

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان  
Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –  
Faculté de TECHNOLOGIE

جامعة أبو بكر بلقايد  
UNIVERSITÉ DE TLEMCCEN



## THESE

Présentée pour l'obtention du grade de **DOCTORAT** 3<sup>ème</sup> Cycle

En : Génie Industriel

Spécialité : Productique

Par : HERARSI Nour EL Houda

## Sujet

Développement d'un système de contrôle et de supervision SCADA en temps réel pour un système industriel : Cas MPS 500 et AFB de FESTO

Soutenue, le 24 / 06 / 2023, devant le jury composé de :

M. A. HADJ ABDELKADER	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
N. BOUBOU	MCA	ENP Oran	Examineur 1
M. BENALLEL	MCA	Univ. Tlemcen	Examineur 2
S. M. MELIANI	Professeur	Univ. Tlemcen	Directeur de thèse
A. HASSAM	MCB	Univ. Tlemcen	Co-Directeur de thèse

**Année Universitaire : 2022-2023**

## DEDICACE

Je dédié ce modeste travail

A mon dieu **ALLAH**

Le très Haut, le très Grand,

L'Omniscient, l'Omnipotent. Le Tout Puissant, le très miséricordieux

d'avoir permis a ce travail d'aboutir à son terme.

Au **PROPHETE MOHAMED** paix et salut sur lui.

A ma famille **HERARSI**

qui n'ont jamais cessé de formuler des prieres a mon egard de me soutenir et de m'epauler pour que je puisse atteindre mes objectifs

A mes encadreurs **Mr MELIANI Sidi Mohammed** et **Mr HASSAM Ahmed** , pour tous ses efforts et pour la confiance, les conseils et l'assistance sont précieux tout au long du projet sans oublier son soutien moral qui nous grandement stimulés à aller vers l'avant.

A tous **les enseignants de l'Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen**, faculté de technologie pour leurs qualités scientifiques et pédagogiques.

A **mes enseignants de filière génie industriel**, à qui ont m'aider a ma parcours éducatifs

Sans oublier **Mr MKEDDER Mohammed El Amine**

pour sa collaboration, sa patience, son encouragement.

A tous ceux qui me sont chers a vous tous merci



**HERARSI NOUR EL HOUDA**

## REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions **ALLAH** le tout puissant de nous avoir donnés le courage et la patience nécessaires à mener ce travail à son terme.

Je tiens à remercier particulièrement mes encadrants **Mr MELIANI Sidi Mohammed** et **Mr HASSAM Ahmed** pour leurs compétences, les aides qu'ils m'ont apportées, leurs patiences et leurs encouragements. Leur regard critique m'a été très précieux pour structurer le travail et améliorer la qualité des différentes sections.

Je tiens à remercier les membres de jury **MrHadj Abdelkader Amine**, **Mme BOUBOU Naima** et **Mme BENALLEL Mounira née BENKHALED**, l'expression de mes sincères remerciements pour l'honneur qu'ils nous ont fait en prenant le temps de lire et d'évaluer ce travail.

Je dois un remerciement à tous les enseignants de **l'Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen**, **faculté de technologie** pour leurs qualités scientifiques et pédagogiques.

Pour finir, je souhaite remercier toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

## TABLE DES MATIERES

<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>i</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>v</b>
<b>NOMENCLATURE</b> .....	<b>vi</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : ENVIRONNEMENT DES SYSTEMES SCADA</b>	
1.1. Introduction .....	5
1.2. Etat de l'art du SCADA en générale .....	7
1.3. Fonctions et éléments du SCADA .....	10
1.3.1. Fonction de base du système SCADA .....	10
1.3.2. Eléments du système SCADA .....	11
1.3.2.1. Site central.....	11
1.3.2.2. RTU (Remote Terminal Unit) ou PLC.....	11
1.3.2.3. Dispositifs électroniques intelligents (IED) .....	22
1.3.2.5. MTU (Master Terminal Unit).....	29
1.3.2.6. Interfaces graphiques du système SCADA .....	30
1.4. Système de communication .....	31
1.4.1. Approche interrogation (Maitre-esclave).....	31
1.4.2. Approche paire à paire (peer to peer).....	31
1.4.3. Protocoles employés dans un environnement SCADA.....	32
1.4.3.1. Protocole Modbus .....	32
1.4.3.2. Protocole DNP3.....	32
1.4.3.3. Protocole PROFIBUS .....	33
1.4.3.4. Protocole Ethernet .....	34
1.4.3.5. Réseau Internet (PROFINET) .....	36
1.4.3.6. Réseau via Bus CAN (Controller Area Network) .....	37
1.4.3.7. Réseau via Bus ASI.....	38
1.5. Architecture des systèmes SCADA .....	39
1.5.1. Systèmes SCADA précoces ou monolithiques .....	40
1.5.2. Systèmes SCADA Distribués .....	40
1.5.3. Systèmes SCADA en réseau .....	41
1.5.4. Internet des objets .....	42
1.6. Industrie 4.0.....	43
1.6.1. Définition .....	43
1.6.2. Caractéristiques de l'industrie 4.0.....	44
1.6.3. Système cyber-physique (CPS).....	45
1.6.4. Internet des objets (IoT).....	45
1.6.5. Internet des services (IoS).....	45
1.6.6. Big Data et Analytics .....	46
1.6.7. Robots autonomes.....	46
1.6.8. Réalité augmentée.....	46
1.6.9. Fabrication additive .....	46
1.6.10. Cloud (CM).....	47
1.6.11. Simulation.....	47
1.7. Interface Homme Machine (HMI).....	47
1.7.1. Composants IHM.....	48

## TABLE DES MATIERES

1.7.1.1. Console opérateur.....	48
1.7.1.2. Dialogue opérateur.....	49
1.7.1.3. Diagramme synoptique .....	49
1.7.1.4. Périphériques.....	49
1.7.2. Fonctionnalités du logiciel IHM.....	50
1.7.3. Connaissance de la situation .....	51
1.7.4. Filtrage intelligent des alarmes : nécessité et technique .....	52
1.7.5. Techniques de suppression des alarmes.....	52
1.7.5.1. Filtrage des alarmes par zone de responsabilité .....	53
1.7.5.2. Filtrage par priorité des points d’alarme .....	53
1.7.5.3. Suppression d'alarme programmée.....	54
1.7.5.4. Suppression des alarmes basée sur les connaissances .....	54
1.7.6. Besoins et exigences de l'opérateur.....	55
1.8. Domaine d’application du système SCADA .....	56
1.9. Avantage du système SCADA .....	57
1.10. Logiciels de supervision.....	58
1.11. Objectif et points forts de notre travail.....	58
1.11.1. Objectif principal .....	58
1.11.2. Points forts de ce travail.....	59
1.12. Conclusion.....	59
<b>CHAPITRE II : Description complète du système MPA PA du AFB et MPS 500 de FESTO</b>	
2.1 Introduction .....	61
2.2 Description du système AFB de FESTO .....	62
2.2.1. Cycle de fonctionnement et composants du systèmes AFB.....	62
2.2.2. Présentation de la station de filtration.....	63
2.2.2.1. Organigramme général de fonctionnement de la station de filtration du AFB de FESTO .....	64
2.2.2.2. Composants de la station de filtration .....	64
2.2.3. Présentation de la station de mélange .....	65
2.2.3.1. Organigramme général de fonctionnement de la station de mélange du AFB de FESTO .....	66
2.2.3.2. Composants de la station de mélange.....	66
2.2.4. Présentation de la station de réaction.....	67
2.2.4.1. Fonctionnement général de la station réacteur selon Fluid Lab .....	68
2.2.4.2. Composants de la station réacteur .....	69
2.2.5. Présentation et fonction de la station de remplissage.....	70
2.2.5.1. Organigramme général de la station de remplissage AFB de FESTO.....	71
2.2.5.2. Composants de la station de remplissage .....	71
2.3. Description du système MPS-FMS 500 .....	72
2.3.1. Vu d’ensemble sur le système .....	72
2.3.2. Station de distribution/Contrôle .....	74
2.3.2.1. Mode de fonctionnement de la sous station de distribution .....	74
2.3.2.2. Mode de fonctionnement de la sous station du contrôle.....	75
2.3.2.3. Composants de la station de distribution/contrôle.....	76
2.3.3. Station de production/handling .....	78
2.3.3.1. Mode de fonctionnement de la sous station d’usinage .....	78
2.3.3.2. Mode de fonctionnement de la sous Station de Manipulation (Handling partie Livraison et Production) .....	79
2.3.3.3. Composants de la station de production /handling.....	79
2.3.4. Station d’assemblage .....	81
2.3.4.1. Mode de fonctionnement de la station d’assemblage.....	81
2.3.4.2. Composants de la station d’assemblage .....	82

## TABLE DES MATIERES

2.3.5. Station du magasin central automatisé .....	83
2.3.5.1. Mode de fonctionnement du magasin central automatisé.....	83
2.3.6. Station de tri/handling.....	83
2.3.6.1. Mode de fonctionnement de la sous station de tri .....	84
2.3.6.2. Mode de fonctionnement de la sous station de manipulation.....	84
2.3.6.3. Composants de la station tri/handling .....	85
2.4. Stations choisies .....	87
2.5. Critère de choix des stations du système MPS de FESTO .....	87
2.6. Présentation des outils et logiciels utilisés.....	88
2.6.1. Systèmes automatisés.....	88
2.6.1.1. Définition .....	88
2.6.1.2. Structure des systèmes automatisés.....	88
2.6.1.3. But d'un système automatisé.....	89
2.6.1.4. Avantages et inconvénients d'un système automatisé.....	89
2.6.1.5. Chaîne de fonctions d'un système automatisé.....	90
2.6.2. Automate Programmable Industriel .....	92
2.6.2.1. Structure d'un API .....	93
2.6.2.2. Domaines d'application des API.....	94
2.6.3. Sources d'énergie dans un système industriel.....	94
2.6.4. Unité de traitement.....	95
2.6.4.1. Différents types de traitement .....	95
2.6.4.2. Différentes solutions technologiques .....	96
2.6.4.3. Programmation des API .....	96
2.7. Modélisation des systèmes .....	98
2.7.1. Différentes approches sur la modélisation .....	98
2.7.1.1. Modélisation mathématique .....	99
2.7.1.2. Modélisation graphique.....	99
2.8. Logiciel de développement d'IHM : WinCC Flexible .....	107
2.8.1. Introduction.....	107
2.8.2. Composants de la fenêtre principale de WinCC flexible .....	108
2.8.3. WinCC flexible Runtime .....	108
2.8.4. Étapes de mise en œuvre.....	108
2.8.4.1. Etablissement de liaison en utilisant protocole de communication .....	109
2.8.4.2. Création de la table des variables .....	109
2.9. Objectif à atteindre .....	110
2.10. Conclusion.....	110

## CHAPITRE III : ETUDE TECHNIQUE DU SYSTEME MPS PA DE AFB DE FESTO

<b>3.1. Introduction .....</b>	<b>111</b>
<b>3.2. Objectif de travail.....</b>	<b>111</b>
<b>3.3. Méthodologie du travail.....</b>	<b>112</b>
<b>3.4. Modélisation de la station de remplissage du système AFB de FESTO.....</b>	<b>112</b>
3.4.1. Modélisation des différents éléments.....	112
3.4.2. Essai réel sur la station de remplissage de AFB de FESTO.....	115
3.4.3. Discussion des résultats obtenus.....	121
3.4.4. Paramètres du système obtenu .....	121
3.4.5. Détermination des paramètres du régulateur PI.....	121
3.4.5.1. Fonction de transfert de la station de remplissage.....	122
3.4.5.2. Calcul et choix des paramètres du régulateur.....	122
3.5. Description opérationnelle de la station de remplissage.....	123

## TABLE DES MATIERES

3.5.1. Acquisition des données de la station de remplissage AFB de FESTO .....	124
3.5.1.1. Création de la table des mnémoniques .....	124
3.5.1.2. Création de la base des données .....	126
3.5.1.3. Paramètres choisis .....	129
3.6. Développement de l'IHM de la station de remplissage du système AFB de FESTO .....	129
3.6.1. Réalisations des tests à travers l'IHM développée .....	130
3.6.2. Discussion/interprétation .....	135
3.7 Modélisation de la station réacteur du système AFB de FESTO .....	136
3.7.1. Introduction .....	136
3.7.2. Modélisation mathématique des différents éléments .....	136
3.7.3. Détermination des paramètres du PI .....	138
3.7.3.1. Fonction de transfert de la station réacteur .....	139
3.7.3.2. Calcul et choix des paramètres du régulateur .....	139
3.7.4. Modélisation par bond graph de la station réacteur AFB de FESTO .....	140
3.7.4.1. Argumentation de la modélisation .....	140
3.7.4.2. Modélisation pseudo bond graph de la station réacteur AFB de FESTO .....	141
3.7.4.3. Modélisation de la station réacteur avec régulation du niveau et de la température .....	141
3.7.4.4. Application du modèle bond graph sur logiciel 20 Sim .....	142
3.8. Supervision de la station réacteur AFB de FESTO .....	143
3.8.1. Acquisition des données .....	143
3.8.2. Paramètres optimaux .....	146
3.8.3. Développement de l'IHM de la station réacteur du système AFB de FESTO .....	146
3.8.4. Résultats et discussions .....	152
3.9. Comparaison entre l'ancien système et après la supervision .....	152
3.10. Perspectives .....	153
3.11. Conclusion .....	153
<b>CHAPITRE IV : ETUDE TECHNIQUE DU SYSTEME MPS 500</b>	
4.1. Introduction .....	155
4.2. Objectif à atteindre .....	156
4.3. Méthodologie du travail .....	156
4.4. Description du système étudié .....	156
4.4.1. Description opérationnelle de la station de distribution .....	156
4.4.2. Description opérationnelle de la station de contrôle .....	157
4.4.2.1. Acquisition des données de la station de distribution/contrôle .....	159
4.4.2.2. Modélisation de la station de distribution/contrôle du système MPS 500 de FESTO .....	160
4.4.3. Description opérationnelle de la station d'usinage .....	164
4.4.4. Description opérationnelle de la station de manipulation .....	169
4.4.5. Description opérationnelle de la station de tri .....	173
4.5. Développement de l'IHM du système étudié .....	179
4.5.1. Développement de l'IHM de la station de distribution/contrôle du système MPS 500 de FESTO .....	179
4.5.2. Développement de l'IHM de la station d'usinage du système MPS 500 de FESTO .....	183
4.5.3. Développement de l'IHM de la station de manipulation du système MPS 500 de FESTO .....	187
4.5.4. Développement de l'IHM de la station de tri du système MPS 500 de FESTO .....	192
4.6. Discussion/interprétation .....	196
4.7. Comparaison et performance d'IHM développé .....	196
4.8. Conclusion .....	197
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	198
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	200
<b>ANNEXE</b> .....	210

# LISTE DES FIGURES

## CHAPITRE I

<b>Figure 1.1</b> : Processus de surveillance et de contrôle .....	6
<b>Figure 1.2</b> : Schéma général d'un système SCADA.....	10
<b>Figure 1.3</b> : Schéma général d'un RTU .....	11
<b>Figure 1.4</b> : Composants du RTU .....	14
<b>Figure 1.5</b> : Sous-système logique RTU (de base) .....	15
<b>Figure 1.6</b> : RTU avec cartes extractibles pour la communication, les entrées et sorties analogiques et numériques, ainsi que les unités logiques et d'alimentation .....	19
<b>Figure 1.7</b> : Vue fonctionnelle d'un IED moderne.....	23
<b>Figure 1.8</b> : Structure d'un IED.....	25
<b>Figure 1.9</b> : Exemple d'outils logiques programmables.....	27
<b>Figure 1.10</b> : Schéma général d'un MTU .....	30
<b>Figure 1.11</b> : Représentation d'une IHM .....	30
<b>Figure 1.12</b> : Topologie de différents modes de communication SCADA .....	31
<b>Figure 1.13</b> : Câble Profibus avec des modèles de connecteurs .....	34
<b>Figure 1.14</b> : Représentation d'un Câble RJ45 .....	37
<b>Figure 1.15</b> : Différents modèles de connecteur Bus CAN.....	37
<b>Figure 1.16</b> : Bus ASI.....	39
<b>Figure 1.17</b> : Architecture de la supervision dans un environnement SCADA .....	39
<b>Figure. 1.18</b> : Architecture SCADA de première génération.....	40
<b>Figure. 1.19</b> : Architecture SCADA de deuxième génération .....	41
<b>Figure. 1.20</b> : Architecture SCADA de troisième génération .....	41
<b>Figure. 1.21</b> : Architecture SCADA de quatrième génération .....	42
<b>Figure 1.22</b> : Technologies de l'Industrie 4.0.....	44

## CHAPITRE II

<b>Figure 2.1</b> : Stations du système MPS PA 204 de l'AFB de FESTO .....	63
<b>Figure 2.2</b> : Station de filtration.....	63
<b>Figure 2.3</b> : Organigramme général de la station de filtration de AFB de FESTO.....	64
<b>Figure 2.4</b> : Station de filtration de AFB de FESTO .....	65
<b>Figure 2.5</b> : Station de mélange. ....	65
<b>Figure 2.6</b> : Organigramme général de la station de mélange de AFB de FESTO .....	66
<b>Figure 2.7</b> : Station de mélange de AFB de FESTO.....	67
<b>Figure 2.8</b> : Station réacteur de AFB de FESTO .....	67
<b>Figure 2.9</b> : Organigramme général de la station réacteur de AFB de FESTO.....	69
<b>Figure 2.10</b> : Station réacteur de AFB de FESTO .....	70
<b>Figure 2.11</b> : Station de remplissage.....	70
<b>Figure 2.12</b> : Organigramme général de la station de remplissage AFB de FESTO .....	71
<b>Figure2.13</b> : Station de remplissage de AFB de FESTO .....	72
<b>Figure 2.14</b> : Station MPS 500 de FESTO .....	72
<b>Figure 2.15</b> : Configuration MPS 500 .....	73
<b>Figure 2.16</b> : Station de distribution de système MPS 500.....	75
<b>Figure 2.17</b> : Station de contrôle de système MPS 500 .....	76
<b>Figure 2.18</b> : Sous Station de production (Usinage).....	78
<b>Figure 2.19</b> : Sous Station de manipulation (Handling) .....	79

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 2.20:</b> Station d'assemblage.....	81
<b>Figure 2.21:</b> Station du magasin central automatisé .....	83
<b>Figure 2.22:</b> Sous station du tri.....	84
<b>Figure 2.23:</b> Sous station de manipulation .....	85
<b>Figure 2.24 :</b> Organisation générale d'une chaîne fonctionnelle .....	90
<b>Figure 2.25 :</b> Différents capteurs d'un système automatisé.....	91
<b>Figure 2.26 :</b> Structure d'un système automatisé.....	93
<b>Figure 2.27 :</b> S7 300 .....	96
<b>Figure 2.28 :</b> Interface du logiciel Simatic Manager Step7 .....	97
<b>Figure 2.29 :</b> Exemple d'un réseau Ladder.....	100
<b>Figure 2.30 :</b> Principe du grafcet .....	101
<b>Figure 2.31 :</b> Echange d'effort.....	102
<b>Figure 2.32 :</b> Interface du logiciel 20-Sim.....	107
<b>Figure 2.33:</b> Fenêtre principale de WinCC flexible.....	108

### CHAPITRE III

<b>Figure 3.1 :</b> Représentation simplifiée de la station de remplissage (FluidLab).....	112
<b>Figure 3.2 :</b> Schéma bloc d'asservissement de la station de remplissage .....	113
<b>Figure 3.3 :</b> Représentation graphique des essais de remplissage du réservoir cible avec coefficient de pompe à 50% .....	118
<b>Figure 3.4 :</b> Représentation graphique des essais de remplissage du réservoir cible avec coefficient de pompe à 60% .....	118
<b>Figure 3.5 :</b> Représentation graphique des essais de remplissage du réservoir cible avec coefficient de pompe à 70% .....	119
<b>Figure 3.6:</b> Représentation graphique des essais de remplissage du réservoir cible avec coefficient de pompe à 80% .....	119
<b>Figure 3.7 :</b> Représentation graphique des essais de remplissage du réservoir cible avec coefficient de pompe à 90% .....	120
<b>Figure 3.8:</b> Représentation graphique des essais de remplissage du réservoir cible avec coefficient de pompe à 100% .....	120
<b>Figure 3.9 :</b> Schéma Simulink de notre process intégrant le régulateur PI.....	122
<b>Figure 3.10 :</b> Réponse du système régulé obtenue par Matlab-Simulink .....	123
<b>Figure 3.11 :</b> Interface homme-machine développée de la station de remplissage du système AFB de FESTO .....	130
<b>Figure 3.12 :</b> IHM de la station de remplissage du système AFB de FESTO en mode Arrêt.....	130
<b>Figure 3.13:</b> IHM de la station de remplissage du système AFB de FESTO en mode Arrêt.....	131
<b>Figure 3.14 :</b> IHM de la station de remplissage AFB de FESTO en mode RUN au démarrage.....	131
<b>Figure 3.15:</b> IHM de la station réacteur de AFB de FESTO en mode RUN en cours de régulation du niveau du réservoir cible .....	132
<b>Figure 3.16 :</b> IHM de la station de remplissage AFB de FESTO en mode RUN .....	132
<b>Figure 3.17 :</b> IHM de la station réacteur de AFB de FESTO en mode RUN en cours de régulation du niveau du réservoir cible .....	133
<b>Figure 3.18 :</b> IHM de la station réacteur de AFB de FESTO en mode RUN en cours de régulation du niveau du réservoir cible .....	133
<b>Figure 3.19 :</b> IHM de la station réacteur de AFB de FESTO en mode RUN .....	134
<b>Figure 3.20 :</b> IHM de la station de remplissage AFB de FESTO en mode RUN .....	134
<b>Figure 3.21 :</b> Régulation de niveau du réservoir cible.....	135
<b>Figure 3.22 :</b> Diagramme fonctionnel du dispositif de chauffage de la station réacteur du AFB de FESTO .....	136

