



DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

MEMOIRE

DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER EN

AUTOMATIQUE ET SYSTEME

THEME

**Etude et automatisation d'une chaine de production par
automate programmable industriel (API)**

Présenté par le binôme :


- **CHAMSEDDINE BOUFARH**
- **SALAH EDDINE AOUAM**

Devant le Jury :

Pr. Soufi Yousef	PROFESSEUR	Président
Pr. Chenikher Saleh	PROFESSEUR	Encadreur
Dr. Ouanes Djamel	MCA	Examineur

Année universitaire : 2023 – 2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Résumé :

Ce travail réalisé au sein de l'usine du ciment GICA (SCT) présente l'étude d'un système de graissage d'un four rotatif. L'objectif de ce travail est de faire l'automatisation et la supervision qui est souvent utilisé dans l'industrie. On a utilisé l'automate S7-300, programmé avec logiciel STEP7 et testé le programme par le simulateur PLCsim ainsi que logiciel WINCC flexible utilisé pour la supervision et la configuration de l'interface homme machine en temps réel. Mots clés : automatisation, supervision, simulateur PLCsim, interface homme machine, le logiciel STEP7, le logiciel WINCC, système de graissage.

Abstract:

This work carried out within the GICA cement factory (SCT) presents the study of a lubrication system for a rotary kiln. The objective of this work is to provide automation and supervision, which is often used in the industry. We used the S7-300 automaton, programmed with STEP7 software and tested the program using the PLCsim simulator as well as flexible WINCC software used for supervision and configuration of the man-machine interface in real time. Key words: automation, supervision, PLCsim simulator, human machine interface, STEP7 software, WINCC software, lubrication system.

Remerciement

À l'issue de ce travail, nous adressons nos remerciements en premier lieu à «**ALLAH**» tout puissant pour la volonté, la santé et la patience Qu'il nous a données durant toutes ces longues années d'études.

Nos remerciements les plus sincères vont tout d'abord à notre promoteur, **Pr.CHNIKHER SALEH** professeur à l'université de Tébessa, pour avoir accepté de diriger ce travail de recherche. Son expertise précieuse, sa discipline et sa générosité ont été d'une aide considérable.

Nous exprimons notre gratitude aux membres du jury pour bien vouloir accepter de présider et d'examiner ce travail.

Nos remerciements s'étendent également à tous nos professeurs durant les années d'études. Nous remercions également nos collègues du groupe automatique et systèmes promotion 2023/2024, ainsi que tous nos amis avec qui nous avons passé des moments agréables, et toutes les personnes que nous avons rencontrées à l'université pendant ces cinq années.

Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Merci à dieu de m'avoir donné la force et le courage.

Je dédie ce modeste travail aux êtres qui sont les plus

chers au monde :

A ma chère mère, à mon admirable père,

A mes frères et mes sœurs

A toute ma famille sans exception.

À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

À tous mes amis.

Et à tous ceux qui content pour moi.

Chamsseddine Boufarh

Dédicaces

Merci à dieu de m'avoir donné la force et le courage.

Je dédie ce modeste travail aux êtres qui sont les plus

chers au monde :

A ma chère mère, à mon admirable père,

A mes frères

A toute ma famille sans exception.

À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

À tous mes amis.

Et à tous ceux qui content pour moi.

SALAHEDDINE AOUAM

Table des matières

Résumé.....	I
Remerciement	II
Dédicaces	III
Liste des matières.....	V
Liste des tableaux.....	
Liste des figures.....	
Liste des abréviations.....	
INTRODUCTION GENERALE	2
Chapitre I : Description de l’usine de El ma Labiod et le système de	5
graisseage	5
I.1 Introduction	5
I.2. Présentation de la cimenterie d’El Ma Labiod (SCT)	5
I.3 Processus de fabrication du ciment.....	6
I.3.1 Définition du ciment.....	6
I.3.2 Matière première du ciment	6
I.3.3 Matière d’ajouts du ciment [6].....	7
I.4. Zone d’Extraction.....	7
I.4.1. Carrière.....	7
I.4.2. Concassage	8
I.5. Zone Cru	9
I.5.1. Pré-homogénéisation	9
1.5.2. Broyage du cru.....	9
I.6. Zone Cuisson.....	10
I.6.1 Homogénéisation ET préchauffage.....	10
1.6.2 Ligne de cuisson	10
1.6.3. Tour à cyclones:	11
I.6.4. Four rotatif.....	11
I.6.5 Refroidisseur	12
I.6.6. Stockage du clinker	13
I.7. Zone Ciment.....	13
I.7.1 Zone D’expédition	13
I.7.2 Stockage et expédition du ciment	13
I.8. Structure de la couronne dentée	14

Table des matières

I.8.1. Présentation de la couronne dentée et des éléments additionnels.....	14
I.8.2 Présentation du système du graissage.....	15
I.8.3 Description général.....	15
I.8.4 Les unités du système.....	16
I.9 Stations de pompage.....	16
I.10 Description de la fonction de nébulisation.....	18
I.10.1 Les distributeurs de graisse (pré actionneurs).....	18
I.10.2 Les vannes pneumatiques Tout Ou Rien (TOR).....	19
I.10.3 Les pompes hydrauliques (actionneurs).....	20
I.10.4 Indicateur de pression.....	20
I.11 Le fonctionnement du système.....	21
I.11.1 Défaut d'un seul système (A ou B).....	22
I.11.2 Défaillance d'un système A ou B.....	22
I.11.3 Défaut des deux systèmes (A et B).....	23
I.11.4 Défaillance dans les deux systèmes A et B.....	23
I.11 Conclusion :.....	24
Chapitre II : API ET SUPERVISION.....	26
II.1. INTRODUCTION.....	26
II.2. Définition général.....	26
II.3. Structure d'un système automatisé.....	27
II.3.1. La partie opérative (PO).....	27
II.3.2. La partie commande (PC).....	27
II.3.3. La partie relation (PR).....	27
II.3.4. Les interactions entre les parties.....	28
II.4. Structure d'un automate programmable industriel.....	28
II.5. Processeur.....	29
II.5.1. Unité centrale.....	29
II.5.2. Les modules d'entrées / sorties.....	29
II.5.3. Entrées/sorties Tout ou Rien (TOR).....	29
II.5.4. Entrées/sorties analogiques.....	30
II.5.5 Les modules des sorties statiques.....	30
II.5.5.1 Les modules à relais électromagnétiques.....	30
II.5.5.2 Entrées/sorties déportées.....	31
II.6 Architecture industrielle.....	31
II.6.1 L'automate programmable compact(APC).....	31
II.6.2 L'automate programmable Modulaire (APM).....	31

Table des matières

II.6.3 Les automate Siemens	32
II.6.4 l'automate S7-300	33
II.6.4.1 Définition	33
II.6.4.2 Architecture d'un automate S7-300	33
II.7. La supervision industrielle	38
II.7.1 Introduction	38
II.7.2 Définitions de la supervision	39
II.7.3 Les différents types de moniteurs	39
II.7.4 Architecture de la supervision	40
II.7.5 Objectif de la supervision	40
II.7.6 Rôle de la supervision	41
II.7.8 les systèmes de supervision	43
II.7.9 Technique de la supervision	44
II.8. Conclusion	46
Chapitre III : LANGAGES DE PROGRAMMATION.....	47
III.1 Introduction.....	47
III.2 GEMMA	47
III.2.1 Pourquoi le GEMMA.....	47
III.2.2 Généralité sur le GEMMA	47
III.2.3 Concepts de base du GEMMA	48
III.2.4 Analyse des boucles opérationnelles de GEMMA (système de graissage)	50
III.3 Le STEP 7	52
III.3.1 Définition du logiciel	52
III.3.2 Les langages de programmation	52
III.3.3 Les principes de base de la programmation dans STEP7	53
III.4.1. Elements de WINCC flexible.....	56
III.4.2 Description de l'interface de WINCC flexible	57
III.5 .Conclusion.....	59
CHAPITRE IV : APPLICATION SUR LE SYSTEME DE GRAISSAGE.....	61
IV.1 Introduction	61
IV.2.1 PROBLEMATIQUE DE cette AUTOMATE	62
IV.3 Cahier de charge.....	63
IV.4 Programmation dans STEP7	71
IV.4.1 Configuration matérielle.....	71
IV.5 Création de station HMI.....	77
IV.5.1 Déclaration les variables:	78

Table des matières

IV.5.3 La simulation de projet à l'aide de WINCC flexible	81
IV.6 Conclusion.....	82
CONCLUSION GENERALE.....	84
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE.....	87

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1: Les composants du systeme	22
Tableau 2.1 : Les modules prevus pour l'alimentation des CPU de S7-300	36
Tableau 3.1 : Procédures de fonctionnement dans le GEMMA	49
Tableau 3.2 : Procédure d'arrêt dans le GEMMA	50
Tableau 3.3 : Procédure de défaillance dans le GEMMA	50
Tableau 3.4 : Les Blocs de STEP7	53
Tableau 4.1 : variables de grafcet de conduite	65
tableau 4.2: Variables d'entrée	66
Tableau4.3: Variables de sorties	67

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 L'Usine d el ma labiod	6
Figure 1.2 : Les elements qu 'entrent dans la constitution de ciment	7
Figure 1.3 : Extraction et Transport de la Matière Première	8
Figure 1.4 : Concasseur a Marteaux	8
Figure 1.5 : Broyeur cru horizontal	9
Figure 1.6 : Tour de préchauffage	11
Figure 1.7 : Four Rotatif	12
Figure 1.8: Le refroidisseure	12
Figure 1.9 : L'expédition du ciment	13
Figure 1.10 : Les procédés de fabrication du ciment	14
Figure 1.11: Structure de la couronne dentée	15
Figure 1.12 : Armoire de contrôle [17
Figure 1.13 1 : Pompe de graisse	17
Figure 1.14 : Panneau de nébulisation	18
Figure 1.15 : Distributeur de graisse	18
Figure 1.16 : Description de la fonction de la fonction de nébulisation	19
Figure 1.17 : Vanne pneumatique	19
Figure 1.18 : Pompe hydraulique	20
Figure 1.19 : Indicateur de pression	21
Figure 1.20 : L'automate utilise dans l'armoire	21
Figure 2.1 : Structure dun systeme automatise	27
Figure 2.2: Structure de l'automate programmable	28
Figure 2.3 : Automate TSX17	30
Figure 2.4 : Automate Schneider Electric Modicon M22	31
Figure 2.5 : Automate programmable modulaire (APM)	32
Figure 2.6 : Présentation de la gamme de siemens	33
Figure 2.7 : L'automate programmable S7-300	34

LISTE DES FIGURES

Figure 2.8 : CPU d automate S7-300	35
Figure 2.9 : Module d'alimentation de l'automate S7-300	37
Figure 2.10 : Le poste de pilotage d une supervision	40
Figure 2.11 : Architecture général de système de supervision en linge	40
Figure 2.12 : Exemple sur les courbes dans la supervision	42
Figure 2.13 : Alarmes List	43
Figure 2.14 : Modules essentielle d'un système de supervision	44
Figure 3.1 : concept n°1de GEMMA [48
Figure 3.2 : Concept n° 2 de GEMMA [49
Figure 3.3 : Concept n° 3 de GEMMA	50
Figure 3.4 : GEMMA principale du Système de Graissage	51
Figure 3.5 : Les langages basiques du STEP7	52
Figure 3.6 : Structure des programmes en STEP7	54
Figure 3.7 : Les différents types de la temporisation	55
Figure 3.8 : Les différents types du comptage	55
Figure 3.9 : Fenêtre de simulation	56
Figure 3.10 : Vue d'ensemble du progiciel WIN flexible	57
Figure 3.11 : Ecriture des alarmes	58
Figure 3.12 : Définition paramètre de liaison	58
Figure4.1 : API FA-1]	61
Figure 4.2 : vue du mode manuelle.	64
Figure 4.3 : vue du mode essai local	65
Figure 4.4 : Grafcet général du système de graissage	66
Figure 4.5 : Grafcet de préparation A	67
Figure 4.6 : Grafcet de préparation B	68
Figure 4.7 : Grafcet de mode automatique A	68
Figure 4.8 : Grafcet de mode Automatique B	69
Figure 4.9 : Grafcet de mode MANUEL A ET B	69
Figure 4.10 : Grafcet de mode Test	70
Figure 4.11 : Grafcet de sécurité	70

LISTE DES FIGURES

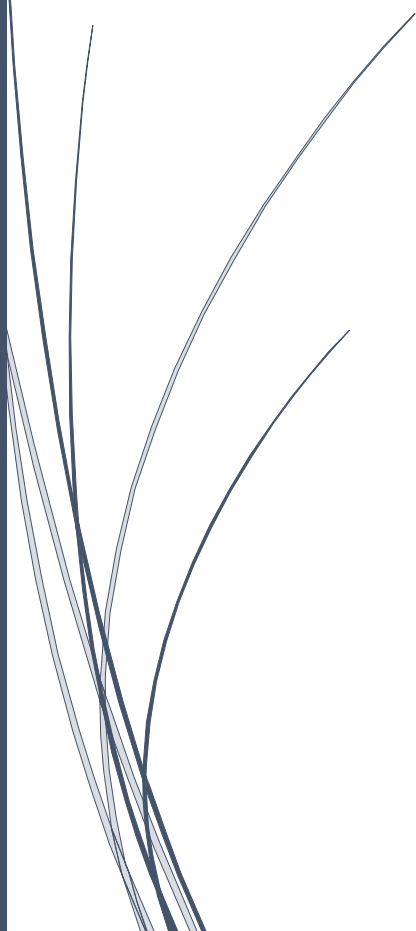
Figure 4.12: Configuration de projet (hardware configuration)	71
Figure 4.13: Les blocs de programme dans STEP7	72
Figure 4.14: Edition de mnémonique.	73
Figure 4.15: La fonction FB1	74
Figure 4.16 : La fonction FB5	75
Figure 4.17 : Le programme dans OB1	76
Figure 4.18: Pupitre d’HMI	77
Figure 4.19 : Liaison entre interface et l’automate	77
Figure 4.20: Liaison MPI entre pupitre et station SIMATIC (l’intégration)	78
Figure 4.21 : Les variables de notre application dans le WINCC	78
Figure 4.22: Vue initial	79
Figure 4.23: Mode Automatique	79
Figure 4.24: Alarme TOR (tous ou rien)	80
Figure 4.25: Vue définir valeur	81
Figure 4.26: La simulation d’HMI	81
Figure 4.27 : La supervision du système de graissage	82

Liste des abréviations

API	Automate Programmable industriel.
SIMATIC	Siemens Automatic.
SCC	Salle Commande Centrale.
CC	Commande Centrale.
LP	Local Permission.
LT	Local Test.
LC	Local Commande.
TOR	Tout ou Rien.
CPU	Central Processing Unit.
SM	Module de signaux.
FM	Module de fonction.
MPI	Multi Point Interface.
S7	STEP7.
CONT	Langage à base de schémas de contacts.
LIST	Le langage de liste d'instructions.
OB	Bloc d'organisation.

INTRODUCTION

GENERALE



INTRODUCTION GENERALE

Les systèmes automatisés sont constitués de divers composants conçus pour exécuter des séquences de tâches préprogrammées. Leur but est de simplifier, sécuriser et rendre plus efficaces les processus de production ou les activités quotidiennes. Ces systèmes sont caractérisés par leur capacité à accomplir des fonctions spécifiques, permettant ainsi d'atteindre des résultats prédéfinis.

Dans le contexte industriel actuel, il est notable que de nombreuses entreprises optent de plus en plus pour l'automatisation de leurs lignes de production. Cette tendance découle de la conviction générale quant à la supériorité des systèmes automatisés par rapport aux méthodes traditionnelles employées auparavant.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre projet de fin d'études, mené au sein de l'entreprise algérienne SCT, spécialisée dans le domaine du ciment. L'objectif principal de notre travail était d'étudier le système de graissage d'un four rotatif à ciment, en utilisant un automate programmable industriel (API) de la gamme SIEMENS S7-300. Ce choix a été motivé par le désir de comprendre l'état actuel de cette technologie et d'approfondir notre compréhension de son fonctionnement technique.

Ce travail est structuré de la manière suivante :

- Le premier chapitre contient dans la première partie une description générale sur la cimenterie d'EL MA LABIODH (SCT) et le processus de fabrication du ciment et dans la deuxième partie la structure de la couronne dentée que nous lubrifions et une présentation détaillée sur le système choisi, le système de graissage d'un four rotatif.
- Le deuxième chapitre contient dans la première partie la description des automates programmables industriels d'une façon générale et d'une manière plus détaillée de l'automate SIEMENS S7- 300. et la deuxième partie consacrée à l'explication de la supervision industrielle d'une façon plus détaillée : les objectifs, les fonctionnements des outils et les différentes techniques de la supervision.
- Ensuite dans le troisième chapitre on va présenter les différents logiciels choisis pour faire la programmation. On commence par le STEP7 qui sert à programmer l'automate (PLCsim) à partir d'un guide graphique appelé le GEMMA, puis le WINCC Flexible

quinous permet de concevoir une interface pour la visualisation du système de graissage en temps réel.

- Le quatrième chapitre sera sur la validation des programmes, simulation et supervision du fonctionnement du système de graissage. Enfin, on termine par une conclusion générale.

Chapitre I

Description de l'usine de El ma Labiod et le système de graissage

Chapitre I : Description de l'usine de El ma Labiod et le système de graissage

I.1 Introduction

La première usine de ciment a été créée par Dupont et Demarle en 1846 à Boulogne-sur-Mer. Le développement n'a pu se faire que grâce à l'apparition de matériels nouveaux : four rotatif et broyeur à boulets, en particulier [1]

Le ciment d'aujourd'hui est un produit très élaboré, aboutissement de technologies très avancées.

La cimenterie de jadis a fait place, de nos jours, à des usines de plus en plus automatisées. En particulier, le pré homogénéisation du cru permet de reconstituer en quelque sorte une carrière idéale, gage de fabrication d'un produit toujours plus constant. Une salle de contrôle centralisée perçoit la vie entière de la cimenterie. Tous les paramètres de fabrication sont enserrés dans des limites étroites et des organes de régulation viennent déclencher, si nécessaire, des séquences correctives [1]

L'industrie cimentière c'est engagée au cours de ces dernières années dans d'importants Investissements de telle sorte à augmenter et diversifier la production afin de satisfaire le Besoin croissant du marché et réduire l'impact de la forte concurrence.

Pour atteindre cet objectif, le groupe GICA a opté pour la mise en place des Technologies Rigoureuses et efficaces en se dotant des outils de dernière adaptés

I.2. Présentation de la cimenterie d'El Ma Labiod (SCT) :

Le Groupe Industriel des Ciments d'Algérie "Groupe GICA" a été créé par décision de l'Assemblée Générale Extraordinaire, suite à la transformation juridique de l'ex Société de Gestion des participations « Industrie des Ciments » en date du 26 novembre 2009. Le Groupe GICA est une société par actions au capital de : 25.358.000.000 dinars.[2] Le Groupe est composé de **(23)** filiales spécialisées, dont **(14)** cimenteries, **(3)** sociétés de Granulats et BPE, une **(01)** société de distribution, deux **(02)** sociétés de maintenance industrielle, un **(01)** centre d'assistance technique, un **(01)** centre de formation et perfectionnement, et une **(01)** société de gardiennage. [2]

La société de la cimenterie d'EL Ma Labiod de Tébessa, SCT est une filiale du groupe (E.R.C.E), de Constantine et sa capacité de production annuelle est de l'ordre de 525 000 tonne.

Alors que les objective de production étaient de 600 000 tonnes, le complexe a produit 651 500 tonnes. Ce dépassement des objective retenus en début d'exercice permet au SCT de réunir

une des conditions de sa pérennité économique sur un marché national de plus en plus concurrentiel. [3]

D'après les informations fournies par la même source, les autorités ont opté pour la localisation dans la région d'El Ma Labiod, située à 26 kilomètres au sud de Tébessa, et à une distance de 35 kilomètres de la frontière avec l'Algérie et la Tunisie.

Elle comporte des ateliers de : concassage, broyage, stockage de la farine, cuisson, stockage du clinker, broyage des combustibles, broyage du ciment, ensachage et expédition du ciment. La conduite de l'unité peut se faire d'une manière automatique, semi-automatique ou manuelle.



Figure 1.1 L'Usine d el ma labiod

I.3 Processus de fabrication du ciment :

I.3.1 Définition du ciment :

Le ciment résulte d'un processus industriel impliquant le broyage et le mélange du clinker avec divers additifs, comme le gypse. Le clinker, composant essentiel du ciment, est lui-même produit par la cuisson à haute température (1450 °C) d'un mélange de matières premières telles que le calcaire et l'argile.

Avant d'être soumis à la cuisson, le mélange des matières premières est soigneusement broyé pour produire une poudre appelée "farine crue". Cette farine doit présenter des proportions précises de certains composants chimiques, ce qui est essentiel pour la qualité finale du produit. [5].

Il y a une variété considérable de types de ciment, mais les plus réputés sont les ciments Portland, qui en réalité se déclinent en deux catégories standardisées. [6] :

- Le Ciment Portland Artificiel : CPA
- Le Ciment Portland Composé : CPJ (35, 45,55)

I.3.2 Matière première du ciment :

Les composants de base utilisés dans la production de ciment sont principalement le calcaire, l'argile, le sable, et le minerai de fer, ou toute autre substance contenant principalement de la chaux (CaO), de la silice (SiO₂), de l'alumine (Al₂O₃), et de l'oxyde ferrique (Fe₂O₃) (voir figure I.2). [5].

I.3.3 Matière d'ajouts du ciment [6]:

- **Gypse** : Il contribue à ajuster le délai de prise du ciment.
- **Calcaire** : Addition qui réduit la force du ciment.
- **Matière de correction** : Les matériaux correctifs habituels comprennent le sable et les minerais de fer, lesquels sont inclus dans le mélange brut.
- **Pouzzolane** : Une substance d'origine volcanique, principalement utilisée dans la production de toutes les variétés de ciment disponibles sur le marché, à l'exception du CPJ35.



Figure 1.2 : Les éléments qui entrent dans la constitution de ciment

Avant d'être soumis à la cuisson, les matières premières sont soigneusement broyées pour produire une poudre appelée "farine crue". Cette farine doit présenter des proportions précises des différents composants chimiques.

Pour fabriquer du ciment, le processus traverse les cinq étapes suivantes :

- Zone d'Extraction ;
- Zone Crue ;
- Zone Cuisson ;
- Zone Ciment ;
- Zone Expédition.

I.4. Zone d'Extraction :

I.4.1. Carrière :

Tébessa Ciments utilise une carrière pour obtenir la matière première nécessaire. L'extraction du calcaire se fait par dynamitage, ce qui implique la fragmentation du massif rocheux à l'aide d'explosifs, comme illustré dans la Figure 1.3 ci-dessous.

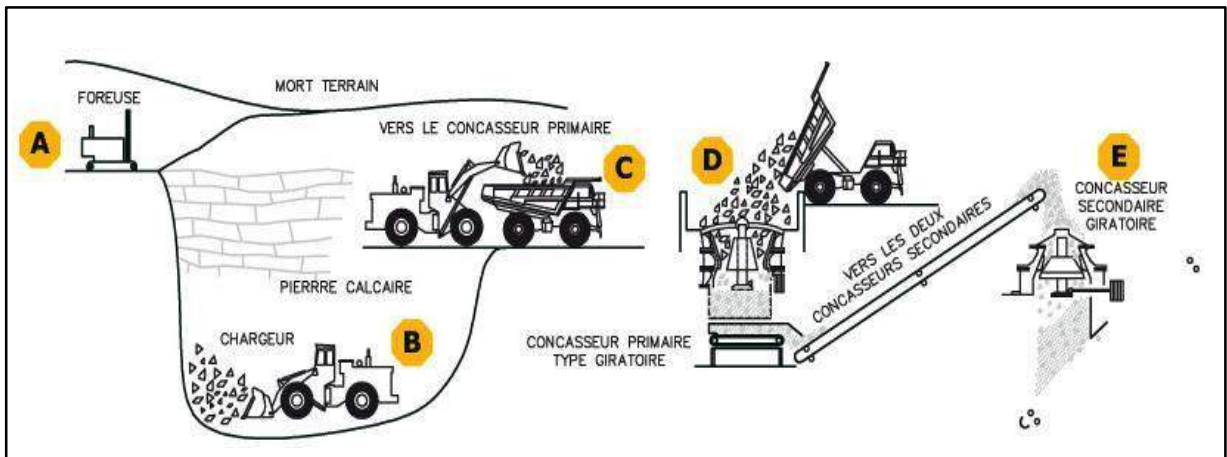


Figure 1.3 : Extraction et Transport de la Matière Première[7]

I.4.2. Concassage:

L'objectif de cette étape est de fragmenter la matière première (les blocs de pierre) déchargée des camions en morceaux plus petits. Cette tâche est réalisée grâce à l'utilisation de concasseurs à marteaux, lesquels sont préférés dans les installations de ciment, comme le montre la Figure 1.4.

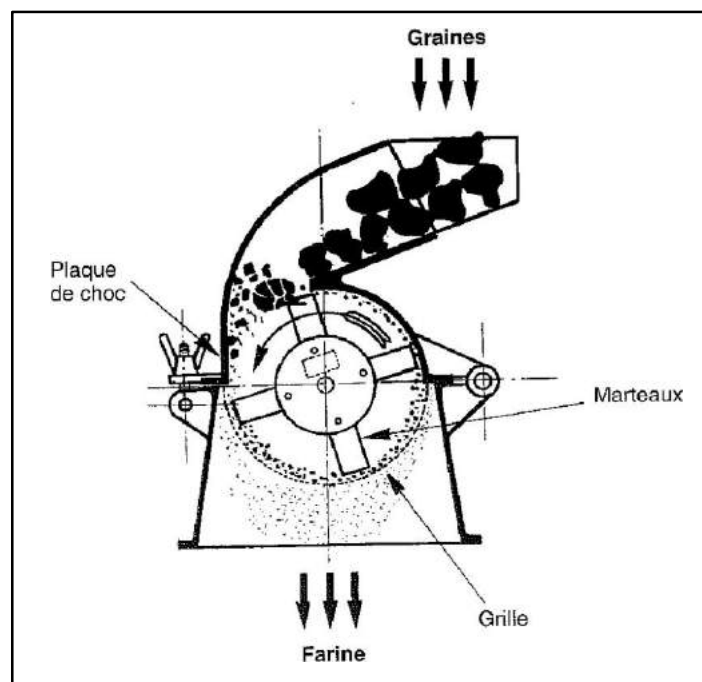


Figure 1.4 : Concasseur a Marteaux [8]

I.5. Zone Cru:

I.5.1. Pré-homogénéisation:

C'est l'opération qui suit le concassage, elle consiste à mélanger les différentes composantes de la matière première (calcaire, argile) ainsi que les ajouts qui y entrent dans la production du ciment (sable, minerai de fer, gypse), tout en respectant les pourcentages des matières relatifs à chaque composant, pour obtenir vers la fin une composition chimique dénommé le cru. Quelques échantillons sont prélevés lors de la constitution des tas dans une station d'échantillonnage et analysés au sein du laboratoire de l'usine.

Les résultats obtenus de ces analyses permettent de définir les corrections nécessaires à apporter au mélange [9] [15].

I.5.2. Broyage du cru :

La matière crue est composée d'un mélange de différentes matières premières telles que le calcaire, le sable, l'argile et le minerai de fer. Chacune de ces matières premières passe par une trémie et des pesons pour un dosage optimal, ce qui est essentiel pour la qualité du ciment.

Le broyeur à boulets pour ciment est un dispositif rotatif horizontal transmis par l'engrenage extérieur. Les matériaux sont transférés dans la chambre de broyage par l'arbre creux de manière uniforme. Il y a un revêtement d'échelle et un revêtement d'ondulation et différentes spécifications de billes d'acier dans la chambre. La force centrifuge causée par la rotation du baril amène les billes d'acier à une certaine hauteur et percutent et broient les matériaux. Les matériaux broyés sont déchargés par le panneau de déchargement et le processus de broyage est terminé [11].

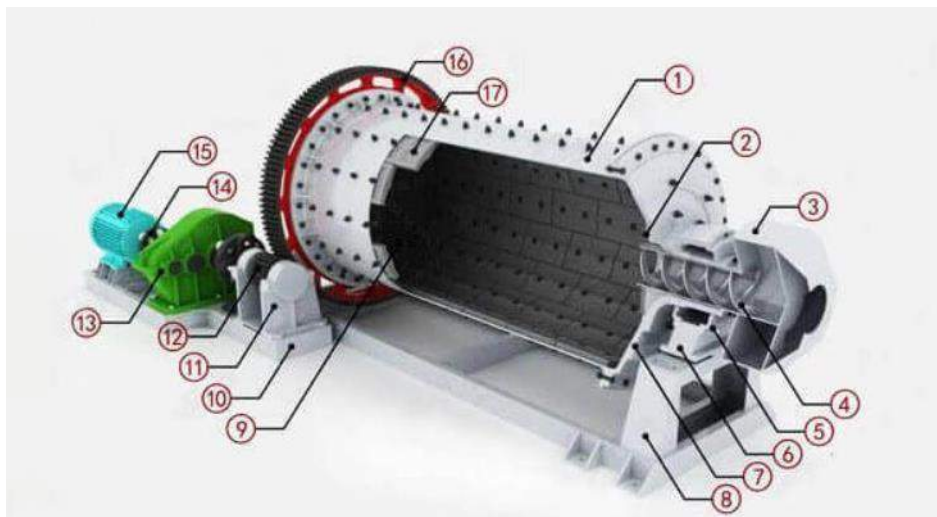


Figure 1.5 : Broyeur cru horizontal [10]

1-cylindre ;

- 2-entree ;
- 3-port d'alimentation ;
- 4-vis d'alimentation ;
- 5-couvercle de roulement ;
- 6-siège de roulement ;
- 7-rouleau ;
- 8-cadre ;
- 9-plaque de plancher roulée ;
- 10- siège conducteur ;
- 11- siège de roulement croisé ;
- 12- pignon ;
- 13-réducteur ;
- 14- coupleur ;
- 15- moteur ;
- 16- gros équipement ;
- 17- grande assiette.

I.6. Zone Cuisson :

I.6.1 Homogénéisation ET préchauffage :

Après le processus de broyage et de séparation, le matériau cru est acheminé vers le fond du silo d'homogénéisation. Là, dans la chambre de mélange, il est transformé en une fine poudre appelée "farine" dans le langage des cimentiers. Cette farine est ensuite dirigée directement vers la tour de préchauffage à travers un élévateur.

La tour de préchauffage est équipée de cinq étages de cyclones, permettant de préchauffer la farine à environ 800°C pour la déshydrater. Pendant ce processus, la farine raffinée retombe par gravité en sens inverse, tandis que les gaz remontent l'édifice (la tour) pour se diriger vers le filtre. Cette séquence est représentée de manière détaillée dans la Figure I.6.

