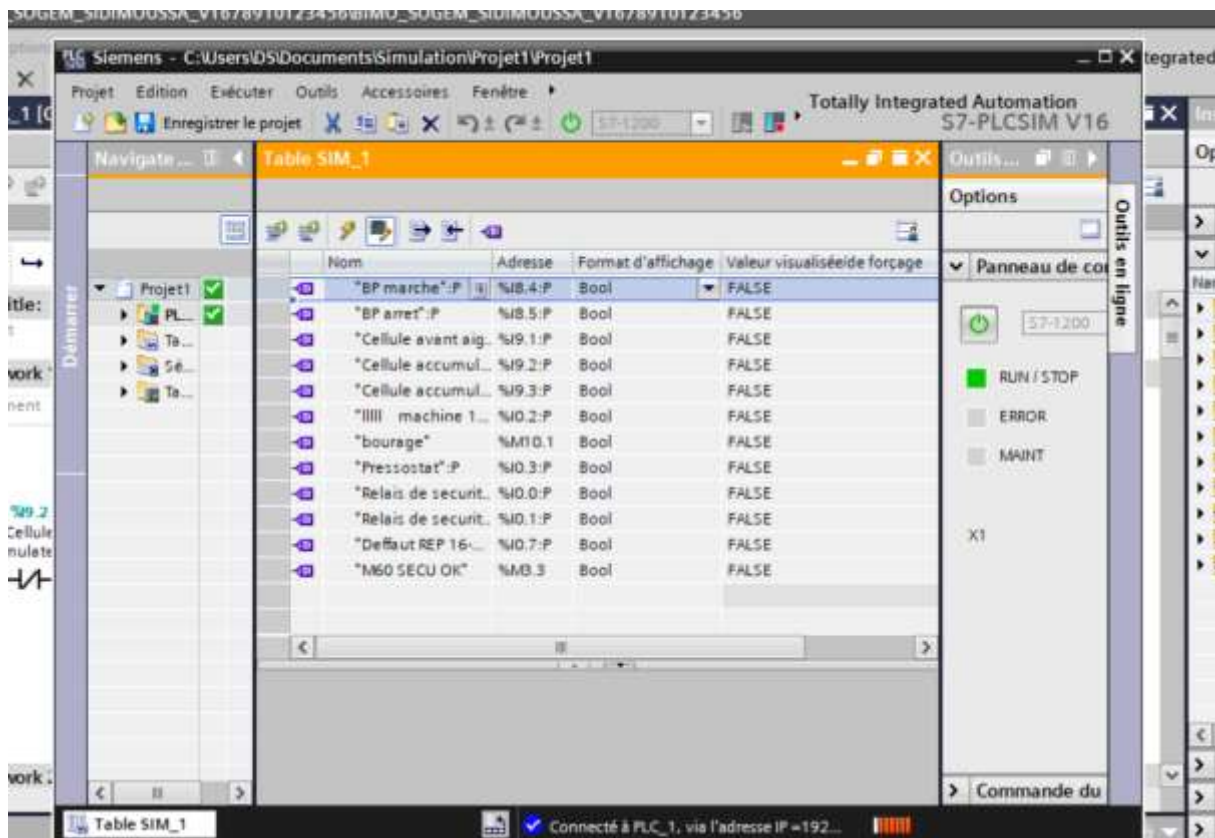


Figure 3. 2: Icône de simulateur S7-PLCSIM

Le simulateur permet aussi de visualiser simultanément le déroulement du programme de l'API en montrant les parties du code concernées par les variables d'objets modifiées (affichées en couleurs différentes).

La fenêtre CPU dispose d'un ensemble d'indicateurs :

DC (alimentation) : indique si la CPU se trouve sous ou hors tension.

RUN : indique que la CPU se trouve en état de marche.

STOP : indique que la CPU se trouve en état arrêt.

3.1.3 Langage Ladder « LD »

Le langage Ladder est celui utilisé pour la programmation de l'automate de la station sur laquelle porte cette étude

Un des cinq (05) langages de programmation en industrie contrôlé par la norme CEI 61131- 3, est un langage graphique servant à programmer des fonctions logiques dans un automate programmable industriel.

Le Ladder reprend les bases du schéma contact, il s'agit de transcrire les équations logiques en schéma électrique à l'aide de symboles placés entre deux barres verticales (qui représentent les lignes d'alimentations). Un programme Ladder est représenté en réseaux et se lit de gauche à droite [8].

Les éléments principaux du langage Ladder sont :

3.1.3.1 contacts

représentent les variables d'entrée, le tableau suivant monte différent contact utilisable en langage Ladder [25] [24]

Symbole	Désignation	Fonctionnement
	Contact normalement ouvert	Le contact se ferme et devient passant à l'excitation de l'entrée correspondante.
	Contact normalement fermé	Le contact s'ouvre et coupe le circuit à l'excitation de l'entrée correspondante.
	Détection de front montant	Donne une impulsion à chaque passage de l'entrée correspondante de l'état 0 à 1 (front montant).
	Détection de front descendant	Donne une impulsion à chaque passage de l'entrée correspondante de l'état 1 à 0 (front descendant).

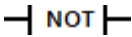
	Porte NOT	Inverse le signal de l'entrée correspondante (donne 1 si en entrée 0, donne 0 si en entrée 1).
---	-----------	--

Tableau 3. 1: *Contacts usuels du langage Ladder*

3.1.3.2 bobines

représentent les variables de sortie, le tableau suivant monte certaines des différentes bobines utilisables en langage Ladder.

Symbole	Désignation	Fonctionnement
	Bobine simple	La bobine est activée mise à 1 quand le contact auquel elle est reliée est fermé, elle est désactivée quand celui-ci est ouvert (mise à 0).
	Bobine négative	La bobine est activée mise à 1 quand le contact auquel elle est reliée est ouvert, elle est désactivée quand celui-ci est fermé (mise à 0).
	Bobine d'enclenchement «Set»	Bobine auto maintenue, activé par une impulsion du contact auquel elle est reliée et reste activée (à l'état 1).

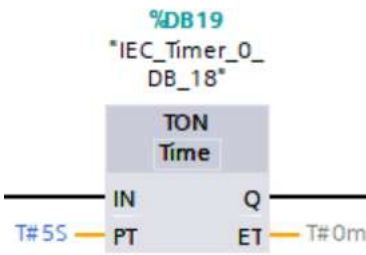
	Bobine de déclenchement «Reset»	Bobine de remise à 0, elle remet à 0 sa variable préalablement mise activé par une bobine «set» quand le contact auquel elle est reliée donne une impulsion.
---	--	--

Tableau 3. 2: *Bobines usuelles du langage Ladder*

3.1.3.3 blocks de fonctions

Les blocks de fonctions sont nombreux et diffèrent selon la marque de l'automate, ils représentent les différentes fonctions de l'appareil, ils permettent la réalisation de tâches diverses : des temporisations (retard à la montée ou à la retombée), compteurs, décompteurs... ces fonctions sont disposées en blocks directement utilisables dans les réseaux du programme.[25]

Quelques exemples de blocks de fonctions sont donnés dans le tableau ci-dessous

Symbole	Désignation	Fonctionnement
	- IN : entrée de déclenchement - PT : durée prééglée (T#5s, etc.) - ET : temps écoulé - Q : sortie (active après PT)	Retarde l'activation de la sortie Q après que l'entrée IN soit passée à 1. Chronomètre activé tant que IN = 1.