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 3.23</b> : Schéma Simulink de notre process intégrant le régulateur PI.....	139
<b>Figure 3.24</b> : Réponse du système régulé obtenue par Matlab-Simulink (Station Réacteur). .....	140
<b>Figure 3.25</b> : Bond graph à mots de la station réacteur .....	141
<b>Figure 3.26</b> : Modèle bond graph avec causalité dérivée de la station réacteur du AFB de FESTO .....	142
<b>Figure 3.27</b> : Modèle bond graph du station réacteur de AFB de FESTO par logiciel 20-Sim.....	142
<b>Figure 3.28</b> : IHM de la station réacteur du système AFB de FESTO .....	147
<b>Figure 3.29</b> : IHM de la station réacteur de AFB de FESTO en mode Arrêt .....	148
<b>Figure 3.30</b> : IHM de la station réacteur de AFB de FESTO en mode Arrêt .....	148
<b>Figure 3.31</b> : IHM de la station réacteur de AFB de FESTO en mode Run .....	149
<b>Figure 3.32</b> : IHM de la station réacteur de AFB de FESTO en mode Run .....	149
<b>Figure 3.33</b> : IHM de la station réacteur de AFB de FESTO en mode Run .....	150
<b>Figure 3.34</b> : IHM de la station réacteur de AFB de FESTO en mode Run .....	150
<b>Figure 3.35</b> : IHM de la station réacteur de AFB de FESTO en mode Run .....	151
<b>Figure 3.36</b> : IHM de la station de filtrage du système AFB de FESTO .....	151

## CHAPITRE IV

<b>Figure 4.1</b> : Station de distribution du MPS 500 .....	156
<b>Figure 4.2</b> : Organigramme général de la station de distribution du MPS 500.....	157
<b>Figure 4.3</b> : Station de contrôle du MPS 500 .....	158
<b>Figure 4.4</b> : Organigramme général de la station de contrôle du MPS 500.....	158
<b>Figure 4.5</b> : Diagramme fonctionnel séquentiel de la station de distribution du MPS 500. ....	162
<b>Figure 4.6</b> : Diagramme fonctionnel séquentiel de la station de contrôle MPS 500.....	164
<b>Figure 4.7</b> : Station d'usinage du MPS 500.....	165
<b>Figure 4.8</b> : Organigramme général de la station d'usinage du MPS 500. ....	166
<b>Figure 4.9</b> : Diagramme fonctionnel séquentiel de la station d'usinage du MPS 500.....	168
<b>Figure 4.10</b> : Station de manipulation du MPS 500.....	169
<b>Figure 4.11</b> : Organigramme général de la station de manipulation du MPS 500.....	170
<b>Figure 4.12</b> : Diagramme fonctionnel séquentiel de la station de manipulation du MPS 500.....	173
<b>Figure 4.13</b> : Station de tri du MPS 500.....	174
<b>Figure 4.14</b> : Organigramme général de la station de tri du MPS 500. ....	175
<b>Figure 4.15</b> : Diagramme fonctionnel séquentiel de la station de tri du MPS 500. ....	178
<b>Figure 4.16</b> : IHM développé de la station de distribution/contrôle du MPS 500. ....	179
<b>Figure 4.17</b> : Station de distribution/contrôle du MPS 500 en mode Stop. ....	180
<b>Figure 4.18</b> : Station de distribution/contrôle du MPS 500 en mode Reset.....	180
<b>Figure 4.19</b> : Station de distribution/contrôle du MPS 500 en mode Start. ....	181
<b>Figure 4.20</b> : Station de distribution/contrôle du MPS 500 en mode Start. ....	181
<b>Figure 4.21</b> : Station de distribution/contrôle du MPS 500 en mode Start. ....	182
<b>Figure 4.22</b> : Station de distribution/contrôle du MPS 500 en fonctionnement. ....	182
<b>Figure 4.23</b> : IHM développé de la Station d'usinage du MPS 500. ....	183
<b>Figure 4.24</b> : Station d'usinage du MPS 500 en mode Reset. ....	184
<b>Figure 4.25</b> : Station d'usinage du MPS 500 en mode Start.....	184
<b>Figure 4.26</b> : Station d'usinage du MPS 500 en mode Start.....	185
<b>Figure 4.27</b> : Station d'usinage du MPS 500 en mode Start.....	185
<b>Figure 4.28</b> : Station d'usinage du MPS 500 en mode Start.....	186
<b>Figure 4.29</b> : Station d'usinage du MPS 500 en mode Start.....	186
<b>Figure 4.30</b> : Station d'usinage du MPS 500 en mode Stop.....	187
<b>Figure 4.31</b> : IHM développé de la Station de manipulation du MPS 500.....	187

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 4.32</b> : Station de manipulation du MPS 500 en mode Reset .....	188
<b>Figure 4.33</b> : Station de manipulation du MPS 500 en mode Start.....	188
<b>Figure 4.34</b> : Station de manipulation du MPS 500 en mode Start.....	189
<b>Figure 4.35</b> : Station de manipulation du MPS 500 en mode Start.....	189
<b>Figure 4.36</b> : Station de manipulation du MPS 500 en mode Start.....	190
<b>Figure 4.37</b> : Station de manipulation du MPS 500 en mode Start.....	190
<b>Figure 4.38</b> : Station de manipulation du MPS 500 en mode Start.....	191
<b>Figure 4.39</b> : Station de manipulation du MPS 500 en mode Stop.....	191
<b>Figure 4.40</b> : IHM développé de la station de tri (livraison) du MPS 500. ....	192
<b>Figure 4.41</b> : Station de tri du MPS 500 en mode Reset.....	192
<b>Figure 4.42</b> : Station de tri du MPS 500 en mode Start.....	193
<b>Figure 4.43</b> : Station de tri du MPS 500 en mode Start.....	193
<b>Figure 4.44</b> : Station de tri du MPS 500 en mode Start.....	194
<b>Figure 4.45</b> : Station de tri du MPS 500 en mode Start.....	194
<b>Figure 4.46</b> : Station de tri du MPS 500 en mode Start.....	195
<b>Figure 4.47</b> : Station de tri du MPS 500 en mode Start.....	195
<b>Figure 4.48</b> : Pupitre de commande du système MPS 500 .....	196

# LISTE DES TABLEAUX

## CHAPITRE II

<b>Tableau 2. 1</b> : Composants de la station de filtration .....	64
<b>Tableau 2.2</b> : Composants de la station de mélange.....	66
<b>Tableau 2.3</b> : Composants de la station réacteur .....	69
<b>Tableau 2.4</b> : Composants de la station de remplissage .....	71
<b>Tableau 2. 5</b> : Variables de la station de distribution/contrôle .....	76
<b>Tableau 2. 6</b> : Variables de la station d’usinage/manipulation.....	79
<b>Tableau 2.7</b> : Variables de la station d’assemblage.....	82
<b>Tableau 2. 8</b> : Variables de la station du livraison .....	85
<b>Tableau 2. 9</b> : Comparaison entre les trois technologies énergétique.....	95
<b>Tableau 2.10</b> : Principaux éléments (contacts et bobines) d’un réseau LD .....	100
<b>Tableau 2.11</b> : Variables généralisées et domaines techniques .....	103
<b>Tableau :2.12</b> : Élément actif dans différents domaine .....	104
<b>Tableau :2.13</b> : Élément résistif dans différents domaines.....	104
<b>Tableau 2.14</b> : Élément d’inertie dans différents domaines .....	104
<b>Tableau 2.15</b> : Élément capacitif dans différents domaines .....	105

## CHAPITRE III

<b>Tableau 3.1</b> : Essai sur la station remplissage du système AFB de FESTO.....	115
<b>Tableau 3.2</b> : Paramètres de la station de remplissage .....	121
<b>Tableau 3.3</b> : Table des mnémoniques de la station de remplissage AFB de FESTO.....	124
<b>Tableau 3.4</b> : Base de données avant le chargement de la station de remplissage AFB de FESTO.....	126
<b>Tableau 3.5</b> : Base de données en cours de chargement de la station de remplissage AFB de FESTO .....	128
<b>Tableau 3.6</b> : Paramètres choisis de la station de remplissage .....	129
<b>Tableau 3.7</b> : Paramètres de la station réacteur.....	138
<b>Tableau 3.8.:</b> Base de données en arrêt de la station réacteur du AFB de FESTO.....	143
<b>Tableau 3.9</b> : Base de données en cours de chargement de la station réacteur de AFB de FESTO.....	145
<b>Tableau 3.10</b> : Paramètres choisis de la station réacteur .....	146

## CHAPITRE IV

<b>Tableau 4.1</b> : Variables de la station de distribution /contrôle de système MPS.....	159
<b>Tableau 4.2</b> : Variables de la station d’usinage de système MPS .....	166
<b>Tableau 4.3</b> : Variables de la station de manipulation de système MPS .....	170
<b>Tableau 4.4</b> : Variables de la station de trie de système MPS.....	175

# NOMENCLATURE

AFB : Agro-food Bussniss  
A/D : Analog/Digital  
A/N: Analogique/Numérique  
API: Automate Programmable Industriel  
ASI : Actuators Sensors Interface  
AS-Interface : ActuatorsSensors Interface  
BG : Bond Graph  
CC : Courant Continu  
CM : Cloud  
CRC : Contrôle de Redondance Cyclique  
CPU : Central Processing Unit  
CSMA-CD: Carrier Sense Multiple Accès with Collision Detect  
CAN: Convertisseur Analogique-Numérique (Analog to Digital Converter)  
CPS: Système cyber-physique  
C : Capacité  
DP : Périphérie décentralisée  
DFR: Digital Fault Recorder  
DNP3 :Distributed Network Protocol  
D/A : Digital/Analog  
ESD:Electrostatic Discharge  
EMI :Electromagnetic Interference  
E/S: Entrée/Sortie  
EPA : Enhanced Performance Architecture  
*e* : Effort  
FMS : Fieldbus Message Specification  
FIFO: First In First Out  
*f*: Flux  
GPL :Gaz Pétrol Liquéfié  
GUI :Graphical User Interface  
GPS :Global Positioning System  
IHM: Interface Homme Machine  
IED :Intelligent Electronic Device  
IEEE : Institute of Electrical and Electronic Engineers  
IA : Intelligence Artificielle  
IoT : Internet of Things  
IoS : Internet of Services  
ISO : International Organization for Standarization  
IP: Internet Protocole  
I : Intensité du courant  
Km: Kilomètres  
LAN : Local Area Network  
LIFO: Last In First Out  
MPS PA : Modular Processing System  
MPS 500 : Modular Processing System 500

## NOMENCLATURE

Ms :Milli Seconde  
Ma :Milli Ampers  
MELT : Manufacturing Engineering Laboratory of Tlemcen  
MPS FMS 500 : Modular Production System flexible manufacturing system  
MPI: Multi Point Interface  
MTU: Master Terminal Unit  
OSI: Open System Interconnection  
PID : Proportionnel Intégral Dérivé  
PLC :Programmable Logic Controller  
PA : Automatisation de Process  
PC : Partie Commande  
PO : Partie Opérative  
PI : Proportionnel Intégral  
*P* : Puissance  
PMU : Unité de Mesure du Phaseur (Phasor Measurement Unit)  
PDC :Concentrateur de Données du Phaseur (Phasor Data Concentrator)  
RA : Réalité Augmentée  
R : Résistance  
RTU : Remote Terminal Unit  
Se :Source d'Effort  
Sf :Source de Flux  
S: Sécurité  
Sec : Seconde  
SCADA : Supervision ,Contrôle et d'Acquisition des Données  
S7-PLCSIM :Step7- Programmable Logic Controller Simatic  
SAP : Système Automatisé de Production  
SOE : Séquence d'événements avec horodatage  
TC :Température Controller  
TOR : Tout Ou Rien  
VCC :Vin de Consommation Courante  
V5.5 Version 5.5  
WAN: Wide Area Networks  
W : Wireless  
X: Extensibilité  
4G : Quatrième Génération  
5G :Cinquième Génération

**Introduction**

**Générale**

L'évolution des systèmes d'automatisation remonte à la première révolution industrielle (1750-1850), lorsque le travail effectué par la force humaine a été remplacé par la puissance des machines. Au cours de la deuxième révolution industrielle (1850-1920), le contrôle des processus a été introduit et les fonctions routinières de l'esprit humain et de la présence continue ont été prises en charge par les machines. L'esprit humain a été soulagé des activités physiques et mentales encombrantes et fastidieuses. Michael Faraday a inventé le moteur électrique en 1821 et James Clark Maxwell a lié l'électricité et le magnétisme en 1861-1862. Dans la dernière partie du XIXe siècle, il y a eu des développements rapides de l'électricité et de l'approvisionnement en énergie électrique avec des géants comme Siemens, Westinghouse, Nikola Tesla, Alexander Graham Bell, Lord Kelvin et bien d'autres qui ont énormément contribué. En 1891, la première ligne de transmission triphasée longue distance de grande puissance est présentée à l'Exposition électrotechnique internationale de Francfort. Parallèlement aux développements de la production, de la transmission et de la distribution d'énergie électrique aux clients, l'automatisation, y compris la surveillance et le contrôle à distance des systèmes électriques, est devenue inévitable.

L'équipement de contrôle initial se composait d'appareils analogiques volumineux et encombrants, et les salles de contrôle avaient d'énormes panneaux avec d'innombrables fils allant du terrain au centre de contrôle. L'opérateur ne pouvait pas exploiter les informations disponibles, car lors d'une situation d'urgence, plusieurs événements se produisaient simultanément et il était impossible de tous les gérer car il n'y avait pas de traitement intelligent des alarmes. Des coûts excessifs étaient associés à une reconfiguration ou à une extension du système. Le besoin d'espace coûteux était également une contrainte dans le cas de la commande analogique, car les panneaux de commande étaient grands. Le stockage des informations était également un problème, car pour les systèmes électriques, l'analyse post-événement est cruciale. Avec l'introduction des ordinateurs dans le scénario d'automatisation, cette dernière est devenue plus conviviale pour l'opérateur, bien qu'au départ l'utilisation de l'ordinateur ait été limitée au stockage de données et à la modification des points de consigne des contrôleurs analogiques. Les premiers ordinateurs numériques présentaient de sérieux inconvénients tels qu'une mémoire de stockage et de travail faible, une puissance de calcul médiocre et une programmation écrite en langage machine.

Deux évolutions majeures ont conduit à l'avènement du contrôle distribué : les progrès et l'évolution énorme des circuits intégrés, des microprocesseurs et des systèmes et protocoles de communication. Les systèmes de contrôle distribués étaient une structure modulaire, avec des menus préprogrammés, ayant une large sélection d'algorithmes de contrôle pour l'exécution. La circulation de flux important des données est devenue possible avec l'introduction de nouvelles techniques de communication et de nouveaux médias. La redondance à n'importe quel niveau était possible, en raison de la disponibilité des composants à des tarifs moins élevés, et des outils de diagnostic étendus sont devenus partie intégrante des systèmes de contrôle de surveillance et d'acquisition de données (SCADA). Bien que les systèmes SCADA aient révolutionné la façon dont les systèmes industriels complexes et géographiquement distribués

sont surveillés et contrôlés, les détails sur les composants SCADA, les implémentations et l'application les fonctions sont restées largement propriétaires.

L'objectif de notre recherche est le développement d'un système de supervision, de contrôle et d'acquisition de données SCADA en temps réel en réalisant plusieurs interfaces homme-machine IHM sophistiqués. Comme cas d'étude, on a choisi les systèmes industriels modernes MPS 500 et AFB Factory Hybrid de FESTO. Dans cette recherche, nous allons tout d'abord étudier les deux systèmes, puis modéliser les systèmes et par la suite les programmer puis développer des IHM de supervision. Le nombre très important de variables et de paramètres des deux systèmes rend la modélisation, la programmation ainsi que le développement d'interface de supervision très complexe. La stratégie que nous allons suivre pour faciliter notre travail de recherche est de diviser l'étude de chaque système en plusieurs stations, chacune sera étudiée et modélisée à part. Notre thèse sera divisée en deux grandes parties, une première partie théorique composée de deux chapitres et une seconde partie pratique contenant deux chapitres aussi.

Dans la partie théorique, nous allons commencer par présenter un état de l'art sur les travaux entamés par les chercheurs dans le domaine de la supervision SCADA, puis nous allons parler des différentes fonctions et éléments des systèmes SCADA, de leurs systèmes de communication et protocoles ainsi que des différentes architectures utilisées par SCADA. Ensuite, nous allons expliquer le rôle du SCADA dans l'industrie du futur 4.0 et des interfaces homme-machine et de leurs composantes. A la fin du premier chapitre de cette partie, nous allons illustrer les domaines d'application, les avantages et les principaux logiciels utilisés par les systèmes SCADA. Le deuxième chapitre de la partie théorique va être consacré à la description en globale des deux systèmes MPS et AFB de FESTO, puis nous allons détailler le côté software et hardware des stations que nous allons étudier.

La deuxième partie de la thèse qui évoque l'aspect pratique du travail, représente la modélisation, la programmation et le développement des interfaces homme-machine. Cette partie comprend aussi deux chapitres, le premier est consacré à l'application et le développement d'IHM pour la supervision du système MPS PA de l'AFB, où nous allons commencer par l'étude technique des deux stations remplissage et réacteur de ce système. Cette étude va nous faciliter l'identification des différents paramètres afin de faire la modélisation et par la suite faire la programmation et l'élaboration de la supervision consacrée aux stations étudiées. Le deuxième chapitre de cette partie est consacré à la station MPS500 de FESTO dans lequel nous allons entamer l'identification des variables et paramètres du système, puis nous allons modéliser et développer les IHM pour la supervision du système. Nous allons terminer la thèse par une conclusion générale qui récapitule tous les résultats du travail réalisé.

### **Problématique**

Dans le cadre du développement de notre thèse de doctorat sur le "Développement d'un système de contrôle et de supervision SCADA en temps réel pour un système industriel : Cas MPS 500 et AFB de FESTO", nous avons soulevé la problématique principale qui pourrait être

formulée comme suit : "Comment concevoir et mettre en œuvre un système de contrôle et de supervision SCADA en temps réel efficace afin d'optimiser les performances et la fiabilité d'un système industriel, en se concentrant sur les cas spécifiques des systèmes de FESTO MPS 500 et AFB" qui ne contient aucun système de supervision préalable. Cette problématique soulève plusieurs questions importantes à explorer, telles que :

- Quelles sont les caractéristiques et les exigences spécifiques du système MPS 500 et de l'AFB de FESTO qui doivent être prises en compte lors de la conception du système SCADA ?
- Quelles sont les meilleures pratiques et les approches méthodologiques pour développer et intégrer un système SCADA en temps réel avec le système MPS 500 et l'AFB de FESTO ?
- Quels sont les défis techniques et opérationnels liés à la mise en place d'un système de contrôle et de supervision SCADA en temps réel dans un environnement industriel ?
- Comment garantir la sécurité et la robustesse du système SCADA tout en assurant une surveillance et un contrôle en temps réel précis et fiable des processus industriels ?
- Quels sont les avantages attendus de la mise en œuvre d'un système SCADA en termes d'efficacité opérationnelle, de productivité et de prise de décision dans le contexte du MPS 500 et de l'AFB de FESTO ?
- Comment la méthodologie appliquée pour développer un IHM simple et efficace ?

La réponse et la résolution de ces questions permettra de répondre à la problématique globale et de fournir des recommandations pratiques pour le développement et l'implémentation d'un système de contrôle et de supervision SCADA en temps réel dans des systèmes industriels tels que le MPS 500 et l'AFB de FESTO.