I.6.2 Ligne de cuisson :

La ligne de cuisson ciment est l'étape intermédiaire du processus de fabrication du ciment. Elle consiste à chauffer la farine crue à haute température (environ 1450°C) dans un four rotatif pour la transformer en clinker. Le clinker est ensuite broyé avec du gypse pour obtenir le ciment [12]

La ligne de cuisson se compose d'une succession d'éléments essentiels : une tour équipée de cyclones, un four rotatif et un dispositif de refroidissement.

1.6.3. Tour à cyclones:

La tour à cyclones est constituée de plusieurs étages de cyclones, à travers lesquels la farine crue descend en tourbillons. En même temps, des gaz chauds issus du four rotatif montent à contre-courant. Ce contact direct entre les gaz chauds et la farine permet de la préchauffer progressivement jusqu'à 850°C à 1000°C [13].

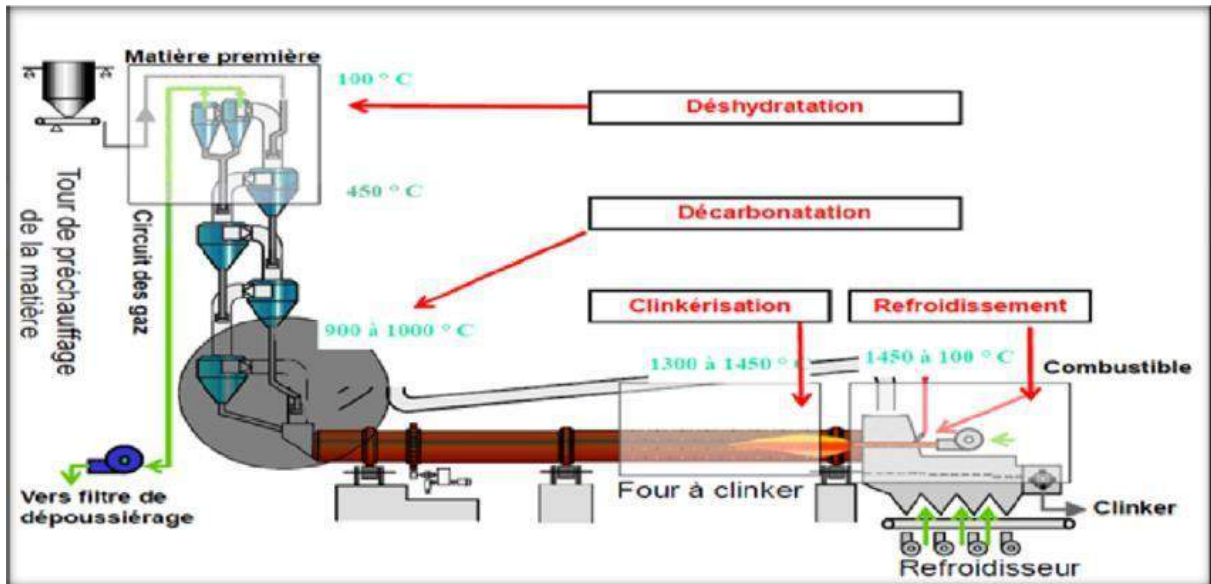


Figure 1.6 : Tour de préchauffage [14]

1.6.4. Four rotatif :

Le four rotatif, élément central de la ligne de cuisson, est une structure en acier reposant sur des stations de roulement et revêtue intérieurement de matériaux réfractaires. Conçu spécifiquement pour les exigences chimiques du processus cimentier, ce four permet la transformation de la matière première en clinker. (Voir la Figure I.7).

Pendant la cuisson, le four rotatif est animé d'un mouvement de rotation. Sa disposition inclinée favorise le déplacement de la matière première, injectée à l'extrémité opposée à la flamme de chauffage. Au cours de ce déplacement, la matière subit un processus de cuisson et se transforme progressivement en clinker, atteignant une température de 1450 °C [15].

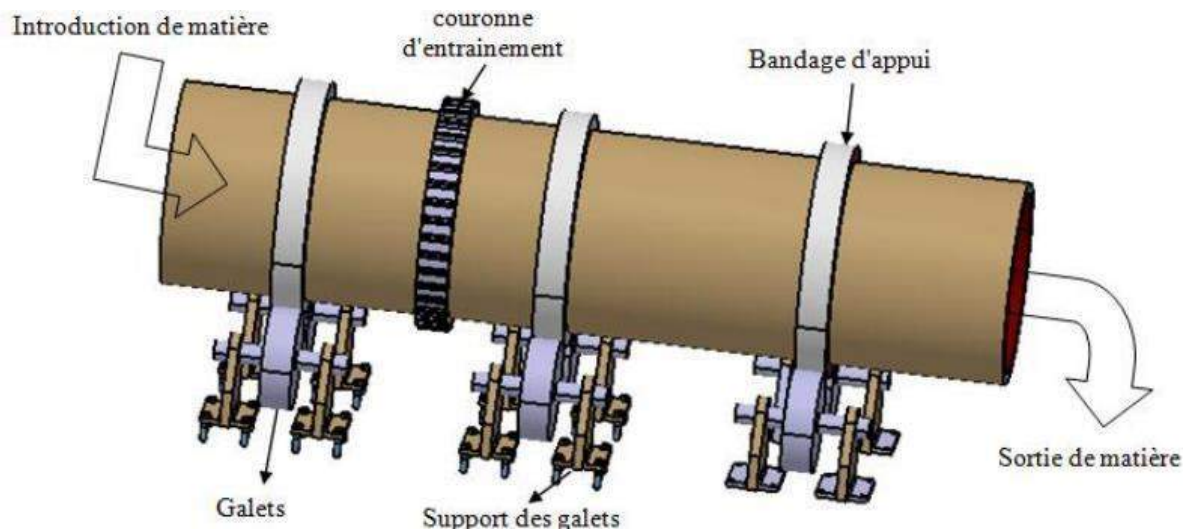


Figure 1.7 : Four Rotatif [16]

I.6.5 Refroidisseur

Le refroidisseur, situé en aval du four, peut-être de type à ballonnets ou à grilles. Son rôle essentiel est de dissiper la chaleur du clinker introduit, le refroidissant ainsi jusqu'à une température d'environ 120 °C. Cette étape de refroidissement est cruciale car elle garantit la formation d'une structure minéralogique et des dimensions de cristaux favorables au clinker, ce qui influence considérablement sa qualité finale.

Le processus de refroidissement est assuré par onze ventilateurs qui insufflent de l'air sous les grilles à travers des chambres de soufflage. (Voir la Figure I.8). Outre le refroidissement, ces chambres permettent également de réguler la température du clinker, facilitant ainsi sa manipulation jusqu'aux silos de stockage.

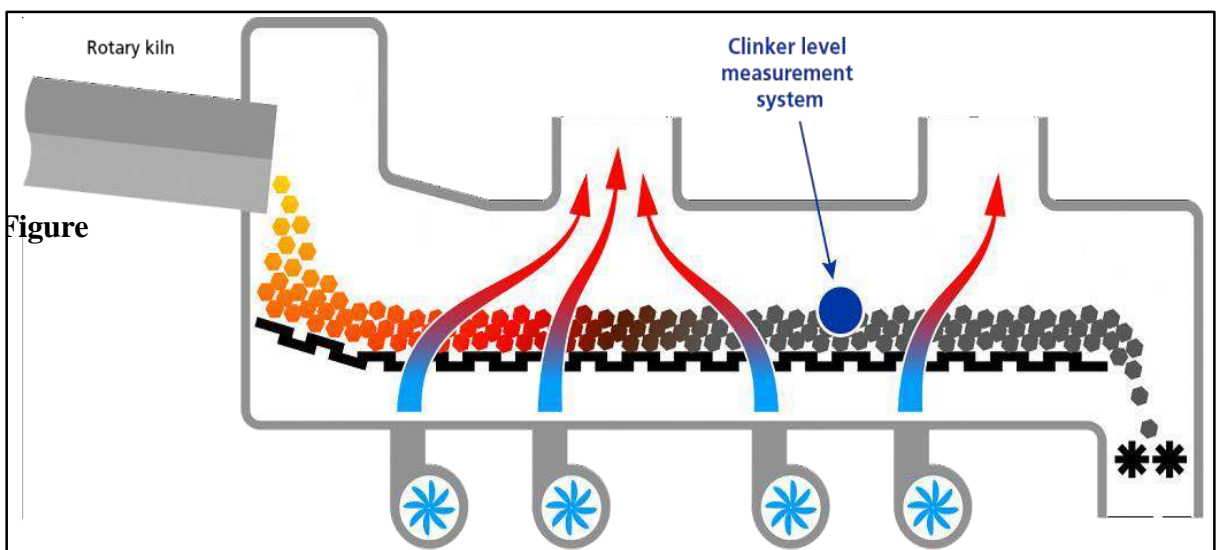


Figure 1.8: Le refroidisseur[17]

I.6.6. Stockage du clinker:

Une fois refroidi, le clinker est entreposé dans des silos. Ces silos présentent plusieurs avantages pour l'atelier de broyage du ciment : ils offrent une autonomie de fonctionnement en cas d'arrêt imprévu du four et protègent le clinker contre les altérations physico-chimiques qu'un stockage prolongé à l'air libre pourrait engendrer.

I.7. Zone Ciment :

Le clinker se dirige vers les trémies ciment et ensuite broyé en additionnant le gypse et le calcaire avec des quantités différentes selon les qualités du ciment désirées. Ce type de Broyeur qui permet le broyage du clinker en ajoutant des ajouts s'appelle «BROYEUR CIMENT» [9].

I.7.1 Zone D'expédition:

La zone d'expédition de ciment est la dernière étape de la chaîne de production du ciment avant sa vente [18].

I.7.2 Stockage et expédition du ciment :

Le ciment stocké dans les silos est ensaché ou expédié en vrac. (Voir la Figure 1-9 ci-dessous). L'ensachage se fait sur des machines automatiques qui remplissent les sacs de ciment à un poids spécifique. Les sacs sont ensuite placés sur des palettes et expédiés aux clients. Le ciment en vrac est chargé directement dans des camions ou des wagons [18]

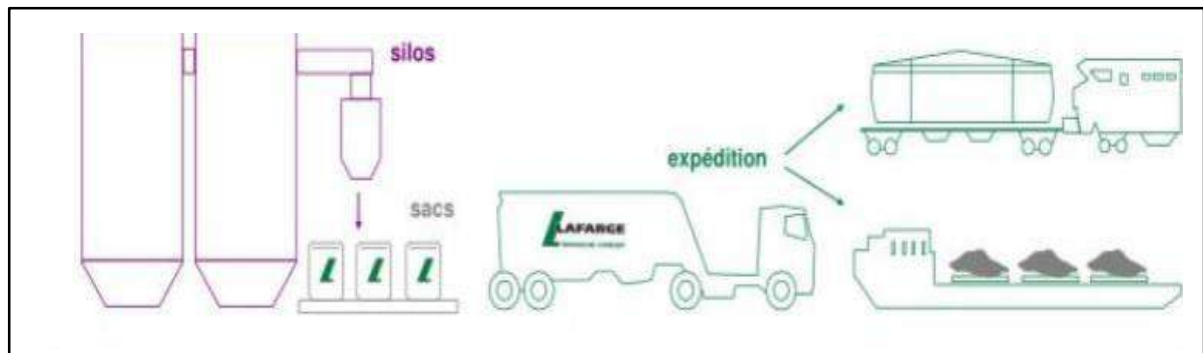


Figure 1.9 : L'expédition du ciment

Le processus complet de fabrication du ciment est succinctement représenté dans ce schéma synoptique. Les différentes étapes de production du ciment sont expliquées à travers le diagramme présenté dans la figure I.10

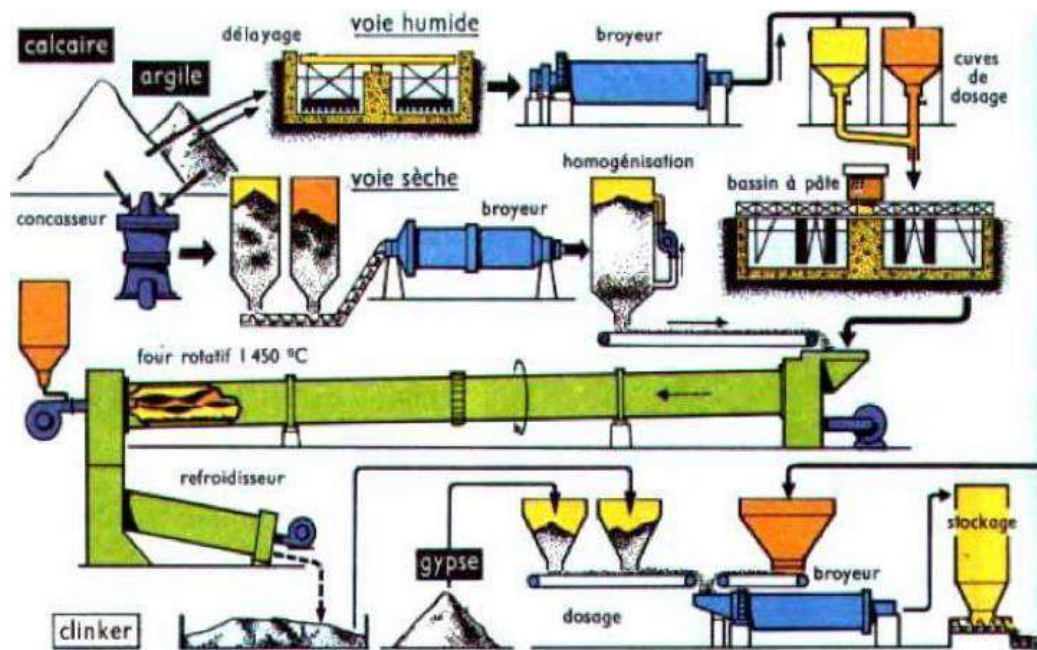


Figure 1.10 : Les procédés de fabrication du ciment[15]

I.8. Structure de la couronne dentée [22] :

I.8.1. Présentation de la couronne dentée et des éléments additionnels :

L'entraînement de couronne dentée se compose de sections de couronne en plusieurs segments vissées les unes aux autres et fixées au tambour mobile au moyen de lames ressort. Le pignon d'entraînement est monté au choix sur un support ou directement sur l'arbre de sortie du réducteur de base. En fonction des exigences, la couronne dentée peut également être entraînée par deux pignons opposés. L'illustration suivante présente un exemple de structure d'entraînement de couronne dentée.

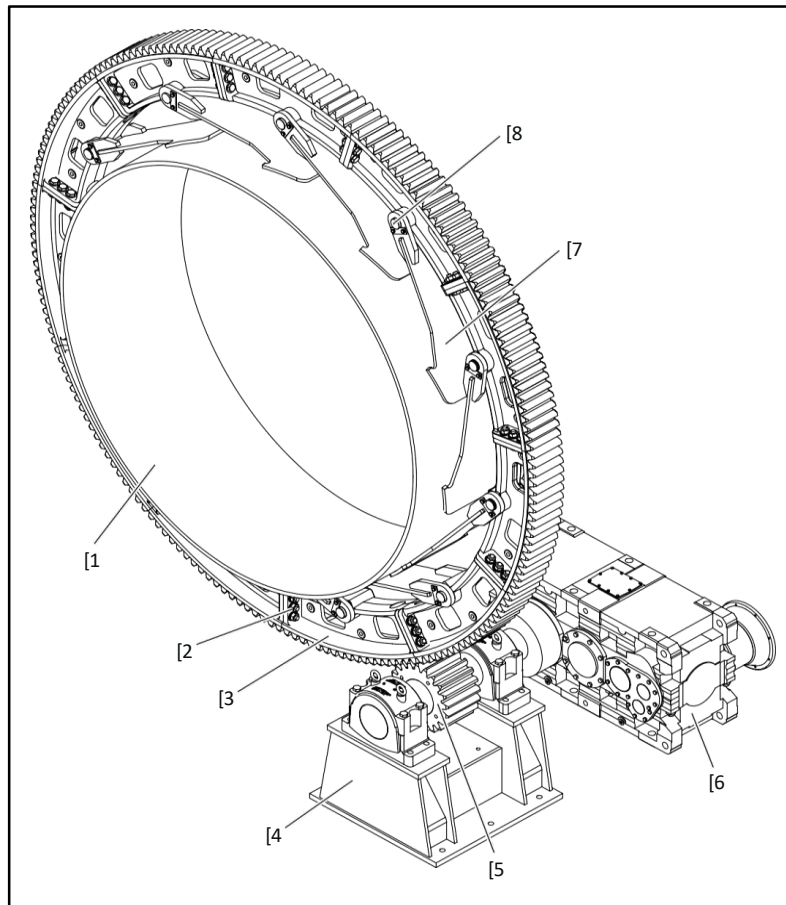


Figure 1.11: Structure de la couronne dentée

[1] Tambour

[2] Vis d'assemblage des segments

[3] Segment de couronne dentée

[4] Support de pignon

[5] Pignon

[6] Réducteur de base

[7] Lame ressort

[8] Articulation de lames ressort

I.8.2 Présentation du système de graissage :

Pour produire le ciment on a besoin de plusieurs outils et moyens qui nous facilite cette opération, on peut citer le four qui est géré par une couronne et pour protéger cette couronne, il faut la lubrifier pour diminuer la friction. Dans cette partie nous allons présenter le système de graissage et les différents éléments dont il a besoin.

I.8.3 Description général :

Les équipements de graissage par vaporisation sont utilisés pour le graissage du réducteur circulaire et du pignon du four rotatif. Ces équipements garantissent une quantité uniforme et une application égale du lubrifiant.

I.8.4 Les unités du système [5] :

Le dispositif de lubrification lui-même est constitué par deux systèmes indépendants A et B travaillant normalement en alternance, huit cycles pour l'ensemble le A, un cycle pour l'ensemble B.

Une défaillance quelconque détectée sur l'un des ensembles, la lubrification est alors assurée automatiquement par le second.

I.9 Stations de pompage :

Les pompes sont menues par des moteurs à courant alternatif triphasé .Le volume de lubrifiant désiré est déterminé par le choix de la pompe appropriée.

Le lubrifiant est pompé, depuis le fond du barrel, par une pompe aspirante et élevée jusque dans le corps de pompe proprement dit. Une faible pression de l'ordre de 2 bars est présente à l'intérieur du corps de la pompe, un pressostat, est placé dans ce corps pour contrôler le niveau du lubrifiant dans le barrel, d'une part et d'autre part pour assurer le bon fonctionnement de la pompe.

Lorsque le fonctionnement de la pompe est interrompu, ou quand le barrel du lubrifiant est vide, la distribution est alors interrompue et le corps de pompe est partiellement vidé, entraînant une perte de pression (< 1 bar), qui sera détectée par le pressostat vers l'automate, chaque station de pompage est pourvue d'un filtre, monté directement sur l'arrière de la pompe [5].

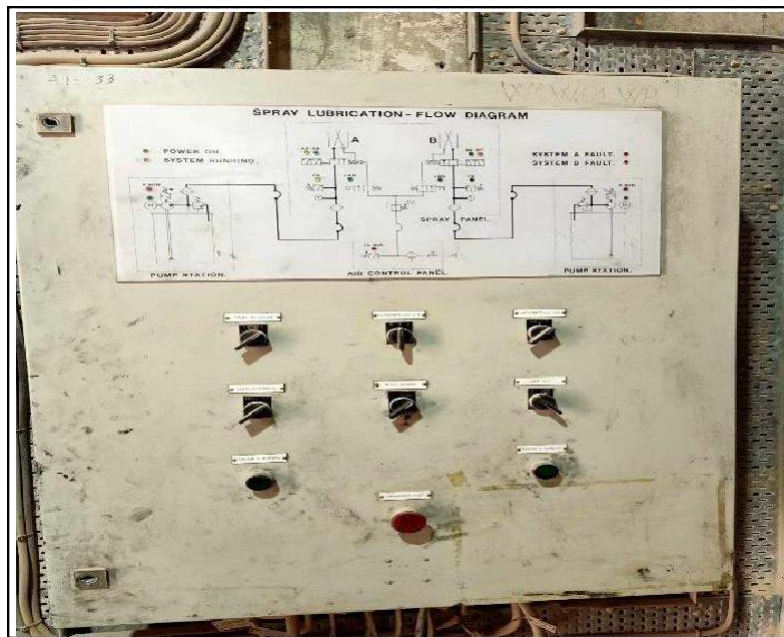


Figure 1.12 : Armoire de contrôle [5]



Figure 1.13 1 : Pompe de graisse [5]

➤ **Panneau de nébulisation :**

Le panneau de nébulisation est livré complètement monté et câblé, avec deux filtres à lubrifiant, indicateurs de pression et indicateurs de position, pour la nébulisation du lubrifiant sur la couronne dentée. Il est prévu des buses sur chacun des systèmes A et B. Le lubrifiant pompé est acheminé, au travers d'un filtre, vers le panneau de nébulisation puis vers les buses, afin de réguler l'air comprimé à la pression demandée, on dispose d'un détendeur à manomètre (pour limiter la pression).

La pression d'air requise pour une nébulisation optimale est essentiellement fonction de la nature ou de la structure du lubrifiant employé.

Il est recommandé de disposer d'une pression précise pour l'application d'un jet correct de lubrifiant.

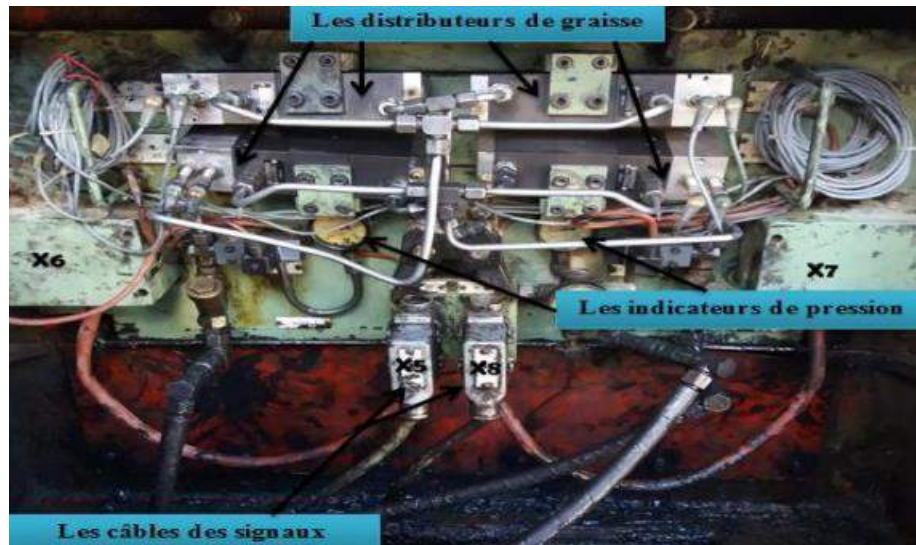


Figure 1.14 : Panneau de nébulisation [5]

I.10 Description de la fonction de nébulisation :



Figure 1.15 : Distributeur de graisse[5]

I.10.1 Les distributeurs de graisse (pré actionneurs) :

Lors de la phase de charge voir figure I.16 le piston de travail (5) est amené à la position finale droite par le lubrifiant entrant dans le raccord (A).

Si de l'air comprimé est fourni au raccord (B), le piston d'air (1) et le piston de commande (3) sont poussés vers la position finale droite. Pour cela, le piston de commande (3) sépare la chambre de dosage (4) de la réserve de lubrifiant (A) et la relie à la buse de pulvérisation (2). Puisque le piston de travail (5) n'a plus de pression qu'à droite, le lubrifiant dans la chambre de dosage (4) à la buse de pulvérisation (2). après l'arrêt de l'air comprimé les pistons (1 et 3) sont poussés vers leur position de départ par un ressort de pression. La chambre de dosage (4) est

reliée à l'alimentation en lubrifiant (A). Un nouveau cycle de pulvérisation peut commencer. Le piston de surveillance (6) qui suit le mouvement du piston de travail (5) sera détecté par les deux détecteurs de proximités (7 ou 8) dans la position finale correspondante.

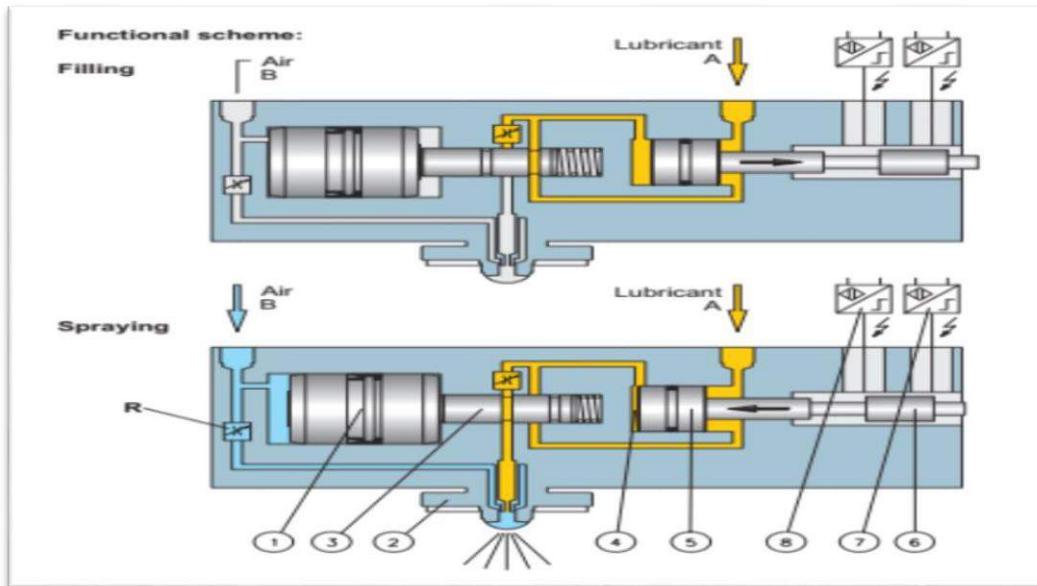


Figure 1.16 : Description de la fonction de la fonction de nébulisation

I.10.2 Les vannes pneumatiques Tout Ou Rien (TOR) : (actionneurs)

On a deux vannes Tout ou Rien (TOR) pour l'utilisation d'air chaqu'une dans un système (A, B). Une vanne « TOR » est utilisée pour contrôler le débit des fluides en tout ou rien.

Elle exécute une action discontinue qui prend deux positions ou deux états 0 et 1, c'est à-dire ouverte ou fermée (figure I.17).

Les vannes tout ou rien sont utilisées pour la commande des systèmes ayant une grande inertie ou la pression de la régulation n'est pas importante [7]



Figure 1.17 : Vanne pneumatique[7]

I.10.3 Les pompes hydrauliques (actionneurs) :

Deux pompes hydrauliques pour transporter la graisse du tonneau (A, B) aux distributeurs. La graisse est mise en mouvement par une roue entraînée par un moteur, Le moteur est refroidi par un ventilateur (figure I.18) [5].



Figure 1.18 : Pompe hydraulique[5]

I.10.4 Indicateur de pression :

Un indicateur de pression est employé pour la mesure de pression d'air (figure I.19). On peut résumer le fonctionnement d'un indicateur de pression comme suit :

La pression du milieu agit directement sur le tube du bourbon dont l'extrémité libre fait tourner l'indicateur [5].



Figure 1.19 : Indicateur de pression[5]

La figure I.20 représente l'automate utilisé dans l'armoire de commande



Figure 1.20 : L'automate utilise dans l'armoire [5]

I.11 Le fonctionnement du système [5]:

Pendant la période de démarrage de **30 minutes**, les systèmes A et B sont activés alternativement pour assurer une pulvérisation continue. La quantité de lubrifiant en question correspond à un lubrifiant de **16 cm³** par cm de largeur d'engrenage par heure (**cm³ / cm * h**). Lorsque la période de **30 minutes** s'est écoulée, le système bascule automatiquement sur la quantité de lubrifiant sélectionnée, déterminée par paliers de **1,25 à 16 cm³ / cm * h**. la quantité de lubrifiant est choisie au moyen des sélecteurs S1, S2 et S3

Repère du composant	Désignation
A1	Contrôleur programmable (unité de base + module 24 E/S)
A2	Unité d'extension + module 24 E / S
A3	Unité module 08 Sorties
A4	Unité module 08 Sorties
B1	Thermostat
E1	Elément de chauffage armoire 20W
F1, F2, F3	Disjoncteur
F4	Filtre ligne de puissance
F5, F6	Disjoncteur
G1	Alimentation électrique 24V DC 1A
K1	Relais
K2, K3, K4	Contacteurs
R1, R2	Varistances
R5	Série de résistance
T1	Transformateur
X1, X2, X3	Borniers de connexion
S1, S2, S3, S4, S5, S6	Boutons sélecteurs
Q1	Bouton arrêt d'urgence
S7, S8	Boutons poussoirs

Tableau 1.1: Les composants du système

I.11.1 Défaut d'un seul système (A ou B) :

Ceci est un avertissement avancé de l'armoire de commande. Le système A ou B est défectueux qui nécessite un entretien.

Le système qui est en bon état (sans alarme) continue à fonctionner, l'avertissement est envoyé par l'armoire de commande vers l'automate du four (Signal 1/0) et sera affiché sur l'écran de supervision.

I.11.2 Défaillance d'un système A ou B :

➤ **Barrel A vide :**

- Barrel A vide => la lampe H2 s'allume (BARREL A VIDE)
- Le système A s'arrête => La lampe H18 s'éteint (SYSTÈME A à l'arrêt)
- Le système B prend le contrôle

La programmation de l'automate implique que l'état d'alarme ne peut pas se produire dans les 20 s du démarrage de la pompe.

➤ **Barrel B vide :**

- Barrel B vide => la lampe H5 s'allume (BARREL B VIDE)
- Le système B s'arrête => La lampe H19 s'éteint (SYSTÈME B à l'arrêt)
- Le système A prend le contrôle

La programmation de l'automate implique que l'état d'alarme ne peut pas se produire dans les 20 s du démarrage de la pompe.

I.11.2.1 Défaillance dans le système A :

Si une défaillance de l'électrovanne d'air "LAN" ou de la pompe A ou bien d'autre instrument pendant le cycle de fonctionnement , un défaut est signalé dans le système A.

Le système B prend le contrôle

H3: s'allume (SYSTEM A FAULT)

H18 : s'éteint (SYSTÈME A à l'arrêt)

I.11.2.2 Défaillance dans le système B :

Si une défaillance de l'électrovanne d'air "LBN" ou de la pompe B ou bien d'autre instrument pendant le cycle de fonctionnement , un défaut est signalé dans le système B.

Le système A prend le contrôle

H6 : s'allume (SYSTEM B FAULT) /// H19 : s'éteint (SYSTÈME B à l'arrêt).

I.11.3 Défaut des deux systèmes (A et B) :

Les deux systèmes A et B sont en défaut ; ou bien le sélecteur (S4) Local / Auto est en position locale.