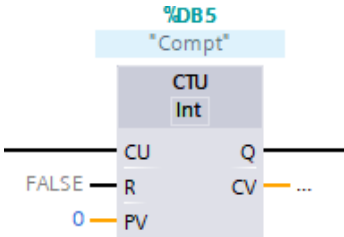
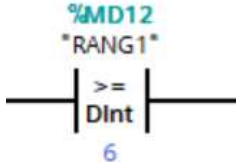
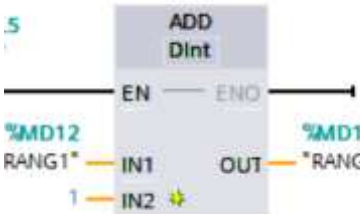
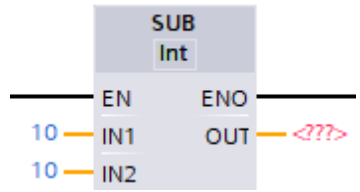
	- CU : entrée de comptage - R : remise à zéro - PV : valeur prééglée - CV : valeur actuelle - Q : sortie lorsque $CV \geq PV$	Incrémente une valeur à chaque front montant sur CU, jusqu'à atteindre PV. Q devient 1 quand $CV \geq PV$.
	Comparateur supérieur ou égal à	Compare deux valeurs : $Q = 1$ si la première valeur est supérieure ou égale à la deuxième.
	- IN1 : première valeur - IN2 : seconde valeur - OUT : résultat (somme de $IN1 + IN2$)	Additionne deux valeurs numériques
	Opération de soustraction	Effectue la soustraction entre deux valeurs (ici $10-10$) et affiche le résultat sur «OUT»

Tableau 3. 3: *blocks de fonctions*

3.1.4 plateformes de supervision à l'aide de l'outil WinCC

Le logiciel de configuration et de contrôle industriel Win CC fourni par Siemens est utilisé comme système d'acquisition de données et de surveillance en temps réel et une interface homme-machine

Ainsi qu'un guidage intuitif des opérateurs qui englobe une diversité de produits et de systèmes standardisés, flexibles et échelonnables tels que la surveillance du processus industriel

Présentation du Win CC

WINCC (Windows Control Center) est le logiciel phare de configuration et de contrôle industriel de Siemens permettant de créer des Interfaces Homme-Machine sur pupitre tactile (IHM) ou sur écran.

Il est disponible en quatre éditions, selon les systèmes de conduite à configurer :

-  Win CC Basic pour la configuration des pupitres de base.
-  Win CC Confort pour la configuration de tous les pupitres (Comfort Panels, Mobile Panels)
-  Win CC Advanced pour la configuration de tous les pupitres et des PC par le logiciel de visualisation Win CC Runtime Advanced, qu'il utilise dans notre projet. Ce dernier est un logiciel de visualisation destiné aux systèmes monopostes basés sur PC.
-  WinCC Professional pour la configuration de pupitres et de PC avec WinCC Runtime Advanced ou avec le système SCADA WinCC Runtime Professional [25] [24]

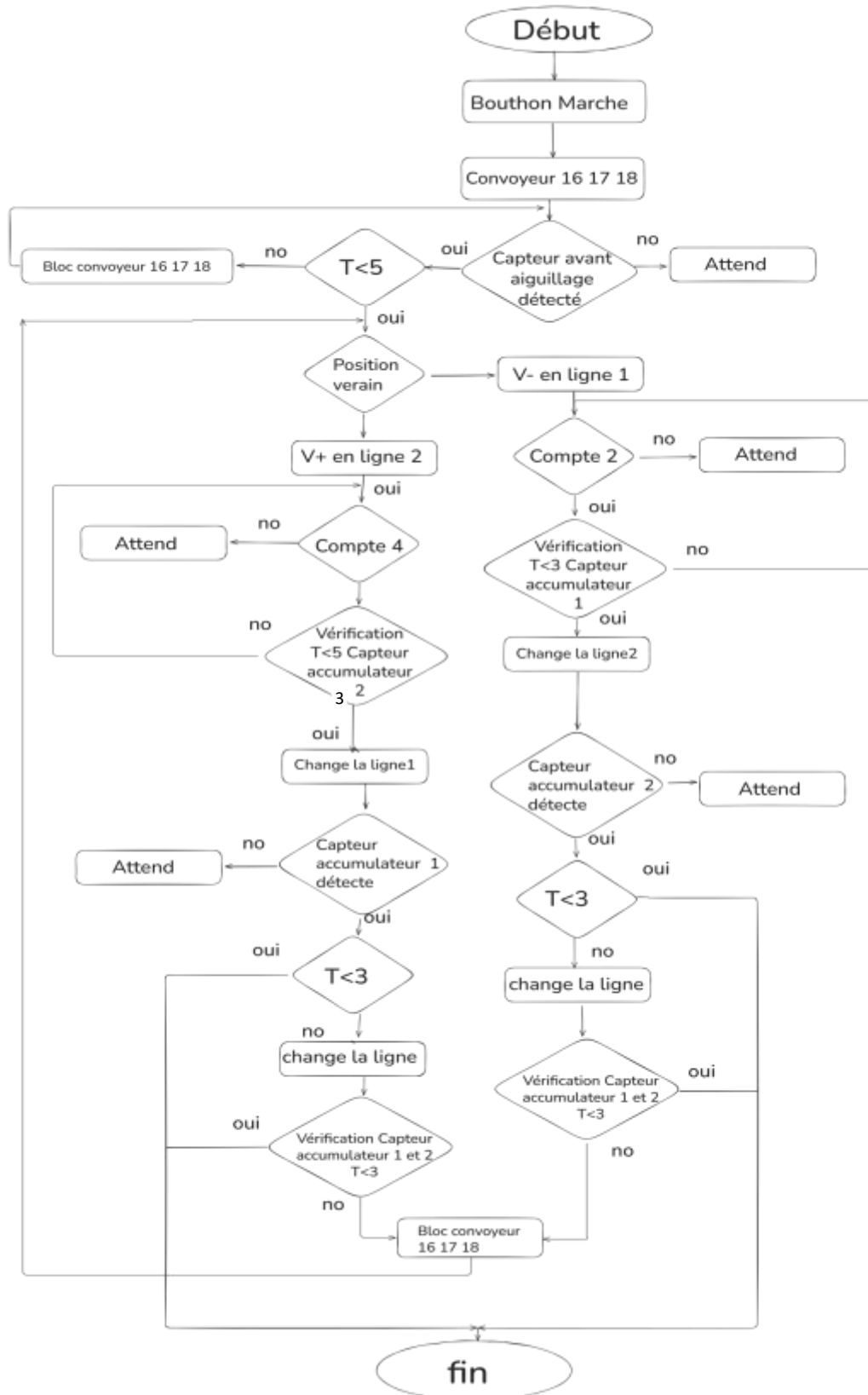


Figure 3. 3: *organigramme de la partie etudiee [15]*

3.2 Programmation et Supervision

La partie programmation se divise en plusieurs sections, parmi lesquelles

3.2.1 partie programmation gestion du transfert des produits vers les embaleuses

La partie de programme gestion du transfert des produits vers les embaleuses se divise en plusieurs sections parmi lesquelles