### **Hypothèses**

Pour répondre à la problématique que nous avons mentionné préalablement, il est important de noter que les hypothèses que nous allons proposer sont des suppositions préliminaires et doivent être vérifiées et validées par des études empiriques, des expérimentations ou des analyses spécifiques réalisées au cours de la recherche doctorale. Voici quelques hypothèses possibles pour résoudre aux questions posées lors de la présentation de la problématique de notre thèse de doctorat :

- La conception et la mise en œuvre d'un système de contrôle et de supervision SCADA en temps réel spécifiquement adapté au système industriel MPS 500 et à l'AFB de FESTO permettront d'améliorer la surveillance, le contrôle et l'efficacité des opérations industrielles.
- La mise en place d'un système SCADA en temps réel pour le MPS 500 et l'AFB de FESTO permettra d'optimiser l'utilisation des ressources, en détectant et en corrigeant rapidement les problèmes de production.

- L'utilisation d'un système SCADA en temps réel pour le MPS 500 et l'AFB de FESTO contribuera à une maintenance préventive et proactive, grâce à la surveillance continue des équipements et à la détection anticipée des défaillances, ce qui conduira à une réduction des temps d'arrêt non planifiés.
- L'utilisation d'un système de contrôle et de supervision SCADA en temps réel dans le cadre du MPS 500 et de l'AFB de FESTO permettra d'optimiser les performances opérationnelles, de réduire les temps d'arrêt et d'optimiser les processus de production, conduisant ainsi à une amélioration globale de la productivité et de l'efficacité.
- L'utilisation d'une architecture appropriée et d'outils de développement avancés facilitera l'implémentation du système SCADA en temps réel, tout en permettant une gestion efficace des données en temps réel et une interface utilisateur conviviale pour les opérateurs.
- L'intégration réussie du système SCADA en temps réel avec le MPS 500 et l'AFB de FESTO nécessitera une analyse approfondie des protocoles de communication, des exigences de compatibilité et des besoins spécifiques de ces systèmes industriels.
- La mise en œuvre d'un système SCADA en temps réel pour le MPS 500 et l'AFB de FESTO nécessitera une attention particulière à la sécurité des données, en utilisant des mesures de protection adéquates pour prévenir les risques de cyberattaques ou d'accès non autorisé.

# **Chapitre I**

## **Environnement des Systèmes SCADA**

## 1.1. Introduction

L'automatisation est utilisée dans le monde entier pour diverses applications allant de l'industrie du gaz et du pétrole à l'automatisation du système électrique, la construction automatisée, à l'automatisation des petites unités de fabrication. La terminologie SCADA est généralement utilisé lorsque le processus à contrôler est étendu sur une vaste zone géographique, comme les systèmes d'alimentation. Systèmes SCADA, bien que largement utilisé par de nombreuses industries, subissent des changements radicaux. L'ajout de nouvelles technologies et de nouveaux appareils pose un sérieux défi aux éducateurs, aux chercheurs et aux ingénieurs en exercice de rattraper le retard derniers développements [1].

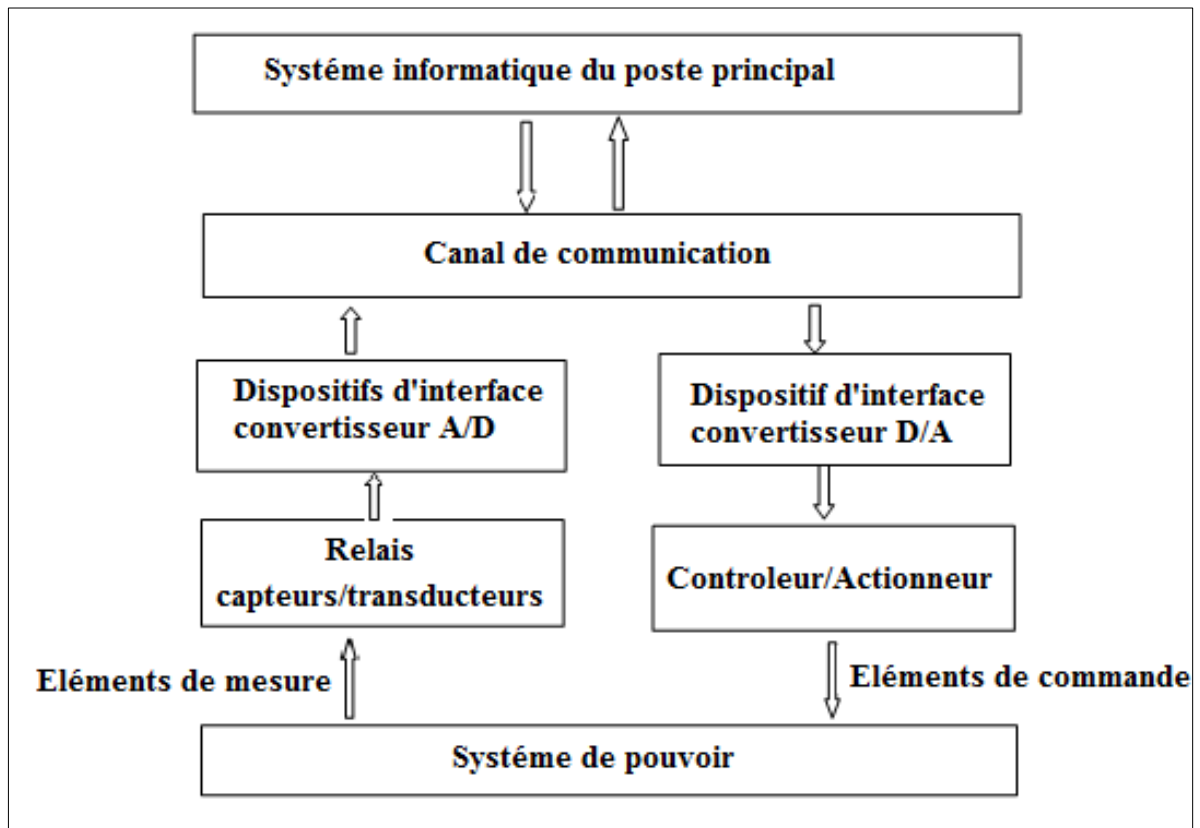
Les systèmes SCADA sont définis comme un ensemble d'équipements qui fournit à un opérateur situé à distance des informations suffisantes pour déterminer l'état d'un équipement particulier ou d'un processus et l'actions ou la décision à prendre concernant cet équipement ou ce processus sans être présent physiquement.

La mise en œuvre de SCADA implique donc deux activités principales : acquisition (surveillance) d'un processus ou d'un équipement et la supervision ou le contrôle du processus, conduisant ainsi à une automatisation complète. L'automatisation complète d'un processus peut être obtenue en automatisant la surveillance et les actions de contrôle.

L'automatisation de la partie surveillance se traduit par un opérateur dans une salle de contrôle, capable de « voir » le processus distant sur la console de l'opérateur avec toutes les informations requises affichées et mises à jour à des intervalles de temps appropriés. Cela impliquera les étapes suivantes :

- Recueillir les données sur le terrain.
- Convertir les données sous forme transmissible.
- Regrouper les données dans des paquets.
- Transmettre les paquets de données sur le support de communication.
- Recevoir les données au centre de contrôle.
- Décoder les données.
- Afficher les données aux points appropriés sur les écrans d'affichage de l'opérateur.

L'automatisation du processus de contrôle garantira que la commande de contrôle délivré par l'opérateur du système se traduit par l'action appropriée sur le terrain et comportera les étapes suivantes :



**Figure 1.1 :** Processus de surveillance et de contrôle [1].

- L'opérateur lance la commande de contrôle,
- Regrouper la commande de contrôle sous forme de paquet de données,
- Transmettre le paquet sur le support de communication,
- L'appareil de terrain reçoit et décode la commande de contrôle,
- Une action de contrôle est initiée sur le terrain à l'aide du périphérique approprié (actionneur).

L'ensemble des éléments de mesure de l'équipement permet d'acquérir les données de champ et l'ensemble des éléments de contrôle d'équipement implémentent les commandes de contrôle sur le terrain, comme illustré à la figure 1.1.

Les systèmes de contrôle et d'acquisition de données (SCADA) sont largement utilisés pour la surveillance et le contrôle de processus répartis géographiquement dans une variété d'industries. Cependant, de nombreux produits liés à SCADA sont des produits exclusifs et la connaissance des composants est acquise par le personnel au travail. Par conséquent, les étudiants et les nouveaux diplômés le trouvent difficile de comprendre les principes fondamentaux des systèmes SCADA.

Dans ce chapitre, nous avons élaboré des éléments essentiels des systèmes SCADA qui aideront à expliquer le fonctionnement et la hiérarchie, en particulier pour les systèmes d'alimentation.

## 1.2. Etat de l'art du système SCADA

L'environnement industriel considère que la sécurité industrielle est une partie très importante avec une intégrité inséparable sur la commande des systèmes industriels, telle qu'on ne peut pas envisager une implémentation des équipements industriels sans aucune preuve qui assure le fonctionnement désiré. Par conséquent, la sécurité éloigne non seulement des dysfonctionnements provoquant des dégâts matériels et humains mais aussi garantit la continuité et la stabilité de la production, comme elle assure la survie de l'installation industrielle. Aujourd'hui, un autre défi est relevé s'agissant de l'automatisation de la supervision des processus en utilisant des systèmes intelligents sous formes d'interface homme machine qui offrent à l'industrie la possibilité d'intervenir sur les systèmes automatisés à distance. Ces derniers fournissent à l'utilisateur une aide particulière dans la gestion d'alarmes urgentes dont le but est d'augmenter la fiabilité et la sûreté de fonctionnement des processus. De nos jours l'automatisation est utilisée dans le monde entier dans divers domaines allant de l'industrie du gaz, du pétrole, des systèmes électriques, unité de fabrication entre autres. Pour cela les systèmes de supervision de contrôle et d'acquisition de données SCADA sont très importants pour la surveillance et la commande de ces systèmes industriels automatisés en temps réel. Les systèmes SCADA présentent de nombreuses caractéristiques sophistiquées, telles qu'une architecture distribuée, des bases de données distribuées, des interfaces graphiques GUI modernes et faciles à utiliser, des RTU intelligents (Remote Terminal Unit) pour une supervision automatique et un contrôle autonome à distance, etc. Ils consistent à collecter des informations, de les transférer vers un site central, à effectuer les contrôles et les analyses nécessaires, ensuite afficher ces données sur des écrans d'opérateurs [2][3]. Ils utilisent diverses topologies de réseaux de communications telle que les réseaux locaux LAN et même le réseau WAN (Internet). Ces derniers sont intégrés dans la gestion des informations des entreprises afin de maximiser l'efficacité envers le service public et répondre rapidement aux nouvelles exigences commerciales du marché [4]. Les systèmes SCADA utilisent plusieurs types de logiciels, dont on peut citer le logiciel WinCC de Siemens qui est considéré comme l'un des logiciels les plus puissants de conception de systèmes SCADA et d'IHM permettant de concevoir plus facilement plusieurs types d'éléments des systèmes (capteurs, actionneurs, pupitre, etc....) d'une manière plus proche à l'utilisateur sans être en contact direct avec les systèmes de production.

Afin de faire l'acquisition des données, la supervision, le contrôle et la commande en temps réel des systèmes de production modernes, les systèmes SCADA sont devenus une nécessité, on les trouve dans divers secteurs de production stratégiques tel que le secteur de l'énergie comme l'industrie du pétrole, du gaz et de l'électricité, le secteur des eaux comme les stations de dessalement et de purification, le secteur des transports, le secteur des industries manufacturières entre autres [5].

Dans les industries du pétrole et du gaz, le degré très élevé de l'automatisation grâce à l'utilisation des automates programmables pour le contrôle et la commande des différentes opérations dans les champs pétroliers et gazières est très vaste afin de réduire les coûts d'exploitation et de diminuer les temps d'arrêt de la production, la présence des systèmes SCADA est devenue une nécessité [6][7]. Pour les oléoducs, les systèmes SCADA fournissent

aux opérateurs beaucoup de fonctions logicielles nécessaires et très utiles telles que la détection des fuites, le suivi des lots, la modélisation dynamique, l'arrêt d'urgence, etc ce qui contribue à améliorer la productivité des opérateurs [8]. Aussi dans le processus de raffinage du pétrole dont sont issues tous les produits que nous utilisons dans notre vie quotidienne comme l'essence, le diesel, le kérosène, le GPL, etc, les systèmes SCADA sont aussi très présents pour le contrôle et la surveillance de ce processus [9].

Les systèmes SCADA sont très utilisés pour la supervision et le contrôle de la production, la distribution et la gestion de l'énergie électrique. On les trouve dans tous les types de production d'énergie électrique, comme celle produite à partir des énergies renouvelables [10]. Par exemple l'électricité produite d'énergie solaire à partir soit des centrales solaires photovoltaïques ou des centrales solaires thermodynamique [11] ont besoin pour faire le contrôle, le suivi et le monitoring des systèmes très sophistiqués tel que les systèmes SCADA [12][13][14]. On peut aussi citer l'électricité produite à partir des éoliennes qui doivent être surveillées en permanence à cause de la nature dynamique complexe des éoliennes et de l'environnement difficile dans lequel elles fonctionnent. La surveillance de la puissance des éoliennes est très difficile pour cela la combinaison des systèmes SCADA avec de l'intelligence artificielle est devenue primordial, on peut utiliser des approches appliquées à l'analyse des alarmes SCADA pour la gestion intelligente des parcs éoliens. Ainsi à l'aide de données enregistrées, on peut faire la prévision de la puissance des éoliennes pour la détection des anomalies dans la prédiction de l'énergie éolienne [15][16][17]. On utilise aussi les systèmes SCADA pour le diagnostic des défauts d'éoliennes afin d'améliorer leur fonctionnement pour réduire particulièrement le bruit engendré par un mauvais état des éoliennes [18]. SCADA est aussi utilisé pour la gestion d'énergie des bâtiments et des grands immeubles afin de minimiser le gaspillage d'énergie en contrôlant les systèmes de ventilation, de température, d'éclairage ainsi que les ascenseurs dans le but d'atteindre une économie d'énergie rationnelles pour la réduction des émissions à effet de serre [19][20].

Dans le secteur de traitement, d'épuration, de production, de dessalement et de gestion des eaux, les systèmes SCADA sont très présents et utilisés par toutes les grandes entreprises du domaine éventuellement dans leurs stations d'épuration, de pompage et de pressurisation. Ces systèmes de supervision leur permettent d'acquiescer, de visualiser et de contrôler toutes les données des stations en temps réel, afin de mieux gérer la distribution et la qualité de l'eau distribuée aux clients et de détecter d'éventuelles fuites ou autres problèmes au niveau des canalisations [21][22][23][24].

Le SCADA est aussi très utilisé dans la gestion des systèmes de transport modernes, on le trouve dans le transport ferroviaire pour superviser, commander, protéger et garantir un fonctionnement automatique et intelligent des trains électriques, des métros et des tramways [25][26][27][28], dans le contrôle et visualisation des transports par câble qui sont de plus en plus utilisés comme moyen de transport dans les villes comme les téléphériques [29][30], dans les montagnes comme les téléskis, ainsi que dans les gratte-ciels et les grands immeubles comme les ascenseurs et les élévateurs dans [31][32][33].

Afin de comprendre les concepts théoriques du fonctionnement des usines industrielles et de leurs équipements, et aussi pour former les futures techniciens et ingénieurs dans le domaine industriel, des usines industrielles virtuelles sont proposées pour remplacer les équipements réels très coûteux, ces usines virtuelles sont supervisées par des systèmes SCADA afin de faciliter l'apprentissage des outils de supervision et monitoring des industries et de leurs équipements réels [34]. Les systèmes SCADA sont aussi utilisés dans les laboratoires de recherches scientifiques, afin de les rendre plus performant et surtout pour les sécuriser contre les cyber-attaques qui sont devenues de plus en plus agressifs. Ainsi les résultats obtenus par les chercheurs sont utilisés pour développer de nouveaux protocoles et mesures de sécurité [35][36][37]. Les données générées par les systèmes SCADA modernes sont centralisées et sauvegardées dans des bases de données qui peuvent être utilisées pour surveiller la durée de vie des équipements industriels afin de planifier les activités régulières de maintenance prédictive et corrective [38]. Ces données peuvent être partagées et envoyées à partir des serveurs SCADA aux entreprises via les technologies et les réseaux informatiques et de télécommunication de pointe comme la 4G, 5G ou Internet [39][40].

Les systèmes de supervision, de contrôle et de commande SCADA et IHM sont aussi omniprésents dans l'industrie manufacturière moderne et intelligente qui représente une partie intégrante du secteur industriel et qui consiste à la transformation de la matière première et des biens, la fabrication de produits finis ou semi-finis, la fabrication, la maintenance et l'installation d'outils industriels, dont on peut citer les industries de l'agroalimentaires, de l'électronique et de l'informatique, du textile et des vêtements, de l'automobile, du bois, du papier, du meubles, entre autres. Ce type d'industrie appelé maintenant industrie 4.0 complètement automatisé, robotisé et informatisé rend l'utilisation des systèmes de supervision tel que SCADA une nécessité pour le bon fonctionnement de ces systèmes complexes [41][42][43].

Parmi les outils de supervision, de contrôle et d'acquisition de données SCADA les plus puissants et les plus utilisés nous avons le logiciel SIMATIC WinCC développé par la firme Siemens. Il est utilisé dans divers domaines de production comme l'industrie agroalimentaire [44][45], l'industrie pharmaceutique pour surveiller la réaction des produits pharmaceutiques en temps réel [46], l'industrie du gaz et du pétrole [47], les stations d'épuration, les stations de pompage et de pressurisation des eaux dont le but est de faciliter la tâche de contrôle et de commande pour améliorer la qualité ainsi que l'optimisation de distribution de cette ressource primordiale [48][49]. On le trouve aussi dans le domaine de régulation automatique des systèmes de réservoirs afin d'améliorer le processus de traitement des eaux usées et ainsi obtenir une bonne gestion de l'énergie électrique pour une bonne efficacité énergétique [50][51].

Dans cette thèse, notre travail s'articule sur la supervision du système MPS PA et MPS 500 qui est un système automatisé de production SAP moderne AFB de la marque FESTO en intégrant des objets technologiques PID pour la régulation de niveau d'une part et la régulation de température d'autre part. Une nouvelle approche est présentée afin de développer un système SCADA doté d'une base de données optimale. Pour cela, nous allons présenter une méthode complète du développement d'IHM de supervision du système MPS PA et MPS 500 avec le logiciel WinCC de Siemens en utilisant les deux simulateurs S7-PLCSIM de SIMATIC STEP7 et RUNTIME de SIMATIC WinCC afin de visualiser les modèles obtenus en mode de simulation et en temps réel.

## 1.3. Fonctions et Eléments du SCADA

SCADA est un acronyme qui signifie le contrôle et la supervision par acquisition de données (en anglais : Supervisory Control and Data Acquisition) permettant la centralisation des données, la présentation souvent semi-graphique sur des postes de « pilotage ». Le système SCADA collecte des données de divers appareils d'une quelconque installation, puis transmet ces données à un ordinateur central qu'il soit proche ou éloigné, qui alors contrôle et supervise l'installation ; ce dernier est subordonné par d'autres postes d'opérateurs. L'allure générale d'un système SCADA est montrée sur la figure 1.2 [52] [53].

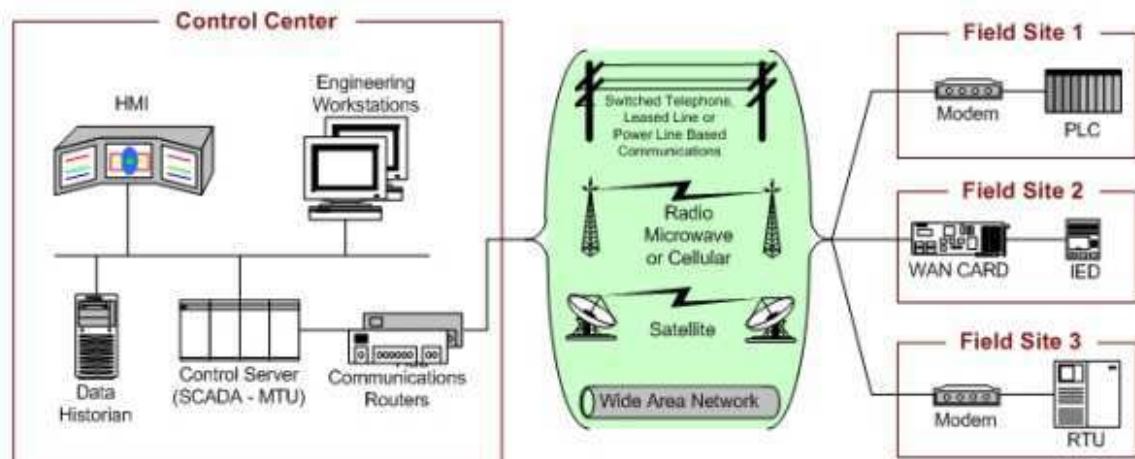


Figure 1.2 : Schéma général d'un système SCADA [54].