Si cette alarme est déclenchée pendant le fonctionnement normal, le moteur du four doit être arrêté après une période de **15 min.**

I.11.4 Défaillance dans les deux systèmes A et B :

Ceci est indiqué par une sortie dans le module automate A3. Défaillance des deux systèmes :

- Si La pression d'air "PL" est trop faible pendant plus de **10 secondes**. Un défaut est signalé. (Lampe H9 s'allume = défaut d'alimentation d'air)
- Barrel A vide et Barrel B vide
- Défaillance dans le système A et dans le système B
- Si le sélecteur S4, Local / Auto est en position Local, un défaut est signalé. La position locale est conçue pour vérifier, entretenir ou diagnostiquer le système de pulvérisation.

Dans cette position, les systèmes A ou B peuvent être utilisés alternativement, à un cycle de pulvérisation, en pressant sur les boutons S7/ S8 A la fin de la vérification ou de l'entretien, le sélecteur S4 doit être en position Auto.

Lorsque la commande de démarrage a été donnée par le système de supervision (le sélecteur S4 doit être en mode Auto) ;

La **lampe (H7)** s'allume (système en marche automatique) ;

Ce signal est également transmis à l'automate four

L'alimentation en tension de l'armoire de commande est connectée via l'alimentation de secours (groupe électrogène) comme protection en cas de panne.

Lorsque l'armoire de commande est connectée à l'alimentation en tension, **la lampe H8** s'allume (power ON) (S5): Réinitialiser les alarmes (S6): test des lampes [5]

I.11 Conclusion :

Nous avons présenté dans la première partie de chapitre une vue générale sur l'usine de la cimenterie d'el ma labiod commence par carrière et concassage de matières premières jusqu'à la sortie de ciment (l'expédition). Et dans la deuxième partie une description détaillée sur le système de graissage d'un four rotatif et son fonctionnement sont présenté.

Chapitre II

API ET SUPERVISION

Chapitre II : API ET SUPERVISION

II.1. INTRODUCTION :

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

Les plateformes d'implémentation sont souvent composées d'automates programmables Industriels (API) notamment pour leur facilité d'intégration et pour leur robustesse de Fonctionnement.

L'utilisation de ces API nécessite des méthodes de programmation basées sur La standardisation des langages de programmation.

Ce chapitre sera consacré à la description des automates programmables SIEMENS à Structures modulaire essentiellement le S7-300.

II.2. Définition général :

- Un Automate Programmable Industriel est une machine électronique, programmable par un personnel Non informaticien et destinée à piloter en ambiance industrielle et en temps réel des procédés automatiques.

- Les automates programmables industriels ou A.P.I. comme on les appelle le plus souvent ou encore Programmable Logic Controller (PLC en anglais), sont apparu aux Etats-Unis vers 1969 où ils répondaient Aux désirs des industries de l'automobile de développer des chaînes de fabrication automatisées qui pourraient Suivre l'évolution des technologies et des modèles fabriqués. L'A.P.I. s'est ainsi substitué aux armoires à Relais en raison de sa souplesse, mais aussi parce que dans les automatismes de commande complexe, les Coûts de câblage et de mise au point devenaient trop élevés.

II.3. Structure d'un système automatisé :

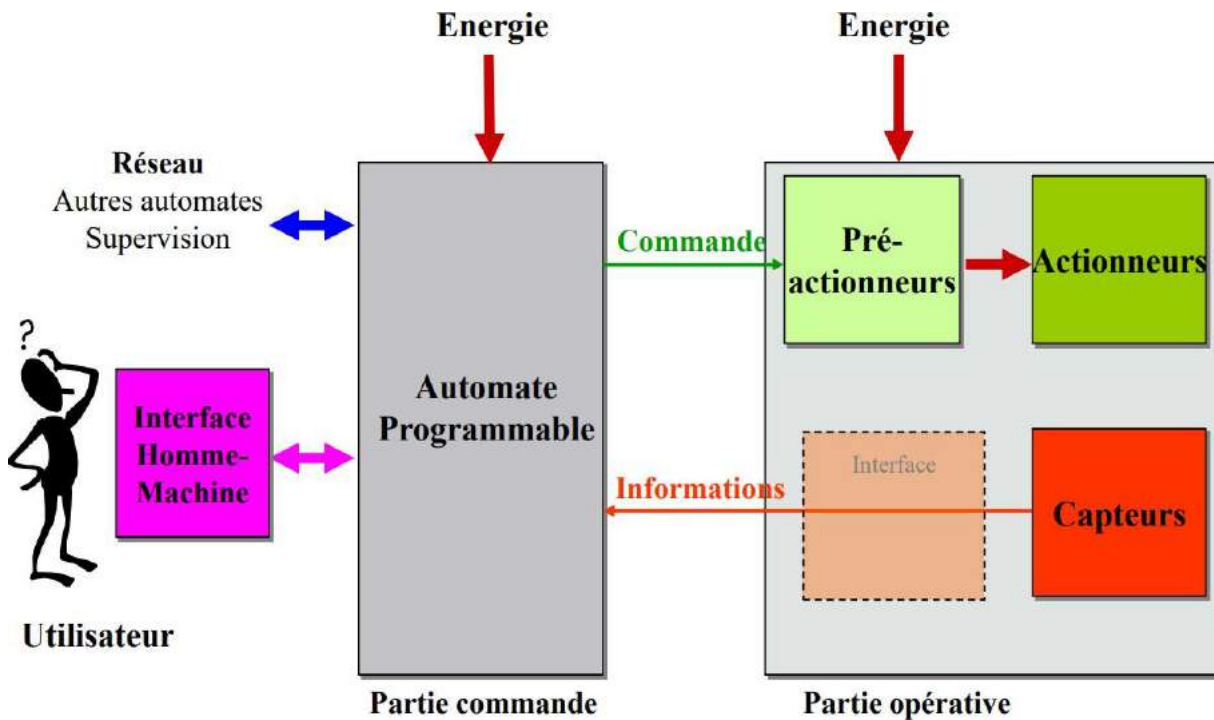


Figure 2.1 : Structure d'un système automatisé [cours 2 pdf api]

Un système automatisé est un ensemble de composants qui interagissent pour réaliser une tâche ou un ensemble de tâches sans intervention humaine directe. Il est généralement composé de trois parties principales :

II.3.1. La partie opérative (PO) :

La partie opérative est la partie physique du système qui effectue le travail réel. Elle comprend les machines, les robots, les convoyeurs et autres équipements qui agissent sur l'environnement. Les capteurs font également partie de la partie opérative, car ils mesurent l'état du système et de son environnement.

II.3.2. La partie commande (PC) :

La partie commande est le cerveau du système automatisé. Elle est responsable de la prise de décision et du contrôle de la partie opérative. Elle reçoit des informations des capteurs, les traite et envoie des commandes aux actionneurs. La partie commande peut être implémentée à l'aide d'un automate programmable industriel (API), d'un ordinateur ou d'un autre type de contrôleur.

II.3.3. La partie relation (PR) :

La partie relation assure la communication entre l'utilisateur et le système automatisé. Elle comprend des interfaces homme-machine (IHM), des boutons, des voyants et d'autres dispositifs qui permettent à l'utilisateur de surveiller et de contrôler le système. La partie relation peut également inclure des systèmes de supervision et de contrôle SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) qui permettent de surveiller et de gérer le système à distance.

II.3.4. Les interactions entre les parties :

Les trois parties d'un système automatisé sont en interaction constante. Les capteurs de la partie opérative envoient des informations à la partie commande, qui les traite et envoie des commandes aux actionneurs de la partie opérative. La partie relation permet à l'utilisateur de surveiller et de contrôler le système, et peut également envoyer des informations à la partie commande.

II.4. Structure d'un automate programmable industriel :

La structure matérielle interne d'un API obéit au schéma donné sur la figure 1-1.

Nous analyserons successivement chacun des composants qui apparaissent sur ce schéma.

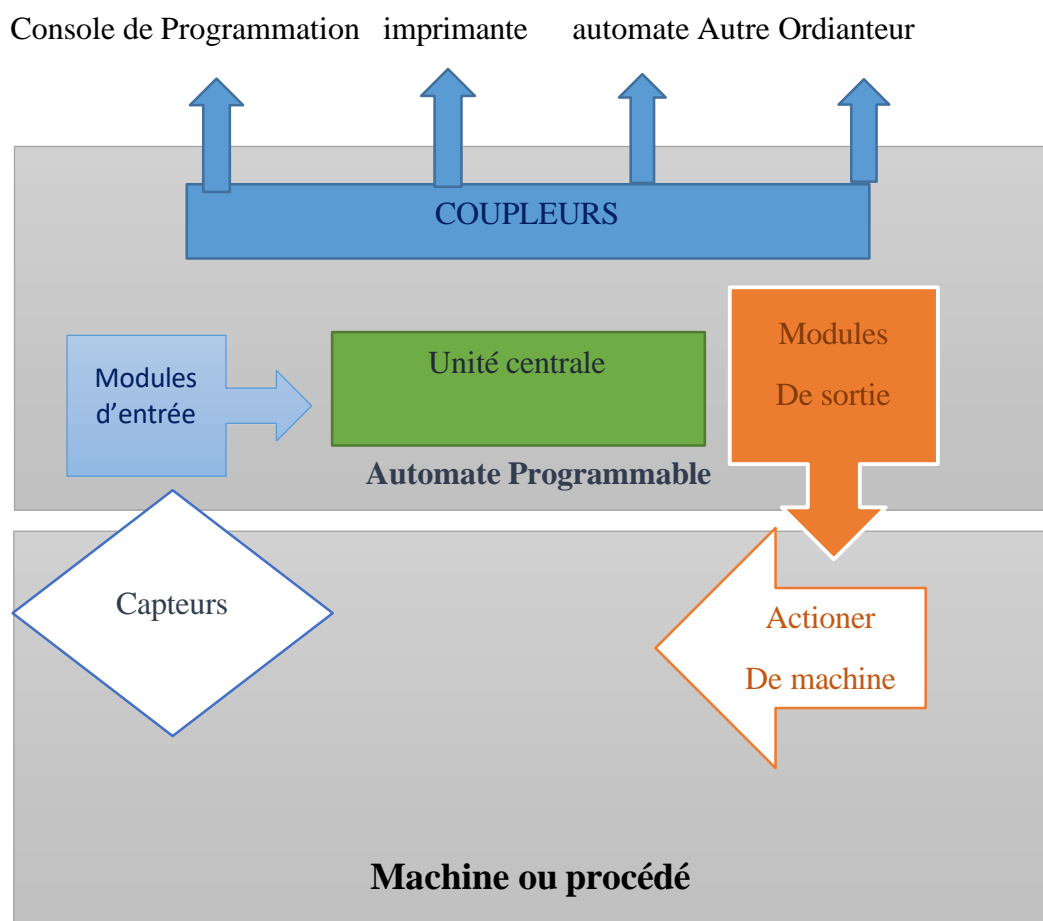


Figure 2.2: Structure de l'automate programmable [API.pdf]

II.5. Processeur :

Le processeur a pour rôle principal le traitement des instructions qui constituent le programme de fonctionnement de l'application. Mais en dehors de cette tâche de base, il réalise également d'autres fonctions :

- Gestion des entrées/sorties.
- Surveillance et diagnostic de l'automate par une série des tests lancés à la mise sous tension ou cycliquement en cours de fonctionnement.
- Consulté le programme qu'est cours d'exploitation pour des réglages ou des vérifications
Des données.

II.5.1. Unité centrale :

L'unité centrale UC est une carte électronique bâtie autour de processeur(s), qui assure au moins les fonctions suivantes :

Opérations logiques sur bits (le bit, contraction de « biner digit », étant l'information élémentaire à deux états) ou sur mots (ensemble de bits, le plus souvent 16 pour les API). Temporisation et comptage. Pour assurer la liaison entre UC et les cartes d'entrées/sorties, et un réseau, certaines consoles ou unités de dialogue, il faut une carte électronique spécialisée d'interfaçage : le coupleur. Il existe au moins un coupleur de base, éventuellement des coupleurs vers d'autres châssis contenant des entrées/sorties supplémentaires.

II.5.2. Les modules d'entrées / sorties :

Son rôle est l'interface entre l'API et l'extérieur, on distingue une partie opérative, où les actionneurs agissent physiquement sur le processus, et une partie commande récupérant les informations sur l'état de ce processus et coordonne en conséquence les actions pour atteindre les objectifs prescrits (matérialisés par des consignes). Pour ce faire, ils doivent :

- regrouper des variables de même nature, pour diminuer la complexité et le coût.
- assurer le dialogue avec UC.
- traduire les signaux industriels en informations API et réciproquement, avec une protection de UC et un traitement adéquats.

Le nombre total de modules est évidemment limité, pour des problèmes physiques (taille du châssis et/ou de l'alimentation électrique) ou de gestion informatique. La possibilité de configurer des voies d'accès en entrée ou en sortie est rarement utilisée, pour des raisons de sécurité.

II.5.3. Entrées/sorties Tout ou Rien (TOR) :

La gestion de ce type de variables constitue le point de départ historique des API et reste une de leurs activités majeures.

Dans le cas de modules séparés, la modularité dépend des constructeurs, les valeurs 8 et 16 se rencontrent fréquemment. On trouve des modules pour tensions continues (24 V, 48 V) et alternatives (24 V, 48 V, 100/120 V, 220/240 V), les valeurs de ces tensions étant conformes à

la norme EN 61131-2. Pour les automates à E/S intégrées, les caractéristiques des entrées et sorties sont choisies parmi les standards les plus répandus (entrées 24 V isolées, sorties transistorisées à alimentation continue, ou entrées 110 V alternatif isolées, sorties relais, par exemple, pour le TSX17).



Figure 2.3 : Automate TSX17

II.5.4. Entrées/sorties analogiques :

Elles permettent l'acquisition des mesures (entrées analogiques), et la commande (sorties analogiques). Ces modules comportent un ou plusieurs convertisseurs analogique/numérique pour les entrées et des convertisseurs numérique/analogique pour les sorties dont la résolution est de 8 à 16 bits. Les standards les plus utilisés sont: $\pm 10V$, 0-10V, $\pm 20mA$, 0-20mA et 4-20mA. Ces modules sont en général multiplexés en entrée pour n'utiliser qu'un seul convertisseur A/N, alors que les sorties exigent plusieurs convertisseur N/A pour pouvoir effectuer la commande durant le cycle de l'API.

II.5.5 Les modules des sorties statiques :

Relais statiques intégrant des composants spécialisés (transistors bipolaires, IGBT, thyristors), sans usure mécanique et dont les caractéristiques de commutation se maintiennent dans le temps.

II.5.5.1 Les modules à relais électromagnétiques :

Le découplage résulte de l'existence de deux circuits électriques (bobine "circuit d'excitation" et contacts "circuits de puissance"). D'une durée de vie plus limitée que les relais statiques (moins de 100 000 cycles pour les contacts soumis à 10 A sous 125 V alternatif) et plus lents, les relais électromagnétiques ont aussi des avantages : faible résistance de contact, faible capacité de sortie, faible coût.

II.5.5.2 Entrées/sorties déportées :

Leur intérêt est de diminuer le câblage en réalisant la liaison avec détecteurs, capteurs et actionneurs au plus près de ceux-ci, la liaison entre le boîtier déporté et l'unité centrale s'effectuant par une liaison spéciale. L'utilisation de fibres optiques permet de porter la distance de déport à plusieurs kilomètres.

II.6 Architecture industrielle :

Il Ya deux type de automate : compact ou modulaire

II.6.1 L'automate programmable compact(APC) :

Les automates programmables compacts (APC), également appelés micro-automates, se distinguent par leur format réduit et leur intégration de toutes les fonctionnalités essentielles dans un seul boîtier. Ils offrent une solution d'automatisation économique et flexible pour une large gamme d'applications industrielles.

- **Caractéristiques principales des APC :**

- **Compacité:** Format miniature adapté aux espaces contraints.
- **Intégration:** Alimentation, CPU, entrées/sorties (E/S) et communication sur un même boîtier.
- **Flexibilité:** Modèles avec différents nombres d'E/S et options de communication pour répondre à divers besoins.
- **Programmation simplifiée:** Langages de programmation conviviaux comme le langage Ladder ou le langage à blocs fonctionnels.
- **Coût économique:** Solution abordable pour les applications d'automatisation de petite à moyenne envergure.

Par exemple : Schneider Electric Modicon M22



Figure 2.4 : Automate Schneider Electric Modicon M22

II.6.2 L'automate programmable Modulaire (APM) :

Un automate programmable modulaire (APM), aussi appelé automate modulaire ou automate à architecture modulaire, est un type d'automate programmable industriel (API) conçu

pour une flexibilité et une évolutivité accrues. Contrairement aux API compacts, dont la structure est monolithique, les APM se composent de modules distincts qui peuvent être ajoutés, retirés ou reconfigurés en fonction des besoins spécifiques de l'application.

- **Caractéristiques principales des automates programmables modulaires :**

- **Modularité :** L'architecture modulaire offre une grande flexibilité en permettant d'adapter l'automate aux exigences précises de chaque application. Des modules d'entrées/sorties (E/S), de traitement, de communication et d'autres modules spécialisés peuvent être ajoutés ou retirés selon les besoins.
- **Évolutivité :** Les APM peuvent facilement évoluer pour répondre à des changements futurs dans les exigences de l'application. De nouveaux modules peuvent être ajoutés pour augmenter la capacité de traitement, le nombre d'entrées/sorties ou intégrer de nouvelles fonctionnalités.
- **Maintenance simplifiée :** La conception modulaire facilite la maintenance et le dépannage. Des modules défectueux peuvent être remplacés individuellement sans affecter l'ensemble du système.
- **Performance :** Les APM peuvent offrir des performances élevées grâce à leur architecture distribuée et à l'utilisation de processeurs puissants.
- **Par exemple :** l'automate Siemens

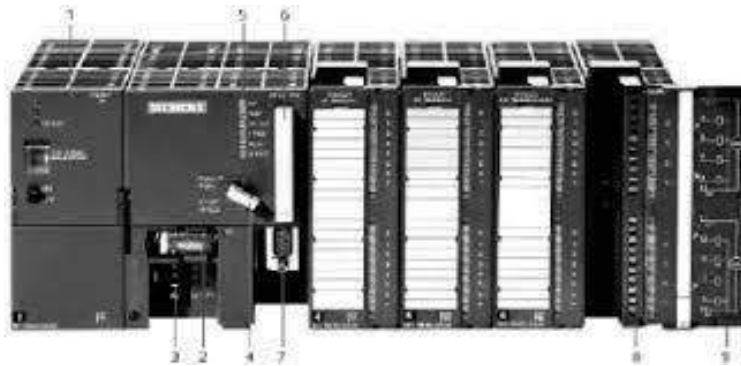


Figure 2.5 : Automate programmable modulaire (APM)

II.6.3 Les automate Siemens :

Les automates Siemens, également connus sous le nom de SIMATIC, sont des contrôleurs programmables automates (automates programmables industriels ou API) conçus pour l'automatisation des processus industriels [19].

En d'autres termes, ce sont des ordinateurs spécialisés robustes pouvant être programmés pour automatiser diverses tâches dans un environnement industriel. Ils reçoivent des signaux d'entrée de capteurs et d'autres dispositifs, traitent ces signaux en fonction d'un programme défini par l'utilisateur, puis envoient des signaux de sortie pour contrôler des machines, des actionneurs et d'autres équipements [20]. Si nous devrions citer tous les modèles des automates

Siemens, nous passerions plusieurs heures à le faire tellement ils sont nombreux. Les gammes S7-200 qui se programment avec le logiciel micro-Win, les gammes S7-1200 qui sont des automates très compacts et qui seront les futurs successeurs des S7-200, les gammes S7-300 pour des applications de grande taille, les gammes S7-400 dans la plupart du

Temps commande les industries de procédé à haut taux de disponibilité, les gammes S7-1500 qui sont les dernières générations d'automates de la marque Siemens.

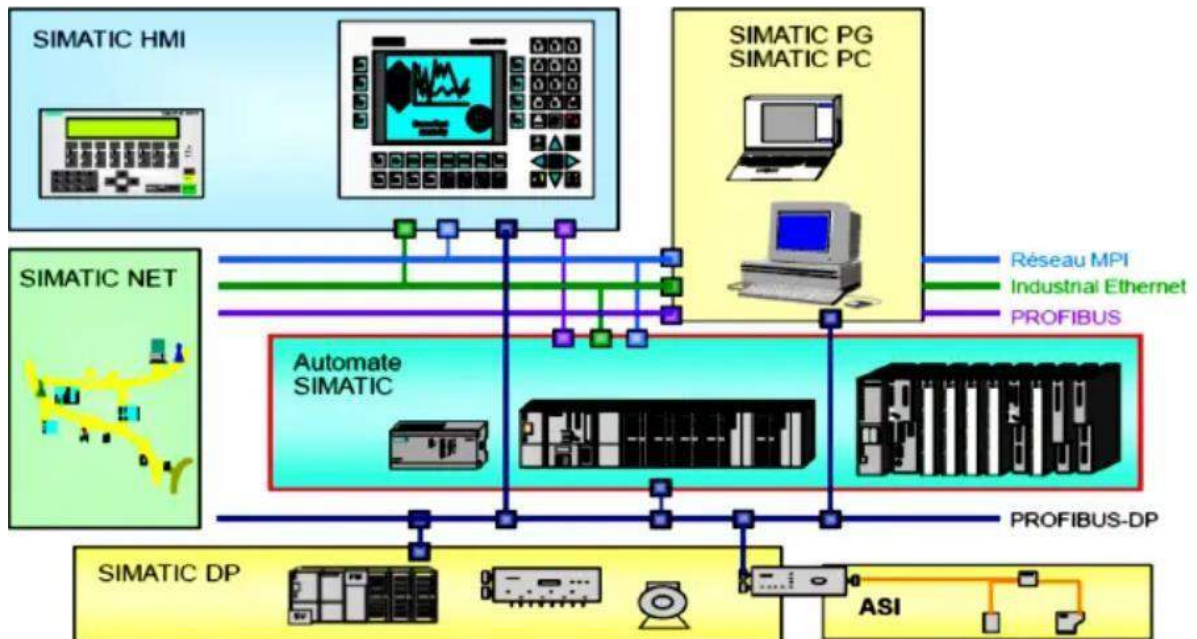


Figure 2.6 : Présentation de la gamme de siemens[21]

II.6.4 l'automate S7-300 :

II.6.4.1 Définition :

Le S7-300 est un automate programmable industriel (API) développé par Siemens. Il est connu pour sa modularité, sa fiabilité et sa large gamme d'applications [22].

Le système d'automatisation SIMATIC S7-300 est un automate modulaire de milieu de gamme. Il existe une gamme étendue de modules S7-300 pour répondre de manière optimale à différentes tâches d'automatisation (exemple SIMATIC S7-300 CPU 314). [28]

II.6.4.2 Architecture d'un automate S7-300:

L'automate S7-300 est un automate modulaire qui se compose des éléments suivants :

- Des modules d'entrées sorties (TOR ou analogique).
- Un module d'alimentation.
- CPU (computer procès unit).

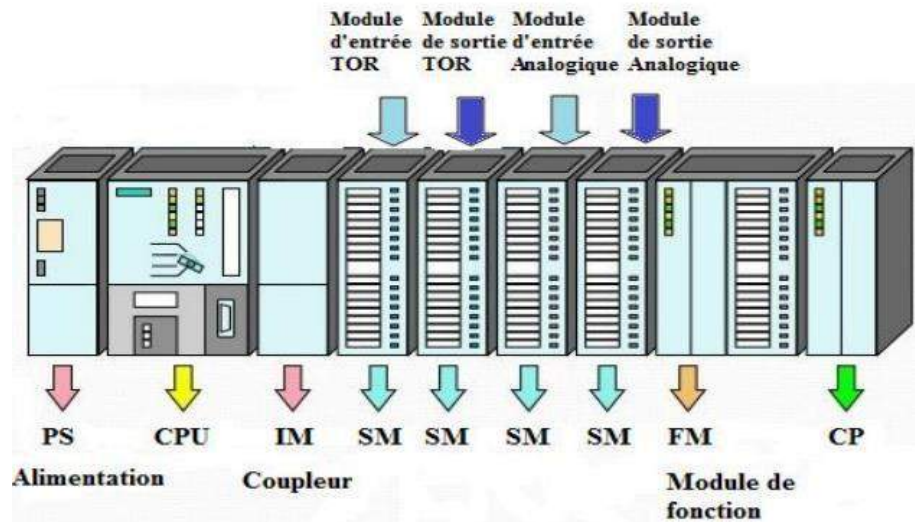


Figure 2.7 : L'automate programmable S7-300 [22]

1. Le processeur (CPU):

Le processeur CPU d'un automate programmable est le cerveau de l'appareil. Il lit et interprète les données d'entrée pour produire des résultats et des commandes qui sont ensuite envoyées aux modules de sortie sous forme de signaux [28]. Le S7-300 dispose d'une large gamme de CPU à différents niveaux de performance, figure 2.8, on compte les versions suivantes :

- CPU à utilisation standard : CPU 312, CPU 313,...
- CPU avec fonction intégrées : CPU 312 IFM et Le CPU 314 IFM.

Il réalise également d'autres fonctions :

- Gestion des entrées/sorties : Le processeur gère également les entrées et sorties de l'automate, assurant la communication avec les capteurs et actionneurs connectés.
- Surveillance et diagnostic : Le processeur effectue des tests de diagnostic à la mise sous tension et de manière cyclique pour surveiller le bon fonctionnement de l'automate.



Figure 2.8 : CPU d automate S7-300

2. les mémoires :

2.1. Définition de la mémoire du CPU :

La mémoire du CPU, également appelée mémoire cache, est un type de mémoire volatile à haute vitesse qui stocke temporairement les données et les instructions auxquelles le CPU accède fréquemment. Elle permet d'accélérer l'exécution des programmes en réduisant le temps nécessaire au CPU pour récupérer les données de la mémoire principale [25].

- a) **Mémoire de travail :** La mémoire de travail (mémoire vive) contient les parties du Programme significatives pour son exécution. Le traitement du programme a lieu Exclusivement dans la mémoire de travail et dans la mémoire système.
- b) **Mémoire système :** La mémoire système (mémoire vive) contient les éléments de Mémoire que chaque CPU met à la disposition du programme utilisateur comme, par Exemple : mémoire images des entrées et sorties, mémentos, temporisation et compteur.
- c) **Mémoire RAM non volatile :** est un type de mémoire informatique qui conserve son contenu même lorsque l'alimentation est coupée.
- d) **Mémoire ROM (mémoire morte) :** est un type de mémoire qui stocke les données de manière permanente, même lorsque l'appareil est éteint. Elle est utilisée pour stocker des informations essentielles au fonctionnement de l'appareil, telles que le système d'exploitation ou le micro logiciel.

e)) Mémoire de chargement :

La mémoire de chargement est une mémoire temporaire utilisée par l'unité centrale de traitement (CPU) pour stocker les données et les instructions pendant leur exécution. Elle permet un accès rapide aux données fréquemment utilisées, ce qui accélère les performances du programme.

3. Modules de signaux (SM) :

Les modules de signaux (SM) sont des composants essentiels des systèmes d'automatisation qui servent à convertir les signaux d'entrée et de sortie entre les capteurs, les actionneurs et les contrôleurs. Ils jouent un rôle crucial dans la transmission et le traitement des informations dans divers processus industriels [26]

a) **Modules d'alimentation (PS 307) :** Le module d'alimentation PS 307 est un composant essentiel du système d'automatisation SIMATIC S7-300 de Siemens. Il fournit une alimentation électrique stable et fiable aux autres modules du système. Il existe plusieurs versions du PS 307, chacune avec des caractéristiques et des capacités différentes.

➤ Le module d'alimentation PS 307; 10 A se caractérise par les propriétés suivantes :

- courant de sortie 10 A.
- tension nominale de sortie 24 V cc, stabilisée, tenue aux courts-circuits et à la marche à vide.
- raccordement à un réseau alternatif monophasé (Tension nominale d'entrée 120/230 V ca, 50/60 Hz).
- séparation de protection électrique selon EN 60 950 (TBTS).
- peut servir de tension d'alimentation des capteurs et actionneurs.

Désignation	Courant de sortie	Tension à la sortie	Tension à l'entrée
PS 307-2A	2A	24VCC	120V/230V
PS 307-5A	5A	24VCC	120V/230V
PS 307-10A	10A	24VCC	120V/230V

Tableau 2.1 : Les modules prévus pour l'alimentation des CPU de S7-300



Figure 2.9 : Module d'alimentation de l'automate S7-300

- b) **Les module d'entrées/ sorties TOR (SM 321/ SM322) :** Les modules d'entrées/sorties TOR (SM 321/ SM 322) sont des composants électroniques utilisés dans les systèmes d'automatisation industrielle pour contrôler des actionneurs tels que des électrovannes, des contacteurs et des moteurs.
- c) **Les modules d'entrées numériques ramènent:** le niveau des signaux TOR externes, issus des capteurs au niveau du signal interne de S7-300.
- d) **Les modules de sorties numériques transposent :** les modules de sorties numériques transposent les signaux logiques de l'automate vers un niveau de tension compatible avec les actionneurs. Ils permettent de piloter des éléments tels que des relais, des contacteurs, des vannes ou des moteurs.
- e) **Les modules d'entrées/ sorties analogiques (SM 331 / SM 332) :** Ces modules font partie de la gamme SIMATIC S7-300 de Siemens et permettent de gérer les signaux analogiques dans votre système d'automatisation.
- f) **Les modules d'entrées analogiques (SM 331) :** Le module d'entrées analogiques SM 331 est un composant de la gamme SIMATIC S7-300 de Siemens. Il permet de convertir des signaux analogiques en signaux numériques pour les automates programmables industriels (API).
- g) **Les modules de sorties analogiques (SM 332) :** les modules de sorties analogiques SM 332 sont des composants d'automatisation utilisés pour convertir des signaux numériques provenant d'un automate programmable industriel (API) en signaux analogiques continus.
- h) **Coupleur :** Les coupleurs S7-300 sont des modules d'interface utilisés pour connecter plusieurs châssis d'un système d'automatisation SIMATIC S7-300. Ils permettent de configurer le système sur plusieurs rangées et de raccorder le châssis de base aux châssis d'extension.

Pour la gamme S7-300, les coupleurs disponibles sont :

- IM 365 : pour les couplages entre les châssis distant d'un mètre au maximum.
- IM360/IM361 : pour les couplages allant jusqu'à 10 mètres de distance.

4. Modules de fonction (FM) :

Les modules de fonction (FM) sont des modules d'extension pour les automates programmables Siemens S7-300. Ils offrent des fonctionnalités supplémentaires pour répondre à des besoins spécifiques d'automatisation.