3.2.1.2 gestion d'aiguillage

programme en langage Ladder assure la gestion d'aiguillage des gaufrettes entre deux tapis (Tapis 1 et Tapis 2), en fonction de la détection de produits et de la gestion de priorité à l'aide d'un compteur (%MD12 nommé "RANG1"). Il utilise des cellules photoélectriques pour détecter la présence des gaufrettes et des temporisateurs TON pour filtrer les signaux instables.

1. Incrémentation du rang :

Lorsqu'un produit est détecté par la cellule %I9.1 ("Cellule avant aiguillage") et que la sortie %M10.5 ("FR1") est activée après un délai de 600 ms, une instruction ADD incrémente la variable %MD12 de 1.

Cela permet de suivre combien de produits sont en file.

2. Aiguillage vers Tapis 2 :

Si $\%MD12 \geq 6$, cela indique une accumulation importante. Le système dévie les produits vers le Tapis 2 (%M10.4 activé).

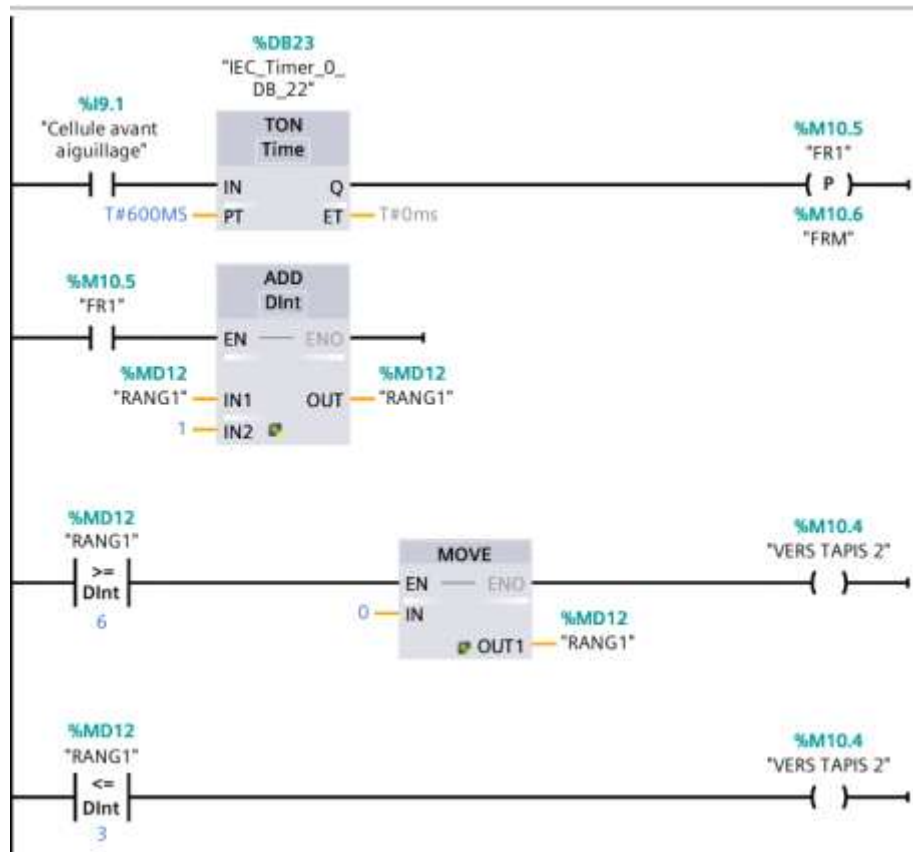
Si $\%MD12 \leq 3$, cela signale moins de produits ; dans ce cas, %MD12 est remis à 0 par une instruction MOVE.

3. Réduction du rang par détection de passage :

Lorsque la cellule %I9.3 détecte un produit après l'accumulation 2, un temporisateur de 250 ms est utilisé avant de décrémenter la variable %MD12 de 1 (MOVE 4 → %MD12), indiquant qu'un produit a quitté la file.

4. Réinitialisation du rang depuis l'accumulateur 1 :

La cellule %I9.2 joue un rôle similaire en remettant la variable %MD12 à 0 (MOVE 0 → %MD12) après un petit délai, indiquant que le tapis 1 est prêt à recevoir un produit.



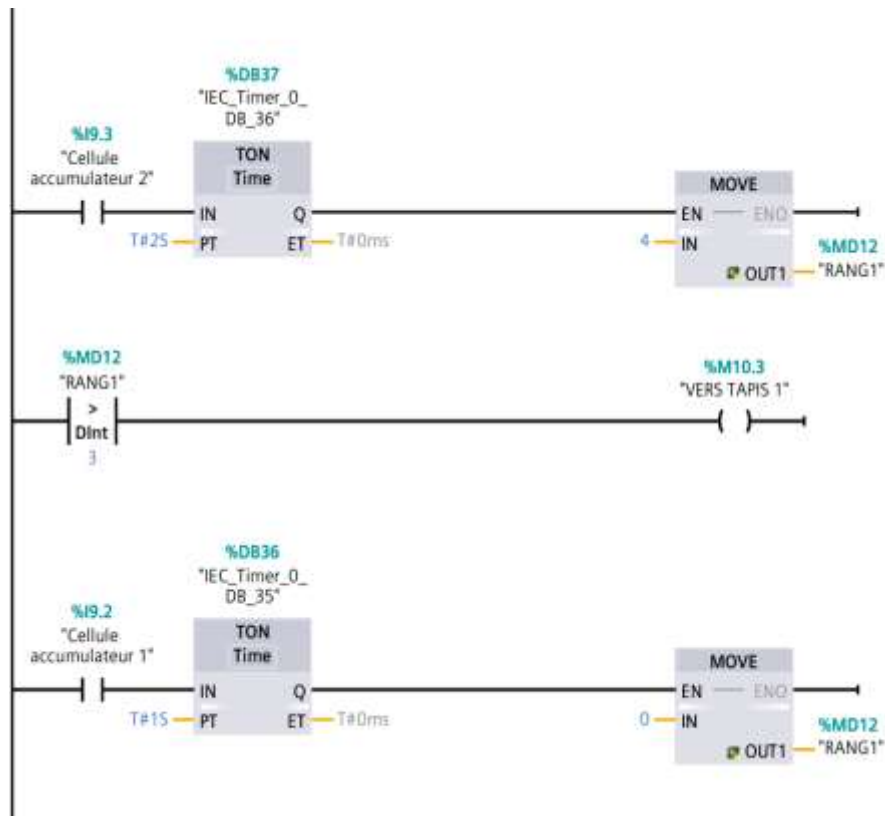


Figure 3. 4: gestion d'aiguillage

3.2.1.3 CONDITION POUR ENVOYER VERS L EMBALLEUSE 1

Logique de commande pour l'aiguillage vers l'emballeuse 1

La commande de l'orientation des produits vers l'emballeuse 1 repose sur une série de conditions logiques combinées pour garantir un acheminement fiable et sécurisé. Le programme utilise des signaux numériques issus de capteurs et d'états machine, ainsi qu'un temporisateur pour gérer les délais nécessaires à la stabilisation du produit.