### 1.3.1. Fonction de base du SCADA

Les fonctions SCADA de base comprennent l'acquisition de données, le contrôle à distance, l'interface homme-machine, l'analyse des données historiques et la rédaction de rapports, qui sont communs aux systèmes de production, de transmission et de distribution.

- **Acquisition des données** est la fonction par laquelle tous les types de données analogiques et numérique sont acquises à partir du système d'alimentation. Ceci est accompli par l'utilisation de capteurs, de transducteurs et d'informations de point d'état acquis du terrain.
- **Contrôle à distance** implique le contrôle de toutes les variables requises par l'opérateur de la salle de contrôle. Dans les systèmes électriques, le contrôle consiste principalement à changer de position. Par conséquent, les points de sortie de contrôle numérique sont abondants, tels que positions du disjoncteur, de l'isolateur et des positions de marche et d'arrêt de l'équipement.
- **Analyse des données historiques** est une fonction importante remplie par le SCADA du système électrique, où l'analyse post-événement est effectuée à l'aide des données disponibles après l'événement. Un exemple est l'analyse post-arrêt où les données acquises par le système SCADA peuvent fournir des informations sur des informations telles que la séquence d'événements au cours de l'année : panne, dysfonctionnement

de tout périphérique du système et action prise par l'opérateur. Cela pourrait être un outil puissant pour la planification future et est largement utilisé par le personnel de génie électrique.

- **Rédaction de rapports** : le système SCADA du système d'alimentation nécessite la génération d'un certain nombre de rapport pour la consommation à différents niveaux de la gestion et des différents départements de l'utilitaire. Par conséquent, la génération de rapports est essentielle conformément aux exigences des parties et des départements concernés.

### 1.3.2. Eléments du système SCADA

Principalement, un système SCADA [60] se compose :

#### 1.3.2.1. Site central

C'est la station de contrôle pour l'ensemble du système fournissant normalement à l'utilisateur l'interface pour l'affichage des informations et le contrôle des sites éloignés.

#### 1.3.2.2. RTU (Remote Terminal Unit) ou PLC [61]

Cette unité sert à collecter les informations à partir de l'instrumentation du terrain et les transmettre au MTU à travers le système de communication.

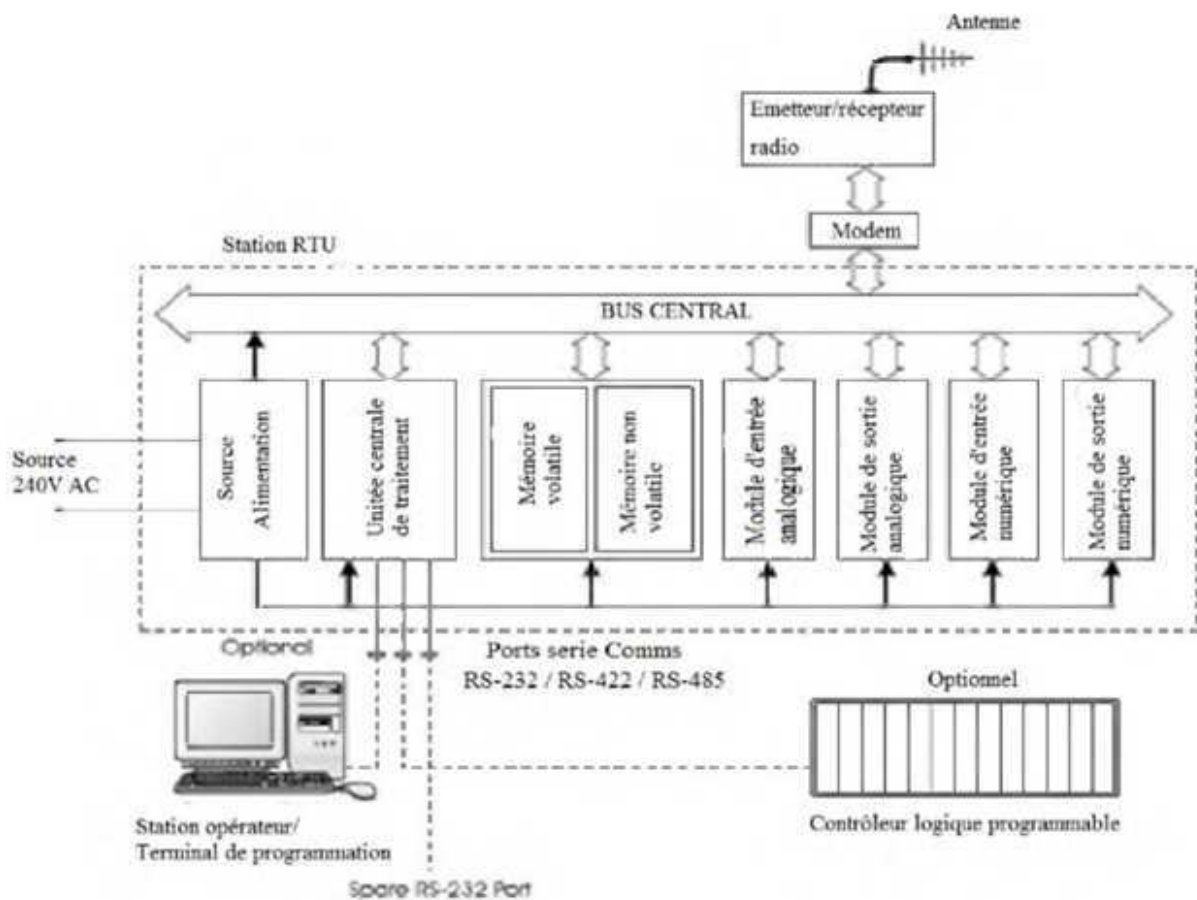


Figure 1.3 : Schéma général d'un RTU [61].

C'est une entité d'acquisition de données et de commande généralement à base de microprocesseur (actuellement on utilise des automates programmables) vers la salle de contrôle principal ou parfois à d'autres RTU, elle recueille également des informations provenant de l'appareil maître et met en œuvre des processus qui sont dirigés par le maître. Les RTUs sont équipées de voies d'entrée pour les capteurs ou les compteurs, canaux de sortie pour le contrôle, l'indication ou les alarmes et un port de communication, la figure suivante représente un schéma typique d'un RTU.

### **1. Evolution des RTU**

De 1900 au début des années 1920, divers types de systèmes de télécommande ont été mis au point par des ingénieurs pour la supervision à distance de processus. Les systèmes ne pouvaient que surveiller le processus et aucun contrôle n'était possible. En 1921, un système conçu par John B. Harlow pouvait détecter automatiquement un changement de statut sur une station distante et peut signaler le changement au centre de contrôle [1].

En 1923, le système de commande à distance développé par John J. Bellamy et Rodney G. Richardson employait un équivalent de notre technique moderne de "vérification avant de fonctionner". Il garantissait la validité d'un point de contrôle sélectionné avant que le contrôle réel ne soit initié.

En 1927, le premier système d'enregistrement, conçu par Harry E. Hersey, surveillait les informations provenant d'un site distant et imprimait les changements d'état avec l'heure indiquée.

Les systèmes de supervision ont évolué, passant de l'électromécanique à l'utilisation de composants à semi-conducteurs, de capteurs électroniques et de convertisseurs analogiques-numériques. Avec l'arrivée des microprocesseurs, les fabricants de RTU se sont contentés de mettre à niveau leur technologie sans chercher d'autres moyens d'exécuter la fonction RTU.

Dans les années 1980, la logique basée sur les microprocesseurs a été incorporée dans les RTU. Cela a augmenté la flexibilité des systèmes de supervision et a apporté de nouvelles capacités dans l'opération et la performance. Le développement des communications et des puces à microprocesseur plus rapides a permis de réduire les coûts et d'améliorer les performances.

Les nouveaux systèmes présentent les avantages suivants :

- Capacité de développement de système modulaire,
- Système d'interface utilisateur largement préprogrammé et facile à adapter au processus individuel,
- Logiciel préprogrammé piloté par menus (programmation finale à l'aide de quelques boutons sur le clavier),
- Large choix d'algorithmes de contrôle avec menu préprogrammé,

- Autoroute de données avec capacités de transmission et de communication entre des unités séparées - large bande, redondance,
- Communication relativement facile avec la salle de contrôle pour le contrôle de supervision,
- Schéma et dispositifs de diagnostic étendus pour un entretien facile et remplacement du circuit imprimé (niveau carte),
- Redondance à tous les niveaux pour améliorer la fiabilité,
- Protocoles de communication standard de l'industrie (IEEE 1815 ou DNP3, CEI 60870-5-101 et 103).

## **2. Composants de RTU [1]**

RTU comprend les principaux composants suivants pour effectuer les tâches de surveillance et de contrôle des appareils de terrain.

### **a. Sous-système de communication**

Le sous-système de communication constitue l'interface entre le réseau de communication SCADA et la RTU interne logique. Ce sous-système reçoit des messages du maître, interprète les messages, initie des actions au sein de la RTU qui à leur tour initie certaines actions sur le terrain. RTU envoie également un message approprié à le poste principal à la fin de la tâche. Il collecte également des données sur le terrain, traite et transmet les données pertinentes au maître station. RTU peut signaler à un seul maître ou à plusieurs maîtres.

### **b. Sous-système logique**

Le sous-système logique est constitué du processeur principal et gère tous les principaux processus de traitement-chronométrage, et détection de contrôle. Le sous-système logique gère également les fonctions de conversions analogique-numérique et optimisation informatique, dans la plupart des cas.

### **c. Sous-système de terminaison**

Le sous-système de terminaison fournit les interfaces entre RTU et les équipements externes tels que les lignes de communication, les sources primaires et les appareils de sous-station. La Logique RTU doit être protégé de l'environnement hostile de la sous-station.

### **d. Sous-système d'alimentation**

L'alimentation convertit l'alimentation primaire, généralement de la batterie de la sous-station, aux besoins des autres sous-systèmes RTU.

### **e. Sous-système de test / IHM**

Ce sous-système couvre une variété de composants, tests de matériel / firmware intégrés, et indicateurs visuels, dans le RTU, et panneaux ou écrans de test / maintenance intégrés ou portables. La figure 1.4 présente les composants du RTU.

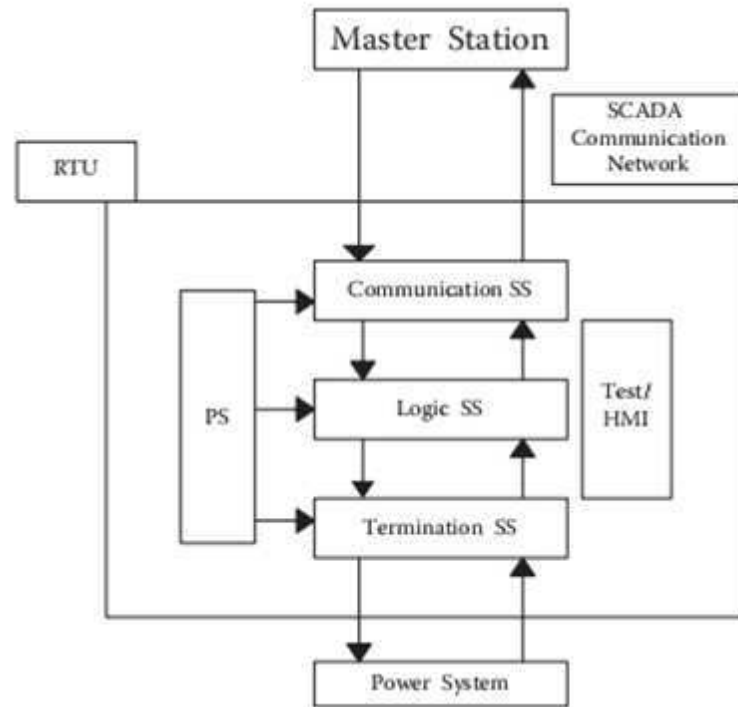


Figure 1.4 : Composants du RTU [61].

### 3. Sous-système de communication

Le sous-système de communication constitue l'interface entre le réseau de communication SCADA et la logique interne de la RTU. Les messages de la station maître sont reçus et interprétés par le sous-système de communication et l'action requise est initiée au sein de la RTU. La RTU initie ensuite l'action de contrôle requise sur le terrain, à l'issue de laquelle un message approprié est transmis à la station maître. La communication de sous-système reçoit les données du champ, les traite, les regroupe dans le protocole approprié et les transmet au maître station, via le réseau de communication SCADA. Par conséquent, il est évident que le sous-système de communication de la RTU est responsable de l'interprétation des messages du poste principal, ainsi que le formatage des messages à transmettre au maître, y compris le message de sécurité. Le sous-système de communication RTU gère les fonctions suivantes [1].

#### a. Protocoles de communication

Une grande variété de protocoles de communication existe dans le système d'alimentation. Le système de communication RTU est conçu pour formater et interpréter les données dans le protocole requis. Les détails de la structure du protocole de communication et des protocoles utilisés dans le système d'alimentation sont traités au Chapitre 3. Les protocoles de communication SCADA généralement "rapportent par exception" ou donnent des informations sur les points qui ont changé depuis le dernier balayage afin de réduire le système de communication. Pour les points analogiques, cela signifie qu'il faut passer au-delà de leur bande morte entre les balayages.

### b. Message de sécurité

Les données gérées par le système SCADA sont critiques et toute corruption dans les données peut avoir des conséquences graves. Le contrôle de parité est la méthode la plus simple, où un seul bit est ajouté au message pour que la somme soit toujours impaire. Le contrôle de redondance cyclique (CRC) est un autre mécanisme de vérification d'erreur utilisé, plus fiable. Ici, chaque bloc de données est divisé par un polynôme de 16 degrés, le reste de la division est ajouté à la fin du bloc de messages. Le message aura une longueur fixe pré-ambule de caractères généraux, en fonction du protocole utilisé, la station adresse, code de fonction et autres détails. Le code CRC est calculé séparément pour le préambule et le bloc de données.

### c. Communication multiport

Les RTU modernes doivent communiquer avec la hiérarchie SCADA supérieure pour plusieurs postes maîtres et communiquent simultanément avec des RTU et des DEI homologues dans divers protocoles. Le sous-système de communication devrait être conçu pour gérer cette capacité [1].

## 4. Sous-système logique

Le sous-système logique est l'unité centrale de traitement et de contrôle de la RTU. Les RTU modernes exécutent un certain nombre de fonctions avancées pour décharger la station maître, en plus des deux fonctions principales, la collecte de données et le traitement, ainsi que la sélection et l'exécution du point de contrôle.

Les fonctions principales de la RTU sont la conservation du temps ainsi que l'acquisition et le traitement de données, comme le montre la Figure 1.5.

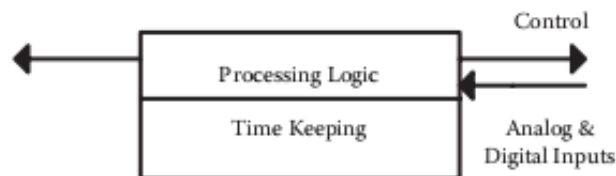


Figure 1.5 : Sous-système logique RTU (de base) [61][1].

### a. Chronométrage

L'enregistrement de séquence d'événements (SOE) ou l'horodatage des événements revêtent une grande importance dans les systèmes d'alimentation électrique, et le sous-système logique gère cette tâche dans la RTU. La RTU doit également exécuter de nombreuses fonctions dans le temps. La RTU prend en charge la synchronisation de l'heure en plus de la conservation de l'heure. La synchronisation de l'heure de la RTU et de la station maître s'effectue par le biais des récepteurs GPS qui assurent un synchronisme parfait (résolution de 1 ms). Certaines des RTU sont synchronisées dans le temps depuis la station maître (résolution de  $\pm 6$  à 8 ms, au moins). Pour que la séquence d'événements soit efficace, la RTU doit pouvoir mesurer le temps dans les 1 ms. Ce degré de précision nécessite à la fois une horloge précise et un processeur piloté par des interruptions [1].

### **b. Acquisition et traitement de données**

Les données SCADA sont disponibles sous forme analogique et numérique. Le traitement d'acquisition de données du sous-système logique collecte et rapporte les deux types de données. Les valeurs analogiques sont acquises à partir de transducteurs connectés aux appareils de terrain, par exemple les valeurs de courant et de tension des lignes de transmission ou des transformateurs. Les RTU de la génération précédente avaient le module de conversion analogique-numérique faisant partie de la RTU, ce qui nécessitait que les câbles soient acheminés du terrain vers la RTU. Avec les progrès des techniques de conversion analogique-numérique et des réseaux de communication, les appareils de terrain sont en train de devenir « Intelligent » et peut fournir des données numériques directement à un réseau local qui peut être acquis par le RTU. Actuellement, les IED sont largement déployés sur le terrain pour les applications SCADA et transmettent toutes les données sous forme numérique.

### **c. Acquisition de données numériques**

Les données numériques sont une entrée d'état ou de contact qui a deux états et qui est généralement reçue sous la forme d'une fermeture de contact / commutateur ou d'une tension / tension signal. Ce signal indique l'état actuel d'un système, tel que marche / arrêt ou ouvrir / fermer.

L'acquisition de données numériques se fait de 04 manières :

1. Statut actuel.
2. Etat actuel avec détection de la mémoire - nombre de changements de contact depuis le dernier rapport.
3. Séquence d'événements (SOE) - avec horodatage.
4. Valeur de l'accumulateur - nombre de fermetures de contact sur une période de temps (généralement utilisée pour les générateurs d'impulsions de compteurs d'énergie).

L'acquisition des données numériques se fait généralement de deux manières : balayage à haute vitesse de tous les points d'entrée, tandis que certaines RTU balayent les points d'entrée analogiques et utilise l'interruption du microprocesseur pour les changements d'état. Seuls les RTU avec les interruptions du microprocesseur conviennent à la consignation SOE et peuvent horodater les événements à une précision de 1 ms. Les journaux SOE sont utilisés par la planification du système et / ou la protection du système ingénieurs pour vérifier que le système de protection a fonctionné comme prévu[1].

### **d. Acquisition de données analogiques**

Les signaux analogiques, généralement une tension ou un courant qui change sur les transducteurs appropriés convertissent généralement un signal de 4 à 20 mA en une période donnée et dans une certaine plage. Certains utilitaires utilisent également -1 à +1 mA. Le circuit de conversion analogique-numérique convertit ces signaux en valeurs binaires pour une transmission ultérieure ou une analyse par la RTU. Les signaux analogiques doivent être exempts de bruit et d'interférences électromagnétiques [1].

Les signaux de boucle de courant de 4 à 20 mA sont généralement insensibles aux sources de bruit électrique et constituent l'entrée standard préférée des convertisseurs A / N. Le seuil de 4 mA est donné pour tenir compte d'une coupure dans le circuit, qui indiquera un zéro et la valeur mesurée minimale indiquera 4 mA. Le sous-système logique de la RTU moderne est également capable de gérer de nombreuses autres fonctions telles que le filtrage, la linéarisation, le rapport par exception et le contrôle / l'alarme de limitation, afin de décharger le canal de communication et la station maître. Le multiplexage des entrées est fait pour utiliser la capacité des convertisseurs A / N. Avec les systèmes à microprocesseur en place, les entrées sélectionnées peuvent être scannées plus fréquemment et facilite la récupération plus fréquente des entrées analogiques critiques [1].

#### **e. Sorties analogiques**

Les sorties analogiques permettent de faire varier les points de fonctionnement des variables de processus, tels que le changement de niveau, les moteurs et les entraînements à vitesse variable. Ce sera généralement un signal milliampère constant proportionnel au numérique quantité spécifiée dans une commande du poste maître. Sorties analogiques utilisé pour conduire des enregistreurs graphiques à bandes dans le centre de contrôle sont rarement utilisés par l'industrie de l'automatisation des systèmes d'alimentation.

#### **f. Sortie numérique (contact)**

Les sorties de contact sont la commande de contrôle émise par la RTU pour l'ouverture ou la fermeture de tout type d'interrupteur, qu'il s'agisse d'un disjoncteur, d'un isolateur ou d'un simple interrupteur. Ceci est généralement réalisé par une opération de relais électromécanique (relais interposant), initiée par la RTU, pour faire fonctionner un équipement. L'industrie des procédés et les systèmes électriques utilisent ce type de production de manière intensive.