- **FM353/FM357** : module de positionnement. Par exemple moteur pas à pas.
- **FM355**: module de regulation.
- **FM350** : module de comptage [27]

4.1. Module de communication (CP):

Un module de communication (CP) est un périphérique qui permet à un automate programmable industriel (API) de communiquer avec d'autres appareils, tels que d'autres API, des ordinateurs ou des réseaux. Les modules de communication sont utilisés dans une variété d'applications industrielles, telles que l'automatisation de processus, le contrôle de machines et la surveillance de systèmes. [29]

4.2. Le châssis (rack):

Le châssis (rack) de l'automate S7-300 est un élément mécanique de base qui sert de support aux différents modules du système. Il est disponible en plusieurs tailles pour accueillir un nombre variable de modules. Figure 2.11. Ils remplissent les fonctions suivantes:

- **Support physique** : Il fournit un support physique pour tous les modules du système S7-300, y compris l'unité centrale de traitement (CPU), les modules d'entrées/sorties (E/S) et les modules de communication.
- **Connectivité** : Il assure la connectivité électrique entre les différents modules du système S7-300.
- **Protection** : Il protège les modules du système S7-300 contre les dommages physiques et les interférences électromagnétiques

II.7. La supervision industrielle :**II.7.1 Introduction :**

La supervision industrielle, également connue sous le nom de SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), est un système informatique utilisé pour surveiller et contrôler

des processus industriels en temps réel. Elle permet aux opérateurs de visualiser l'état des installations, d'intervenir en cas de problème et d'optimiser les performances des systèmes de production.

Dans ce chapitre on donne un aperçu sur l'état de l'art de la supervision et de sa nécessité dans les systèmes industriels et aussi on introduit quelques définitions utiles dans le domaine de la supervision et du diagnostic.

II.7.2 Définitions de la supervision :

Technique de pilotage et de suivi informatique des processus industriels automatisés au sein d'une entreprise, la supervision industrielle s'intéresse à l'acquisition des données de plusieurs types (mesures et gestion, dysfonctionnement, alarmes, rétablissement du fonctionnement, etc.). Elle permet par ailleurs d'obtenir les différents paramètres de commande des processus couramment pris en charge par des automates programmables.

La supervision industrielle sert à la surveillance du fonctionnement normal des processus de production. Elle est également utilisée pour alerter en cas de non-conformité, dans le but de répondre à certaines préoccupations. Celles-ci sont regroupées selon plusieurs plans:

- le plan technique, avec, notamment, la surveillance de la chaîne de production, la mesure des performances, le pilotage de l'infrastructure et des appareils ;
- le plan applicatif, où la surveillance des logiciels et des processus métiers est requise.

Elle sert donc au suivi en temps réel des installations et des appareils industriels, offrant un visuel dynamique et permanent sur les divers processus, alarmes, défauts, croissances ou toute autre variation survenant pendant l'exploitation d'un appareil.

Avec l'évolution des pratiques et le développement de la technologie, des procédés de supervision modernes sont adoptés en tenant compte des systèmes industriels exploités. Ces procédés actuels impliquent l'usage de logiciels de supervision pour l'optimisation de la surveillance et le monitoring local ou à distance des activités [32].

II.7.3 Les différents types de moniteurs :

Le logiciel de supervision intègre plusieurs moniteurs, offrant une vue d'ensemble des différents processus depuis l'interface utilisateur. Il peut être monoposte ou multiposte et assure :

- la gestion des alarmes ;
- La surveillance des situations provoquées par des écarts de seuils et ayant pour objectif d'interpeller l'opérateur ;
- La régie des recettes ;
- la gestion des temps de fonctionnement ;
- Etc. [33]

La figure 2.11 représente le poste de pilotage d'une supervision :



Figure 2.10 : Le poste de pilotage d'une supervision

II.7.4 Architecture de la supervision :

La figure 2.12 représente un schéma général des tâches d'un système de supervision.

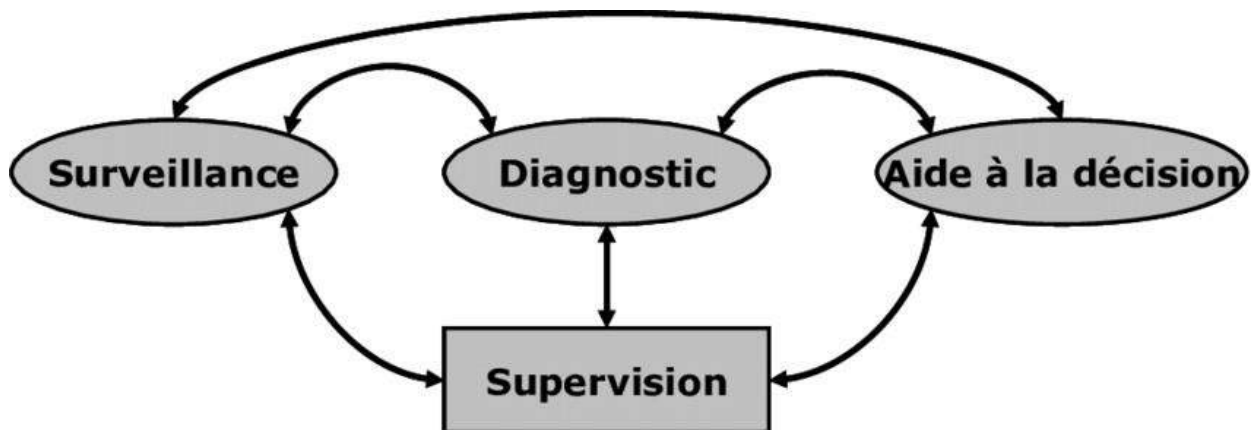


Figure 2.11 : Architecture général de système de supervision en ligne [34]

Figure 2.12 : Architecture général de système de supervision en ligne

II.7.5 Objectif de la supervision :

La supervision informatique joue un rôle crucial dans la gestion holistique de l'infrastructure informatique. Son objectif est de surveiller et de contrôler l'ensemble du système informatique, une tâche rendue nécessaire par la complexité inhérente à la maintenance d'une infrastructure de production. En ayant une vue d'ensemble de tous les aspects du travail informatique, il devient possible d'assurer un service fiable et de haute qualité.

En outre, la supervision permet une approche proactive en anticipant les incidents potentiels. En établissant des alertes basées sur des seuils prédéfinis, elle permet de prévenir les pannes de machines dues à des capacités de stockage insuffisantes, ainsi que d'autres problèmes de

performance des serveurs. Les outils de supervision fournissent une vision complète de la santé de l'ensemble du système, ce qui est particulièrement apprécié par les dirigeants d'entreprise.

La communication entre l'homme et la machine est essentielle pour diverses opérations, telles que l'exécution de programmes et la mise au point de machines, les changements de formats ou de produits sur une ligne de fabrication, le pilotage des machines en phase d'exploitation, les interventions en matière de sécurité ou de maintenance, ainsi que la gestion globale de la fabrication, de la disponibilité et de la maintenance.

II.7.6 Rôle de la supervision :

- **Suivi en temps réel** : La supervision permet d'avoir une vision globale et constante de l'état des machines, des paramètres de production (température, pression, etc.) et des alertes éventuelles.
- **Détection des anomalies** : Le système peut identifier rapidement les dysfonctionnements, les chutes de rendement ou les dérives par rapport aux paramètres attendus.
- **Diagnostic et prévention des pannes** : L'analyse des données collectées permet d'anticiper les pannes potentielles et de mettre en place des actions correctives avant qu'elles n'affectent la production.
- **Amélioration de la performance** : En analysant les données historiques et en temps réel, il est possible d'optimiser les réglages des machines et d'identifier des axes d'amélioration pour la productivité et la qualité de la production.
- **Prise de décision éclairée** : Les responsables disposent d'informations fiables et actualisées pour prendre des décisions stratégiques concernant la production, la maintenance et les investissements.
- **Conformité réglementaire** : La supervision peut également être utilisée pour documenter les activités de production et garantir le respect des normes de sécurité et de qualité.

II.7.7 Principales fonctionnalités des outils de supervision :

- a) **Surveillance en temps réel**: Les outils de supervision informatique surveillent en continu l'état de votre système informatique, vous permettant de détecter les incidents et de réagir rapidement [35?]
- b) **Analyse des performances**: Ils analysent les performances de votre infrastructure, y compris les serveurs, les réseaux et les postes de travail. Cela vous permet d'identifier les goulots d'étranglement et d'optimiser les ressources.
- c) **Alertes et notifications**: Les outils de supervision vous alertent en cas de problèmes ou d'anomalies détectées. Vous pouvez configurer des notifications par email, SMS ou autres canaux pour être informé en temps réel.
- d) **Historique du procédé** :

- 1) **Sauvegarde des données** : Elle permet de conserver un enregistrement périodique des mesures et des événements horodatés, garantissant ainsi la disponibilité des données sur le long terme.
- 2) **Recherche facilitée** : Des outils de recherche dédiés permettent de retrouver rapidement et efficacement les informations archivées, facilitant ainsi l'analyse et l'exploitation des données historiques.
- 3) **Reconstruction du synoptique** : Grâce aux données archivées, il est possible de reconstituer le fonctionnement du synoptique à un instant précis du passé, ce qui s'avère utile pour l'analyse de situations passées ou la résolution de problèmes.

e) les courbes :

Elles donnent :

- Une représentation graphique de différentes données du processus.
- Les outils d'analyse des variables historiées.

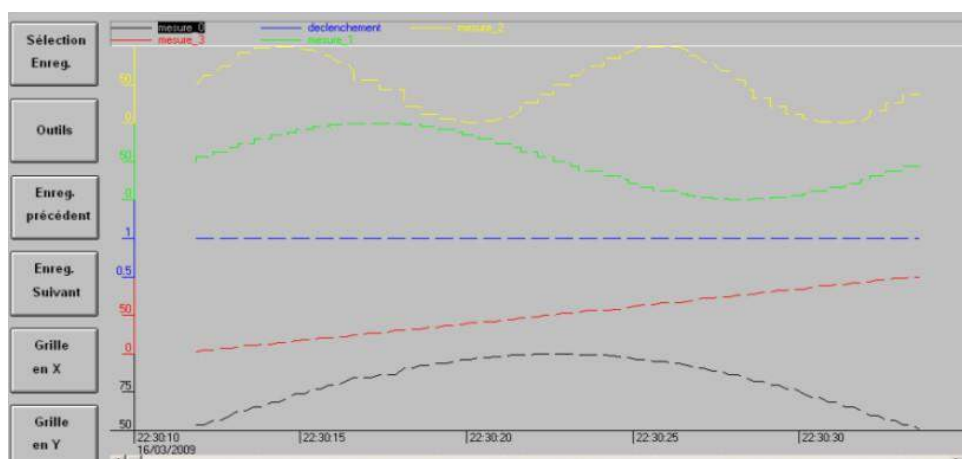


Figure 2.12 : Exemple sur les courbes dans la supervision

f) Alarmes :

Elle a pour rôle de :

- calculer en temps réel les conditions de déclenchement des alarmes.
- afficher l'ensemble des alarmes selon des règles de priorité.
- donner les outils de gestion depuis la prise en compte jusqu'à la résolution complète.
- assurer l'enregistrement de toutes les étapes de traitement de l'alarme.



Figure 2.13 : Alarmes List

II.7.8 les systèmes de supervision :

1. Aide à la décision:

Ce module fournit à l'opérateur, en temps réel, un éventail d'actions possibles en réponse à une situation donnée. L'opérateur conserve toutefois le pouvoir de décision final.

➤ Fonctionnement:

- Analyse les données en temps réel provenant des capteurs et des systèmes connectés.
- Identifie les anomalies ou les situations potentiellement problématiques.
- Propose à l'opérateur un ensemble d'actions correctives ou préventives possibles.
- L'opérateur choisit l'action la plus appropriée en fonction de son expertise et du contexte.

2. Simulateurs de décision:

Ces modules permettent de projeter dans le futur les conséquences potentielles d'une action avant que l'opérateur ne la prenne. Cela permet d'évaluer la pertinence de la décision envisagée et d'anticiper les effets sur le système.

➤ Fonctionnement:

- Utilise des modèles de comportement du processus supervisé pour simuler l'évolution du système en fonction des actions choisies.

- Présente à l'opérateur les résultats simulés, lui permettant de visualiser les impacts potentiels de ses décisions.
- L'opérateur peut ainsi affiner son choix en fonction des simulations et prendre une décision plus éclairée.

3. Base d'expérience :

Ce module stocke des informations sur des situations passées, les actions entreprises et les résultats obtenus. Cette mémoire collective sert à enrichir les modules d'aide à la décision et de simulation en fournissant des données concrètes et des exemples pertinents.

➤ Fonctionnement:

- Enregistre les données historiques des capteurs, des actions de l'opérateur et des performances du système.
- Analyse les données enregistrées pour identifier des modèles et des relations de cause à effet.
- Utilise les connaissances acquises pour améliorer les modules d'aide à la décision et *de simulation*.

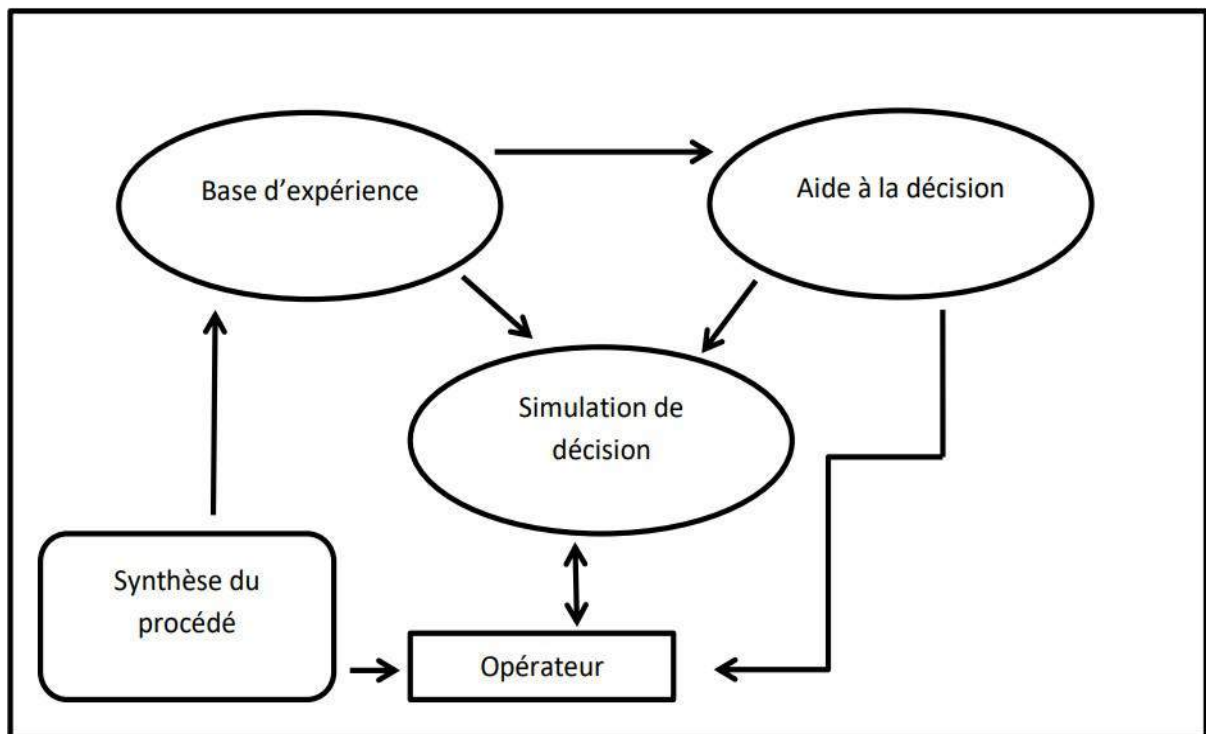


Figure 2.14 : Modules essentielle d'un système de supervision

II.7.9 Technique de la supervision :

1) Acquisition de données

L'acquisition de données est le processus de collecte et de conversion de données du monde réel en un format numérique utilisable par les ordinateurs. Ce processus implique généralement des capteurs, des convertisseurs analogique-numérique et des systèmes d'acquisition de données. [36]

2) La surveillance :

La surveillance de la supervision est le processus de suivi et de surveillance du fonctionnement d'un système ou d'une activité. Elle permet de détecter les anomalies et les problèmes potentiels, et de prendre des mesures correctives [37]

Il existe deux catégories de surveillance : la surveillance de la commande et la surveillance du système en fonctionnement.

La surveillance de la commande : repose sur l'utilisation de filtres pour vérifier la conformité des ordres émis avec l'état de la partie opérative.

La surveillance du système en fonctionnement : est chargée de détecter les défaillances du processus, dans le cadre de la sûreté de fonctionnement.

- **Surveillance anticipative** : Cette approche peut être directe ou indirecte. La surveillance anticipative directe repose sur l'analyse des signaux, des données et des processus stochastiques pour évaluer l'état actuel d'un élément et prédire sa durée de vie restante. La surveillance anticipative indirecte englobe tous les équipements susceptibles de présenter des défaillances se traduisant par une altération de la qualité ou de la quantité des produits fabriqués.
- **Surveillance corrective** : Elle se divise en deux phases : la détection et le diagnostic. La détection est étroitement liée à la contrainte du temps réel. Son rôle est d'analyser le comportement de la partie opérative pour identifier les symptômes en cas de dysfonctionnement. Le diagnostic repose sur un processus en deux étapes :
 - La première étape consiste à localiser le sous-système fonctionnel défaillant à partir des symptômes détectés.
 - La seconde étape permet d'identifier les causes initiales des défaillances et d'analyser leurs conséquences. [38]

3) Diagnostic :

À ce stade, l'objectif est de repérer l'emplacement de la défaillance ainsi que d'identifier la raison à l'origine de celle-ci, la signature d'un défaut étant définie comme l'impact de celui-ci sur un ou plusieurs résidus.

4) Maintenance :

La phase de maintenance survient généralement après la prise de décision. Son objectif est de garantir ou de rétablir les performances des composants ou du système dans son ensemble, afin qu'il puisse accomplir efficacement sa fonction requise. Ces opérations comprennent un ensemble d'activités à la fois administratives et de gestion.

II.8. Conclusion :

La supervision occupe une place cruciale dans la préservation de la sécurité du personnel et de l'environnement. Son rôle essentiel réside dans la détection précoce de toute altération susceptible de compromettre le bon fonctionnement du système.

Chapitre III

LANGAGE DE PROGRAMMATION

Chapitre III : LANGAGES DE PROGRAMMATION

III.1 Introduction

Avec l'avènement des automates industriels, l'opérateur humain a été amené à conduire ou superviser des machines automatisées. Cela a réduit la nécessité de prises d'information et d'actions directes sur le processus, d'où la création d'interfaces Homme/Machine (IHM) qui sont flexibles et faciles à comprendre pour un opérateur standard. Siemens, avec sa gamme SIMATIC, répond à cette exigence en proposant une large gamme de pupitres de supervision et de contrôle, configurables grâce à divers outils.

III.2 GEMMA

III.2.1 Pourquoi le GEMMA :

Le GEMMA (acronyme de Guide d'Etude des Modes de Marche et d'Arrêt) est un guide graphique (document graphique) permettant de sélectionner et de décrire simplement les différents états de marches et d'arrêts, ainsi que les possibilités d'évoluer d'un état à un autre. Il a été créé parce qu'il y avait un grand besoin d'avoir un vocabulaire commun et précis. Le GEMMA permet d'avoir une approche guidée de l'analyse des modes de marches et d'arrêts. Le GEMMA permet le recensement et la description des différents états du système automatisé, de la mise en route à la production normale. Il précise les procédures à mettre en œuvre après analyse d'une anomalie ou un défaut de fonctionnement. Pour une machine donnée, les modes de marches et d'arrêts doivent être choisis et compris de toutes les personnes chargées d'intervenir. Un GEMMA est établi pour chaque machine lors de sa conception, puis utilisé tout au long de sa vie : réalisation, mise au point, maintenance, modifications, réglages... Dans ses principes et dans sa mise en œuvre, le GEMMA doit donc être connu de toutes les personnes concernées par les automatismes, depuis leur conception jusqu'à leur exploitation [24].

III.2.2 Généralité sur le GEMMA

GEMMA (Guide d'étude des modes de marches et d'arrêts) est un outil graphique développé par l'ADEPA (Agence Nationale pour le Développement de la Production Automatisée), permettant de structurer les différents modes de marches et d'arrêts d'un système de production. Il permet en outre d'homogénéiser le vocabulaire utilisé et de prendre aux directives européennes sur la sécurité [39]

Le GEMMA est un guide graphique structuré qui propose des modes de fonctionnement. Selon les besoins du système automatisé à étudier on choisit d'utiliser certains modes de fonctionnement. Le guide graphique GEMMA est divisé en "rectangle d'état". Chaque rectangle d'état a une position précise sur le guide graphique. Chaque rectangle d'état est relié à un ou plusieurs autres rectangles d'états par des flèches orientées. Le passage d'un rectangle d'état à un autre s'effectue un peu à la manière du franchissement d'une transition de Grafset. Le guide

graphique GEMMA n'est pas un outil figé, il est modulable à volonté suivant les spécifications à obtenir [39]

III.2.3 Concepts de base du GEMMA

Les différents concepts de base définissent :

- Les modes de marches vus par une partie de commande en ordre de marche.
- Le critère production.
- Les familles de Modes de Marches et d'Arrêts.

1) Les modes de marche sont gérés par une partie commande en état de fonctionnement. Le guide graphique GEMMA est composé de deux zones :

- Une zone correspondant à l'état inactif de la partie commande (PC), c'est-à-dire lorsque la PC est hors tension.
- Une zone décrivant les événements se produisant lorsque la partie commande (PC) fonctionne normalement, c'est-à-dire lorsque la PC est sous tension.

La partie opérative (PO) peut être sous tension ou hors tension. La figure suivante illustre les états de la partie commande (PC) ainsi que le passage entre les deux zones. Ce Concept est présenté dans la figure 3.1.

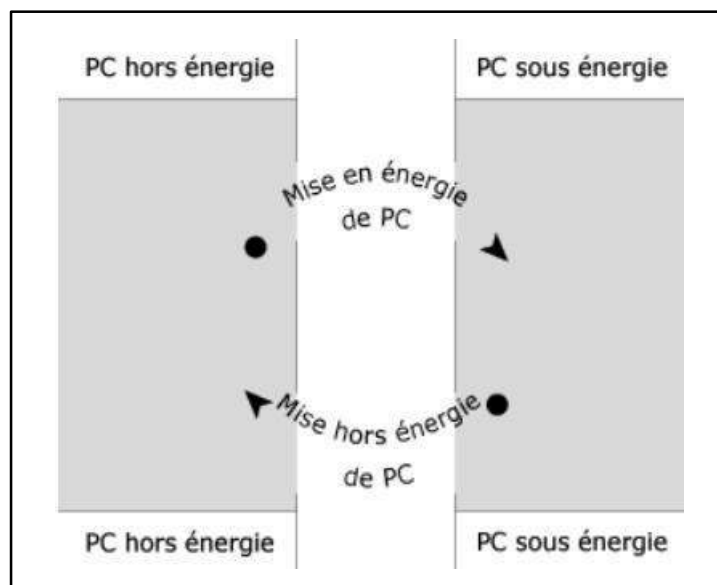


Figure 3.1 : concept n°1 de GEMMA [41]

2) Le critère de production.

Le système est considéré en production lorsque la valeur ajoutée pour laquelle il a été conçu est réalisée. À l'inverse, il est hors production si cette valeur ajoutée n'est pas atteinte. La figure 3.2 illustre ce concept.

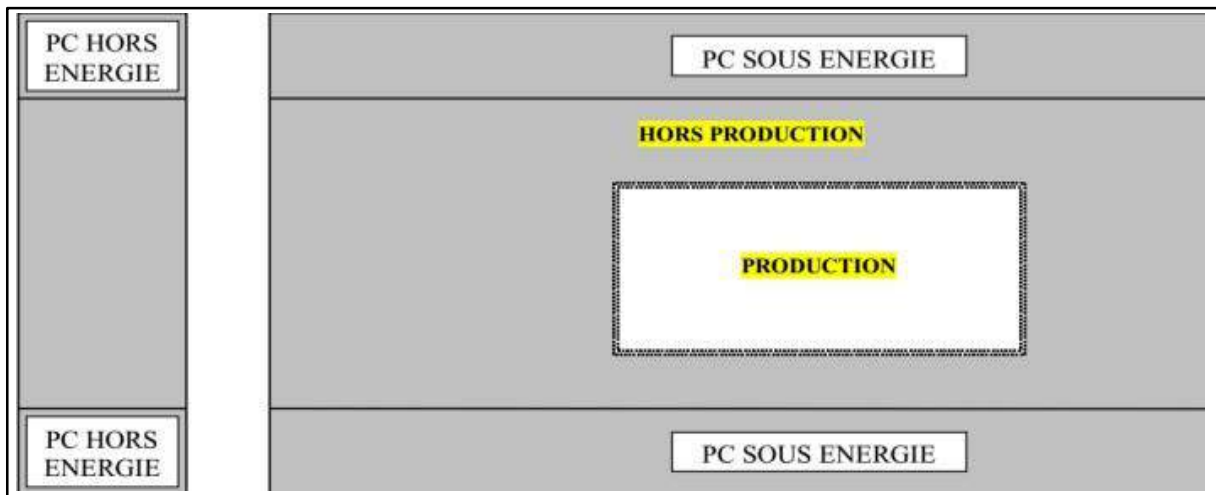


Figure 3.2 : Concept n° 2 de GEMMA [41]

3) Les familles de Modes de Marches et d'Arrêts :

On distingue trois grandes familles de procédures.

A) Famille F (Procédures de Fonctionnement)

ETATS F : PROCEDURES DE FONCTIONNEMENT		
Repère	Désignation	Description
F1	Production normal	Dans cet état, la machine produit normalement, On peut souvent faire correspondre à cet état un GRAFCET que l'on appelle GRAFCET de base
F2	Marche de préparation	Cet état est utilisé pour les machines nécessitant une préparation préalable à la production normale
F3	Marche de vérification dans le désordre	Cet état permet de vérifier certaine fonction ou certain mouvement sur la machine
F4	Marche de vérification dans l'ordre	Dans cet état, le cycle de production peut être exploré au rythme de production voulu par la personne effectuant la vérification

Tableau 3.1 : Procédures de fonctionnement dans le GEMMA

B) Famille A (Procédures d'Arrêt)

Les états du système automatisé reflétant un arrêt dû à des raisons externes sont regroupés. Le tableau 3.2 décrit les différents modes dans la procédure d'arrêt.

ETATS A : PROCEDURES D'ARRET		
Repère	Désignation	Description
A5	Arrêt d'état initial	C'est l'état repos de la machine. Il correspond en général à la situation initiale du grafcet.

Tableau 3.2 : Procédure d'arrêt dans le GEMMA

C) Famille D (Procédures de défaillance)

Les états du système automatisé qui indiquent un arrêt dû à des raisons externes sont regroupés. Le tableau 3.3 détaille les différents modes dans la procédure de défaillance.

ETATS A : PROCEDURES D'ARRET		
Repère	Désignation	Description
D1	Arrêt d'urgence	C'est l'état pris lors d'un arrêt d'urgence : on y prévoit non seulement les arrêts, mais aussi les cycles de dégagement

Tableau 3.3 : Procédure de défaillance dans le GEMMA

Cela correspond à des arrêts inhabituels.

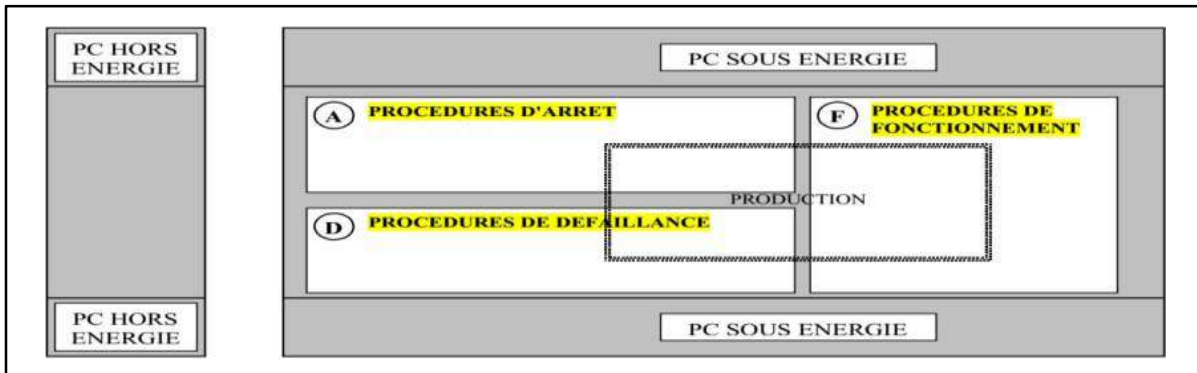


Figure 3.3 : Concept n° 3 de GEMMA [41]

III.2.4 Analyse des boucles opérationnelles de GEMMA (système de graissage)

A. Marche en production normale

La boucle décrite sous sa forme littérale par : A5-F2-F1-A5 correspond la marche en production normale. Pour le passage de A5 vers F2 il faut donner le signal CC à partir de la salle de contrôle pour un test de démarrage qui prend 30 minute de vaporisation (en parallèle système A et B), puis passe directement vers F1 le mode automatique pour faire le vaporisation de 8 fois pour le système A après une fois pour le système B. lorsque termine passe directement à l'arrêt de l'état initial (A5).

B. Marche de vérification dans l'ordre (mode de réglage)

Ce mode de réglage dans l'ordre correspond à la marche manuelle, ceci permet la vérification et éventuellement le réglage de l'ensemble des actionneurs évitant par conséquent une mauvaise synchronisation. Correspond à la boucle décrite sous sa forme littérale par : (A5-F5) ou (A5-F4). • La boucle A5-F5 : la marche de vérification manuelle dans l'ordre est obtenue par donner le signal local permission (LP) à partir de la salle de contrôle puis la sélection de mode LC (Local Commande), ce mode est lancé manuellement par l'action sur le poussoir MARCHE pour effectuer un seul cycle de système A ou système B.

• La boucle A5-F4 : la marche de test manuelle des actionneurs est obtenue par donner le signal local permission (LP) à partir de la salle de contrôle puis la sélection de mode LT (Local Test), ce mode est lancé manuellement par l'action sur le poussoir MARCHE pour fermer les vannes de l'aire de système A et système B. Une fois le passage à l'état de vérification termine le signal local permission (LP) disparaît et le système retourne à la position initial A5.

C. Mode de défaillance (Arrêt d'urgence)

Ce mode est obtenu à partir de toutes les étapes en appuyant sur le bouton d'arrêt d'urgence (AU), une fois le passage à l'état de défaillance, la procédure de défaillance est engagée, c'est-à-dire le cycle retourne à la position initial A5. La représentation graphique sur la figure 4.4 montre ces phases.