Le chemin de signal commence par la lecture du capteur de l'accumulateur 1. Ce dernier est utilisé dans un contact normalement fermé (---|/---), ce qui signifie que la condition est considérée comme vraie tant que l'accumulateur n'est pas occupé. Cela permet d'autoriser le transfert du produit uniquement lorsque l'accumulateur est libre.

Ensuite, une action vers le tapis 1 est conditionnée par un contact normalement ouvert

(---| |---), indiquant que cette action n'est autorisée que si une condition spécifique est active (par exemple, un signal d'autorisation du tapis ou une demande de transfert).

Une temporisation de type TON (Temporisateur ON-delay) avec un délai de 300 ms est ensuite appliquée. Cela introduit un court temps d'attente entre la détection de la condition précédente et l'activation effective de la sortie, afin de stabiliser le processus ou d'attendre que le produit soit correctement positionné avant d'engager le tapis.

À la suite de ce délai, le système vérifie l'état de l'emballeuse 1 à l'aide d'un autre contact normalement fermé (---|/|---). Cette condition permet de s'assurer que l'emballeuse n'est pas en arrêt ou en panne. Si l'emballeuse est opérationnelle, la chaîne logique se poursuit.

Enfin, lorsque toutes les conditions précédentes sont remplies, la sortie finale M51 est activée. Cette sortie correspond à l'action physique de l'orientation du produit vers l'emballeuse 1 via le tapis 1.

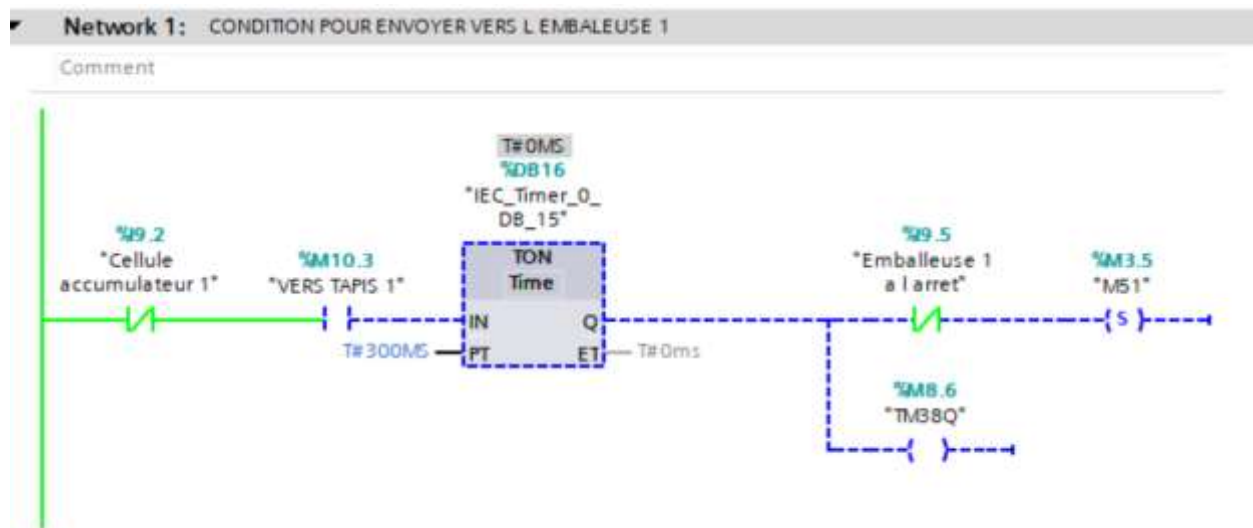


Figure 3. 5: CONDITION POUR ENVOYER VERS L EMBALLEUSE 1

3.2.1.4 CONDITION POUR NE PAS ENVOYER VERS EMBALLEUSE 1

La première vérifie la présence d'un produit au niveau de la cellule de l'accumulateur 1 (%I9.2). Si un produit est détecté et que la sortie de redirection vers le tapis 1 (%M10.3) n'est pas encore active, un temporisateur de 1 seconde (TON T#1S) est enclenché afin d'introduire un délai avant l'activation de cette sortie. La seconde partie permet la redirection des produits vers un tapis alternatif (tapis 2). Cette action se déclenche si l'emballeuse 1 est à l'arrêt (%I9.5 = 1), que le tapis 2 est libre (%M10.4 = 0) et que l'accumulateur 2 est vide (%I9.3 = 0). Si ces conditions sont réunies, la sortie %M10.4 s'active. Enfin, la troisième section sert à la réinitialisation du bit mémoire %M3.5, qui pourrait correspondre à un flag d'autorisation ou de commande. Si aucun produit n'est détecté au niveau de la cellule avant aiguillage (%I9.1 = 0), un temporisateur de 300 millisecondes est déclenché ; à son terme, le bit %M3.5 est remis à zéro. Ce réseau permet donc une gestion adaptative de l'aiguillage des produits, assurant leur redirection automatique en cas d'indisponibilité de l'emballeuse 1, tout en évitant des erreurs de commande grâce à une surveillance des capteurs et une gestion de temporisation précise.