Les sorties de contact sont verrouillées et restent dans cette position jusqu'à ce qu'une autre commande spécifique soit donnée. Les sorties momentanées sont activées et désactivées après une heure définie spécifique par une seule commande. Dans les RTU modernes, l'heure est définie par l'utilisateur et est variable, alors que dans les RTU antérieures, l'heure était prédéfinie.

Dans les systèmes d'alimentation, les sorties de contact prennent en charge le déclenchement et la fermeture séparés relais, et il existe une disposition de sécurité de sélection avant l'opération (SBO), et des circuits pour s'assurer qu'un, et un seul, relais de commande dans la RTU est utilisé. La fonction SBO permet une vérification de bout en bout du système [1].

La station maître envoie un message de sélection de point et reçoit un message de rappel avant d'envoyer un message de fonctionnement et de recevoir un message de vérification. La logique de contrôle se réinitialise complètement à la fin d'une opération de fonctionnement ou lorsqu'un défaut est détecté.

### **g. Entrées d'impulsion**

Les entrées d'impulsion donnent une valeur numérique, comme les entrées analogiques. Cependant, elles sont considérées comme une classe spéciale et ont deux classifications : impulsions comptées en continu et impulsions comptées sur un intervalle de temps spécifique. Chaque impulsion représentera une quantité spécifique d'entrée, telle que 1 mm de pluie, un kilowatt de puissance, etc. Ainsi, en comptant les impulsions, on peut obtenir la quantité totale sur une période donnée, les précipitations pendant une journée, la puissance consommée pendant des heures spécifiques, etc. Les entrées d'impulsion sont utilisées dans le système SCADA de système d'alimentation pour la comptabilisation de l'énergie, avec les entrées des compteurs d'énergie. Les RTU modernes ne nécessitent aucun matériel particulier, car les entrées d'impulsions peuvent être détectées par le matériel d'entrée d'état.

### **h. Sorties d'impulsion**

Les sorties d'impulsions sont une classe spéciale de sorties de contact où la sortie change entre on et off pour un nombre de fois spécifique. Celles-ci peuvent être considérées comme une classe spéciale de sorties numériques. Ils étaient principalement utilisés par les industries de transformation et sont maintenant rarement utilisés, mais cette section est incluse dans un souci d'exhaustivité des composants.

## **5. Sous-système de terminaison**

Le sous-système de terminaison est l'interface entre la RTU, qui est un dispositif électronique, et le monde physique, généralement dangereux pour la RTU. La fonction principale du sous-système de terminaison est de protéger la RTU de l'environnement de terrain hostile. L'environnement de la sous-station est hostile en raison de nombreux facteurs tels que les surtensions, la foudre, les surtensions et inversions de tension, les décharges électrostatiques (ESD) et les perturbations électromagnétiques et interférence (EMI). Dans le cas des industries de transformation, l'environnement dangereux comprendra la température, l'humidité et les émanations. Les dispositions effectives d'isolation entre le sous-système logique RTU et le champ dépendent du fabricant individuel. Cependant, le résultat final est que le RTU devra être protégé de l'environnement dangereux.

### **a. Terminaisons numériques**

Les entrées numériques de la RTU proviennent des différentes formes de commutateurs de champ et proviennent des contacts électromécaniques dans les dispositifs de commutation et de comptage.

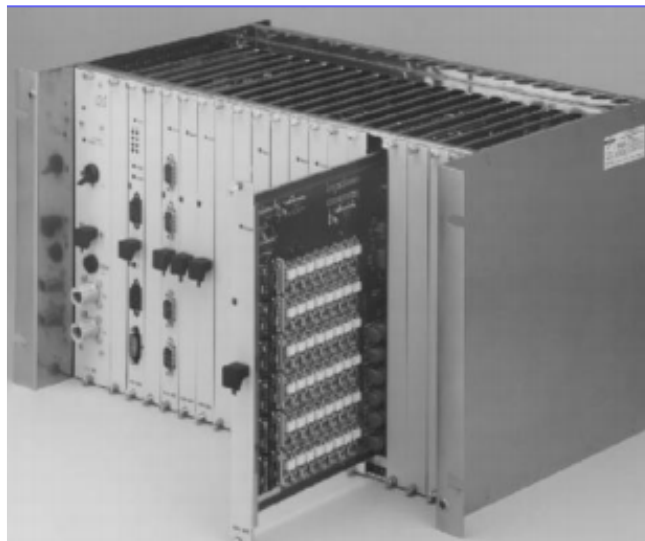
Généralement, la détection de contact est effectuée par un relais d'interposition alimenté par une batterie, ce qui assure une isolation du champ. Les isolateurs optiques sont également répandus, ce qui permet une isolation complète. Si l'entrée de contact provient d'un appareil de mesure, le micrologiciel contient la logique de détection des modifications et de cumul des impulsions.

### b. Terminaisons analogiques

Les entrées analogiques proviennent des transducteurs, des capteurs, des émetteurs, des thermocouples et des dispositifs à résistance, qui fournissent eux-mêmes une isolation électrique. Les signaux de 4 à 20 mA de ces appareils atteignent le signal analogique-numérique, unité de conversion par fusibles et sont mis à la terre à la RTU [1].

### 6. Test et sous-système d'interface homme-machine (IHM)

Les RTU situées dans des sites distants ne sont généralement pas surveillées et peuvent ne pas être associées à un système d'affichage ou à une IHM. Le panneau de la RTU aura un certain nombre de voyants indiquant l'état des différentes cartes et fonctionnalités de la RTU, qui donnent au personnel une idée de l'état de la RTU. La figure 1.6 montre un RTU typique avec des indicateurs.



**Figure 1.6** : RTU avec cartes extractibles pour la communication, les entrées et sorties analogiques et numériques, ainsi que les unités logiques et d'alimentation. (Gracieuseté de PGCIL Ltd, Inde) [1].

La RTU disposera de ses propres routines intégrées permettant de tester le matériel et les logiciels et de donner des indications sur le panneau. Les résultats du test et les informations connexes seront transmis au maître. La surveillance continue du micrologiciel et du logiciel de la RTU est effectuée afin que les défauts et les problèmes peuvent être identifiés et résolus instantanément. Diagnostic au niveau de la carte le logiciel peut être exécuté au niveau du poste principal pour identifier les cartes défectueuses et une action corrective appropriée peut être initiée. Les ensembles de test plug-in capables de simuler une station maître et de tester les RTU sont également utilisés par les techniciens pour un meilleur diagnostic des problèmes liés aux RTU. Grâce à la disponibilité d'écrans LED et LCD économiques, les RTU peuvent être équipés de tels panneaux d'affichage qui donneront les valeurs mesurées par le RTU pour transmettre des informations au personnel présent dans l'usine ou dans la sous-station, si nécessaire [1].

### 7. Alimentations

La RTU aura une unité d'alimentation séparée, qui est alimentée par une source CC appropriée. Les niveaux de tension les plus couramment utilisés sont 24 VDC, 48 VDC et 125

VDC. Parfois, même 250 VDC peuvent être utilisés dans des systèmes. Les RTU du système de transmission et de distribution sont situées dans la sous-station et sont alimentées par la batterie de la sous-station. Ces batteries flottent de sorte qu'un seul défaut à la terre de la batterie ne provoque pas de dysfonctionnement, d'endommagement de l'équipement ou de danger pour l'homme. De nombreux locaux auront deux niveaux de tension, par exemple 24 VCC et 48 VCC, et l'alimentation de la RTU peut être facilement commutée de l'un à l'autre, ce qui rend le système plus fiable [1].

## **8. Fonctionnalités RTU avancées**

Avec l'avènement de la technologie des microprocesseurs et de la technologie intégrée, les dispositifs basés sur les circuits étant de moins en moins chers, les RTU ont également gagné en fonctionnalité et en polyvalence. Les processeurs sont devenus plus rapides, avec plus de mémoire et des calculs avancés possibles. L'évolution des fonctionnalités de la RTU a également varié d'une industrie à l'autre selon le segment de marché.

### **a. Fonctionnement multiport et multi-protocole**

Lorsque deux stations maîtres ont besoin de données de la même sous-station, il était préférable d'installer deux RTU, chacune reportant aux stations maîtres respectifs les mêmes paramètres. Avec les systèmes logiques migrant vers des systèmes à microprocesseur, la mémoire et la puissance de traitement ont augmenté et la même RTU pouvait rendre compte à plusieurs stations maîtres.

Parfois, les RTU du même niveau hiérarchique devront communiquer entre elles pour mettre en œuvre certaines fonctions de contrôle, ce qui nécessitait également une capacité de communication multiport. Le coût et la complexité du micrologiciel dans les sous-systèmes de logique et de communication augmenteront dans ce cas. Cependant, le coût total d'installation et d'exploitation du système sera considérablement réduit. Le sous-système logique RTU aura une base de données générale pour stocker tous les informations provenant des unités d'entrée/sortie et des bases de données secondaires sont créées pour s'adresser à chaque poste maître pour les points surveillés et contrôlés par ce poste particulier. Le protocole utilisé pour la communication entre des stations maîtres distinctes pourrait également être différent. Par conséquent, le sous-système de communication de la RTU, qui interprète et formate les messages, doit pouvoir gérer plusieurs protocoles. Par exemple, la RTU d'une sous-station d'un SCADA de transport hiérarchie fera rapport au poste principal local ainsi qu'au bureau régional centre de contrôle. Il peut également coordonner avec une autre unité RTU au niveau local, ce qui peut servir à mettre en œuvre des fonctions de protection [1].

### **b. Interface numérique avec d'autres appareils électroniques**

Les installations électriques utilisent actuellement de nombreux dispositifs électroniques intelligents, dotés de capacités d'acquisition et de traitement de données pour les applications de contrôle, de protection et de comptage. Les données de ces dispositifs peuvent être intégrées à la RTU pour le traitement et la transmission ultérieure plus haut dans la hiérarchie. Chacun de ces IED aura des interfaces électriques et des protocoles de communication différents. Par conséquent, la RTU doit être équipée pour gérer ces données numérisées. On utilise

généralement des interfaces série comprenant RS 232 et RS 485 pour une telle communication. Le nombre de ports série pris en charge dans la RTU et le nombre de IED pouvant être pris en charge sont également limités. En outre, la RTU ne peut prendre en charge que les données opérationnelles, alors que le concentrateur de données peut prendre en charge les données opérationnelles et non opérationnelles.

### **c. Contrôle en boucle fermée, calcul et optimisation au niveau RTU**

Les RTU modernes peuvent gérer le contrôle en boucle fermée, les calculs complexes et optimisation. Celles-ci sont largement utilisées pour décharger la station maître et avoir un contrôle réparti. Pour le contrôle en boucle fermée, le point de consigne La valeur est accessible depuis le maître, la valeur mesurée est comparée et la RTU lance l'action appropriée pour maintenir la valeur mesurée égale à la valeur définie. Les exemples sont les changeurs de prises en charge avec transformateurs de puissance et régulateurs de tension, dans lesquels la position de prise est modifiée pour maintenir la tension à la valeur de consigne spécifiée. Les calculs complexes consistent à utiliser les valeurs mesurées de nombreux paramètres pour calculer une valeur, qui sera le point de consigne et l'action de contrôle résultante. Pour contrôler les batteries de condensateurs le long d'un départ d'alimentation pour la correction du facteur de puissance, l'amélioration de la tension et la réduction des pertes, de nombreux paramètres de ligne, tels que la tension, le facteur de puissance et le flux de puissance réactive, sont mesurés et calculés avant le contrôle des batteries de condensateurs commutées. Un algorithme d'optimisation peut être utilisé au prochain niveau pour optimiser la quantité mesurée ou calculée. Il est clair que ces actions réduisent la charge sur la station maître et les RTU sont équipées pour ces fonctions complexes en répartissant l'intelligence.

### **d. Interface avec les fonctions de l'application**

Au niveau de la sous-station, de nombreux utilitaires ont installé des algorithmes d'application pour l'optimisation des opérations, comme la gestion de la charge et des systèmes de réponse à la demande.

L'opérateur peut lancer la réduction de charge et d'autres activités à l'aide du même système, et la RTU doit établir et interfacier avec de tels programmes d'application.

### **e. Traitement de données avancé**

Les RTU collectent et transmettent un grand nombre de points de données et le temps de scrutation de chaque point est compris entre 2 et 10 s (par exemple, 2 s pour les valeurs numériques et 10 s pour les entrées analogiques), ce qui donne une idée de la quantité des données reçues à la station maîtresse ou à la hiérarchie supérieure. Les opérateurs sont inondés de données, ce qui entraîne des demandes d'implémentation de fonctionnalités de traitement avancées dans la RTU. L'une de ces demandes consiste à envisager une analyse des modifications des points d'état pour ne signaler que l'action de haut niveau. Par exemple, lorsqu'un disjoncteur est activé, de nombreuses alarmes de point analogique peuvent être générées (basse tension et faible courant pour les trois phases). Le message important à transmettre à l'opérateur du système est le fait que le disjoncteur est actionné (primaire alarme), mais les systèmes actuels fournissent également les alarmes de point analogique (alarmes

secondaires). Vous souhaitez enregistrer tous les changements de point analogiques dans la station maître pour une analyse technique ultérieure, mais ne signaler que le fonctionnement du disjoncteur à l'opérateur du système. Le traitement d'alarme intelligent est un traitement de données avancé qui peut être installé dans la RTU [1].

#### **f. Autres fonctions**

L'horodatage des valeurs analogiques et numériques pour la séquence d'événements est mis en œuvre dans les RTU. Parmi les autres fonctions pouvant être implémentées dans la RTU, on peut citer l'automatisation de la distribution, le contrôle à tension variable (VAR) et la détection des pannes, l'isolation et la restauration du service.

Il est donc évident que les RTU modernes sont des centrales électriques qui, dans Outre l'acquisition des données sur le terrain et l'exécution du contrôle actions, sont capables d'assumer une variété d'autres fonctions et sont composants intégrés du système SCADA.

### **1.3.2.3. Dispositifs électroniques intelligents (IED)**

La définition standard de l'IED est « Tout dispositif incorporant un ou plusieurs processeurs capables de recevoir ou d'envoyer des données / une commande depuis ou vers une source externe (par exemple, des compteurs multifonctions électroniques, des relais numériques et des contrôleurs) ». Les IED ont été largement déployés dans les systèmes d'automatisation de l'alimentation récemment, et le passage des RTU aux IED est évident en raison des caractéristiques d'intégration et d'interopérabilité des IED. À ce stade, il est nécessaire de discuter en détail de la fonctionnalité de l'IED afin de présenter une vue globale de l'automation dans les systèmes électriques.

#### **1. Evolution des IED**

Les IED ont été introduits au début des années 1980 avec des fonctions de contrôle basées sur un microprocesseur. Le déploiement des IED révolutionne les fonctions de protection, d'automatisation de la sous-station et de la distribution, ainsi que de capture et d'analyse de données d'un service public d'électricité. Le relais de protection est passé des types électromécaniques conventionnels à fonction unique aux fonctions multifonctions relais à microprocesseur et a commencé à incorporer différentes fonctions de protection dans le même relais, plutôt que d'utiliser des relais individuels pour chaque application. L'adoption des relais multifonctions à microprocesseur a permis de réaliser des économies considérables sur les coûts des tableaux de relais et des installations de commutation. Cependant, la révolution des DEI a commencé lorsque d'autres fonctionnalités telles que la mesure du phaseur de tension et de courant, la capture de formes les compteurs étaient intégrés aux relais. La croissance de l'infrastructure de communication, la normalisation des protocoles et l'interopérabilité ont été les principaux facteurs à l'origine de l'exploitation d'IED. Les IED sont maintenant les yeux, les oreilles et les mains des systèmes d'automatisation d'une entreprise d'électricité. Les IED dotés de capacités de contrôle et de surveillance complètes ainsi que d'une analyse des données des rapports de pannes peuvent gérer les sous-stations sans intervention humaine. Le mauvais déclenchement des circuits peut être évité en utilisant pleinement les capacités des IED. Avec

des IED hautement intégrés, les services publics et les usines industrielles ont énorme potentiel de réduction des coûts. Ces économies peuvent être résumées dans les catégories suivantes :

- Coût d'installation et d'assemblage du panneau réduit,
- Délais de mise en service et de maintenance réduits,
- Temps de récupération du système plus court après une perturbation,
- Moins de pertes de revenus dues aux mauvais réglages et au mauvais fonctionnement de l'IED,
- Fiabilité accrue du système grâce à l'automatisation, à l'intégration et aux paramètres adaptatifs,
- Meilleure utilisation de la capacité installée,
- Meilleure justification des nouveaux investissements,
- Petites maisons de contrôle.

L'intégration des IED et l'analyse appropriée des données de défauts conduiront à des délais très courts temps de restauration du système après une panne de courant et pertes de revenus des services publics sera minimisé

## 2. Schéma fonctionnel de l'IED

La figure 1.7 illustre le schéma fonctionnel d'un dispositif électronique intelligent typique. L'architecture IED moderne garantit que le dispositif est polyvalent, de nature modulaire, flexible et adaptable, et dispose de capacités de communication robustes. Les capacités de communication incluent plusieurs protocoles sélectionnables, des installations multipoint avec plusieurs ports et une réponse rapide pour les données en temps réel. Les IED offrent également une formidable capacité de traitement de données pour une variété de fonctions, pour diverses applications telles que la protection et la mesure.

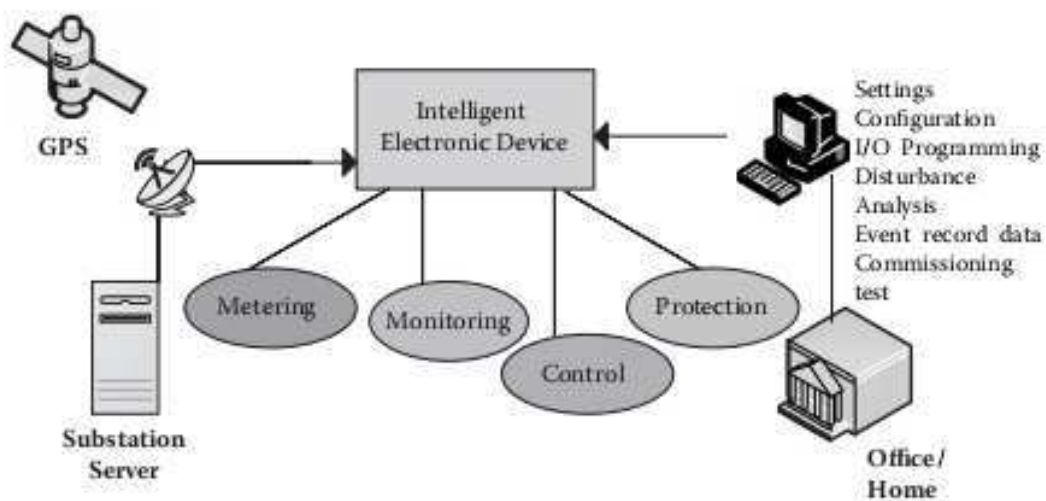


Figure 1.7 : Vue fonctionnelle d'un IED moderne [61][1].

Les IED ont une capacité d'enregistrement d'événements qui peut être très utile pour l'analyse post-événement, pour l'enregistrement de formes d'onde de fautes et pour les mesures de qualité de l'alimentation. Ceci élimine les enregistreurs de défauts numériques et les moniteurs de qualité d'alimentation supplémentaires. Les IED peuvent également accepter et envoyer des signaux analogiques et numériques avec des caractéristiques sélectionnables, ce qui les rend polyvalents. En ce qui concerne le déploiement des IED sur le terrain, la figure 1.7 donne une image complète de l'intégration du IED avec les dispositifs connectés et des fonctionnalités gérées par les IED.

Le IED intègre un panneau de relais avec de nombreux relais électromécaniques à fonction unique, des commutateurs de commande, un câblage étendu et bien plus encore dans un seul boîtier. De plus, le DEI gère des fonctions supplémentaires telles que la surveillance de circuit externe et autonome, la synchronisation en temps réel du suivi des événements, l'accès aux données locales et de sous-stations, la fonctionnalité de contrôleur logique programmable et toute une gamme d'outils logiciels pour la mise en service, les tests et le compte rendu d'événements et analyse des fautes.

### **3. Architecture matérielle et logicielle de l'IED**

L'architecture d'un IED doit garantir la facilité d'utilisation de l'appareil en ce qui concerne la programmation, la mise en service et la maintenance. Le matériel doit être conçu en tenant compte de la future exigence en matière d'adaptabilité, tandis que la structure logicielle doit assurer les fonctions de protection, de contrôle, de mesure et de communication indépendantes. La conception du matériel IED utilise des cartes de type extensible, ce qui est un avantage considérable. Le remplacement peut être effectué facilement sans déconnecter les câbles de borne ni retirer le DEI du panneau. L'architecture logicielle du IED est conçue de manière à ce que le technicien de mise en service puisse facilement évaluer et programmer les fonctions disponibles de manière autonome. La fonction souhaitée peut être sélectionnée, les autres fonctions sont désactivées et ne sont pas visibles par le personnel, ce qui permet de gagner du temps lors de la mise en service. Chaque fonction sélectionnée est une unité intégrée indépendante, généralement dotée d'un DEI doté d'entrées et de sorties logiques, de paramètres et de fonctions de compte rendu d'événements dédiés.