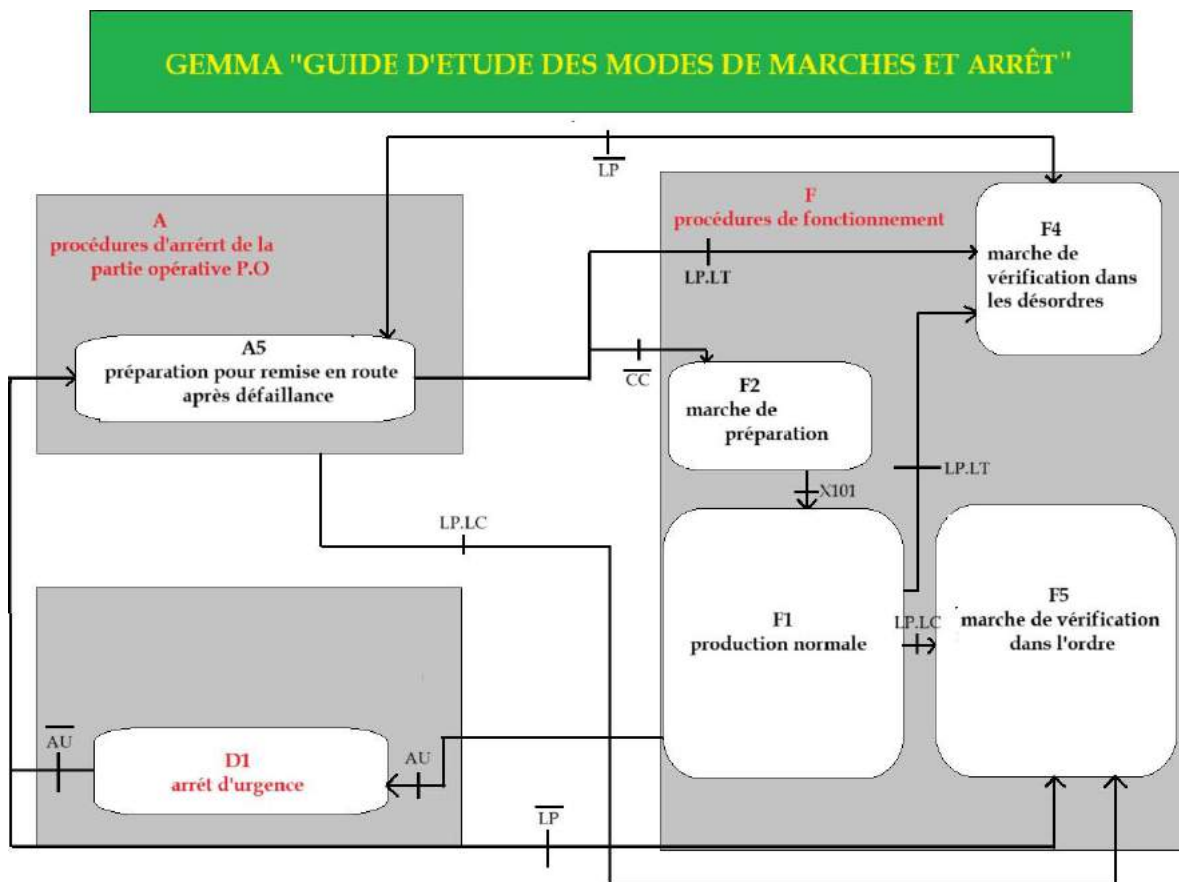


Figure 3.4 : GEMMA principale du Système de Graissage

III.3 Le STEP 7 :

III.3.1 Définition du logiciel :

STEP 7 est un logiciel de programmation pour les systèmes d'automatisation, notamment les automates programmables SIMATIC S7-300et WinCC. Il permet de configurer et paramétrer le matériel, la communication, la programmation, les tests et la mise en service de ces systèmes.

STEP7 permet l'accès "de base " aux automates Siemens. Il permet de programmer individuellement un automate (en différents langages). Il prend également en compte le réseau, ce qui permet d'accéder à tout automate du réseau (pour le programmer), et éventuellement aux automates de s'envoyer des messages entre eux. Mais il ne permet pas de faire participer les ordinateurs à l'automatisme [42]

III.3.2 Les langages de programmation

- Schéma à contact « CONT » : est un langage de programmation graphique utilisé pour la programmation des automates programmables industriels (API). Il est basé sur un diagramme à échelons, qui représente les instructions de l'API sous forme de contacts et de bobines. [43]
- Liste d'instructions « LIST » : est un langage en liste d'instructions permettant une programmation la plus proche possible du langage du processeur. C'est le langage le plus efficace quant à l'utilisation de la mémoire de l'automate et la réduction de la durée du temps de cycle. [44]
- Logigramme « LOG » : LOG utilise les boîtes logiques de l'algèbre de Boole. Tout comme dans le schéma à contacts, il est possible de suivre le trajet du courant parcourant les fonctions. [44]
- S7-GRAPH : C'est un langage de programmation, s'ajoute à l'éventail des fonctions de STEP7. Il permet de programmer graphiquement les commandes séquentielles en bloc fonctionnel (FB).

La figure 3.5 illustre les langages de base de STEP7.

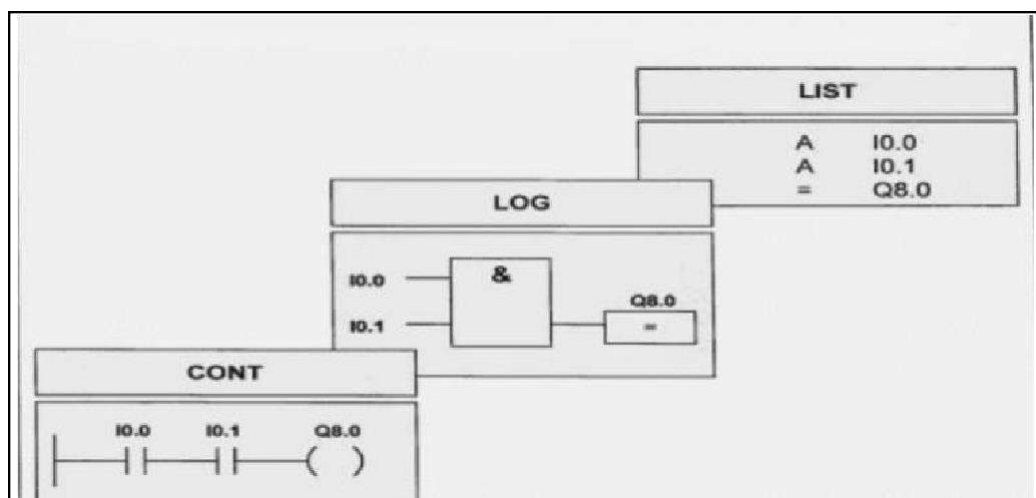


Figure 3.5 : Les langages basiques du STEP7

III.3.3 Les principes de base de la programmation dans STEP7

- 1. Le dossier de blocs :** Contient les blocs à charger dans le CPU pour réaliser la tâche d'automatisation (figure 3.6).

Bloc	Brève description de la fonction
Blocs d'organisation (OB)	Les OB déterminent la structure du programme utilisateur.
Blocs fonctionnels (FB)	Les FB sont des blocs avec "mémoire" que vous programmez vous-même.
Fonctions (FC)	Les FC contiennent des routines de programmes pour les fonctions fréquemment utilisées.
Blocs de données (DB)	Les DB sont des zones de données dans lesquelles l'on enregistre les données utilisateur. Outre les données affectées respectivement à un bloc fonctionnel, vous pouvez définir des données globales utilisables par tous les blocs.

Tableau 3.4 : Les Blocs de STEP7

- A. Les blocs d'organisation (OB) :** constituent l'interface entre le système d'exploitation et le Programme utilisateur. L'ensemble du programme peut être concaténé dans un seul bloc OB1 (programme linéaire) appelé de manière cyclique par le système d'exploitation, ou être structuré dans plusieurs blocs (programme structuré).
- B. Une fonction (FC) :** assure une fonctionnalité spécifique du programme. Les FC, SFC fonctions peuvent être paramétrables. Dans ce cas, des paramètres sont transmis à la fonction lorsqu'elle est appelée. Les fonctions conviennent donc pour la programmation de fonctionnalités récurrentes et complexes, par exemple pour effectuer des calculs
- C. Les fonctions système (SFC) :** sont des fonctions paramétrables, intégrées au système D'exploitation de la CPU, dont le numéro et la fonctionnalité sont définis de manière fixe. Pour de plus amples informations, se reporter à Faire en ligne
- D. Les blocs fonctionnels (FB) :** s'apparentent aux fonctions, mais ils disposent en plus de zones mémoire spécifiques, sous forme de blocs de données d'instance. Les blocs fonctionnels conviennent donc pour la programmation de fonctionnalités récurrentes encore plus complexes, par exemple pour assurer des tâches de régulation.
- E. Les blocs fonctionnels système (SFB) :** sont des blocs fonctionnels paramétrables, intégrés au système d'exploitation de la CPU, dont le numéro et la fonctionnalité sont définis de manière fixe. Pour de plus amples informations se reporter à l'aide en ligne.
- F. Les blocs de données (DB) :** sont des zones de données du programme utilisateur, à l'intérieur desquelles les données utilisateur sont gérées de manière structurée.

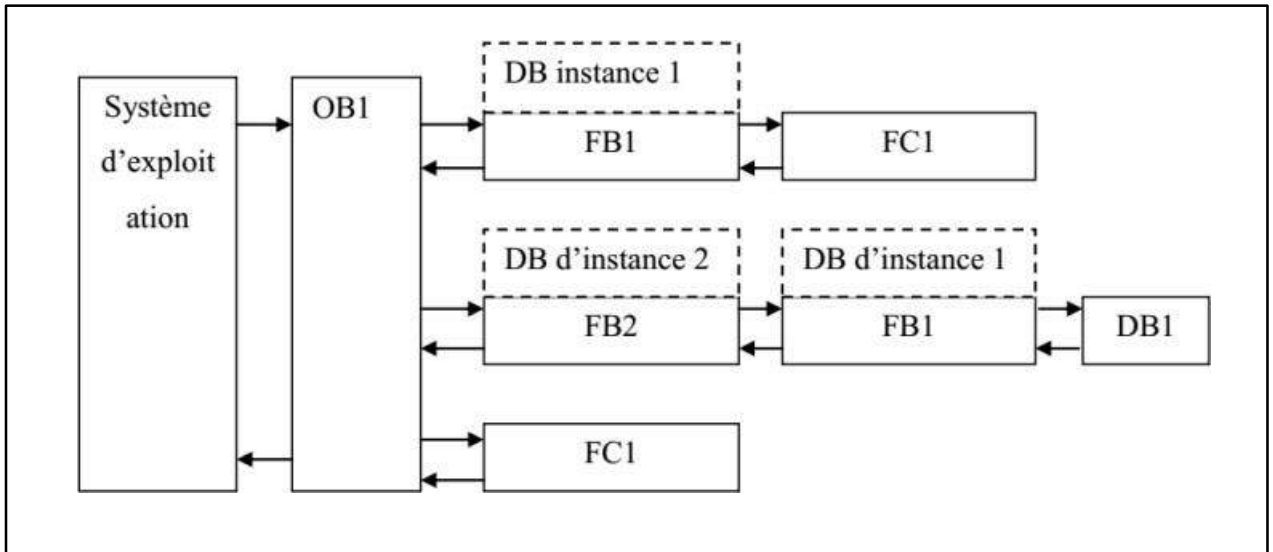


Figure 3.6 : Structure des programmes en STEP7

2. Mnémonique :

L'éditeur de mnémoniques vous permet de gérer toutes les variables globales. Vous disposez des fonctions suivantes :

- définition de désignations symboliques et de commentaires pour les signaux du processus (entrées/sorties), mémentos et blocs,
- fonctions de tri.
- importation/exportation avec d'autres programmes Windows. La table des mnémoniques qui en résulte est mise à disposition de toutes les applications. La modification de l'un des paramètres d'une mnémonique est de ce fait reconnue automatiquement par toutes les applications.

3. Les types de variables dans STEP7 :

Dans l'environnement STEP7 on utilise plusieurs types de variables qu'on doit déclarer au préalable.

4. Eléments bistable R-S:

Un élément bistable est représenté par un rectangle avec une entrée S (set) et une entrée R (reset). Un état de signal 1 bref sur l'entrée S met la bascule à 1. Un état de signal 1 bref sur l'entrée R met la bascule à 0. L'état de signal 0 aux entrées S et R ne modifie pas l'état préalable.

5. Temporisation:

Les temporisateurs sont des mots de 16 bits représentés par la lettre T.

5.1. Différents temporisateurs :

- **SE (S_EVERZ) :** Retard à l'enclenchement (temporisation sous forme de retard à la montée) ;

- **SA (S_AVERZ)** : Retard au déclenchement (temporisation sous forme de retard à la retombée) ;
- **SS (S_SEVERZ)** : Retard à l'enclenchement puis mémorisation à l'état « 1 », (temporisation sous forme de retard à la montée mémorisé) ;
- **SI (S_IMPULS)** : Limiteur d'impulsion ou temporisation sous forme d'impulsion ;
- **SV (S_VIMP)** : Générateur d'impulsion ou temporisation sous forme d'impulsion prolongée (Monostable).

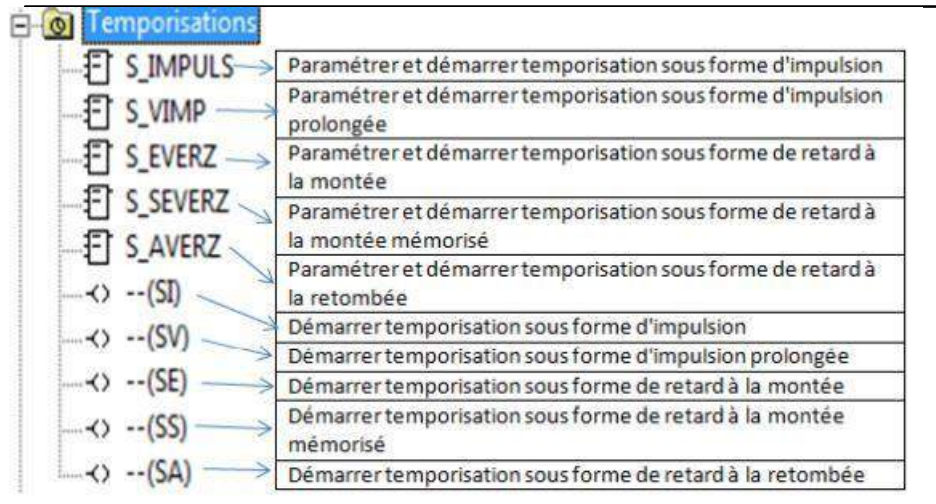


Figure 3.7 : Les différents types de la temporisation

5.2 Opération de comptage :

Les fonctions de comptage sont nécessaires pour enregistrer le nombre de pièces ou d'impulsions. Ces compteurs disposent d'une zone de mémoire dédiée, avec une plage de valeurs allant de 0 à 999 [46].

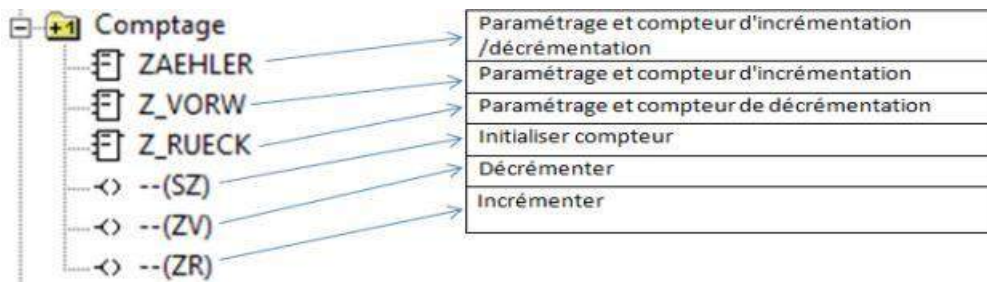


Figure 3.8 : Les différents types du comptage

5.3 Opération de comparaison :

Les opérations de comparaison comparent les entrées IN1 et IN2 selon les types de comparaison suivants :

- ◆ == IN1 égal à IN2.
- ◆ <> IN1 différent de IN2.
- ◆ > IN1 supérieur à IN2.
- ◆ < IN1 inférieur à IN2.

- ◆ \geq IN1 supérieur ou égal à IN2.
- ◆ \leq IN1 inférieur ou égal à IN2.

Si la comparaison est vraie, le résultat logique (RLG) est 1. Ce résultat est combiné au RLG du trajet de courant entier selon ET si l'élément de comparaison est utilisé en série ou selon OU s'il est utilisé en parallèle.

Vous disposez des opérations de comparaison suivantes :

- CMP I : Comparer entiers de 16 bits (16 Bit).
- CMP D : Comparer entiers de 32 bits (32 Bit).
- CMP R : Comparer réels. [47]

5.4 Le simulateur des programmes PLCSIML:

L'application de simulation des modules S7-PLCSIM permet d'exécuter et de tester le programme utilisateur destiné aux CPU S7-300. La simulation se déroulant entièrement dans le logiciel STEP7, aucune connexion avec un matériel S7 n'est requise.

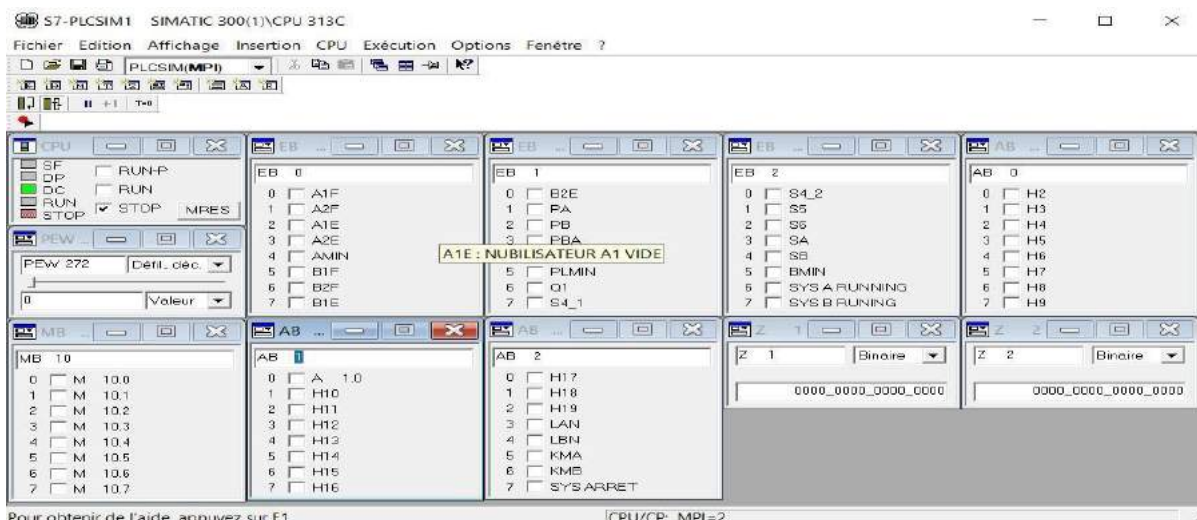


Figure 3.9 : Fenêtre de simulation

SIMATIC WINCC flexible est un système de supervision de processus modulable offrant des fonctions avancées de surveillance d'automatisme. Résultat d'un perfectionnement systématique des logiciels d'interface homme-machine, WINCC s'intègre parfaitement dans l'environnement STEP7.

III.4.1. Elements de WINCC flexible :

- ◆ **WINCC flexible Engineering:**

C'est le logiciel permettant de réaliser toutes les tâches de configuration nécessaires. L'édition WINCC flexible spécifie quels pupitres opérateurs de la gamme SIMATIC HMI peuvent être configurés.

- ◆ **WINCC flexible Runtime:**

C'est le logiciel de visualisation de processus. En mode runtime, il permet d'exécuter le projet en temps réel.

◆ Options WINCC flexible :

WinCC flexible est un logiciel de visualisation et de contrôle industriel développé par Siemens. Il offre une variété d'options pour répondre aux besoins spécifiques de chaque projet [48].

III.4.2 .Les principes de base du WINCC Flexible :

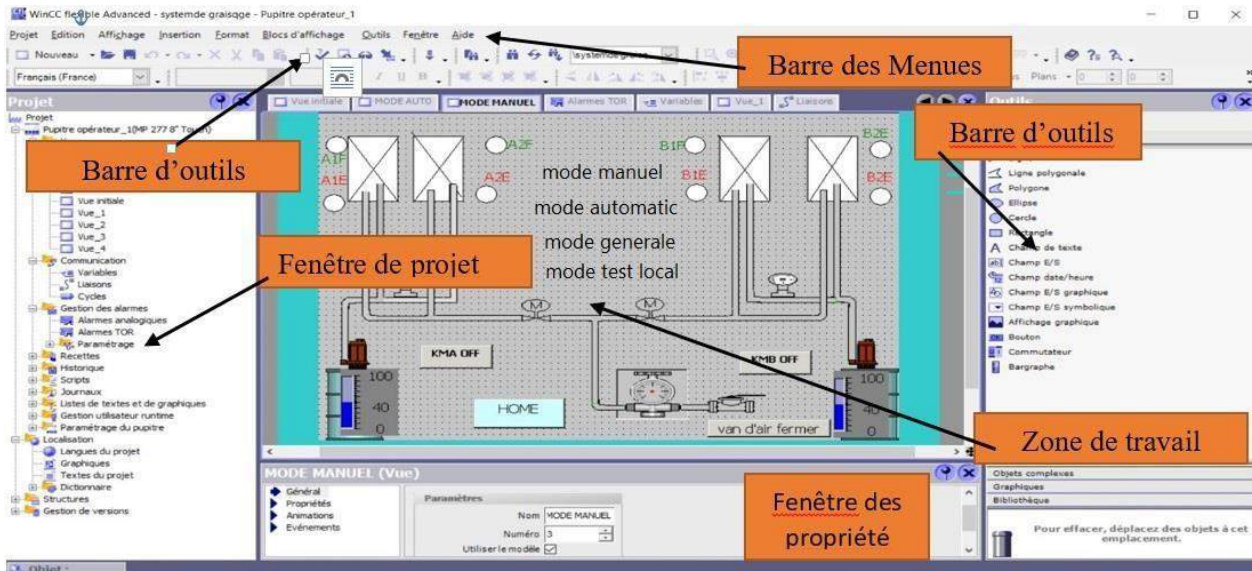


Figure 3.10 : Vue d'ensemble du progiciel WIN flexible

III.4.2 Description de l'interface de WINCC flexible :

- **Barre des menus :**

La barre des menus regroupe toutes les commandes nécessaires à l'utilisation de WINCC flexible, avec les raccourcis correspondants affichés à côté de chaque commande.

- **Barre d'outils :**

La barre d'outils permet d'afficher tous les éléments nécessaires au programmeur.

- **Zone de travail :**

La zone de travail est utilisée pour configurer des vues de manière à ce qu'elles soient facilement compréhensibles pour l'utilisateur, et très simples à manipuler et à consulter pour visualiser les résultats.

- **Boîte à outils :**

La fenêtre des outils offre une sélection d'objets simples ou complexes à insérer dans les vues.

- **Fenêtre des propriétés :**

Le contenu de la fenêtre des propriétés varie en fonction de la sélection actuelle dans la zone de travail. Lorsqu'un objet est sélectionné, ses propriétés peuvent être modifiées dans la fenêtre des propriétés.

- **Déclaration des variable:**

Les variables permettent la communication entre les différents composants du projet, c'est-à-dire l'échange de données entre un pupitre opérateur et un automate (S7-PLCSim).

- **Ecriture des alarmes:**

Une alarme est un signal associé à un message avertissant d'un danger, comme illustré dans la figure 3.11. Le système d'alarme informe l'opérateur des états de fonctionnement ou des pannes du processus, et il est créé à l'aide de la fonction de gestion des alarmes.

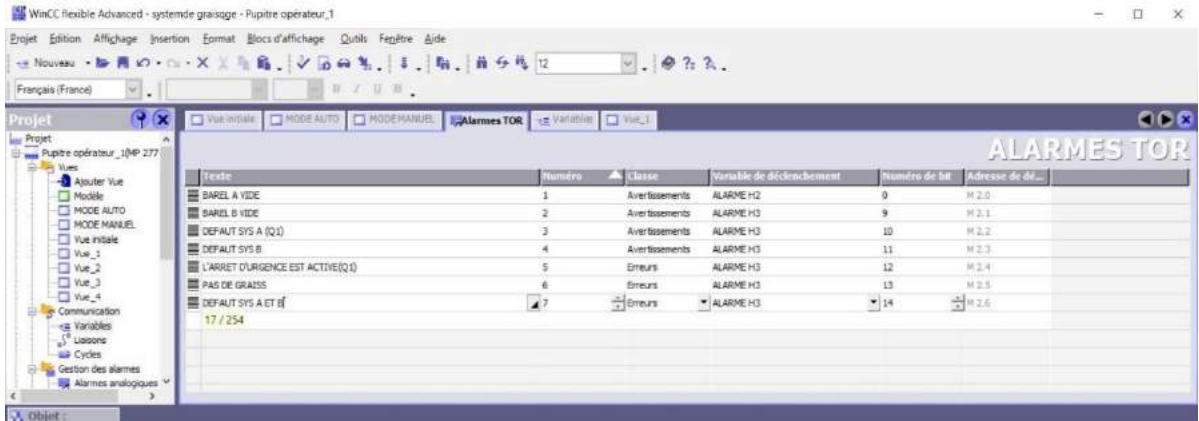


Figure 3.11 : Ecriture des alarmes

- **Intégration de WINCC flexible à STEP7 :**

Un projet WINCC flexible peut également être intégré de manière facultative dans un projet STEP7 (figure 3.12)

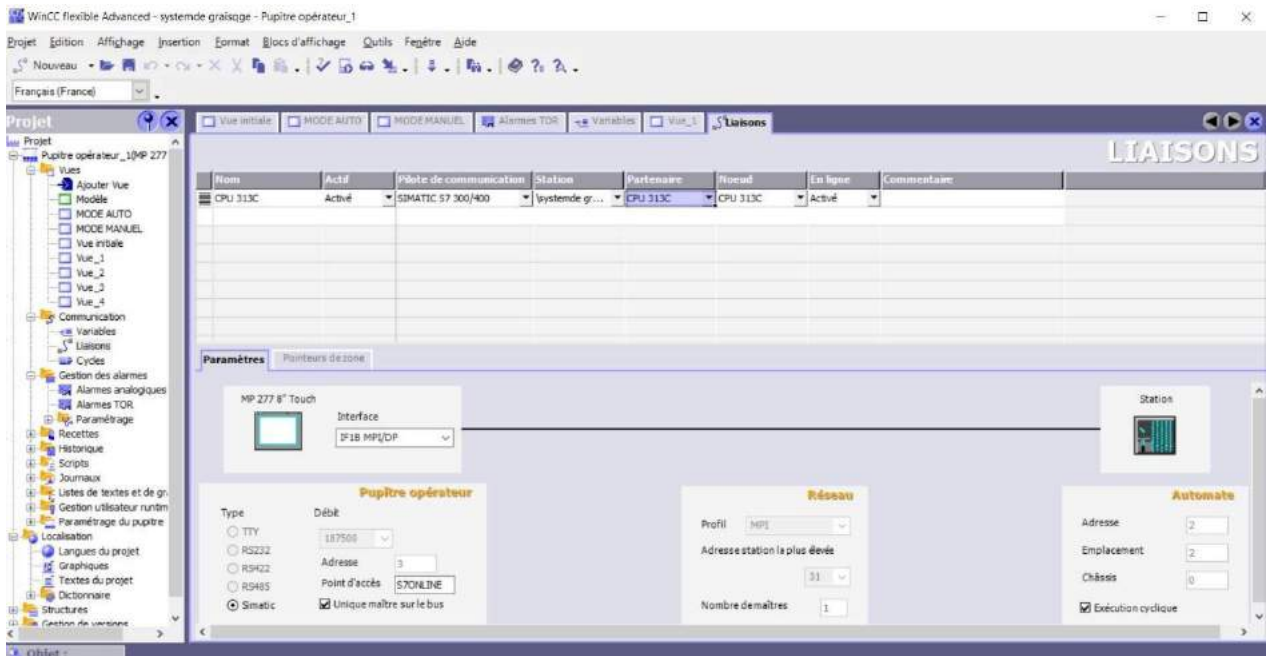


Figure 3.12 : Définition paramètre de liaison

- **Compilation et Simulation:**

Après la création du projet et l'achèvement de la configuration, il est impératif de procéder à une vérification approfondie de la cohérence du projet, ainsi qu'à un contrôle minutieux pour détecter d'éventuelles erreurs [48].

III.5 .Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une analyse détaillée des modes de marche et d'arrêt du système GEMMA (méthode) appliquée à notre projet (système de graissage). Ensuite, nous avons décrit le logiciel STEP7 ainsi que le logiciel WINCC flexible utilisé pour la supervision et la configuration de l'interface homme-machine.

Chapitre IV

APPLICATION SUR LE SYSTEME DE GRAISSAGE

CHAPITRE IV : APPLICATION SUR LE SYSTEME DE GRAISSAGE

IV.1 Introduction

Le projet consiste à mettre en œuvre une commande pour le système de graissage d'un four rotatif en utilisant un automate Siemens S7-300. La programmation est réalisée via le logiciel STEP7, tandis que le suivi en temps réel du comportement du système est assuré par le logiciel WINCC.

IV.2. L'automate programmable du système de graissage (FA-1) [5]:

Le contrôleur programmable de la série FA-1 Junior est un type de système de contrôle industriel utilisé pour automatiser des machines ou des processus. Fabriqué en 1994. Ces contrôleurs sont conçus pour être polyvalents, fiables et faciles à programmer, ce qui les rend adaptés à une variété d'applications dans les domaines de la fabrication, de la transformation et d'autres contextes industriels. Voici une ventilation plus détaillée des composants généralement trouvés dans le manuel d'utilisation d'un tel contrôleur

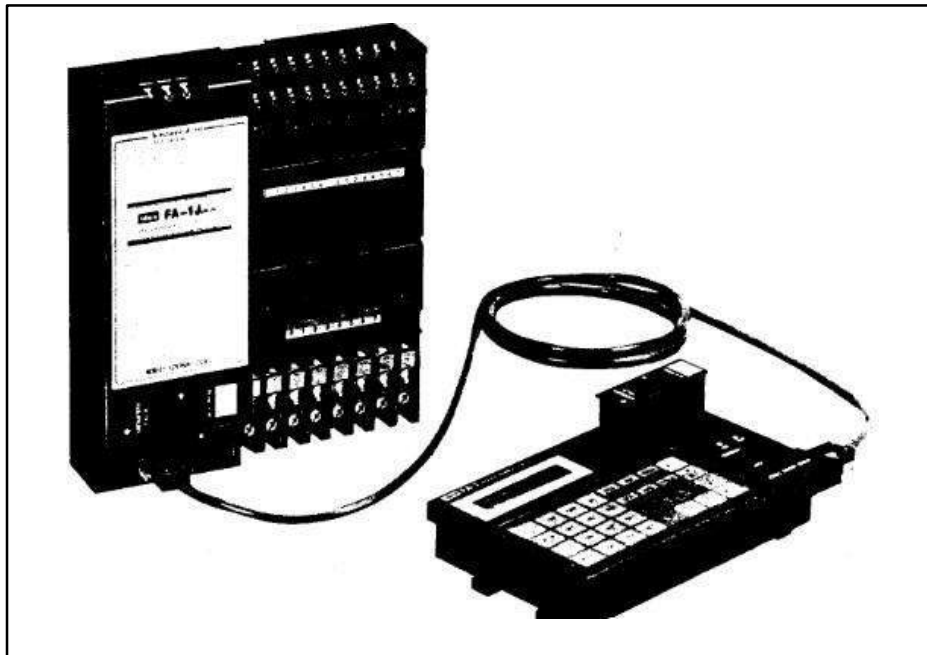


Figure4.1 : API FA-1 [5]

Les programmes peuvent être écrits et effacés à l'aide d'un chargeur de programme.