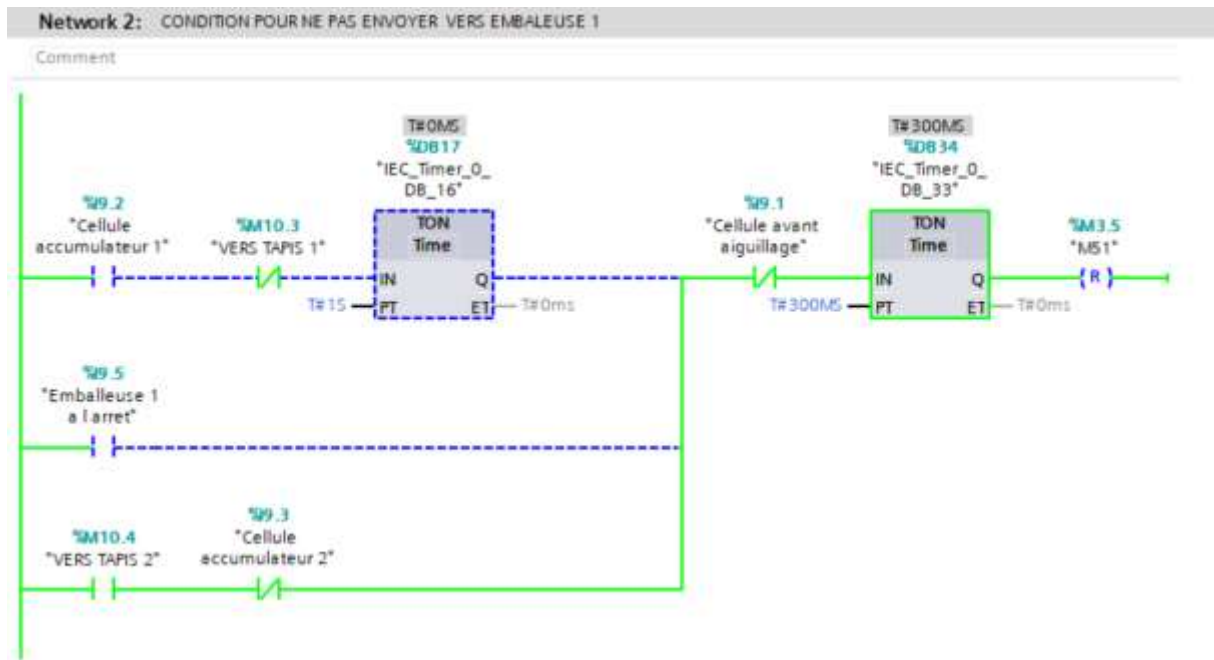


Figure 3. 6: CONDITION POUR NE PAS ENVOYER VERS EMBALLEUSE 1

3.2.1.5 CONDITION POUR ENVOYER VERS L'EMBALEUSE 2

Le réseau 3 du programme LADDER est intitulé « CONDITION POUR ENVOYER VERS L'EMBALEUSE 2 ». Il a pour fonction de déterminer les conditions nécessaires à la commande de transfert d'un produit vers l'emballeuse 2. Le processus commence par la détection d'un produit au niveau de l'accumulateur 2, via le capteur %I9.3. La présence d'un produit est indispensable pour enclencher le cycle. En parallèle, la commande d'orientation vers le tapis 2 (%M10.4), qui mène à l'emballeuse 2, doit être active. Si ces deux conditions sont remplies simultanément, un temporisateur de sécurité (TON) avec un délai de 300 millisecondes s'active, garantissant que la situation est stable avant de poursuivre. Une fois la temporisation validée, le système vérifie que l'emballeuse 2 est disponible, c'est-à-dire non à l'arrêt (%I8.2 = 0), et qu'il n'existe aucune condition de blocage ou d'erreur système (%M3.5 = 0). Si l'ensemble de ces critères sont respectés, la sortie %M3.7 est activée. Cette dernière représente

la commande effective d'aiguillage vers l'emballuse 2, laquelle peut déclencher un actionneur

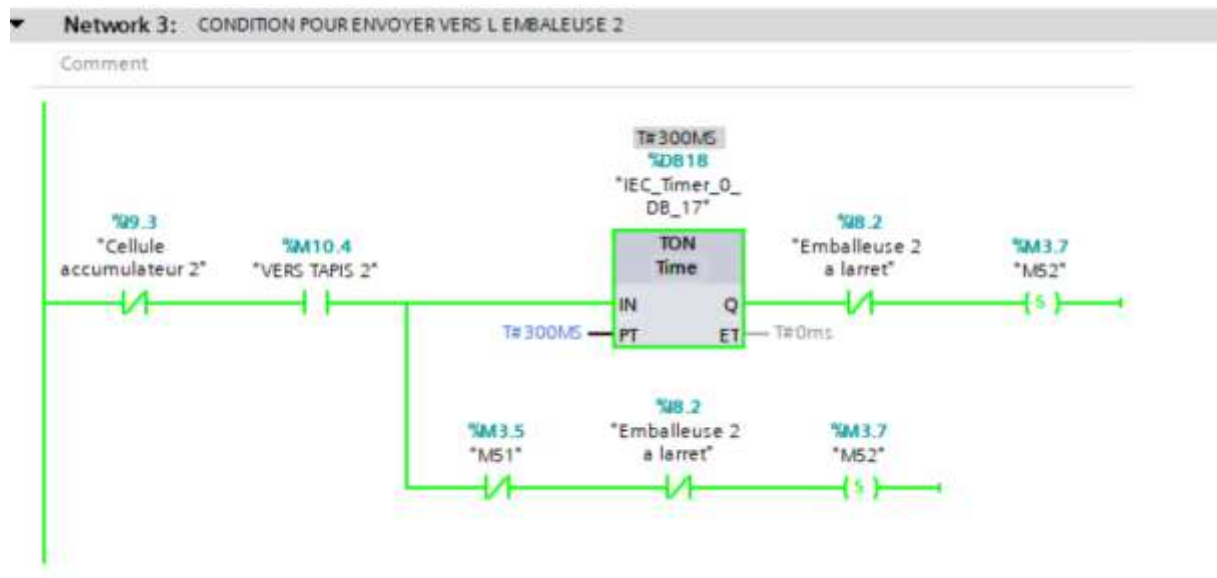


Figure 3. 7: CONDITION POUR ENVOYER VERS L EMBALLEUSE 2

3.2.1.6 CONDITION POUR NE PAS ENVOYER VERS EMBALLEUSE 2

Ce réseau repose sur une combinaison de capteurs et de temporisateurs permettant de garantir que les produits ne sont dirigés vers l'emballuse 2 que lorsque celle-ci est opérationnelle et disponible. La première condition vérifie la présence d'un produit au niveau de la cellule de l'accumulateur 2 (%I9.3), couplée à une demande de direction vers le tapis 2 (%M10.4). Si ces deux signaux sont activés simultanément, un temporisateur (TON) est déclenché avec un délai de 5 secondes. Cette temporisation permet de s'assurer que l'accumulation n'est pas transitoire avant de prendre une décision. Par ailleurs, d'autres conditions sont également prises en compte, telles que l'arrêt de l'emballuse 2 (%I8.2) ou encore la décision d'envoyer les produits vers le tapis 1 (%M10.3), lesquelles déclenchent également une logique d'exclusion. En complément, une cellule de détection située avant l'aiguillage (%I9.1)

est surveillée : si aucun produit n'est détecté durant un délai de 300 millisecondes, un second temporisateur active une commande de réinitialisation (%M3.7), désactivant ainsi la direction vers l'emballeuse 2. Cette logique assure une gestion intelligente du routage des produits, en évitant les encombrements et en garantissant la continuité de production vers les lignes disponibles