La figure 1.8 illustre les blocs fonctionnels d'un IED qui démontrent la polyvalence de l'appareil. En plus des entrées et sorties analogiques et numériques, l'IED peut capter des formes d'onde et analyser des perturbations. La mesure et l'enregistrement des valeurs de la demande sont d'autres caractéristiques, en plus de la capacité de logique programmable des DEI qui élimine une utilisation supplémentaire de l'automate. La surveillance autonome et externe des circuits rend l'appareil extrêmement fiable et réduit les temps d'arrêt.

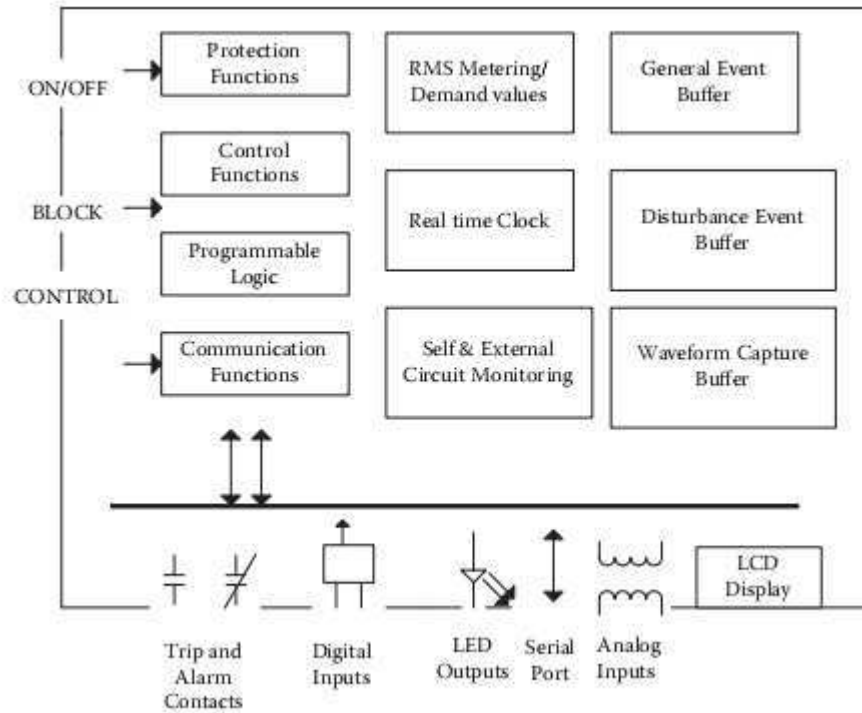


Figure 1.8 : Structure d'un IED [62].

#### 4. Sous-système de communication IED

La communication IED est de la plus haute importance. Par conséquent, l'appareil offre à la fois flexibilité et flexibilité. Le DEI devrait prendre en charge différents protocoles pour la communication multiprotocole et différents supports et disposer d'une architecture de communication souple et ouverte. L'interface IHM, le port d'accès à distance et la communication directe avec d'autres IED à des fins de protection sont indispensables aux IED modernes. Comme indiqué précédemment, les protocoles ouverts sont la norme, et les IED sont dotés de modules de communication plug-and-play pouvant prendre en charge divers protocoles. L'avantage de ces modules est qu'ils peuvent être remplacés dans le champ en cas de modification des exigences en matière de communication et les IED peuvent facilement être intégrés à un système séparé à la hiérarchie supérieure. Les DEI sont capables de communiquer avec plusieurs ports et peuvent communiquer avec les sous-stations et les autres DEI simultanément via un modem au bureau / à la maison / à la station de service. Les DEI utilisent le port de communication et le port optique pour la communication par fibre optique ou le port électrique 232 ou RS-485) et aura également un port de service pour l'accès à distance via un modem.

#### 5. Fonctionnalités avancées d'IED [63][62][81][82][84][85]

##### a. Fonction de protection, y compris estimation du phaseur

La fonction de protection est la fonction principale d'un DEI à relais, car les DEI servent principalement à améliorer les relais à microprocesseur. Les nouveaux engins explosifs improvisés ont été considérablement améliorés, car des principes de mesure plus précis et moins d'équipements auxiliaires sont nécessaires. Les TC auxiliaires peuvent être éliminés dans un

relais différentiel de transformateur, car le nouveau relais a une fonction de correction de la discordance CT, car les courants du transformateur primaire d'origine sont disponibles pour une analyse plus approfondie dans un DEI à relais moderne. De la même manière, avec des techniques appropriées et des algorithmes de comparaison numérique, les problèmes de discordance, d'appel et de saturation de TC peuvent être résolus sans périphériques externes. McLaren a été le premier à proposer le concept de système ouvert à relais où différentes fonctions de relais peuvent être obtenues à partir du même matériel en modifiant simplement la programmation du microprocesseur. La technologie moderne des relais a récemment montré une tendance dans cette direction. Le concept de relais numérique généralisé, qui découle directement du relais de système ouvert, consiste en un ensemble minimal de modules matériels et de fonctions de relais numériques et numériques modernes. Avec le relais numérique généralisé et avec la quantité d'informations communément disponible, il est possible de recréer la majorité des équipements de relais numériques et numériques modernes. Les modules de traitement de données suivants constituent le relais numérique généralisé :

- ✚ Isolement et mise à l'échelle du signal analogique : formes d'onde de courant et de tension acquises à partir de transformateurs d'instruments et ramenées à des niveaux de tension convenables pour une utilisation dans les relais numériques et numériques,
- ✚ Filtrage analogique anti-repliement : les filtres passe-bas sont utilisés pour éviter le phénomène de repliement dans lequel les composantes haute fréquence des entrées semblent faire partie des composantes fondamentales de la fréquence,
- ✚ Conversion analogique-numérique : les processeurs numériques ne pouvant traiter que des données numériques ou logiques, les formes d'onde des entrées doivent être échantillonnées à des moments discrets. Pour ce faire, chaque signal analogique est passé à travers un module d'échantillonneur-bloqueur et transporté, un par un temps, à un convertisseur analogique-numérique (CAN) par un multiplexeur,
- ✚ Algorithme d'estimation de phaseur : un algorithme logiciel implémenté dans un microprocesseur estime l'amplitude et la phase des formes d'onde fournies au relais. C'est d'une grande importance dans le monde moderne des systèmes de surveillance, car les mesures de phaseur font de plus en plus partie intégrante de la surveillance du système. Cette fonctionnalité de l'IED est utilisée pour calculer le phaseur de la tension ou du courant par rapport à un phaseur de référence. (Les IED sont synchronisés dans le temps à partir d'un commun Source GPS.) Il s'agit d'une unité de mesure du phaseur (PMU), et les données de phaseur sont accumulées par un concentrateur de données de phaseur (PDC) à un emplacement approprié, principalement dans le centre de contrôle.
- ✚ Algorithme de relais et logique de déclenchement : Les équations et paramètres spécifiques l'algorithme de protection et la logique de déclenchement associée sont implémentés dans le logiciel du microprocesseur utilisé dans le relais.

Le microprocesseur calcule les phaseurs représentant les entrées et acquiert l'état des commutateurs, effectue des calculs de relais de protection et fournit enfin des sorties pour la commande des disjoncteurs. Le processeur peut également prendre en charge les communications, les tests automatiques, l'affichage de la cible, les horloges et autres tâches.

### b. Logique programmable et commande de disjoncteur

Un relais moderne IED élimine l'utilisation de la logique programmable externe. Les contrôleurs (API) en tant que DEI peuvent gérer les entrées et les sorties logiques des fonctions de protection, qui peuvent être connectées directement à des bascules et / ou à des portes du DEI. La figure 1.9 présente un exemple d'outils logiques programmables.

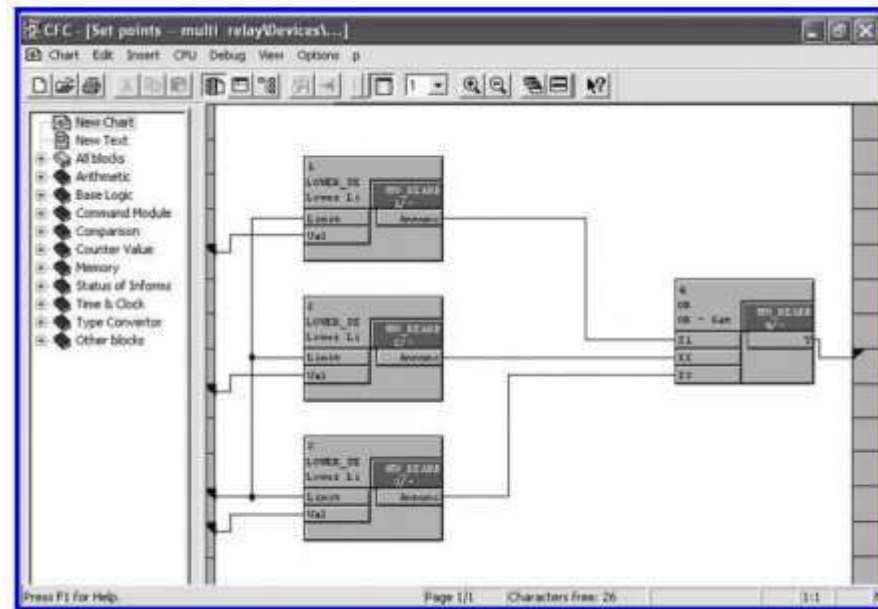


Figure 1.9 : Exemple d'outils logiques programmables [63][1].

### c. Mesure et analyse de la qualité de l'énergie

Les capacités de comptage des IED sont rapidement devenues acceptables pour les utilisateurs d'énergie. Des économies importantes ont été réalisées en combinant la fonction de comptage sans revenus dans les IED. Il est à noter que les TC et PT principaux à des fins de protection risquent de ne pas être suffisamment précis pour permettre une mesure du courant normale aux fins de la mesure du revenu. Les fonctions de mesure normales incluent la mesure des valeurs quadratiques moyennes (RMS) de la tension et du courant ainsi que de la puissance réelle et réactive.

En plus de ces fonctions de base, la mesure inclut également les valeurs pour la mise en service et les tests, et cette fonctionnalité réduit la commission et les temps de test sur le site. Les valeurs mesurées sont les composantes positives, négatives et homopolaires des déphasages de tension et de courant et les valeurs efficaces normales. Les valeurs de décalage de phase, de différentiel et de contrainte peuvent facilement être calculées pour accélérer le processus de mise en service. Le profilage de charge est une autre activité de mesure pouvant être réalisée à l'aide de DEI où le profil du facteur de puissance, la demande en ampères, la valeur de tension efficace à long terme, etc. , peut être surveillé et peut être utilisé pour le chargement pro-archivage en vue d'une planification de l'expansion à long terme.

L'utilisation de l'automate programmable, des fonctions de comptage et de nombreuses exigences du système peuvent être rencontrées sans effort supplémentaire, comme le contrôle

de la banque de condensateurs par algorithme de surveillance et de contrôle des données de puissance réactive mis en œuvre à l'aide d'un API et de contacts de sortie programmables.

#### **d. Auto surveillance et surveillance des circuits externes**

Les IED disposent de capacités de diagnostic au niveau de la carte pour les problèmes internes, avec un logiciel d'auto-surveillance, capable de détecter jusqu'à 98% des problèmes, tels que des défaillances matérielles, des défaillances de la mémoire et des problèmes d'alimentation. En plus de la surveillance interne, les IED modernes ont des capacités de surveillance d'interface et de surveillance de circuit externe. La surveillance d'interface comprend le contrôle des entrées des DEI et peut être vérifiée par des méthodes simples. Par exemple, les courants d'entrée au relais à partir des trois phases doivent ajouter jusqu'à trois fois le courant du neutre, le cas échéant. S'il y a un écart, le canal analogique de l'un des courants peut être défectueux. Le relais peut bloquer le faux déclenchement. La surveillance du circuit externe inclura la surveillance de la bobine du disjoncteur pour toute interruption du trajet fermeture-déclenchement et peut également indiquer une défaillance du transformateur de l'instrument.

#### **e. Notification des événements et diagnostic des pannes**

Les IEDI à relais éliminent les enregistreurs de défauts numériques, car l'enregistrement des signaux pendant un défaut peut être effectué par les DEI, alors que les relais électromécaniques n'avaient pas cette capacité. Il est facile de signaler les événements en utilisant des relais IED, éliminant ainsi les enregistreurs de séquence d'événements (SOE). Les IED relais enregistrent les données capturées dans la mémoire non volatile et les rapports d'événements de perturbation (collecte, déclenchement et refermeture automatique), et les rapports d'événements généraux tels que les modifications de paramètres doivent être enregistrés et gérés séparément. L'horodatage de tous les événements est effectué par les DEI, et la synchronisation GPS à cette fin et une sauvegarde de la batterie pour l'horloge en temps réel sont essentielles. Les événements, une fois correctement étiquetés dans le temps, ils peuvent être consignés dans la séquence correcte dans laquelle ils se sont produits, éliminant ainsi le séquençage ultérieur dans la salle de contrôle. Il est donc facile d'effectuer un diagnostic d'erreur après une erreur, car les valeurs sont enregistrées dans le DEI et peuvent être récupérées ultérieurement, même en cas de panne de courant [81][82][83][1].

### **6. Outils pour les réglages, la mise en service et les tests**

Des outils logiciels conviviaux sont essentiels pour améliorer la planification, la programmation, la mise en service et le test d'un IED. Les avenues et les fonctionnalités d'application d'un IED ne peuvent être gérées que par un programme informatique intuitif et convivial.

Les IED sont livrés avec un logiciel intuitif, convivial et flexible, piloté par menus qui sont des outils de programmation pour les réglages et les configurations lors de la mise en

service. Ces programmes conviviaux sont livrés avec des pré-réglages en usine qui simplifient le travail du personnel chargé de la mise en service.

### **7. Affichage LCD programmable**

L'écran LCD programmable est un excellent outil de la nouvelle génération des IED. Ceci est utilisé pour les informations graphiques ainsi que pour l'affichage de texte et peut être basculé entre les modes graphique et texte. La topologie du bus et du disjoncteur, y compris les isolateurs, les commutateurs de déconnexion et de nombreuses autres configurations peuvent être programmés à l'aide des outils logiciels en mode graphique. Le mode texte de l'écran LCD est utilisé pour les réglages et l'affichage détaillé des valeurs de mesure en unités primaires ou secondaires. L'écran LCD peut être commuté entre les modes texte et graphique.

### **8. IED typiques**

Les IED, comme indiqué ci-dessus, sont des dispositifs qui peuvent être connectés à un réseau local, communiquer avec d'autres dispositifs sur le réseau local et dotés de capacités de traitement. Un grand nombre d'IED sont actuellement disponibles, les IED relais étant le plus couramment utilisé à des fins d'automatisation. Cependant, la puce compteur utilisé pour la domotique est un IED et est donc une logique programmable et de contrôleur (PLC) utilisé pour l'automatisation. Les enregistreurs de défauts numériques (DFR) et les unités terminales distantes (RTU) sont des IED avec transmission de données numériques et capacité de réception avec installation informatique intégrée. Ainsi, les IED sont devenus les éléments de base de l'automatisation des systèmes d'alimentation. Cependant, il n'est pas facile de remplacer tous les RTU existants et du matériel associé avec des EEI. Pour cela, différentes approches sont utilisées pour intégrer les systèmes existants avec les nouveaux systèmes. Avant de discuter de la construction de différents types de systèmes SCADA, il est impératif de toucher sur les concentrateurs de données et les unités de fusion qui sont utilisés avec Les RTU et les IED pour la communication de données dans les systèmes SCADA.

#### **1.3.2.4. MTU (Master Terminal Unit)**

Il recueille les données provenant des RTU, les rendre accessibles aux opérateurs via l'HMI et transmet les commandes nécessaires des opérateurs vers l'instrumentation de terrain. Il peut être décrit comme une station ayant plusieurs postes opérateur (liés ensemble avec un réseau local) connecté à un système de communication. Comme on vient d'aborder, le MTU recueille les données de l'instrumentation du terrain périodiquement à partir des stations RTU et permet la commande à distance par le biais des postes opérateurs, en général le MTU sert à configurer et programmer les RTU, diagnostiquer la communication et les stations RTU, la figure ci-dessous montre un schéma général d'un MTU [86][87][89].

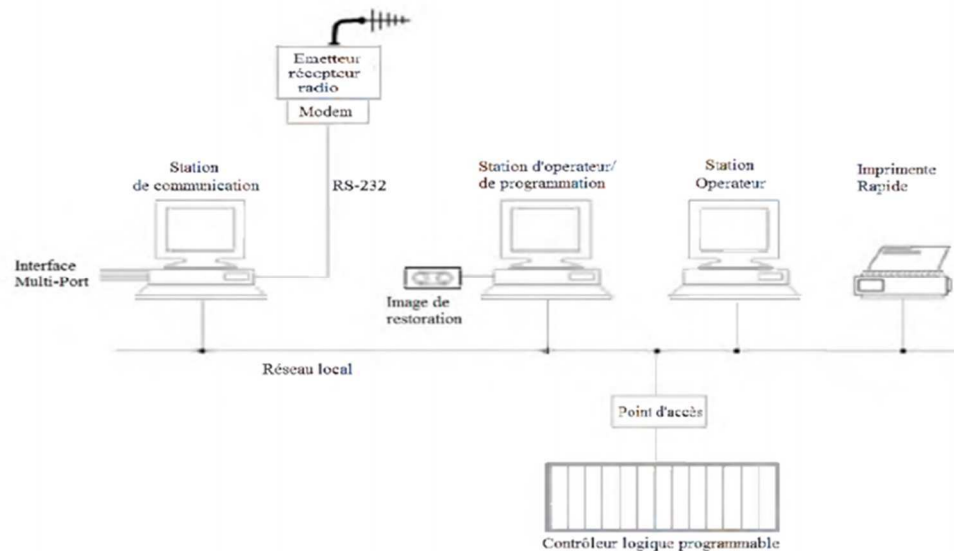


Figure 1.10 : Schéma général d'un MTU [63].

### 1.3.2.5. Interfaces graphiques du SCADA

Les interfaces graphiques sont un outil très important pour le bon déroulement de la procédure d'aide à la décision, elles sont le seul point d'interaction entre l'opérateur et les algorithmes d'aide à la décision, ainsi, elles aident l'opérateur dans sa tâche d'interprétation et de prise de décision, en lui offrant une très bonne visibilité sur l'état et l'évolution de l'installation, avec l'affichage en différentes couleurs des résidus, des alarmes et des propositions sur l'action à entreprendre[57],[58]. La figure suivante représente une interface graphique de la supervision.