A. Chargeur de programme multifonctionnel :

Le chargeur de programme détachable peut être utilisé de différentes manières ; monté directement sur l'unité de base connectée à l'unité de base avec un câble d'extension de 1,5 mètre pour une programmation manuelle. Des supports de montage sur panneau sont disponibles pour le montage dans une découpe de panneau. Le chargeur de

programme peut être utilisé séparément au bureau pour une programmation à distance à l'aide d'un adaptateur secteur [49].

En plus de ce qui précède, le chargeur de programme intègre une interface de cassette audio ainsi qu'une fonction d'écriture PROM.

B. Description du matériel [5]

1. **Disposition du contrôleur** : diagrammes et descriptions des composants physiques.
2. **Modules d'E/S** : détails sur les types et les spécifications des modules d'entrée et de sortie.
3. **Alimentation** : informations sur les exigences d'alimentation et les détails de connexion.

C. Installation [5] :

1. **Câblage [5]**: directives pour connecter le contrôleur aux sources d'alimentation, aux périphériques d'E/S et aux réseaux de communication.

D. Programmation [5]

1. **Langages de programmation**: description des langages de programmation pris en charge (par exemple, logique à relais, texte structuré).
2. **Logiciel de programmation**: Présentation des outils logiciels utilisés pour programmer le contrôleur.
3. **Programmation de base** : instructions étape par étape pour écrire et saisir des programmes simples.
4. **Programmation avancée** : Techniques de création de programmes plus complexes, y compris l'utilisation de fonctions, de boucles et de conditions

IV.2.1 PROBLEMATIQUE DE cette AUTOMATE :

Comme tout système, l'automate programmable FA-1 peut présenter certains défauts ou limites. Voici quelques-uns des défauts potentiels auxquels les utilisateurs peuvent être confrontés :

1. **Limitations de performance** : Selon la spécification du modèle, l'automate FA-1 peut avoir des limitations en termes de vitesse de traitement ou de capacité de mémoire, ce qui peut restreindre sa capacité à gérer des tâches complexes ou à grande échelle [50].
2. **Fiabilité limitée** : Bien que conçu pour être fiable, tout système peut être sujet à des pannes ou à des défaillances matérielles, ce qui peut entraîner des temps d'arrêt imprévus et des perturbations dans les processus industriels [51].
3. **Complexité de programmation** : La programmation d'un automate programmable peut être complexe, en particulier pour les utilisateurs novices ou pour des tâches

complexes nécessitant une expertise approfondie en automatisation et en programmation [52].

4. **Obsolescence** : Comme pour tout équipement industriel, l'automate FA-1 peut devenir obsolète au fil du temps, avec l'émergence de nouvelles technologies et de nouveaux standards dans le domaine de l'automatisation [53].
5. **Compatibilité matérielle** : Certaines versions de l'automate FA-1 peuvent ne pas être compatibles avec certains équipements ou capteurs plus récents, ce qui peut nécessiter des mises à niveau ou des adaptations pour maintenir la compatibilité [54].
6. **Coûts de maintenance et de mise à niveau** : La maintenance et la mise à niveau de l'automate FA-1 peuvent être coûteuses, en particulier pour les pièces de rechange ou les mises à jour logicielles et matérielles [55].

De plus, L'automate FA-1 c'est cher et les pièces de rechange pour cette machine ne sont pas disponibles car elle est ancienne

C'est pour ça nous proposons de programmer le chaine de graissage avec la gamme siemence s7-300 parce il est plus moderne et facile para port a l'automate FA-1

IV.3 Cahier de charge :

L'étude porte sur l'automatisation d'un système de graissage d'un four rotatif .Le cycle démarre lorsque le four marche et le signal de commande centrale (CC) existe, le système entre directement en mode de préparation qui dure 30 minutes de la vaporisation de graisse en système A et système B en parallèle, la quantité de graisse utilisée est 8 cm³ /cm*h par système. Puis passe directement au mode automatique qui est contrôlés de telle façon que le système A est activé huit fois et le système B une fois. Chaque cycle est composé de vaporisation, de remplissage et de pause de cette façon la vaporisation toujours appliquée d'abord, dès que le système démarre , Puis retourne à la première étape, c'est l'attente du signal pour sélectionner le mode nécessaire.

Quand le signal permission local (LP) est activé, le système passe directement en mode de vérification, ce dernier est divisé en deux modes :

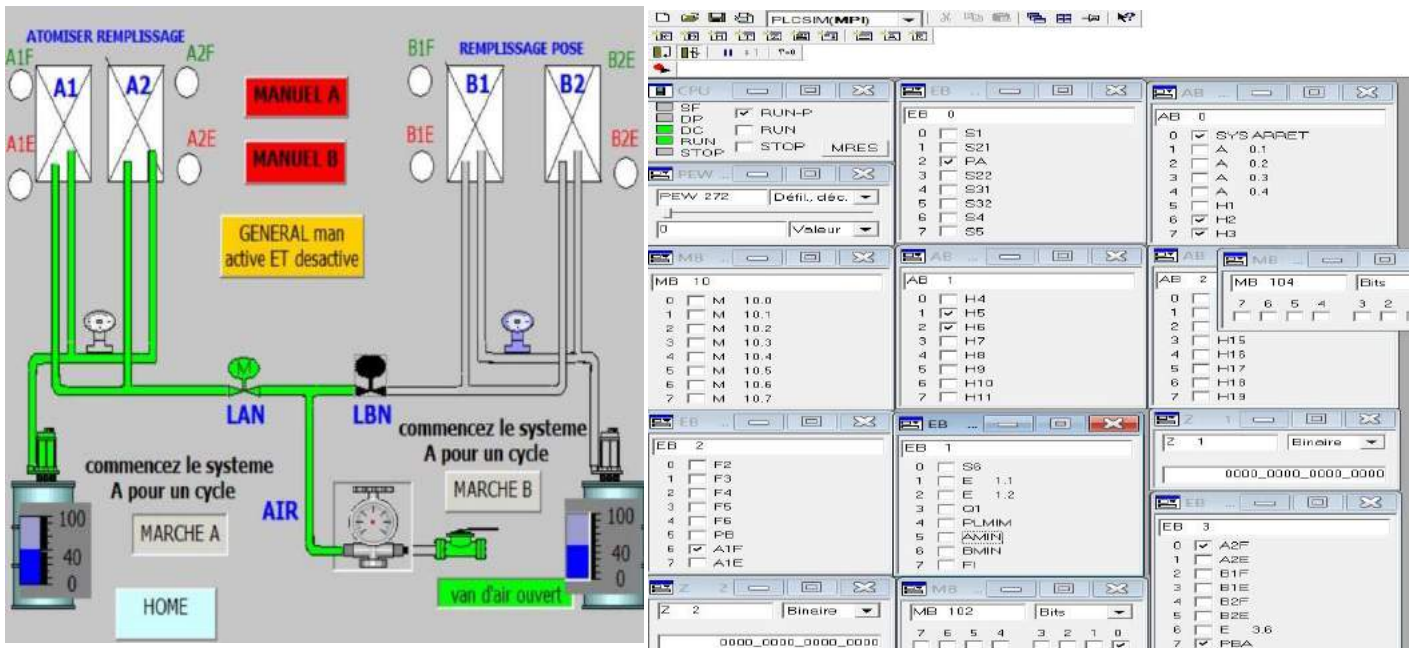


Figure 4.2 : vue du mode manuel

- Le mode manuel qui contribue à surveiller le système manuellement, c'est en appuyant sur le bouton MARCHE depuis le face d' HMI, le système fait un cycle et s'arrête pour vérifier les étapes du lubrifiant (vaporisation, remplissage et pause) de chaque système A ou B, figure 4.2. Ce mode est activé lorsque le signal (LP) et le signal local central (LC) sont activés.

Le mode Essai local (LT) qui contribue à vérifier les vannes de l'air du système A ou bien le système B, c'est en appuyant sur le bouton OPEN la vanne d'air s'ouvre et le

bouton CLOSE pour fermer la vanne, figure 4.3. Ce mode est activé lorsque le signal (LP) et le signal TEST Local (LT) sont activés.

Pour activer le mode d'essai il faut click sur LAN, LBN (plcsim)

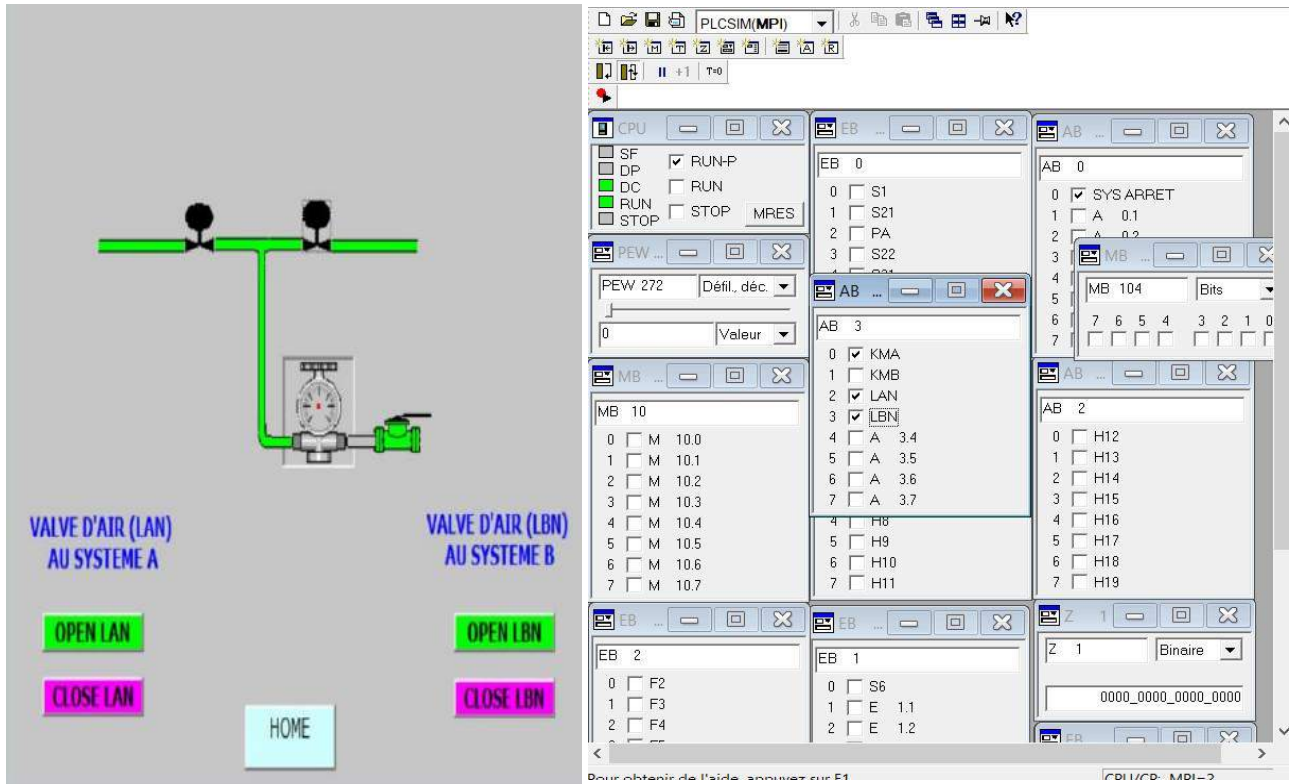


Figure 4.3 : vue du mode essai local.

On peut obtenir le signal Local Permission (LP) d'après la salle de contrôle ou la face De l'HMI d'après l'insertion du mot de passe pour cette opération
 Comme nous pouvons changer la quantité du lubrifiant sélectionnée en fonction des Besoins du four d'après le bouton de débit d'après le vue de paramètre.

Les figures suivantes présentent la description du cahier de charge par Grafcet.

- Grafcet de conduite : Le grafcet de la figure 4.4 représenté le grafcet de conduite (général) du système de graissage et ses différentes procédures de fonctionnement. Tous ces grafcets sont programmé dans le STEP 7, et intégré dans le WINCC et ses variables sont décrit dans le tableau 4.1.

Variables d'entrée			Variables de sortie		
Les entrées	En step7	fonction	Les sorties	En STEP7	Fonction
X104	M104.0	Etape d'initialisation	A5	M100.0	Mode initial
X101	M101.0	Etape automatique	F1	M101.0	Mode automatique
X102	M102.0	Etape manuel	F5	M102.0	Mode manuel
X103	M103.0	Etape de test	F4	M103.0	Mode de Test

X100	M100.0	Etape de préparation	F2	M104.0	Mode de préparation
------	--------	----------------------	----	--------	---------------------

Tableau 4.1 : variables de grafctet de conduite

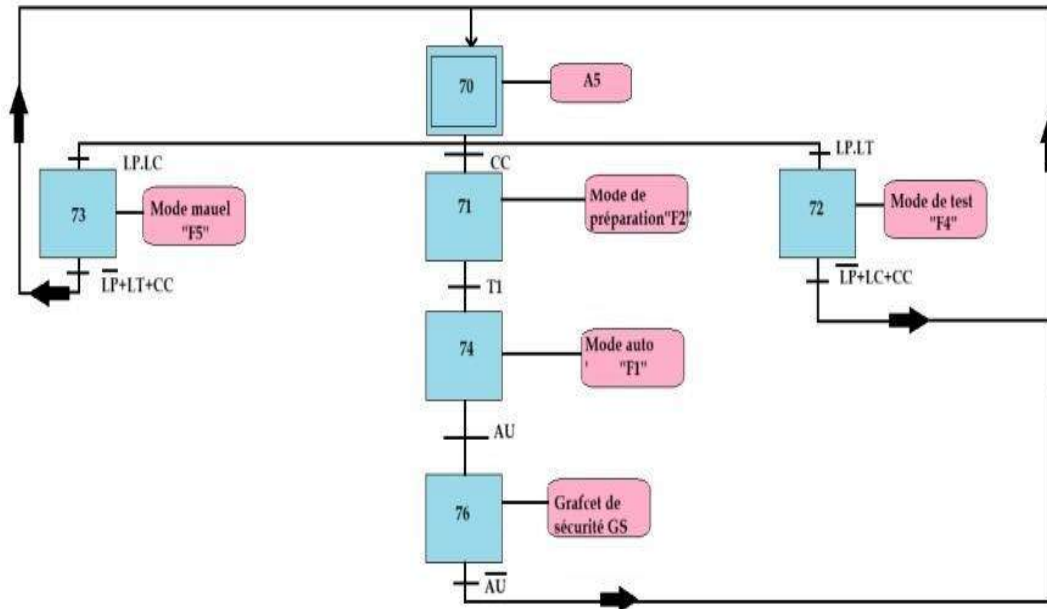


Figure 4.4 : Grafctet général du système de graissage

• Grafctet de Préparation :

Le mode de préparation a un deux grafctets un grafctet pour le système A et l'autre pour le système B. Ses variables d'entrées et de sortie sont fournis dans les tableaux 4.2 et 4.3 respectivement.

Les variables d'entrée:

Variable		Fonction	L'adresse dans le STEP 7	
MF		Moteur four marche	E5.1	
AU (Q1)		Arrêt d'urgence active	E1.3	
P		Pression de l'air>5bar	E5.0	
<u>H3</u>	<u>H6</u>	Le système est bien A / B	A0.7	A1.2
PBA	PBB	Bouton marche du système	E3.7	E4.0
	B1E/B2E	Capteur d'indication vide	E0.2/E0.3	E3.3/E3.5
A1E/A2E				
A1F/A2F	B1F/B2F	Capteur d'indication plein	E0.0/E0.1	E3.2/E3.4

PA	PB	Pression dans le distributeur	E0.2	E2.5
----	----	-------------------------------	------	------

Tableau 4.2: Variables d'entrée

Les variables de sortie

Variable		Fonction	L'adresse dans le STEP7	
KMA	KMB	Les pompes de graisse marche	A3.0	A3.1
NKMA	NKMB	Les pompes de graisse stop	A4.0	A4.1
LAN	LBN	Les Vannes d'air ouver	A3.2	A3.3
NLAN	NBLAN	Les Vannes d'air fermé	A4.2	A4.3

Tableau4.3: Variables de sorties

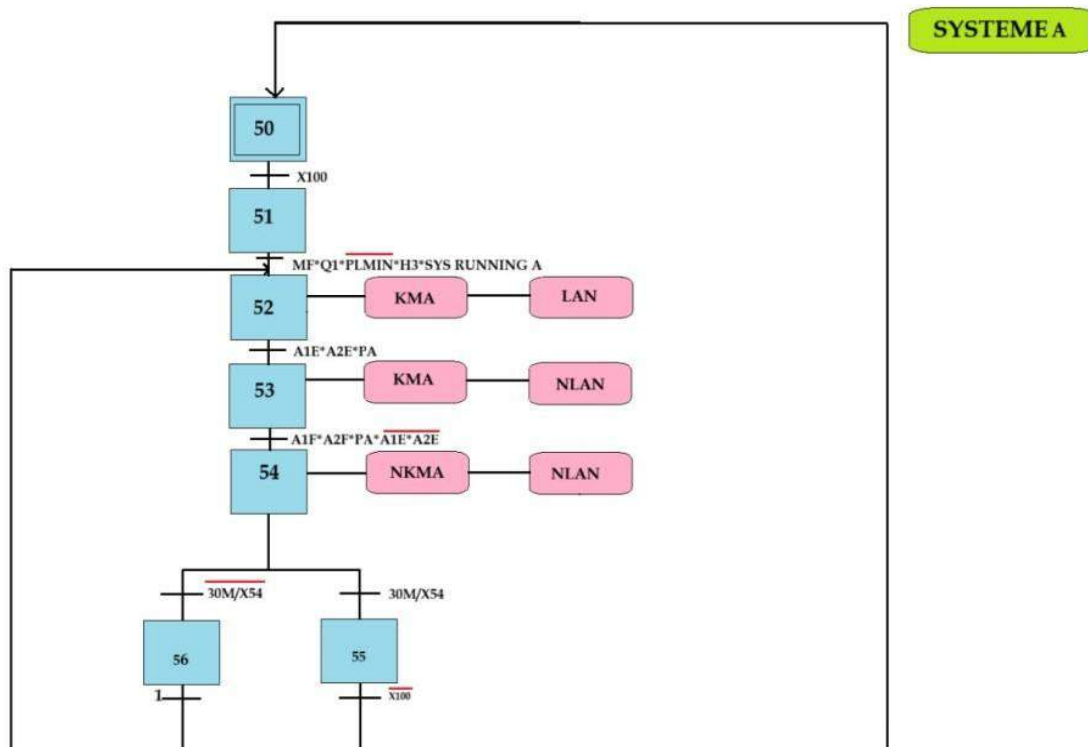


Figure 4.5 : Grafcet de préparation

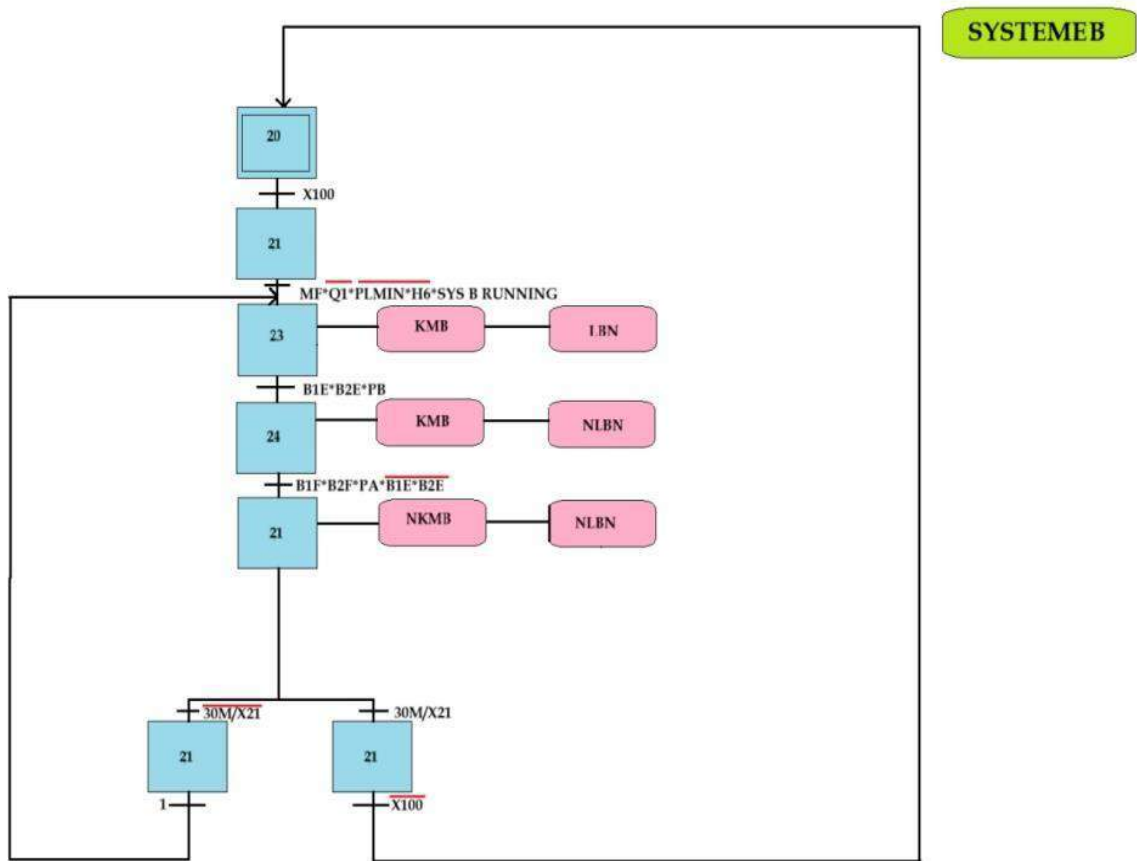


Figure 4.6 : Grafctet de préparation B

- **Grafctet mode automatique :** est illustré sur la figure 4.7

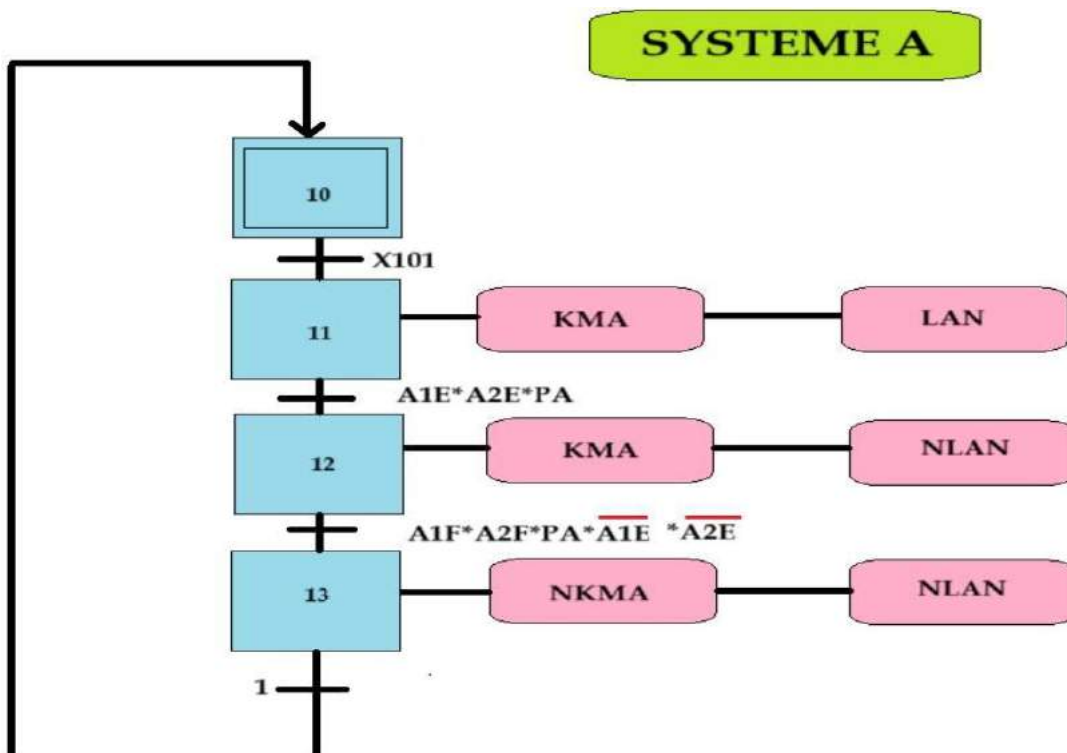


Figure 4.7 : Grafcet de mode automatique A

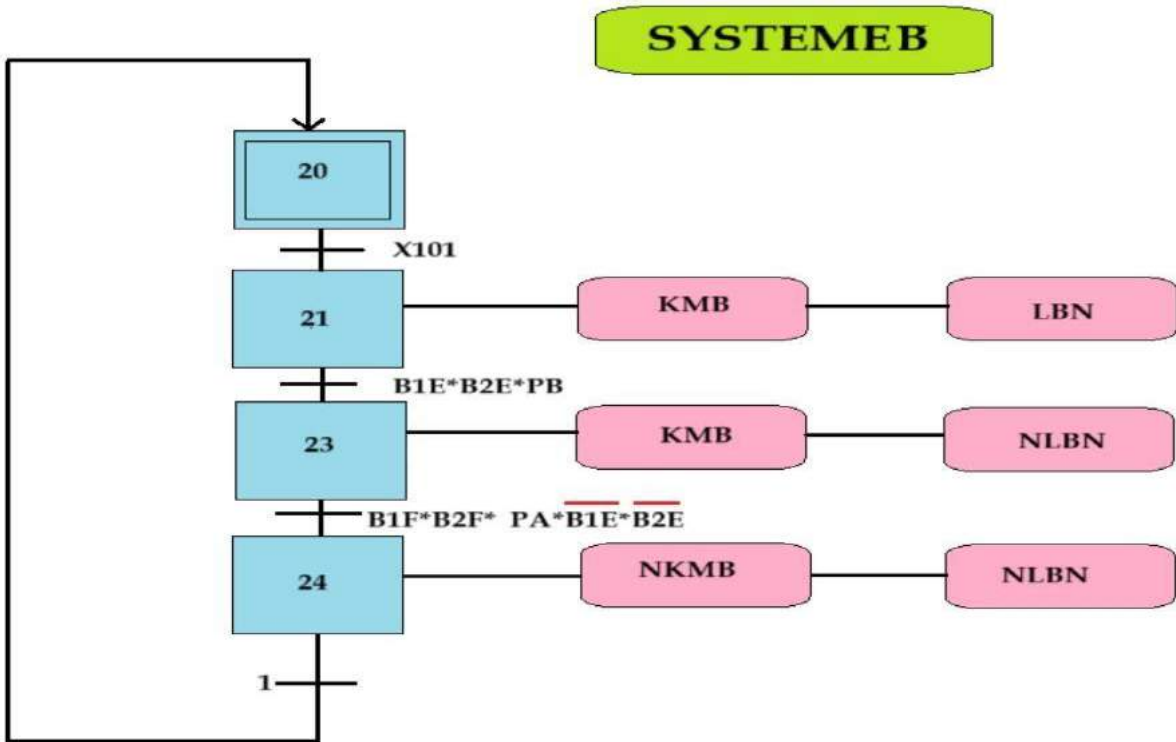


Figure 4.8 : Grafcet de mode Automatique B

Le comptage de 8 fois pour système A et une fois pour système B programmé dans l'FB1 dans le STEP7.