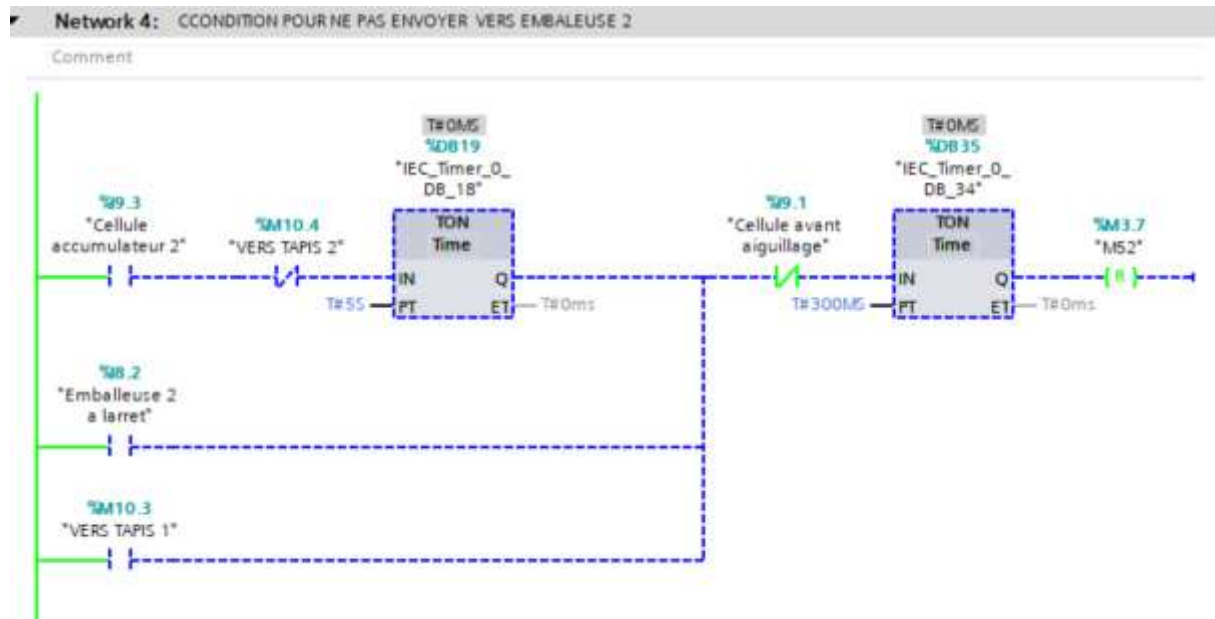


Figure 3. 8: condition pour ne pas envoyer vers emballeuse 2

3.2.1.7 mont de l'aiguillage vers encaisseuse

Dans le cadre de l'automatisation du système d'aiguillage, Le processus démarre par la vérification de plusieurs conditions logiques, notamment l'activation d'un bit mémoire principal (%M2.0) et de bits internes représentant des états du système (%M3.5 et %M3.7). Une cellule de détection positionnée juste avant l'aiguillage (%I9.1) permet de confirmer la présence produit de gaufrette nécessitant un changement de direction.

Lorsque les conditions sont réunies, un temporisateur à l'enclenchement (TON) avec une durée de 300 millisecondes s'active. Une fois ce délai écoulé, le programme

active l'électrovanne orientant l'aiguillage vers la position haute (%Q17.2) tout en désactivant simultanément celle correspondant à la position basse (%Q17.6). Un second réseau logique, utilisant une autre configuration de bits internes mais toujours dépendant du même capteur, permet dans des conditions différentes de réaliser l'opération inverse : désactiver l'électrovanne haute et activer celle de la position basse. L'utilisation de temporisations garantit un basculement sécurisé, en évitant les rebonds ou les activations simultanées, assurant ainsi une manœuvre fiable de l'aiguillage.

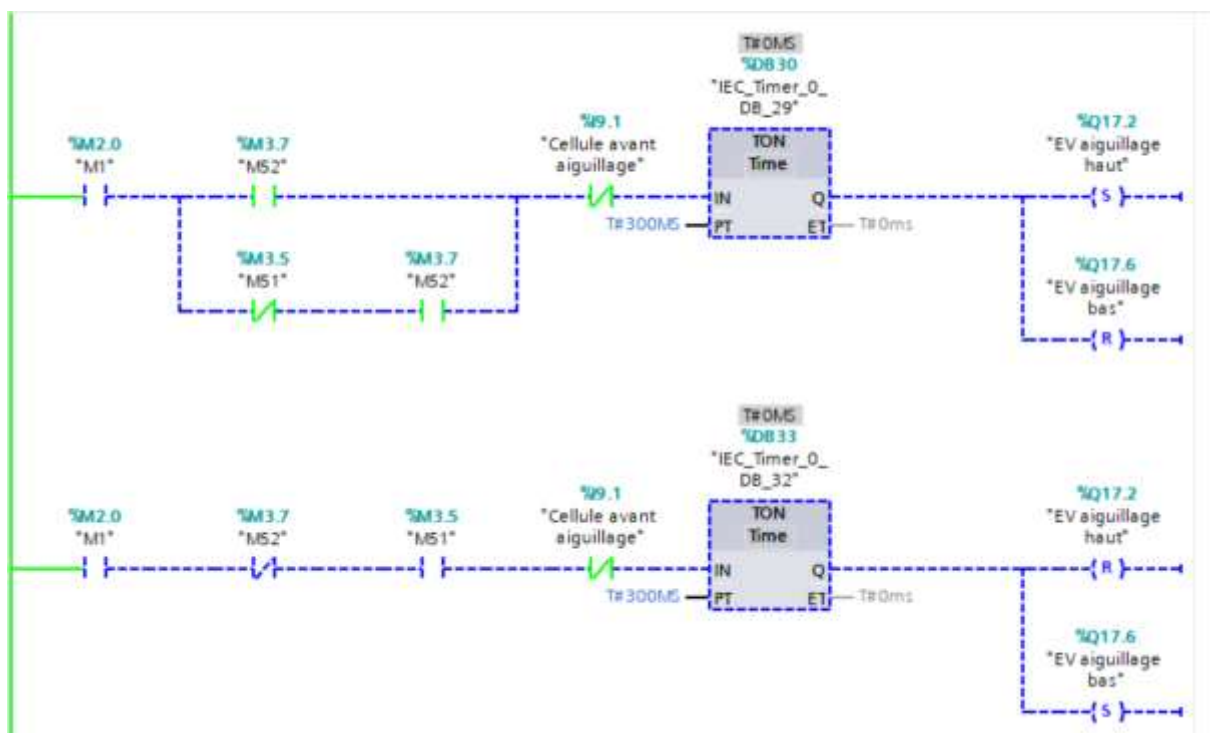


Figure 3. 9: mont de l'aiguillage vers encaisseuse

3.3. Supervision

La partie de supervision se divise en plusieurs sections parmi lesquelles

3.3.1 superviser la condition pour envoyer vers l'emballeuse 2

Dans l'état initial du processus, le capteur Accumulateur 2 est désactivé et la condition permettant l'envoi du produit vers l'emballeuse est également 2 activée. Toutes les

alarmes du système sont dans un état inactif ce qui signifie qu'aucune anomalie n'est détectée. Cela inclut l'absence de bourrage, et le problème de pressostat, ainsi que d'anomalie du relais de sécurité.