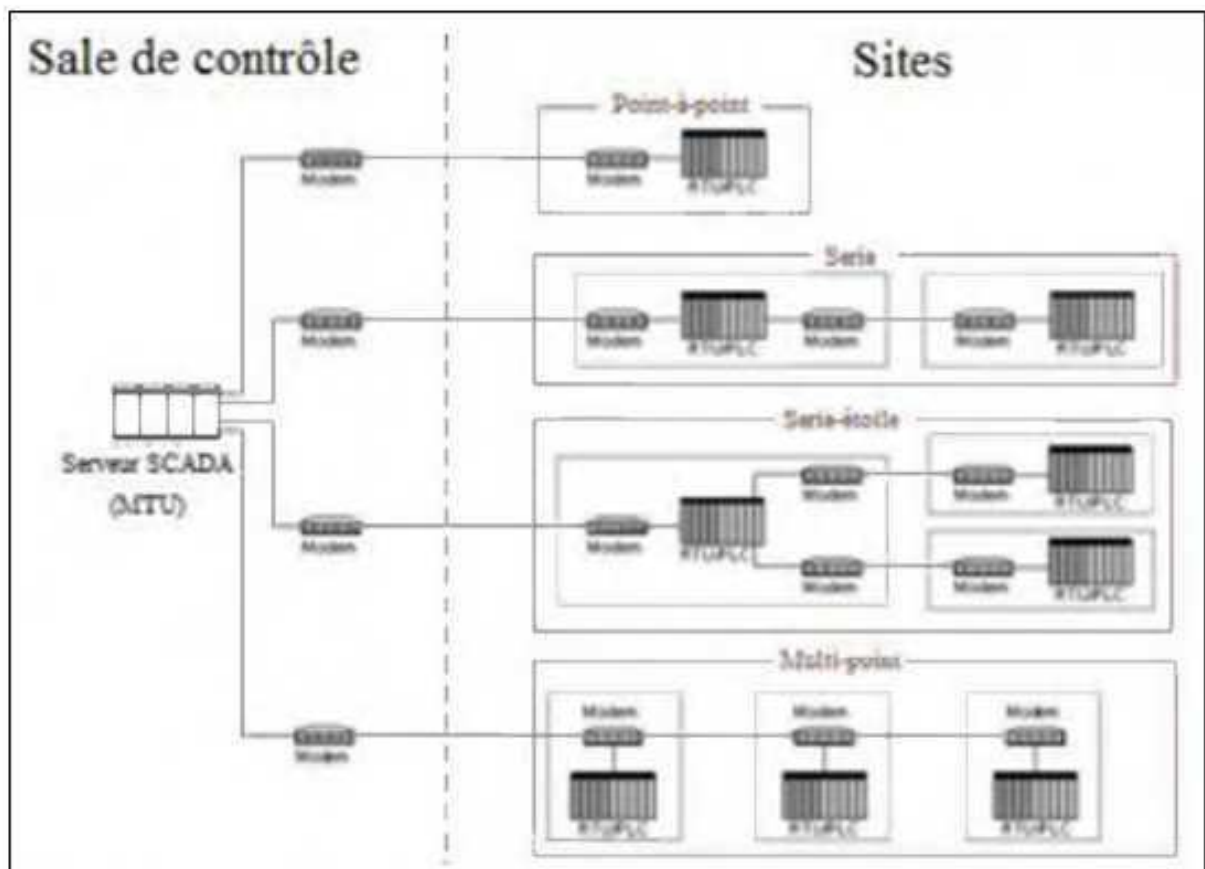
Figure 1.11 : Représentation d'une IHM [59].

Maintenant, après avoir donné en détails les éléments de base du SCADA qui est constitué ou qui est basée sur le site central qui est la station de contrôle pour l'ensemble du système, le RTU servant à collecter les informations et les transmettre au MTU pour les rendre accessibles aux opérateurs via l'HMI. Dans le paragraphe suivant, on parlera du système de communication qui sont des moyens de communication entre MTU et les différents RTU, aussi on parlera sur les protocoles de communication du SCADA dans lequel la communication peut être par le biais de l'Internet, réseaux sans fil ou câblé ou le réseau téléphonique public.

## 1.4. Système de communication

Le moyen de communication entre MTU et les différents RTU peut être par le biais de l'Internet, réseaux sans fil ou câblé, ou le réseau téléphonique public, etc... [60].

Il y'a différentes architectures de communication pour un système SCADA qui sont disponibles, la plus simple est la communication point à point où la communication est établie entre deux nœuds du réseau (l'un maître et l'autre esclave). La deuxième architecture est la communication multipoint qui consiste en un maître et plusieurs esclaves, une topologie des différents modes de communication est présentée sur la figure 1.12 ci-dessous :



**Figure 1.12:** Topologie de différents modes de communication SCADA [60].

La communication peut être classée selon deux approches, la première qui se base sur l'approche d'interrogation et la deuxième est l'approche pair à pair (peer to peer) [64, 65, 66].

### 1.4.1. Approche interrogation (Maître-esclave)

Cette approche peut être utilisée pour des systèmes de communication configurés en mode point à point ou multipoint, le maître contrôle totalement le système de communication puisqu'il gère périodiquement les demandes de transfert des données des différents esclaves. Ces derniers ne peuvent pas prendre l'initiative mais répondent seulement à la demande du maître.

### 1.4.2. Approche pair à pair (peer to peer)

Cette approche est appliquée pour la communication entre RTU et un autre RTU, elle repose sur l'aptitude de chaque nœud du réseau de communiquer avec un autre nœud directement seulement qu'il doit avoir un contrôle d'accès et collision du réseau autrement dit il faut écouter tout d'abord avant d'entamer la communication.

### 1.4.3. Protocole employé dans un environnement SCADA

Les protocoles de communication dans un environnement SCADA évoluent suite à la nécessité d'envoyer et de recevoir des données jugées critiques généralement pour de longues distances et en temps réel, cette optique a donné naissance de plusieurs protocoles que nous allons développer les plus utilisés [91].

#### 1.4.3.1. Protocole Modbus

Le protocole Modbus est un protocole de transmission de données régissant le dialogue entre une station "Maitre" et des stations "Esclaves". L'échange Maitre-Esclave s'effectue par l'envoi de trames MODBUS le format de base est le suivant [90].

Champ Adresse	Champ Fonction	Champ Données	Controle de Redondance Cyclique
---------------	----------------	---------------	---------------------------------

Le champ adresse correspond à l'adresse de la station Esclave destinataire de la requête, le champ fonction détermine le type de commande (lecture mot, écriture mot, etc ...). Le champ de données contient l'ensemble des paramètres et informations liés à la requête. Le contrôle de redondance cyclique (CRC16) permet à la station destinatrice de vérifier l'intégrité de chaque trame.

A chaque réception d'une trame, la station adressée envoie une trame de réponse, dont le format est identique à celui de la trame émise par la station Maitre avec selon le type de commande un champ de données plus ou moins important. Le Modbus (marque déposée par Modicon) est un protocole de communication utilisé pour des réseaux d'automates programmables.

#### 1.4.3.2. Protocole DNP3

Le protocole DNP3 est un protocole de communication multipoint qui permet d'échanger des informations entre un système de conduite (superviseur ou RTU) et un ou plusieurs équipements électroniques intelligents (IED, Intelligent Electronic Device). Le système de conduite constitue l'équipement maître, les IED sont les équipements esclaves. Chaque équipement est identifié par une adresse unique, de 0 à 65519. L'émission des trames en diffusion est possible.

DNP3 est construit sur le profil EPA (Enhanced Performance Architecture) qui est une version simplifiée du modèle OSI (Open System Interconnection).

L'EPA comporte seulement 3 couches :

- Physique,
- Liaison,
- Application.

Toutefois, pour permettre la transmission de messages de taille importante (2 kilo- octets ou plus), des fonctions de segmentation et de réassemblage de données ont été ajoutées. L'ensemble de ces fonctions constitue une pseudo couche Transport [92].

### **1.4.3.3. Protocole PROFIBUS**

PROFIBUS est un réseau de terrain ouvert, non propriétaire, répondant aux besoins d'un large éventail d'applications dans les domaines du manufacturier et du procès. PROFIBUS se décline en trois protocoles de transmission, appelés profils de communication, aux fonctions bien ciblées : DP, PA et FMS. De même, selon l'application, il peut emprunter trois supports de transmission ou supports physiques (RS 485, CEI 1158-2 ou fibre optique). PROFIBUS répond à des normes internationales unanimement reconnues. Son architecture repose sur 3 couches inspirées du modèle en 7 couches de l'OSI. La couche 1, physique, décrit les caractéristiques physiques de la transmission ; la couche 2, liaison de données, spécifie les règles d'accès au bus ; enfin, la couche 7, application, définit les mécanismes communs utiles aux applications réparties et la signification des informations échangées, PROFIBUS est un réseau en bus pour la communication de processus et de terrain dans les réseaux de cellules mettant en œuvre un petit nombre de stations et des appareils de terrain ainsi que pour la communication de données conforme à CEI 61158/61784 [67].

#### **a. Fonctionnalités du PROFIBUS**

PROFIBUS est un réseau de terrain industriel très diffusé dans le monde. Son succès est dû à ses performances (12 Mbit/s), son déterminisme (de 1 $\mu$ s), son ouverture (plus de 2500 produits de plus de 300 offreurs), son fonctionnement en zone à risque d'explosion (avec RS 485IS pour PROFIBUS-DP et IEC1158 pour PROFIBUS PA), ses profils métiers notamment PROFIsafe pour répondre aux applications de sécurité et PROFIdrive pour répondre aux applications de Motion Control.

PROFIBUS doit aussi son succès à son intégration parfaite dans Totally Integrated Automation de Siemens en matière d'atelier logiciel et de diagnostic [1][67].

#### **b. Caractéristiques techniques**

- Standardisé par l'association PROFIBUS International,
- Normalisé IEC 61158 et IEC 61784,
- Support RS 485 jusqu'à 10 km,
- Support Fibre Optique jusqu' 90km,
- Vitesse réglable de 9600 bauds à 12 Mbit/s,
- Télé alimentation de l'instrumentation (avec PROFIBUS-PA).

**c. Avantage**

- Communication entre API dans des architectures réparties (intelligence répartie),
- Communication entre appareils de terrain comme les variateurs,
- Communication temps réel,
- Communication isochrone pour les applications Motion Control,
- Communication de sécurité machine ou process pour protéger l'Homme, les machines et l'environnement avec PROFIsafe.

**d. Type de Profibus**

- PROFIBUS DP (Decentralized Periphery, Périphérie décentralisée),
- PROFIBUS PA (Process Automation, Automatisation de process),
- PROFIBUS FMS (Fieldbus Message Specification).



Figure 1. 13 : Câble Profibus avec des modèles de connecteurs [67].

**1.4.3.4. Protocole Ethernet**

Sous le concept d'Ethernet, on regroupe aussi bien la couche **1** physique qui correspond au média de transmission que la couche **2** de liaison qui fait un contrôle de premier niveau sur la qualité des données transmises. C'est la société Xerox qui a mis au point Ethernet avec tous les protocoles qui le compose. Ethernet s'est peu à peu propagé comme une norme de fait pour les réseaux locaux, si bien que l'Institute of Electrical and Electronic Engineers (en abrégé IEEE) s'est basé sur Ethernet pour définir une norme officielle. Ainsi est apparue la norme IEEE 802.3, issue d'Ethernet de Xerox. La norme IEEE 802.3 et l'Ethernet original de Xerox ne sont pas totalement identiques, ils se différencient par quelques détails. En toute rigueur on ne devrait pas parler d'Ethernet qui est un protocole propriétaire mais de norme IEEE, dans les

faits on entend plus souvent parler d'Ethernet que d'IEEE 802.X. Ethernet utilise une transmission de type bande de base, c'est à dire qu'il ne peut y avoir qu'un message à la fois qui emprunte le support de communication, par opposition à la transmission large bande où plusieurs messages peuvent emprunter le support de communication en même temps. Ethernet est utilisé pour les réseaux locaux, il permet des communications à grand débit (10Mbits/s et de plus en plus 100Mbits/s) en utilisant soit du coaxial (en perte de vitesse) entre des ordinateurs situés dans un réseau à moyenne distance. C'est l'université d'Hawaï qui a effectué les premiers essais d'Ethernet, il utilisait alors les ondes radio comme support de transmission, le réseau était appelé Aloha du nom de l'université. Le rendement n'était pas terrible, le canal de transmission n'étant utilisé qu'à hauteur de 18%. Depuis le protocole a été un peu amélioré, il est connu sous le nom de CSMA-CD (Carrier Sense Multiple Accès with Collision Detect).

## **1. Réseau via Wifi**

### **a. Fonctionnalités (SCALANCE : vocation industrielle)**

Il s'agit de réseaux câblés ou de réseaux industriels sans fil IWLAN, les constituants de la nouvelle génération SCALANCE garantissent des liaisons optimales, en toute fiabilité même dans les conditions les plus sévères. Les modules de sécurité SCALANCE S constituent l'élément central du concept de sécurité innovant de Siemens, qui assure la protection des réseaux et des données industriels. W comme Wireless chez Siemens, la communication sans fil fait partie intégrante de Totally Integrated Automation. Sur la base d'un réseau industriel sans fil IWLAN, SCALANCE W permet une communication homogène, jusque dans des secteurs difficilement accessibles voire inaccessibles jusqu'ici. Avec la garantie de fiabilité, robustesse et sûreté. X comme extensibilité : structure de réseau, vitesse de transmission, nombre de ports... Les exigences peuvent évoluer rapidement. Avec la nouvelle génération de commutateurs Industrial Ethernet de SIMATIC NET, vos réseaux sont évolutifs. SCALANCE X vous offre une gamme de commutateurs adaptés aux tâches les plus diverses, au sein de Totally Integrated Automation [1][67].

### **b. Caractéristiques techniques**

- SCALANCE X : Gamme de switches industriels adaptables
  - X005 : 5 ports RJ45 10/100 Mbit/s, autosensing, autocrossover, alim. 24VDC,
  - X100 : Switches Ethernet non-administrables de 4 à 8 ports RJ45 et/ou FO,
  - X200 : Switches administrables 4 à 24 ports, interface Web, SNMP, anneau redondant FO ou Cuivre HSR (300 ms max).
- SCALANCE W Modules radio Wi-Fi industriel, IP65, RR (RapidRoaming), Communication radio déterministe (iPCF), Profinet Radio, Profisafe
  - Normes radio : IEEE 802.11b/g/a/h,
  - Sécurité WPA, WPA2-PSK, 802.1x, Radius...

### **c. Avantage**

- La liaison adaptée à toutes les situations,

- Transmission de données par réseau radio ou de façon "traditionnelle" par un réseau filaire - la génération SCALANCE vous offre une solution pour tous les types de réseaux,
- Grande disponibilité du réseau grâce aux fonctions de redondance rapide intégrées dans les switches industriels,
- Ouverture aux technologies de l'information et de la communication qui est la base de communication pour le standard Temps-réel PROFINET.

### **1.4.3.5. Réseau Internet (PROFINET)**

#### **1. Fonctionnalités**

PROFINET est le standard Industrial Ethernet qui permet une communication depuis le niveau gestion et entreprise jusqu'au niveau de terrain. Ethernet est établi comme réseau bureautique ou d'entreprise.

Les besoins du monde de l'industrie sont beaucoup plus exigeants comme l'aspect temps réel, l'intégration d'appareils de terrain, un câblage pratique et fiable, une administration et un diagnostic intégrés dans les outils logiciels des automaticiens, des applications de Motion Control isochrones, une ingénierie inter-constructeurs et une disponibilité élevée des machines et installations. PROFINET, le standard ouvert et fédérateur des différents constructeurs, permet de répondre à l'ensemble de ces exigences. PROFINET utilise les standards informatiques comme TCP/IP et rend également possible la communication temps réel pour les tâches d'automatisation ainsi que pour les applications Motion Control grâce au fonctionnement isochrone. L'intégration naturelle des réseaux de terrain existants dans PROFINET vous permet de pérenniser vos investissements car vos équipements actuels sont toujours à jour et prêts pour des développements et extensions futures [67].

#### **2. Caractéristiques techniques**

- Standardisé par l'association PROFIBUS International,
- Normalisé IEC 61158 et IEC 61784,
- IEEE 802.3u : Fast Ethernet 100 Mbit/s,
- Utilisation de la technologie standard XML,
- TCP/IP,
- SNMP.

#### **3. Avantage de la communication entre API dans des architectures réparties (intelligence répartie)**

- Communication entre appareils de terrain comme les variateurs,
- Communication temps réel,
- Communication isochrone pour les applications Motion Control,

- Maintenance distante et diagnostic réseau grâce à l'utilisation des standards informatique éprouvés (ex.: SNMP),
- Protection contre les erreurs, les accès non autorisés, l'espionnage avec des composants industriels d'accès sécurisé,
- Communication de sécurité machine ou process pour protéger l'Homme, les machines et l'environnement.



Figure 1. 14 : Représentation d'un Câble RJ45 [67].

#### 1.4.3.6. Réseau via Bus CAN (Controller Area Network)

Le bus CAN (Controller Area Network) est un bus système série très répandu dans beaucoup d'industries, notamment l'automobile. Il a été normalisé avec la norme ISO11898. Il met en application une approche connue sous le nom démultiplexage, et qui consiste à raccorder à un même câble (un bus) un grand nombre de calculateurs qui communiqueront donc à tour de rôle. Cette technique élimine le besoin de câbler des lignes dédiées pour chaque information à faire transiter (connexion point-à-point). Dès qu'un système (voiture, avion, réseau téléphonique...) atteint un certain niveau de complexité, l'approche point-à-point devient impossible du fait de l'immense quantité de câblage à installer et de son coût (en masse, matériaux, main d'œuvre, maintenance) [67].



Figure 1.15 : Différents modèles de connecteur Bus CAN[67].

CANopen est une couche applicative (couche 7 du modèle OSI), originellement pour les Bus de terrain du type CAN (Controller area network) fonctionnant en temps réel. D'autres bus intègrent depuis peu CANopen, tel (EtherCAT, Powerlink) démontrant par-là l'intérêt de l'industrie pour ce mode de communication. Il est utilisé dans de nombreux domaines : automobile, agricole, industriel (ascenseurs, escaliers roulants, motion control) et médical (rayons X, salles d'opérations). Ce bus de terrain est connu pour être une solution de communication économique et efficace.

#### **1.4.3.7. Réseau via Bus ASI**

Le bus ASi ou AS-i est un bus de terrain (Actuators Sensors Interface – Interface actionneurs / capteurs) qui est un système de mise en réseau simple et efficace pour le niveau de terrain.

##### **1. Fonctionnalités d'ASi**

Développé au début des années 1990, AS-Interface® (Actuator Sensors Interface) est le bus économique pour le raccordement des capteurs et des actionneurs. Sa principale caractéristique est sa simplicité de mise en œuvre et ses performances sur des machines de petite et moyenne taille.

AS-Interface ou "YellowCable" est le bus non-propiétaire standardisé (EN50295, IEC62026-2) dont le développement est supporté par le consortium AS International qui regroupe plus de 100 constructeurs indépendants.

##### **2. Caractéristiques techniques**

- Principe de fonctionnement : Réseau maître/esclaves déterministe,
- Support de transmission : Câble bi-filaire à gaine auto-cicatrisante pour la communication et l'alimentation des modules,
- Nombre d'esclaves : 62 max,
- Cycle de bus : 5ms (31 esclaves) 10 ms maximum pour 62 esclaves,
- Taille max. du réseau : 300 m avec 2 répéteurs,
- Topologie : Linéaire, arborescente,
- Types d'esclaves : Modules E/S Tor IP65/67, modules analogiques, départs moteurs.

##### **3. Avantage**

- Bus de terrain simple, non-propiétaire et ouvert,
- Excellent rapport Performance/Coût,
- Réduction des coûts d'installation grâce à sa simplicité de mise en œuvre,
- Diagnostic et maintenance simplifiés,
- Performance maîtrisée,
- Solution idéale pour les machines de petite et moyenne envergure,
- Disponibilité d'un très grand nombre de modules ASI sur le marché.

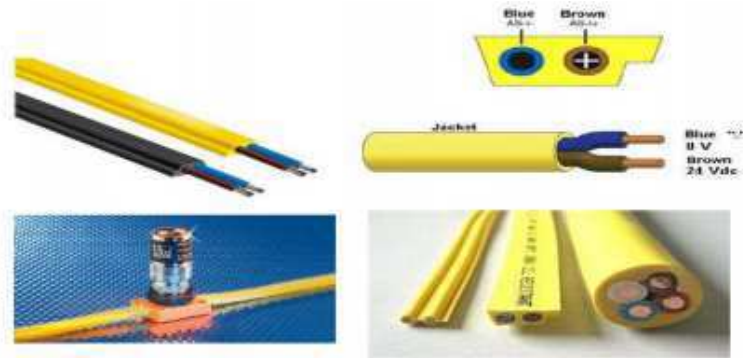


Figure 1.16 : Bus ASI [67].

Après avoir défini les différents éléments du SCADA et les moyens de communications, dans le paragraphe suivant, on entamera en détail l’architecture des différents des systèmes SCADA.

### 1.5. Architecture des systèmes SCADA

SCADA entoure un transfert de données entre le Serveur (MTU, master terminal units) et une ou plusieurs unités terminales distantes (Remote Terminal Units RTUs), et entre le Serveur et les terminaux des opérateurs, la figure ci-dessous représente un Schéma sur l’architecture d’un réseau SCADA qui utilise des routeurs pour joindre le poste de pilotage par le billet de l’Internet [68].

Les logiciels de supervision sont une classe de programmes applicatifs dédiés au contrôle de processus et à la collecte d’informations en temps réel depuis des sites distants (ateliers, usines), en vue de maîtriser un équipement (machine, partie opérative).

Les éléments hardware assurent la collecte des informations qui sont à disposition du calculateur sur lequel est implanté le logiciel de supervision, le calculateur traite ces données et en donne une représentation graphique réactualisée périodiquement, le système SCADA enregistre les événements dans des fichiers ou les envoie sur une imprimante, par mail..., ainsi le système surveille les conditions de fonctionnement anormal et génère des alarmes.