- **Grafcet mode manuel :** (cycle par cycle) est représenté sur la figure 4.9

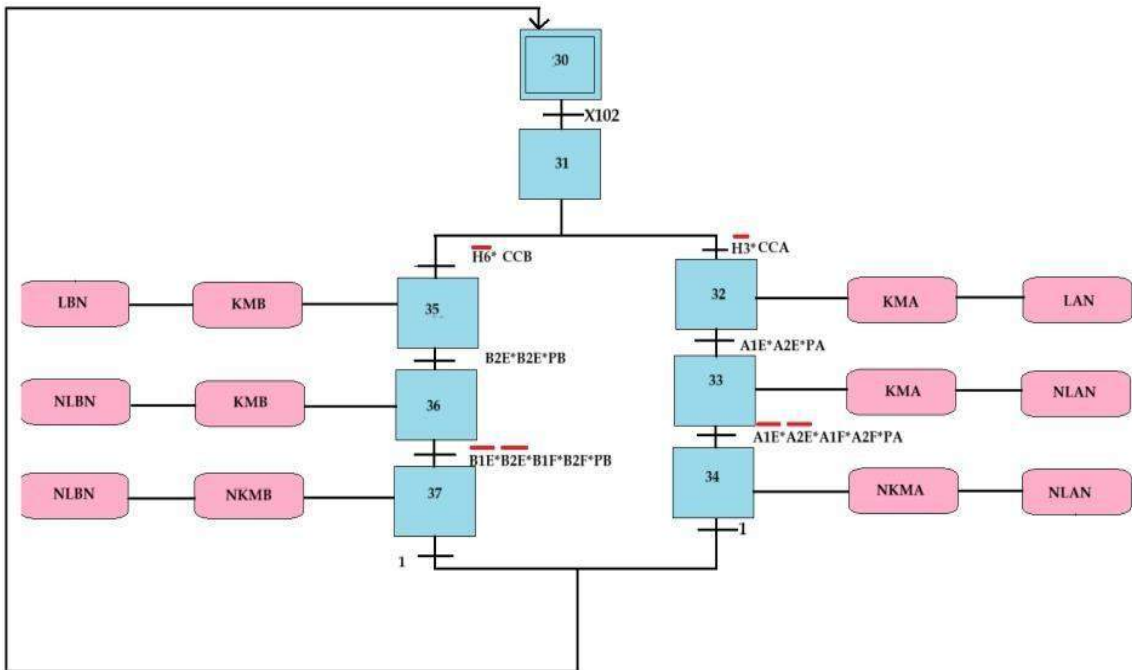


Figure 4.9 : Grafcet de mode MANUEL A ET B

Grafcet mode de test est donné sur la figure 4.10

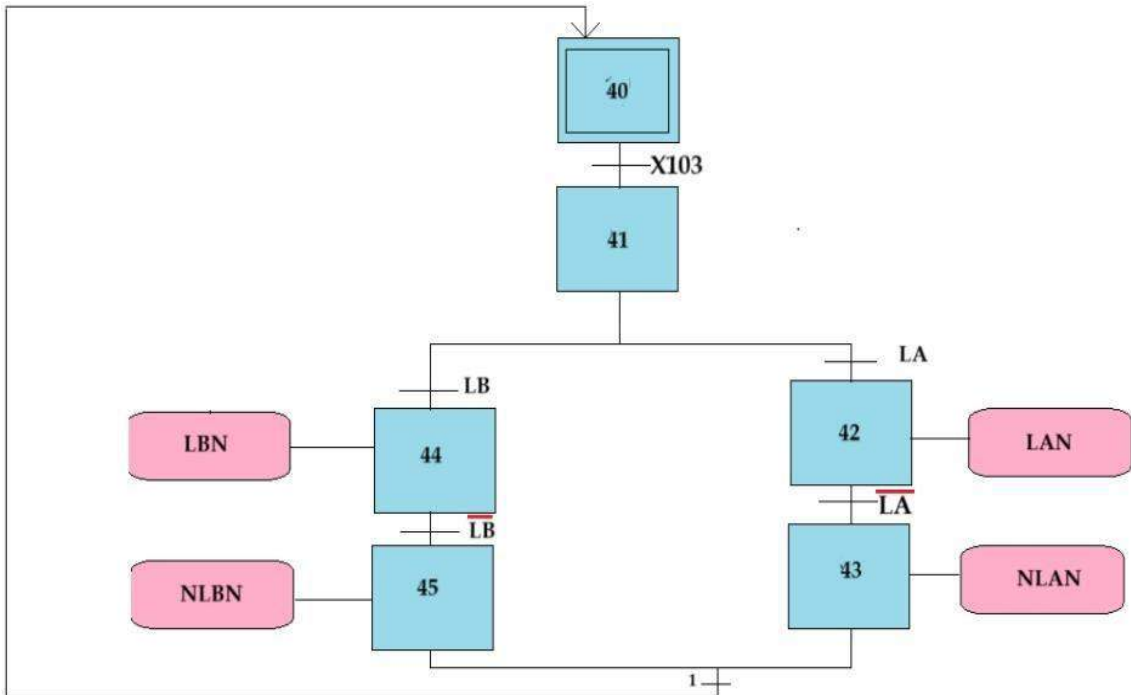


Figure 4.10 : Grafcet de mode Test

• Grafcet de sécurité est illustré sur la figure 4.11

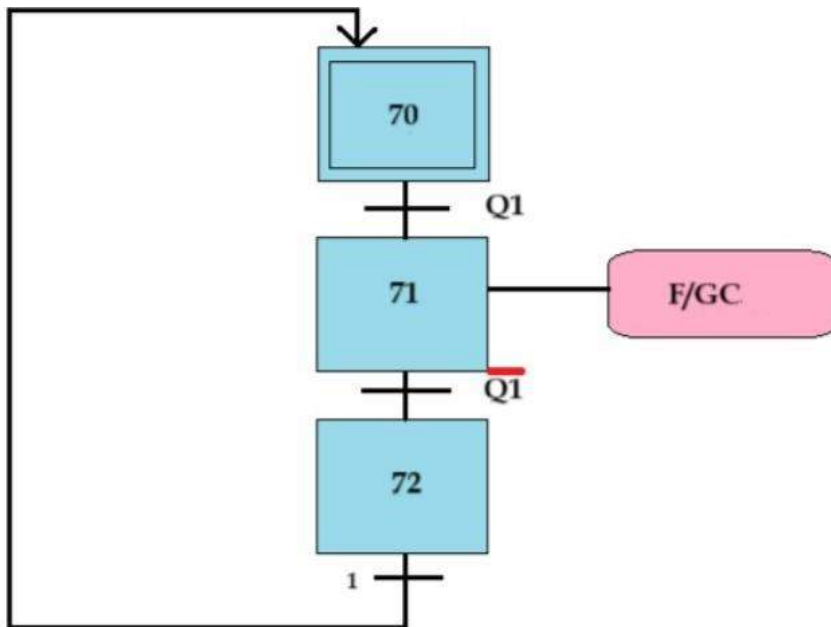


Figure 4.11 : Grafcet de sécurité

IV.4 Programmation dans STEP7 :

IV.4.1 Configuration matérielle :

Notre projet contient la description complète de l'automatisme. Il comporte donc deux grande parties : la description du matériel, et la description du fonctionnement.

Le matériel utilisé par l'installation existante

- Insertion une station SIMATIC 300.
- RACK 300.
- On sélection une CPU 313 C : dans cette CPU les adresse d'entrées/sorties des modules peuvent être paramétrées.
- Module d'entrée/sortie TOR DI24/DO16 pour augmenter les entrées et les sorties dans le Module de comptage pour faire les calculs nécessaire.

La figure 4.12 représente la configuration de ces matériels (hardware configuration)

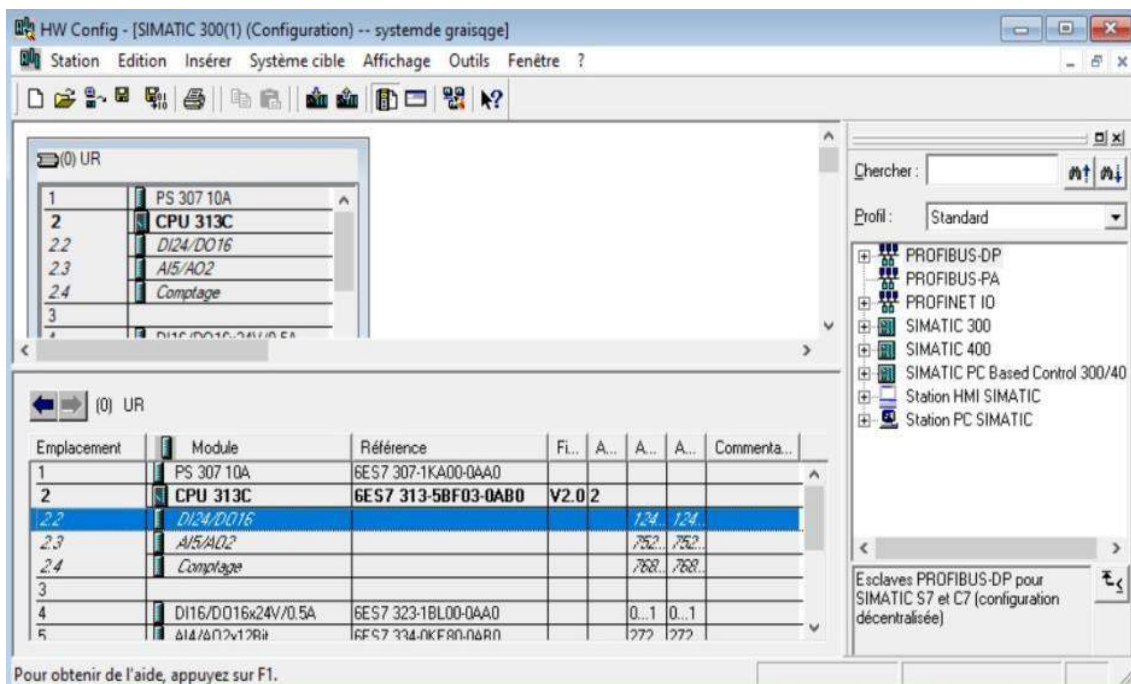


Figure 4.12: Configuration de projet (hardware configuration)

Une fois tout le matériel est préparés, nous avons commencé à établir et préparé le logiciel. Le programme est constitué d'une liste de fonctions et blocs de mémoires pour le bon fonctionnement du système. Le bloc d'organisation (OB1) contient les différentes parties du programme programmé en langage LADDER, et les blocs fonctionnels (FB) contiennent les différents modes de ce système programmé par le grafset du STEP7.

La figure 4.13 représente les blocs de programme dans STEP7.

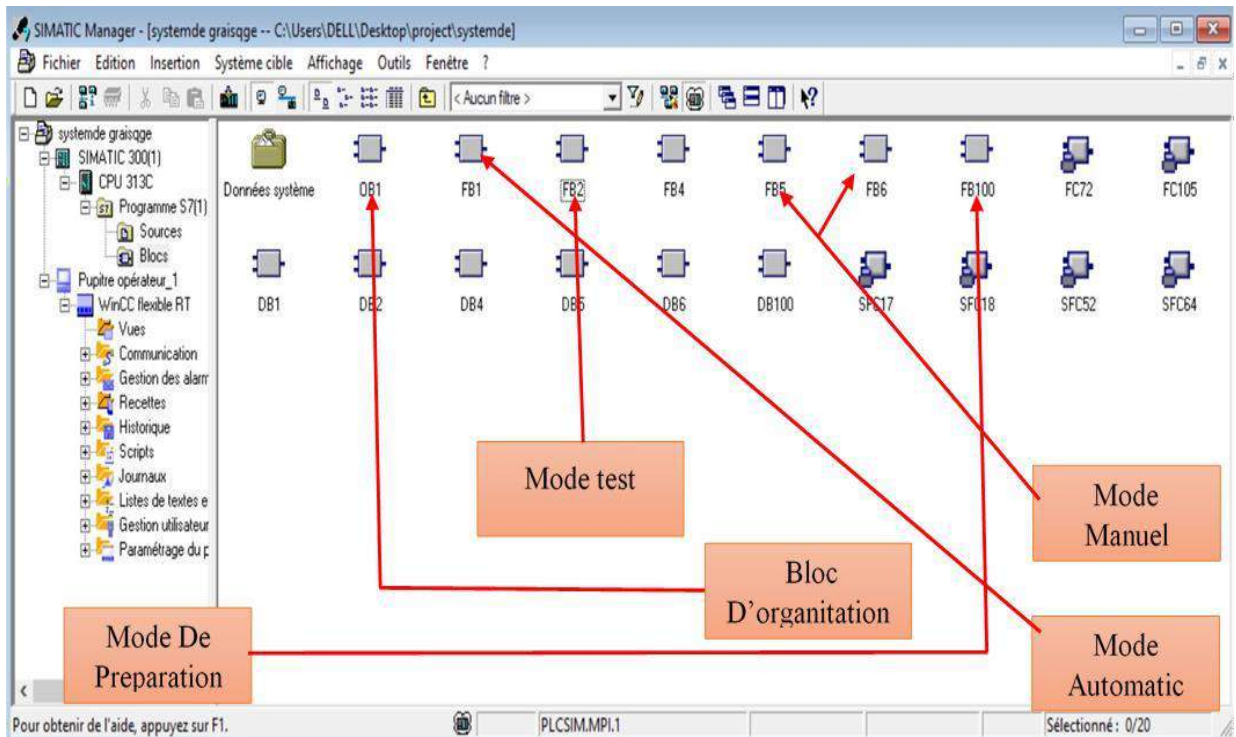


Figure 4.13:Les blocs de programme dans STEP7.

Chaque FB a un bloc de mémoire DB.

IV.4.2 Le tableau de mnémonique

Le programme sera plus facile à lire si on attribue des noms symboliques aux adresses des modules et blocs. Pour cela, il faut définir des mnémoniques dans une table de mnémonique, figure 4.14.

Etat	Mnémonique	Opérande	Type de d	Commentaire
1	415	A 400.5	BOOL	8 cm lubrifiant
2	416	A 400.4	BOOL	5 cm lubrifiant
3	417	A 400.3	BOOL	3.15 cm lubrifiant
4	420	A 400.2	BOOL	2 cm lubrifiant
5	421	A 400.0	BOOL	1.25 cm lubrifiant
6	422	A 400.1	BOOL	16 cm lubrifiant
7	A1E	E 0.2	BOOL	NUBILISATEUR A1 VIDE
8	A1F	E 0.0	BOOL	NUBILISATEUR A1 PLEIN
9	A2E	E 0.3	BOOL	NUBILISATEUR A2 VIDE
1	A2F	E 0.1	BOOL	NUBILISATEUR A2 PLEIN
1	ALARME H18	MW 6	WORD	LAMPE SYS RUNNING
1	ALARME H19	MW 7	WORD	LAMPE POWER ON
1	ALARME H2	MW 1	WORD	LAMPE BARELL A VIDE
1	ALARME H3	MW 2	WORD	LAMPE DEFAULT A
1	ALARME H5	MW 3	WORD	LAMPE LBN
1	ALARME H6	MW 4	WORD	LAMPE BAREEL B VIDE
1	ALARME H9	MW 5	WORD	LAMPE DEFAULT B
1	AMIN	E 0.4	BOOL	BARELL A VIDE

Figure 4.14: Edition de mnémonique

Une fois les mnémoniques et les blocs déclarés, on est prêt pour écrire le programme. On a créé le programme par langage graph dans les FB, puis le programme principal dans OB1 par langage contact dans des réseaux, chaque réseau présente une séquence.

- Le FB1 contient le sous-programme pour le mode de Automatique du système A et B, figure 4.15

Pour exécuter le mode automatique il faut basculer le sélecteur s4 vers position aut sur l'armoire de contrôle.

Pour simuler le graph (mode automatique), des conditions doivent être remplies sur le plcsim :

(M101.0) : le sélecteur s4 dans la position aut

PA : pressostat de la graisse

A1F, A2F : capteurs des nébuliseurs full (plein) de la partie A

AMIN : défaut sur le barrel de pompe A (barrel A vide)

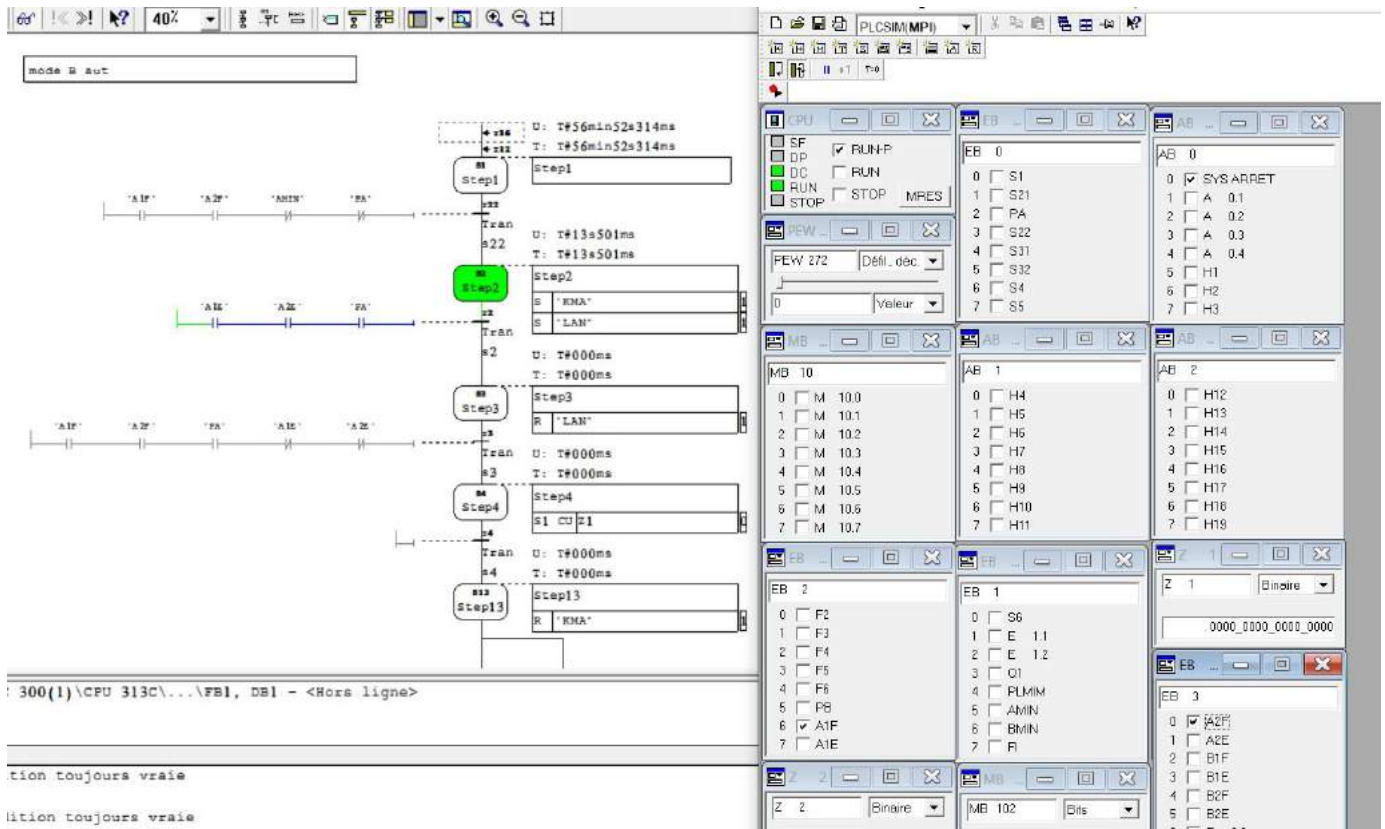


Figure 4.15: La fonction FB1

- Le FB5 contient le sous-programme pour le mode de Manuel du système A, et le FB6 contient le sous-programme pour le mode de Manuel du système B, figure 4.16.

Pour exécuter le mode manuel il faut basculer le sélecteur s4 de l'armoire de contrôle vers la position local (manuel)

Pour simuler le graph (mode manuel), des conditions doivent être remplies sur le plcsim :

PBA : impulsion local de la partie A

(M102.0) : Sélecteur s4 sur la position man

H3 : défaut A

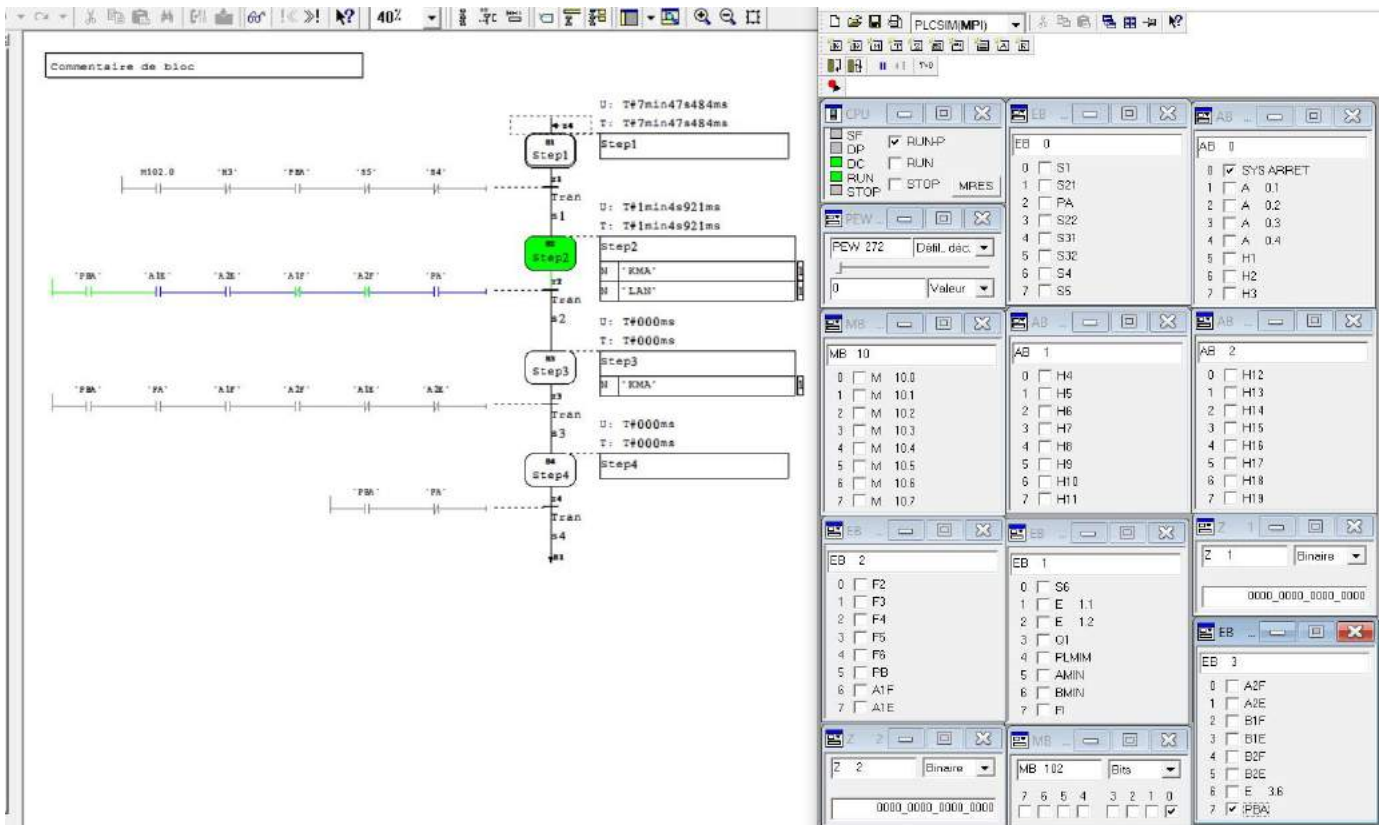


Figure 4.16 : La fonction FB5

- Le FB4 contient le sous-programme pour le mode test.
 - Le FB100 contient le sous-programme pour le mode préparation.
 - Le FB2 contient le sous-programme pour les différents défauts dans les deux systèmes A et B.
- OB1 comporte le programme général du système de graissage (figure 4.17).

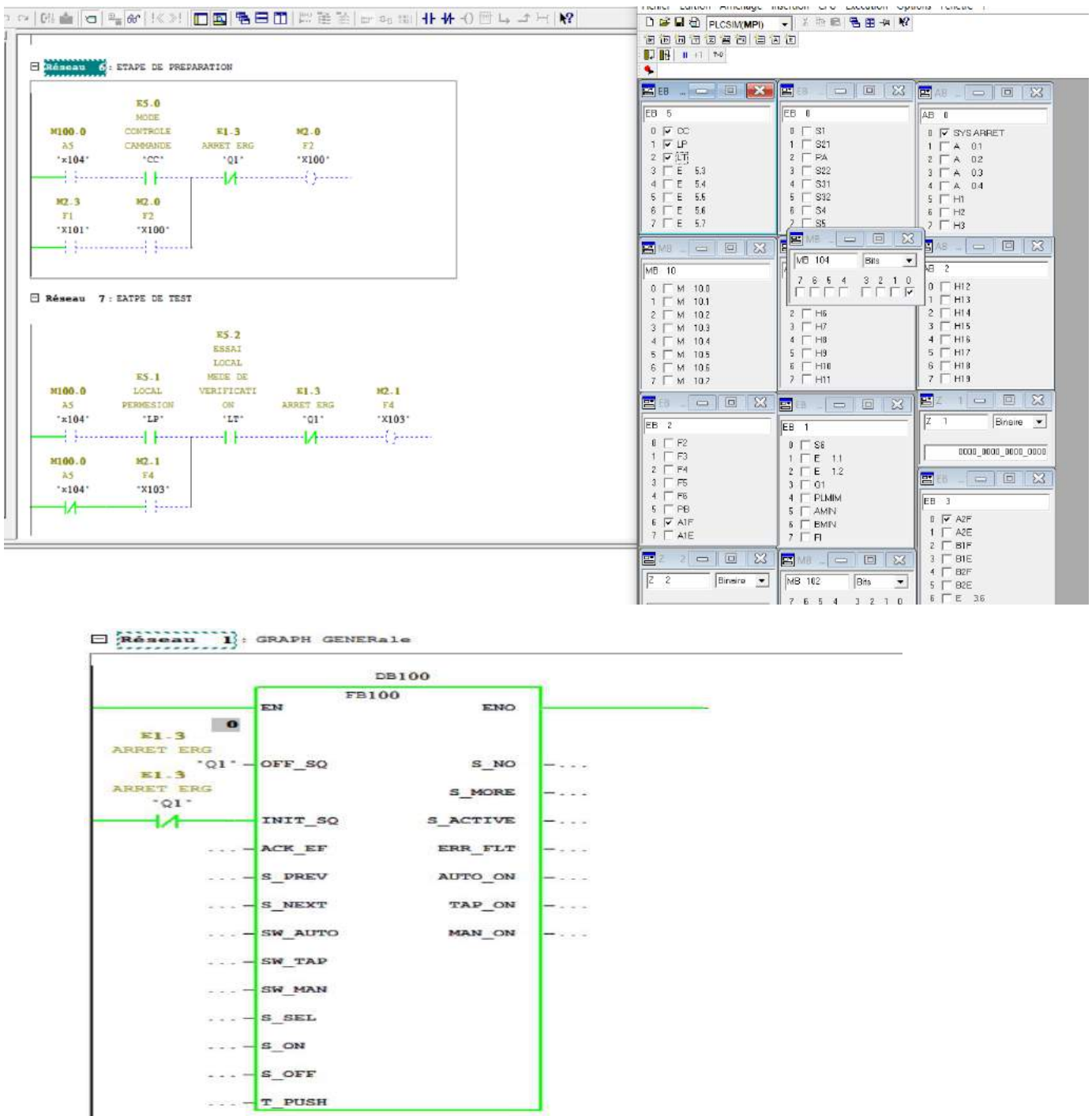


Figure 4.17 : Le programme dans OB1

IV.5 Création de station HMI :

Nous avons choisi un pupitre SIEMENCE MP 277 10 '' Touch , ce pupitre ce représenté par la figure4.18:

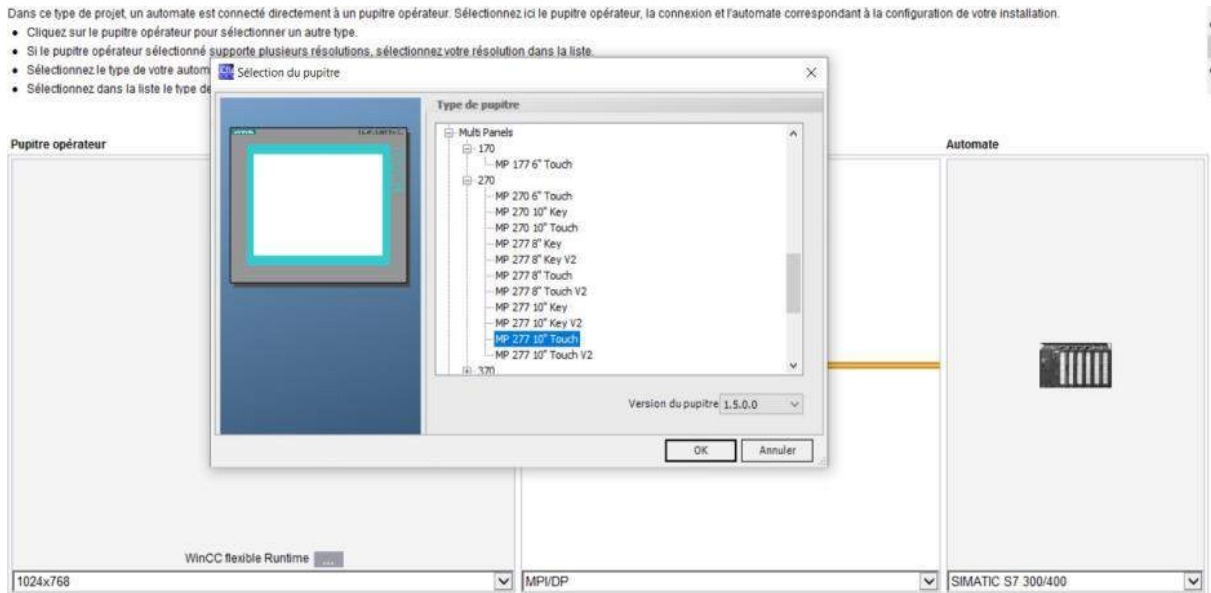


Figure 4.18: Pupitre d’HMI

Après le choix de pupitre, nous avons établi une liaison entre le projet WINCC et le programme STEP7 (figure 4.19 et figure 4.20)

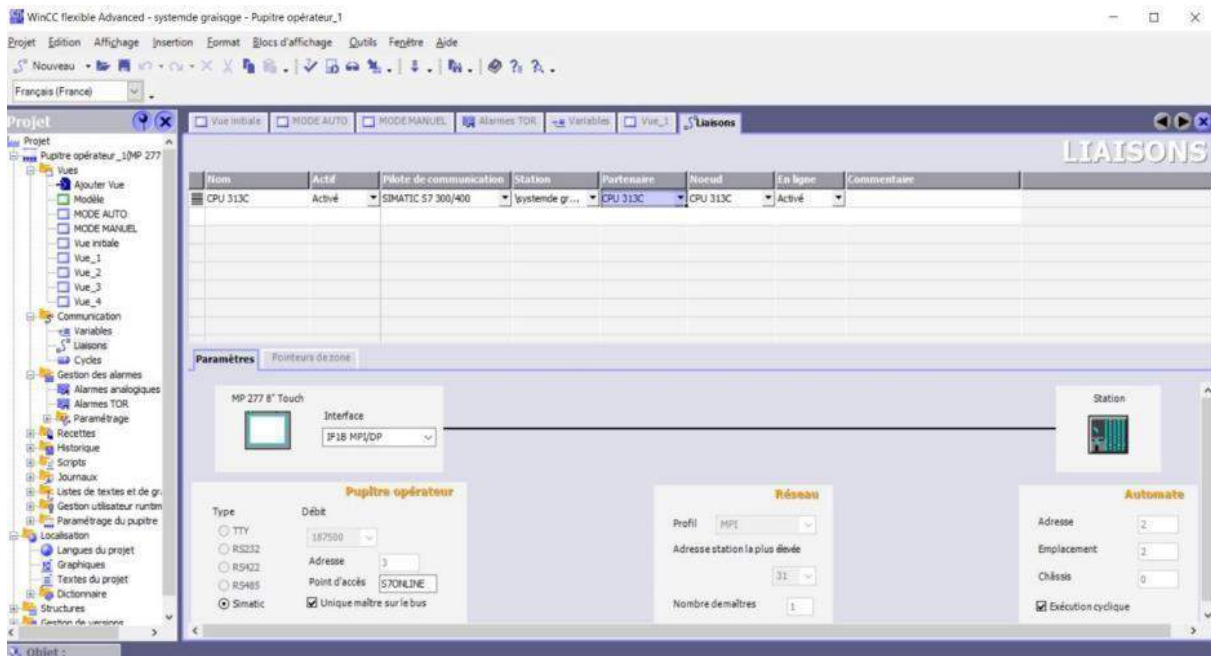


Figure 4.19 : Liaison entre interface et l’automate

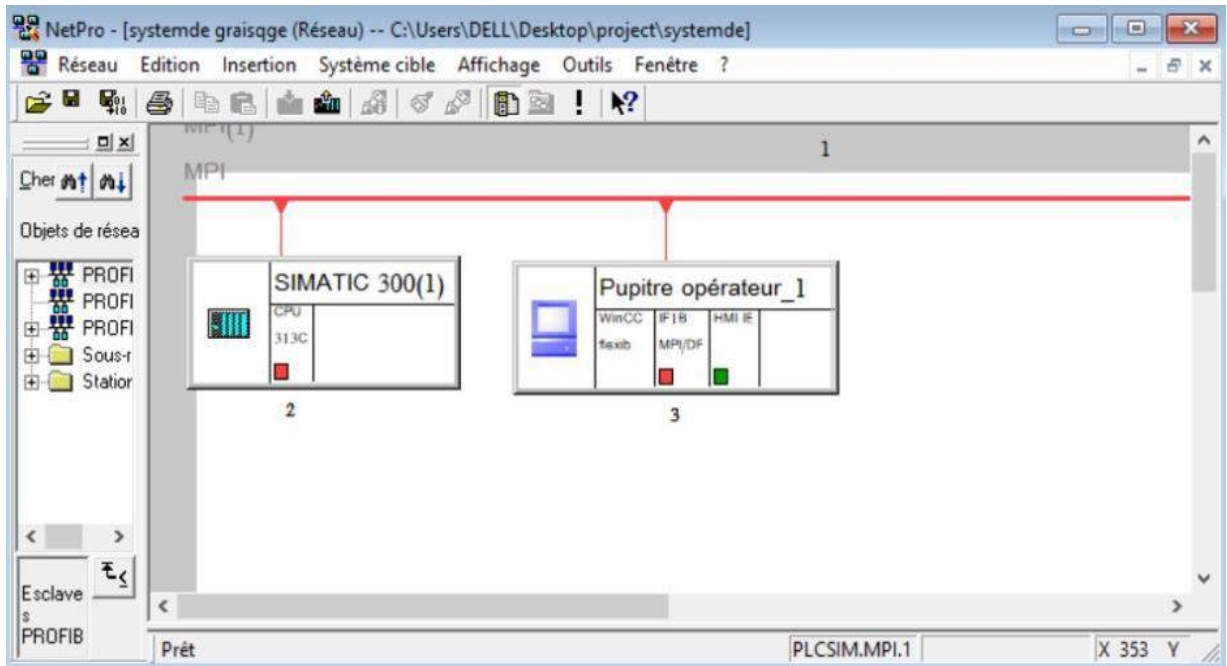


Figure 4.20: Liaison MPI entre pupitre et station SIMATIC (l'intégration)

IV.5.1 Déclaration des variables :

On utilise les variables pour l'échange des données entre le pupitre et l'automate (S7- PLC Sim), figure 4.21.