Figure 3. 10: *CONDITION POUR ENVOYER VERS L EMBALEUSE 2*

3.3.2 superviser condition pour envoyer vers l embaleuse 1

À ce stade du processus, le capteur Accumulateur 1 est désactivé, tandis que la condition d'envoi du produit vers l'emballeuse 1 est activée. L'ensemble des alarmes du système est désactivé, indiquant une absence de défaillance ou d'anomalie. Aucun bourrage n'est détecté, aucun défaut de répartiteur n'est signalé, et les capteurs de pression (pressostats) ainsi que le relais de sécurité ne présentent aucune anomalie. Le système est donc dans un état opérationnel stable, prêt à effectuer le transfert vers l'emballeuse 1 dans des conditions normales de sécurité et de fonctionnement.



Figure 3. 11: CONDITION POUR ENVOYER VERS L EMBALEUSE 1

3.3.3 superviser la larme de bourrage

Le capteur situé en amont de l'aiguillage a détecté la présence d'un produit pendant une durée excédant 5 secondes, ce qui indique une situation anormale pouvant être liée à un encombrement ou à un arrêt du flux de production. et blocage les convoyeurs

16 17 18



Figure 3. 12: SUPERVISER LA LARME DE BOURRAGE



Figure 3. 13: SUPERVISER LA LARME DE BOURRAGE

3.3.4 SUPERVISER TOUT LES ALARMES

le relais de sécurité s'est déclenché, interrompant le fonctionnement normal du système. En complément, plusieurs alarmes se sont activées, notamment l'alarme de pressostat de pression et le défaut du REP indiquant des dysfonctionnements nécessitant une intervention immédiate pour garantir la sécurité et la continuité du processus.



Figure 3. 14: SUPERVISER TOUT LES ALARMES



Figure 3. 15: SUPERVISER TOUT LES ALARMES

3.4 Schéma électrique

Le schéma électrique est un élément central dans la conception, le câblage et le diagnostic des systèmes automatisés. Il permet de représenter l'ensemble des connexions entre les composants électrotechniques du système, tels que les capteurs, actionneurs, disjoncteurs, relais, alimentations et l'automate programmable industriel (API). Ce schéma offre une vision détaillée de l'architecture électrique, en précisant la distribution de l'énergie, les signaux de commande, ainsi que les protections associées. Dans le cadre de la station de tri de gaufrettes SOGEM, il joue un rôle fondamental en assurant la correspondance entre les équipements physiques et leur intégration dans l'environnement de commande automatisée.

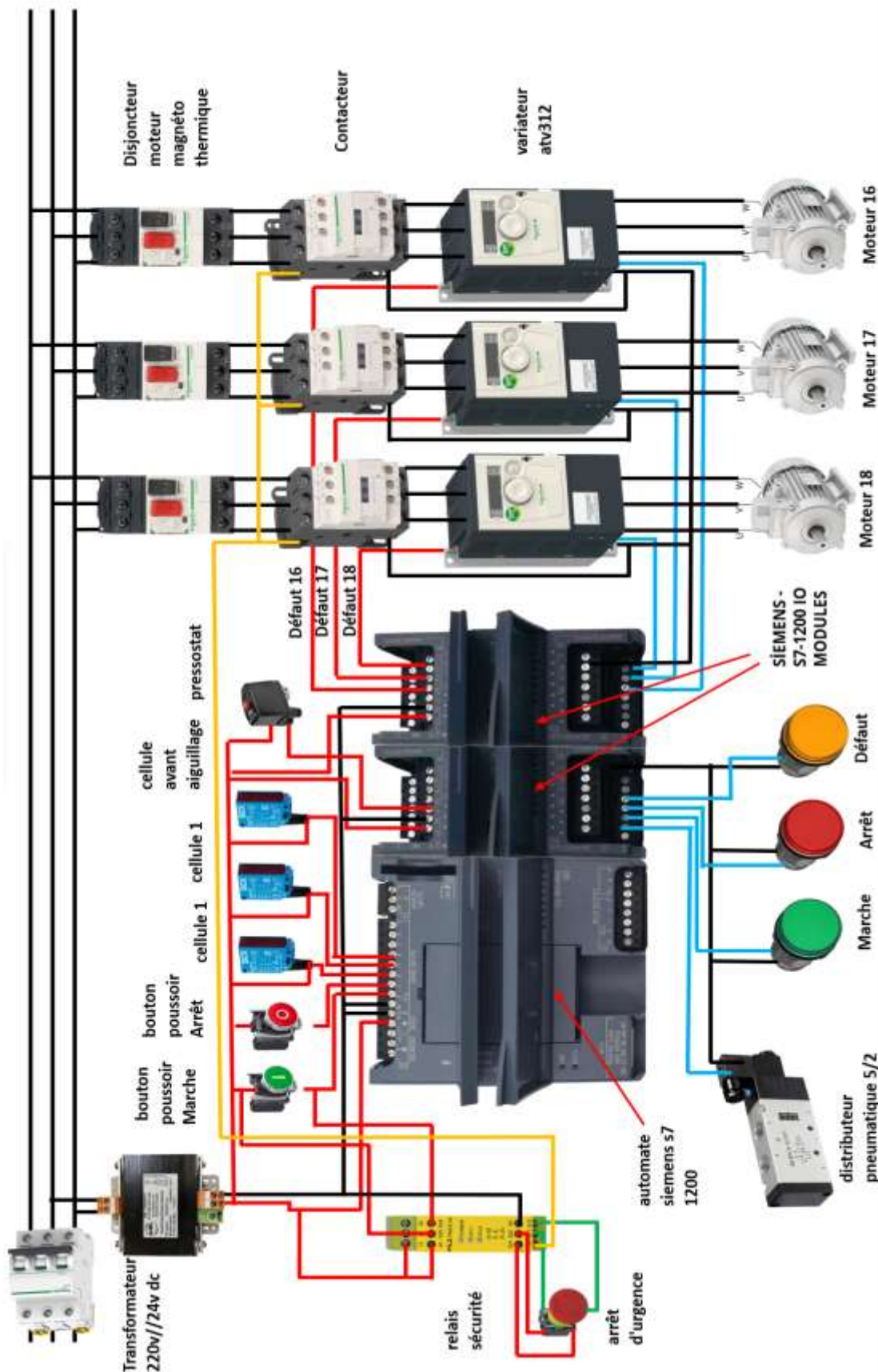


Figure 3. 16: Schéma électrique

Tableaux des entrees et des sorties d'automate

La programmation des automates industriels repose sur une gestion rigoureuse des entrées, des sorties et de leurs adresses dans le programme LADDER, afin d'assurer une communication fiable entre les capteurs, les actionneurs et le système de contrôle.