VARIABLES									
Nom	Nom d'affichage	Connexion	Type de données	Min.	Adresse	Éléments du la...	Cycle d'acq...	Commentaire	Archiver de
H16		CPU 313C	Bool		H16 Q 1.7	1	1 s	LAMPE BF	< indéfini >
H13		CPU 313C	Bool		H13 Q 1.4	1	1 s	LAMPE AE	< indéfini >
ALARME H2		CPU 313C	Word		<in... DB 1 DBW 0	1	1 s	LAMPE BARELL A VIDE	< indéfini >
S4_2		CPU 313C	Bool		S4_2 I 2.0	1	1 s	SELECTEUR POSITION MANUEL	< indéfini >
ALARME H9		CPU 313C	Word		<in... DB 1 DBW 0	1	1 s	LAMPE DEFAULT B	< indéfini >
PB		CPU 313C	Bool		PB I 1.2	1	1 s	PRESSION DANS LES NUB B	< indéfini >
AUTO HMI A		CPU 313C	Bool		AU... M 201.0	1	1 s		< indéfini >
P		CPU 313C	Bool		P I 5.0	1	1 s	PRESSION D'AIR > SBAR	< indéfini >
LEB		CPU 313C	Bool		LEB Q 2.4	1	1 s	VALVE LEB	< indéfini >
PUMN		CPU 313C	Bool		PUMN I 1.5	1	1 s	PRESSION BAS	< indéfini >
ALARME H3		CPU 313C	Word		<in... DB 1 DBW 0	1	1 s	LAMPE DEFAULT A	< indéfini >
AUTO HMI B		CPU 313C	Bool		AU... M 201.1	1	1 s		< indéfini >
Variable_1		<Variable interne >	Bool		<in... <Pas d'adresse >	1	1 s		< indéfini >
KMA		CPU 313C	Bool		KMA Q 2.5	1	1 s	POMPE A	< indéfini >
LAN		CPU 313C	Bool		LAN Q 2.3	1	1 s	VALVE LAN	< indéfini >
PA		CPU 313C	Bool		PA I 1.1	1	1 s	PRESSION DANS LES NUB A	< indéfini >
PBB		CPU 313C	Bool		PBB I 1.4	1	100 ms	IMPULSE LOCALE B	< indéfini >
H17		CPU 313C	Bool		H17 Q 2.0	1	100 ms	LAMPE BE	< indéfini >
A2E		CPU 313C	Bool		A2E I 0.3	1	100 ms	NUBILISATEUR A2 VIDE	< indéfini >
S4_1		CPU 313C	Bool		S4_1 I 1.7	1	100 ms	SELECTEUR POSITION AUTOMATIC	< indéfini >
B1E		CPU 313C	Bool		B1E I 0.7	1	100 ms	NUBILISATEUR B1 VIDE	< indéfini >
A2F		CPU 313C	Bool		A2F I 0.1	1	100 ms	NUBILISATEUR A2 PLEIN	< indéfini >
KMB		CPU 313C	Bool		KMB Q 2.6	1	100 ms	POMPE B	< indéfini >
NEVEAU DE GR...		CPU 313C	Real		NEV... MD 51	1	100 ms		< indéfini >
B2E		CPU 313C	Bool		B2E I 1.0	1	100 ms	NUBILISATEUR B1 VIDE	< indéfini >
NEVEAU DE GR...		CPU 313C	Real		NEV... MD 50	1	100 ms	LE	< indéfini >
A1F		CPU 313C	Bool		A1F I 0.0	1	100 ms	NIBILISATEUR A1 PLEIN	< indéfini >

Figure 4.21 : Les variables de notre application dans le WINCC

IV.5.2 Création de vue :

Pour la gestion de notre projet on suit les étapes suivantes :

- Créé une vue initiale pour l'interface principal de l'HMI qui a permet le passage d'une Vue a une autre, figure 4.22



Figure 4.22: Vue initial

- ♦ Une vue nommée « Mode Manuel », pour sélectionne le mode de fonctionnement du système manuel, figure 4.2.
- ♦ Une vue nommée « mode Automatique », pour sélectionne le mode de fonctionnement du système automatique, figure 4.23

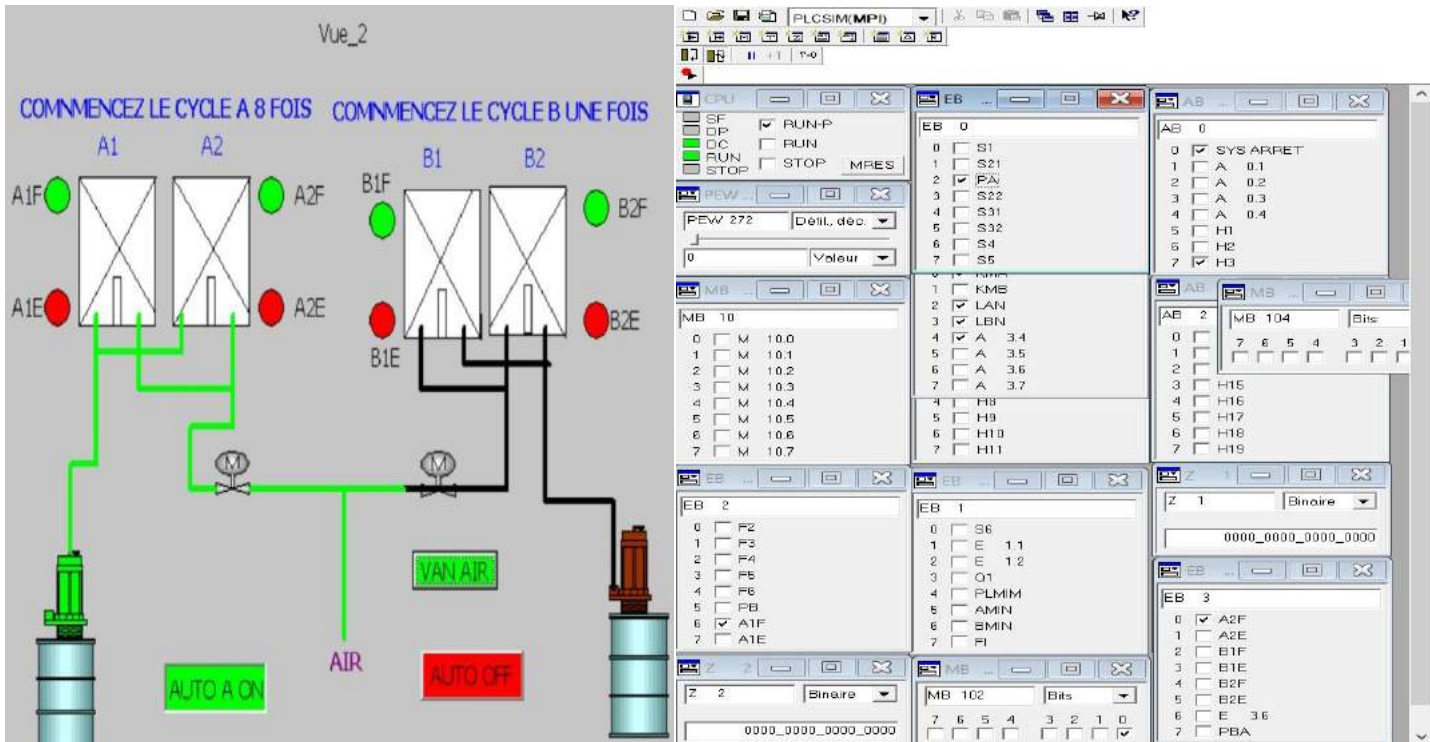


Figure 4.23: Mode Automatique

- ♦ Une vue nommée « alarme », pour connaître le type de défaut dans le dysfonctionnement du système alarme 1 pour les avertissements et alarme 2 pour les erreurs, figure 4.24.

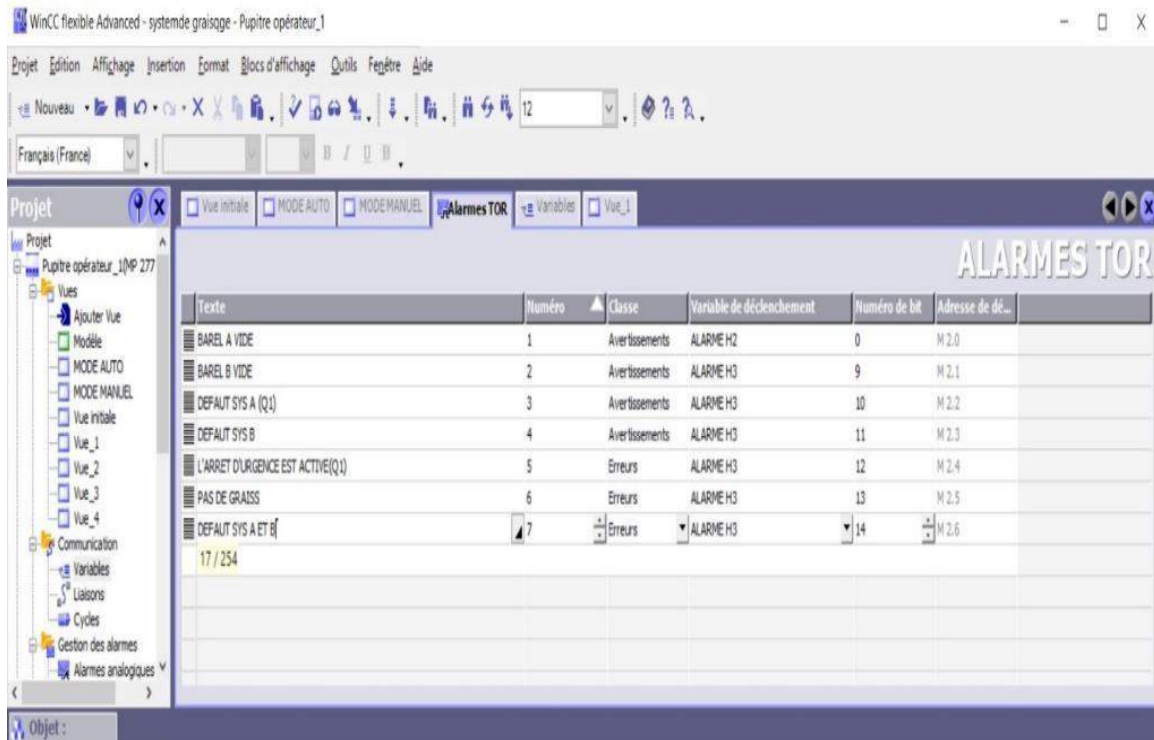


Figure 4.24: Alarme TOR (tous ou rien)

- ♦ Une vue nommée « définir valeur », donne l'accès à l'opérateur ou l'administrateur pour saisies les données du système, figure 4.25

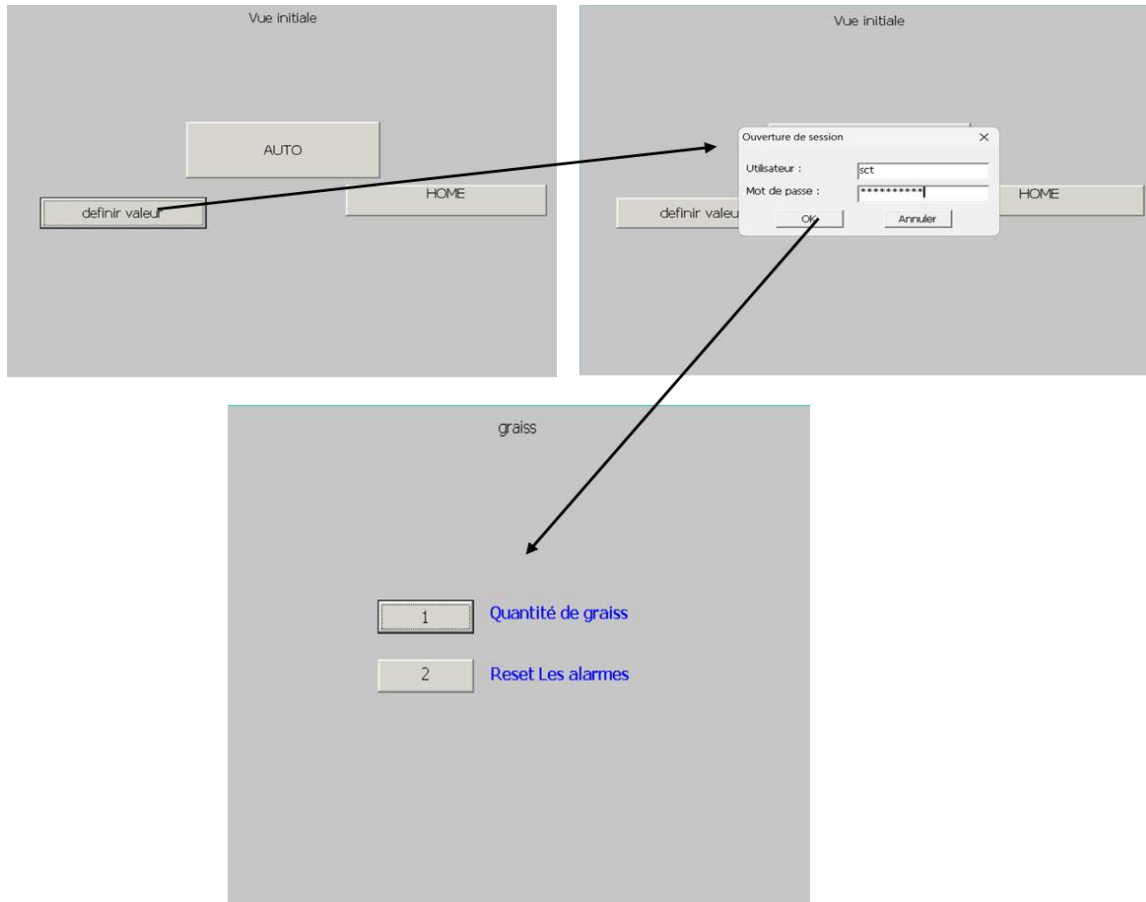


Figure 4.25: Vue définir valeur

IV.5.3 La simulation de projet à l'aide de WINCC flexible



Figure 4.26: La simulation d'HMI

Lorsqu'on démarre tout le programme, on peut superviser le système de graissage figure 4.27

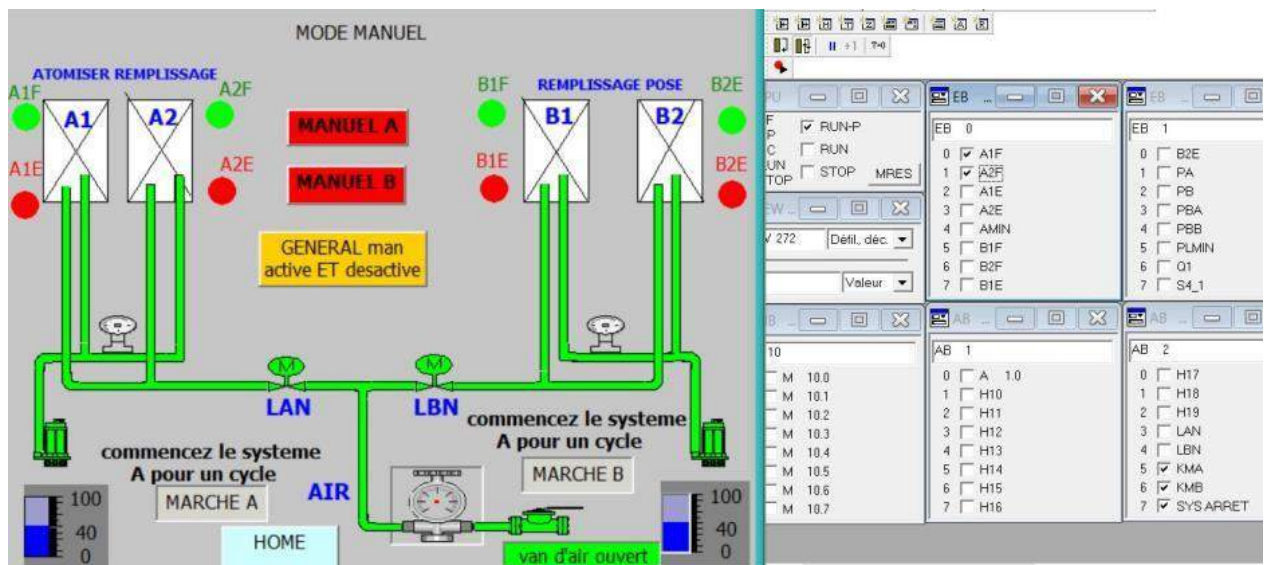


Figure 4.27 : La supervision du système de graissage

IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons introduit notre système en réponse à un cahier des charges spécifique. Nous avons ensuite traduit ce cahier des charges en langage Grafact afin de simplifier la création du programme dans STEP7. De plus, nous avons établi des règles d'animation pour l'interface graphique du système de graissage sous WINCC. Cette interface permet la liaison entre PLCSIM et WINCC, offrant ainsi une intégration fluide et efficace entre les différents composants du système.

CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE :

L'automatisation du système de graissage d'un four rotatif représente une étape cruciale dans le fonctionnement efficace d'une cimenterie. En effet, le bon maintien de la friction lors de la rotation du four est essentiel pour son bon fonctionnement, étant donné que le four est l'unité centrale de l'usine. Ce choix d'application s'inscrit dans notre volonté d'approfondir nos connaissances théoriques en automatisation industrielle.

L'objectif principal de ce projet était d'automatiser le système de graissage tout en mettant en place une supervision, une pratique courante dans l'industrie. Pour cela, nous avons opté pour l'automate S7-300, programmé via le logiciel STEP7, et avons utilisé le simulateur PLCsim pour tester notre programme.

Concernant la supervision de notre application, nous avons fait appel au logiciel WINCC. Ce choix s'est justifié par les nombreux avantages qu'offre WINCC, notamment une supervision en temps réel et la possibilité de créer des interfaces graphiques intuitives et représentatives de l'installation supervisée.

À la conclusion de ce projet, nous avons réussi à développer le programme pour notre exemple d'application, à le tester via PLCSim, et à concevoir une interface graphique convaincante grâce à WINCC. Cette expérience nous a permis de plonger de manière concrète dans le domaine industriel. Elle nous a offert une occasion précieuse d'explorer ce monde complexe en constante évolution, comprenant les automates industriels, les machines, les capteurs, ainsi que les interfaces de supervision. De plus, elle nous a permis de nous familiariser avec la programmation des automates S7-300, la simulation via PLC Sim, et l'utilisation du logiciel de supervision WINCC.



REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Société de l'Industrie Métallique et de Transformation de l'Électroménager (SIMENTRE). Rapport Annuel 2022. Tébessa, Algérie, 2022.
- [2] Bensalem, Ali. "L'impact économique de la SIMENTRE à Tébessa." Journal Algérien de l'Industrie, édition de juillet 2021
- [3] Karim, Nadia. "La Stratégie de Développement Durable de la SIMENTRE." Revue Algérienne de Management et de Développement Durable, vol. 15, no. 2, 2021.
- [4] Larbi, Ahmed. "Projets et Innovations de la SIMENTRE." Présentation lors de la Conférence Industrielle de Tébessa, Tébessa, Algérie, mars 2023.
- [5] Département Stratégie de la SIMENTRE. Plan Stratégique de Développement 2023-2028. Tébessa, Algérie, 2023.
- [6] Département Technique de la SIMENTRE. Analyse de la Performance des Processus de Production. Tébessa, Algérie, 2022.
- [7] Larbi, A. (2023, mars). "Projets et Innovations de la SIMENTRE." Présenté lors de la Conférence Industrielle de Tébessa, Tébessa, Algérie.
Documentation apporté de la société.
- [8] Karim, N. (2022, octobre). "Stratégies de Développement Durable dans l'Industrie Métallurgique." Présenté lors du Séminaire sur le Développement Durable dans l'Industrie, Université de Tébessa.
- [9] Ministère de l'Industrie et des Mines. (s.d.). Rapport sur l'état de l'industrie métallurgique en Algérie 2022.
- [10] Karim, N. (2021). La Stratégie de Développement Durable de la SIMENTRE. Revue Algérienne de Management et de Développement Durable, 15.
- [11] Ait Brahim, S. (2022). Impact des stratégies de développement durable sur la performance des entreprises : Étude de cas de la SIMENTRE de Tébessa. Mémoire de Master, Université de Tébessa.
- [12] Belkacem, M. (2021). Optimisation des processus de production dans les industries métalliques : Application à la SIMENTRE. Thèse de Doctorat, Université de Constantine.
- [13] Documentation apporté de la société.
- [14] Groupe GICA. (n.d.). Présentation du Groupe. Retrieved from <https://www.groupegica.dz/>
- [15] Ollivier, J.-P. (2020). Matériaux de construction: une approche scientifique et technique. Editions Techniques

- [16] Département Stratégie de la SIMENTRE. Plan Stratégique de Développement 2023-2028. Tébessa, Algérie, 2023.
- [17] Département Stratégie de la SIMENTRE. Plan Stratégique de Développement 2023-2028. Tébessa, Algérie, 2023.
- [18] Département Stratégie de la SIMENTRE. Plan Stratégique de Développement 2023-2028. Tébessa, Algérie, 2023.
- [19] Eurobaut. (n.d.). Robot automate industriel : automates Siemens. [Site web]. <https://www.eurobaut.com/robot-automate-industriel/automates/siemens/>
- [20] Distrelec. (n.d.). Le rôle des automates dans l'IoT industriel. [Site web]. <https://knowhow.distrelec.com/fr/automatisation/le-role-des-automates-dans-liot-industriel/#:~:text=Pour%20remplir%20ces%20fonctions%2C%20chaque,syst%C3%A8me%20m%C3%A9canique%20ou%20%C3%A9lectrique%20connect%C3%A9>
- [21] CH4-Siemens-2021. [Document Scribd]. <https://fr.scribd.com/document/688842333/CH4-Siemens-2021>
- [22] Siemens. S7-300 IHB. [Manuel technique]. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/415/15390415/att_41927/v1/S7-300_IHB_f.pdf
- [23] Systèmes Automatisés pour les Automates Programmables. [Document PDF]. https://elearning.univmsila.dz/moodle/pluginfile.php/741583/mod_resource/content/1/Syst%C3%A8mes%20Automatis%C3%A9s%20pour%20les%20Automates%20Programmables.pdf
- [24] IPS Systèmes. (n.d.). Qu'est-ce qu'un automate programmable industriel ?. [Site web]. <https://www.ipsystemes.com/detailsqu+est+ce+qu+un+automate+programmable+industriel+772.html#:~:text=Les%20unit%C3%A9s%20centrales%20de%20traitement,sortie%20sous%20forme%20de%20signaux>
- [25] Mémoire et unité centrale : un couple dédié à l'exécution des programmes. [Site web]. <https://interstices.info/memoire-et-unite-centrale-un-couple-dedie-a-lexecution-des-programmes/#:~:text=La%20m%C3%A9moire%20centrale%20contient%20les,et%20r%C3%A9alisation%20de%20l'op%C3%A9ration>
- [26] Siemens. S7-300 Failsafe Signal Modules Hardware Manual. [Manuel technique]. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/151/19026151/att_878774/v1/s7300_failsafe_signal_modules_hardware_manual_fr-FR_fr-FR.pdf
- [27] Siemens. S7-300 FM 350-1 Operating Instructions. [Manuel technique]. https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/1086726/s7300_fm350_1_operating_instructions_fr_fr-FR.pdf
- [28] API et supervision_1. [Document PDF]. https://elearning.univmsila.dz/moodle/pluginfile.php/735230/mod_resource/content/2/API%20et%20supervision_1.pdf
- [29] PLC-City. Siemens Simatic S7-1200 Communication Modules. [Site web]. <https://www.plc-city.com/shop/fr/siemens-simatic-s7-1200-communication-modules.html>

- [30] Siemens. S7-300 Module Data Manual. [Manuel technique]. https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/8859629/s7300_module_data_manual_fr-fr_fr-FR.pdf
- [31] DirectIndustry. (n.d.). Siemens Power Supplies. [Site web]. <https://www.directindustry.fr/prod/siemens-power-supplies/product-17494-1814491.html>
- [33] Organisation Performante. (n.d.). Tout savoir sur la supervision industrielle. [Site web]. <https://www.organisation-performante.com/tout-savoir-sur-la-supervision-industrielle/#:~:text=La%20supervision%20industrielle%20sert%20%C3%A0,de%20r%C3%A9pondre%20%C3%A0%20certaines%20pr%C3%A9occupations.>
- [34] Introduction d'outils de surveillance, de diagnostic et d'aide à la décision au niveau. [Figure de recherche]. https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Ffigure%2F1-Introduction-doutils-de-surveillance-de-diagnostic-et-daide-a-la-decision-au-niveau_fig4_50193492&psig=AOvVaw1m20yqZpq6qVggoQMzkzmN&ust=1715861934709000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=2ahUKEwia9or60Y-GAxV5nCcCHYv4CTQOr4kDegQIARBW
- [35] Hazout, L. (n.d.). Pourquoi utiliser un outil de supervision pour votre. [Article LinkedIn]. <https://fr.linkedin.com/pulse/pourquoi-utiliser-un-outil-de-supervision-pour-votre-laurent-hazout#:~:text=Les%20outils%20de%20supervision%20informatique,travail%2C%20et%20d%C3%A9tectent%20les%20incidents.>
- [36] Styrel. (n.d.). Labview : Premier pas - Acquisition de données. [Site web]. <https://www.styrel.fr/fr/cours/labview-premier-pas/acquisition-de-donnees/introduction-l-acquisition-de-donnees>
- [37] Supervision. [Site web]. https://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2007/dmichau_supervision/supervision.html
- [38] Présentation et supervision d'un système de graissage à..... [Document PDF]. http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/11144/1/Pr%C3%A9sentation_et_supervision_d%E2%80%99un_syst%C3%A8me_de_graissage_%C3%A0....pdf
- [39] : G.BOUJAT- P.ANAYA, « Automatique Industrielle en 20 fiches », Fiche 11,2013
- [40] GEMMA https://www.mcours.net/cours/pdf/info/GEMMA_Guide_d_Etude_des_Modes_de_Marques_et_d_Arrets.pdf
- [41] [:http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/11144/1/Pr%C3%A9sentation_et_supervision_d%E2%80%99un_syst%C3%A8me_de_graissage_%C3%A0...pdf](http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/11144/1/Pr%C3%A9sentation_et_supervision_d%E2%80%99un_syst%C3%A8me_de_graissage_%C3%A0...pdf)

[42] :DEFINITION STEP 7

<https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/classic/basics-programming/a03-startup-fr.pdf>

[43] : LANGAGES DE PROGRAMMATION

<https://www.automation-sense.com/blog/automatisme/le-langage-ladder-pour-les-nuls.html>

[44] : <http://perso-laris.univ-angers.fr/~lagrange/TP/Initiation%20Step7.pdf.pdf>

[45] :memonique

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/107/45531107/att_91662/v1/S7pr_c.pdf

[46] C.T.JONES, « STEP7 in STEP7 », first Edition, A practical Guide to ImplementingS7-300/S7-400 Programmable Controllers, 2006.

[47] : Opération de comparaison

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/822/45523822/att_82002/v1/s7kop_c.pdf

[48] : OPTION WINCC FLEXIBLE

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/980/18656980/att_829841/v1/WinCCflexible2005_GettingStarte

[49] Mitsubishi Electric. Manuel de l'Utilisateur du FA-1 Junior. Disponible sur : Mitsubishi Electric Documentation.

[50] Webb, John W., et Ronald A. Reis. Programmable Logic Controllers: Principles and Applications. Pearson.

[51] Mitsubishi Electric. Guide de Programmation des Automates Programmables FA-1. Disponible sur : Mitsubishi Electric Programming Guides.

[52] Dunning, Gary. Introduction to Programmable Logic Controllers. Cengage Learning.

[53] Mitsubishi Electric. Manuel Technique du Contrôleur Programmable FA-1 Junior. Disponible sur : Mitsubishi Electric Technical Manuals.

[54] Parr, E. A. Programmable Controllers: An Engineer's Guide. Butterworth-Heinemann.

[55] Maillard, Jean-Claude. Automates Programmables: Théorie et Pratique. Dunod.