DI	Address	entrees
Channel 1 automat	I0.1	relais sécurité
Channel 4	I8.4	bouton poussoir Marche
Channel 5	I8.5	bouton poussoir Arrêt
Channel 9	I9.1	cellule
Channel 10	I9.2	cellule 1
Channel 11	I9.3	cellule 2
Channel 3 automat	I0.3	Pressostat
Channel 7 automat	I0.7	Défaut 16
Channel 7 automat	I0.7	Défaut 17
Channel 7 automat	I0.7	Défaut 18
Channel 9	I9.1	Bourage

Tableau 3. 4: Tableau des entrees d'automate

DQ	Address	sorties
Channel 5	Q16.5	Variateur 16
Channel 5 automat	Q0.5	Variateur 17
Channel 5	Q16.5	Variateur 18

Channel 13	Q17.5	Défaut
Channel 15	Q17.7	Voiyon Arrêt
Channel 12	Q17.4	Voiyon Marche
Channel 10	Q17.2	Ev aiguillage haut
Channel 14	Q17.6	Ev aiguillage bas

Tableau 3. 5: *Tableau des sorties d'automate*

Conclusion

Cette phase pratique a permis de transformer en actions concrètes les recommandations issues de l'analyse de la station SOGEM. À travers l'utilisation du TIA Portal, la nouvelle logique de commande a été entièrement reprogrammée, avec une gestion dynamique de l'aiguillage des produits, une supervision temps réel via l'IHM, et des mécanismes de sécurité renforcés. La simulation des scénarios de fonctionnement a validé la robustesse du système et sa capacité à réagir efficacement aux aléas tels que les bourrages ou les ruptures de cadence. L'intégration du langage Ladder a facilité la lisibilité et la maintenance du programme par le personnel technique. En somme, cette partie pratique a démontré que l'automatisation bien pensée peut considérablement améliorer les performances d'une installation industrielle, tout en assurant sa durabilité. Elle constitue une mise en application réussie des connaissances théoriques acquises et marque l'aboutissement technique du projet.

Conclusion Générale

L'ensemble des travaux réalisés au cours de ce projet a permis de mettre en évidence les enjeux techniques, organisationnels et économiques associés à la modernisation d'un processus industriel existant. À travers le cas de la station SOGEM, destinée au tri et à la distribution de gaufrettes, l'étude a démontré l'impact direct de l'obsolescence des équipements sur la productivité, la fiabilité et la maintenabilité du système.

L'analyse fonctionnelle et structurelle du système a mis en lumière plusieurs dysfonctionnements majeurs : défaillance du convoyeur pivotant, pannes intermittentes des E/S de l'automate Schneider TSX Micro, et absence d'interface de supervision. Ces limitations compromettaient à la fois la continuité de production et la sécurité opératoire.

Face à ces constats, une refonte partielle du système d'automatisation a été entreprise. Elle s'est traduite par le remplacement de l'automate obsolète par un Siemens S7-1200, la conception et l'intégration d'un IHM (HMI) intuitif via le TIA Portal, l'installation de relais de couplage de protection, ainsi qu'une reprogrammation complète du cycle de production en langage Ladder. Cette nouvelle architecture améliore non seulement la fiabilité du processus, mais permet également une évolutivité vers des solutions plus intelligentes et interconnectées, alignées avec les exigences de l'industrie 4.0.

Ce projet a constitué un cadre d'apprentissage concret et complet, mobilisant des compétences en automatisme industriel, programmation d'automates, supervision, et diagnostic électrotechnique, dans un contexte de production réel. Il s'inscrit ainsi dans une logique d'amélioration continue et de transformation numérique des installations industrielles.

- [1]<https://www.din.de/resource/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/rec-ommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>
- [2] Dr. Djamel FRIHI , Maintenance industrielle,2015
https://dspace.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/574/1/Cours_FRIHI_Djamel.pdf
- [3]<http://www.master-group.fr/documents/moteurs-electriques/catalogue-technique-moteurs-electriques-triphases-weg-mastergroup.pdf>
- [4] <https://www.scribd.com/document/691909405/VERINS-PNEUMATIQUE>
- [5] <https://fr.rs-online.com/web/p/capteurs-photoelectriques/7637882>
- [6]https://cache.industry.siemens.com/dl/files/382/109736382/att_880380/v1/SINAMICS_V20_Compact_Operating_Instructions_022016_fr-FR.pdf
- [7] https://fac.umc.edu.dz/st/actionneurs_chap3_Distributeur.pdf
- [8] <https://www.tec-electromecanique.fr/categories-produit/02-relais-temporises/>
- [9]
https://support.industry.siemens.com/dl/files/350/90114350/att_904654/v2/HWBasicPanels2GfrFR_fr-FR.pdf
- [10]<https://www.scribd.com/document/478436830/Chapitre-1-Introduction-aux-processus-industriels-pdf>
- [11]https://fac.umc.edu.dz/ista/pdf/cours/Polycopi%C3%A9-automatisme-bouchahed_A.pdf
- [13] <https://excerpts.numilog.com/books/9782100740338.pdf>
- [14] <https://www.ixapack.com/biscuit/>
- [15] documentation de bimo sarvis technique
- [16] <http://www.master-group.fr/documents/moteurs-electriques/catalogue-technique-moteurs-electriques-triphases-weg-mastergroup.pdf>
- [17] <https://www.scribd.com/document/691909405/VERINS-PNEUMATIQUE>
- [18] Utilisation libre pour les instituts publics de formation et de R&D. © Siemens AG 2018.
<https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/hw-config-s7-1200/sce-011-102-hardware-configuration-s7-1200-cpu1215c-r1807-fr.pdf>
- [19]https://support.industry.siemens.com/dl/files/350/90114350/att_904654/v2/HWBasicPanels2GfrFR_fr-FR.pdf

- [20] <https://www.bectrol.com/DATA/media/2023/06/ATV312-PROGRAMMATION.pdf>
- [21] https://cache.industry.siemens.com/dl/files/129/109764129/att_974302/v1/s7120_0_system_manual_fr-FR_fr-FR.pdf
- [22] <https://www.pilz.com/fr-FR/support/lexicon/articles/072106>
- [23] <https://www.pedagogie.ac-aix-marseille.fr/upload/docs/application/pdf/2015-03/pressostats.pdf>
- [24] Utilisation libre pour les instituts publics de formation et de R&D. © Siemens AG 2018. Tous droits réservés.
SCE_FR_031-100.FC-Programming.S7-1200_R1709.docx
<https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/basics-programming-s7-1200/sce-031-100-fc-programming-s7-1200-r1709-fr.pdf>
- [25] BRIEDJ AYMEN & METTAI KHAYREDDINE Automatisation d'une centrale à béton avec TIA Portal V15 Département d'Automatique et électrotechnique .blida.