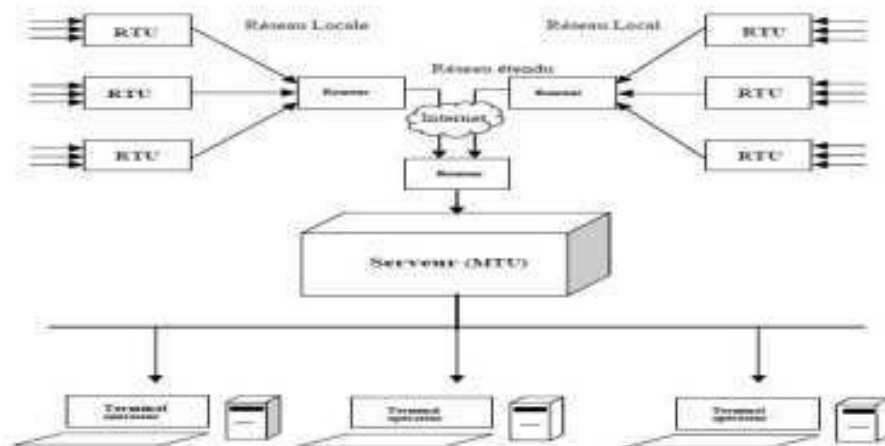


Figure 1.17 : Architecture de la supervision dans un environnement SCADA [68].

Les systèmes SCADA ont évolué en parallèle avec la croissance et la sophistication des technologies de l'information. Dans cette partie, nous allons traiter de l'évolution des systèmes SCADA et fournir une description des trois (03) générations suivantes [69].

### 1.5.1. Systèmes SCADA précoces ou monolithiques

Dans la première génération, le concept d'informatique était en général appliqué par une unité centrale. Les réseaux n'existaient pas et chaque système centralisé était seul, ainsi les systèmes SCADA était autonome avec pratiquement aucune connexion à un autre système.

Les réseaux étendus WAN (wide area networks) qui ont été implantés pour communiquer avec les RTU (remote terminal unit) ont été conçus avec le seul but de communiquer avec les postes locaux et rien d'autre, les protocoles de communication ont été développés par le fournisseur des RTU. La redondance dans ces systèmes de première génération a été accomplie par l'utilisation de deux unités centrales identiquement équipées, une première et une sauvegarde. La fonction première de cette sauvegarde est de prendre le relais en l'éventualité d'une défaillance détectée. Cette figure décrit la première génération SCADA [69].

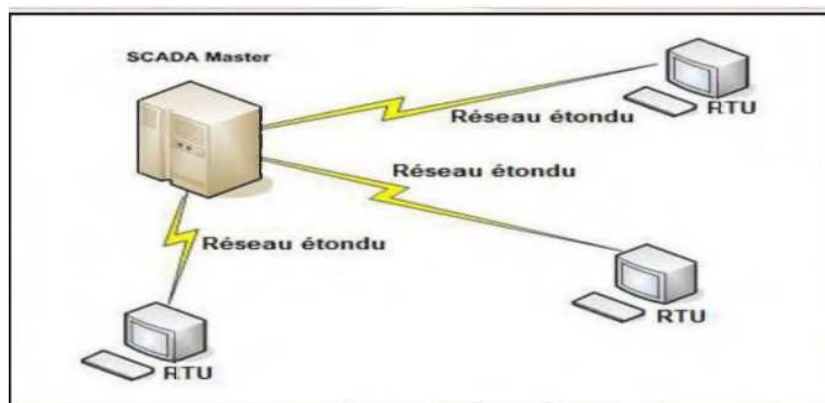


Figure. 1.18 : Architecture SCADA de première génération [69].

### 1.5.2. Systèmes SCADA distribués

La deuxième génération a profité des développements dans le domaine de la miniaturisation et de la technologie des réseaux locaux pour répartir le traitement entre plusieurs stations reliées par un réseau local et partager l'information en temps réel. Chaque station est responsable d'une tâche particulière rendant ainsi la taille et le coût de chaque station inférieure à celle utilisée dans la première génération. La répartition des tâches de fonctionnement du système à toutes les stations connectées au réseau ne sert pas seulement à l'augmentation de la puissance de traitement mais aussi permet d'améliorer la redondance et la fiabilité dans le système. Plutôt que d'avoir un système de basculement de secours qui est utilisé dans la plupart des systèmes de première génération, l'architecture distribuée garde toutes les stations en ligne tout le temps, donc si on a une défaillance sur une station IHM, une autre prendra le relais sans attendre le basculement du système primaire [69].

Comme était le cas pour l'architecture de première génération, la seconde génération des systèmes SCADA est limitée du côté matériel, logiciel et des équipements périphériques qui sont fournis ou sélectionnés par le fournisseur du système SCADA.

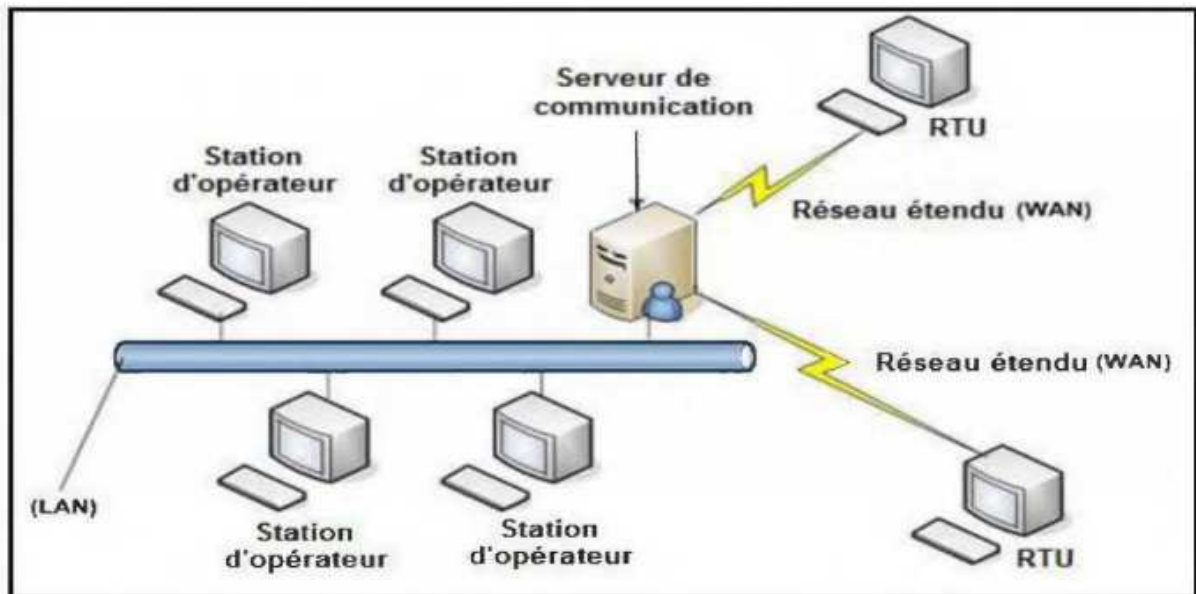


Figure. 1.19 : Architecture SCADA de deuxième génération [69].

### 1.5.3. Systèmes SCADA en réseau

La génération actuelle adopte une architecture réseau, qui est étroitement liée à l'architecture distribuée sauf que l'architecture réseau offre une ouverture à un environnement autre que celui conditionné par le fournisseur. L'amélioration majeure dans la troisième génération vient de l'utilisation des protocoles WAN comme le protocole internet (IP) pour la communication entre la station maître et les équipements de communication.

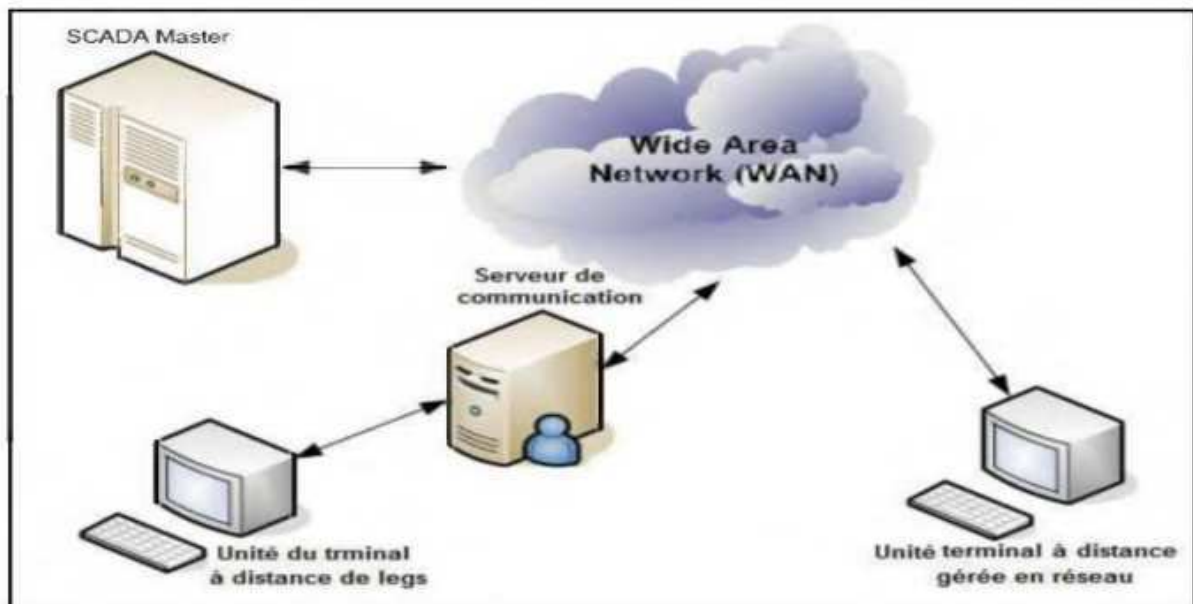


Figure. 1.20 : Architecture SCADA de troisième génération [69].

Cela permet à la portion de la station maître responsable de la communication avec les appareils de terrain d'être séparée de la station maître et cela par le biais du réseau WAN. En raison de l'utilisation de protocoles standards et le fait que de nombreux systèmes SCADA

réseau sont accessibles à partir d'Internet, les systèmes sont potentiellement vulnérables à distance (cyber-attaques).

### 1.5.4. Internet des objets

En quatrième génération, le coût des systèmes SCADA de l'infrastructure est réduit en adoptant l'Internet de la technologie des choses avec le Cloud computing disponible dans le commerce. La maintenance et l'intégration est également très facile pour la quatrième génération par rapport aux systèmes SCADA antérieures [71].

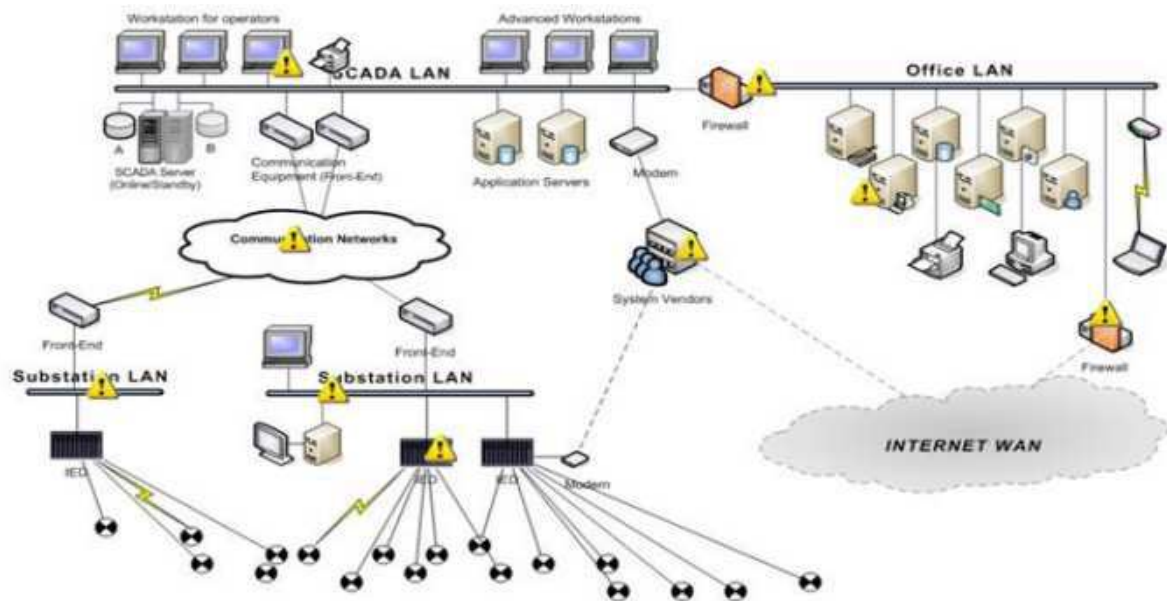


Figure. 1.21 : Architecture SCADA de quatrième génération [69].

Ces systèmes SCADA sont en mesure de signaler l'état en temps réel en utilisant l'échelle horizontale de l'installation informatique en nuage ; ainsi, les algorithmes de contrôle plus complexes peuvent être mis en œuvre, qui sont pratiquement suffisants pour mettre en œuvre sur les automates traditionnels. Les risques de sécurité en cas d'implémentations SCADA décentralisées telles que un mélange hétérogène de protocoles réseau propriétaires peuvent être dépassés en utilisant les protocoles de réseaux ouverts tels que TLS inhérente à l'Internet des choses qui fournissent une limite de sécurité compréhensible et gérable [71].

**Remarque :** En dehors de presque toutes les industries, SCADA est l'une des technologies vitales pour l'automatisation. Les erreurs humaines sont réduites et pratiquement éliminées. Avec la quatrième génération à venir, la capacité de partager des quantités massives de données avec la technologie sans fil offre de nouvelles possibilités de réduction des coûts et de fiabilité aux industries.

La quatrième génération d'architectures SCADA, l'Internet des objets, a été évoquée comme un moyen de rendre la fabrication "plus intelligente". En effet, le pétrole et le gaz, l'électricité, l'alimentation, la fabrication, les communications et la gestion des déchets ne sont que quelques-unes des facettes de la vie moderne qui ont au cœur des systèmes SCADA [70].

Lorsqu'on parle de technologies automatisées et de SCADA, il est important de comprendre les Internet des objets [71].

L'internet des objets est un réseau d'appareils physiques, de bâtiments, de véhicules et de d'autres outils de fabrication qui sont connectés les uns aux autres via différents types de logiciels et capteurs.

Le réseau Internet des objets est la collecte et l'échange de données qui aident l'individu éléments du réseau travaillent ensemble en harmonie pour l'efficacité globale de l'opération et efficacité.

Les systèmes SCADA ont évolué en parallèle avec la croissance et la sophistication des technologies de l'information. Dans la partie qui précède, on a traité l'évolution des systèmes SCADA où on a fourni une description des différentes générations du SCADA aussi des moyens de communication dans un environnement SCADA.

La partie qui suivra parlera sur un sujet de temps qui est l'industrie 4.0 tant que notre travail s'applique sur un système réel intégré dans l'industrie 4.0 .

## **1.6. Industrie 4.0 [72]**

### **1.6.1. Définition**

L'industrie 4.0 est un sujet d'actualité impliquant les sociétés contemporaines et les organisations et faisant l'objet des recherches dans le monde universitaire et industriel. Le terme « Industrie 4.0 » a été utilisé, pour la première fois, en 2011 dans le plan d'action stratégique allemande 2020 portant sur les nouvelles technologies. Bien que les écrits faisant consensus sur les principes de ladite industrie 4.0 sont nombreux, il est difficile de trouver une définition du concept « Industrie 4.0 » qui fait consensus. La transdisciplinarité du concept, traduite par le vif intérêt accordé audit concept, conduit à l'émergence d'une diversité terminologique telle que « industrie future », « industrie numérique », « industrie intelligente », « internet industriel » ou « transformation numérique ». C'est ainsi qu'en 2013, BITCOM, l'association des télécommunications allemandes a trouvé plus de 100 définitions du concept de l'industrie 4.0. Cependant, afin de mieux cerner le sujet et limiter l'impact du changement auquel les individus, les organisations et les sociétés peuvent faire face, il est essentiel de ne citer que les définitions les plus importantes.

Par exemple, pour Schumacher (2016), « Industrie 4.0 fait référence aux avancées technologiques récentes dans lesquelles Internet et les technologies associées (par exemple, les systèmes intégrés) servent de pivot pour intégrer des objets physiques, des acteurs humains, des machines intelligentes, des lignes de production et des processus dépassant les limites organisationnelles afin de former une nouvelle chaîne de valeur plus agile, intelligente et connectée ».

L'industrie 4.0 ou 4<sup>ème</sup> révolution industrielle fait référence à la transformation de l'industrie et des systèmes de production grâce à l'introduction des nouvelles technologies. Si la révolution industrielle précédente se fondait sur l'intégration des robots et automatisation des

processus. Dans l'Industrie 4.0, on veut aller plus loin. Son but est de créer des usines intelligentes, qui puissent s'adapter plus facilement aux nécessités et aux processus de la production. Jusqu'à présent, les processus industriels nécessitaient une planification énorme, en plus de retards considérables ou pertes si l'on devait arrêter la production en cas de défaillance. Avec l'Industrie 4.0, la technologie permet d'être plus rapide. Par exemple, avec l'utilisation de capteurs dans les machines, ces derniers peuvent prévenir une anomalie. De cette façon, on peut trouver une solution plus rapidement, en évitant de ralentir la production et le temps d'inactivité [72].

### 1.6.2. Caractéristiques de l'industrie 4.0 [73]

L'usine intelligente est au cœur de l'Industrie 4.0. L'objectif est de créer une production autonome dans laquelle les personnes, les machines, les installations et les produits communiquent indépendamment les uns avec les autres. Les systèmes dits cyber-physiques rendent la production plus flexible et plus efficace. Cela permet de mettre en œuvre les souhaits individuels des clients à des coûts qui n'étaient auparavant possibles que dans la production de masse. Étant donné que de nombreux produits actuels se développent ou évoluent de plus en plus rapidement, la production doit pouvoir suivre le rythme. Pour éviter d'avoir à se rendre sans lutter pour raccourcir durablement les cycles d'innovation et de produits, il est nécessaire que les entreprises puissent agir de manière flexible. Une étape prometteuse dans cette voie peut être d'identifier les capacités de production de réseau respectives à travers les entreprises.

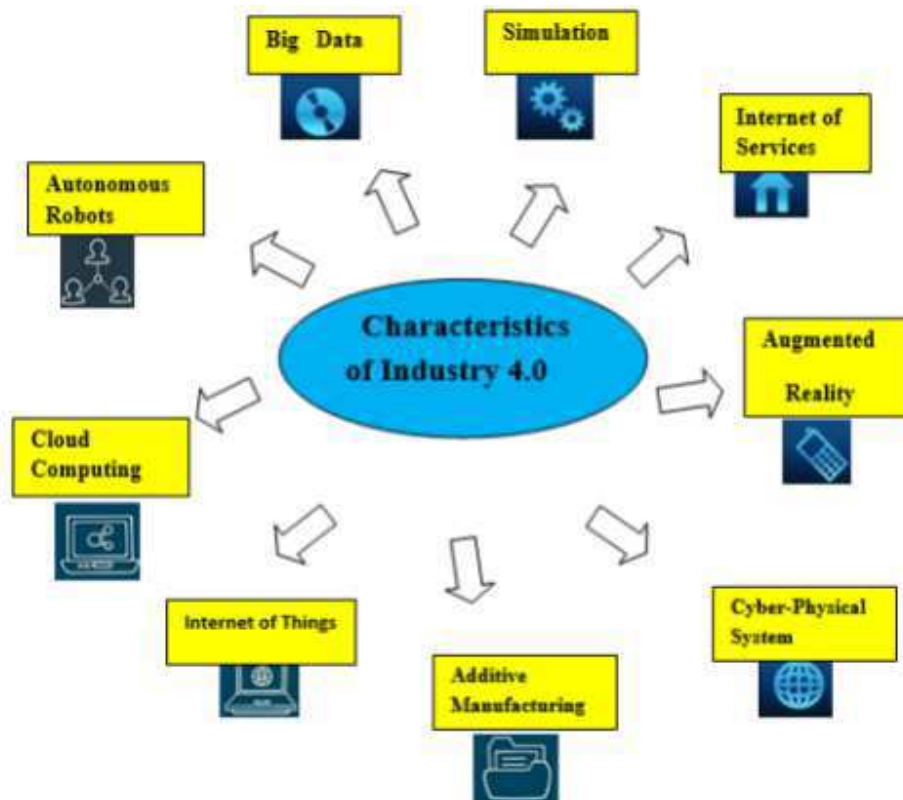


Figure 1.22 : Technologies de l'Industrie 4.0 [73].

Grâce à la mise en réseau interentreprises des productions, il est possible de réagir de manière flexible aux fluctuations des conditions de marché ou aux situations de commande.

Ces usines intelligentes, intégrées dans un écosystème, garantissent également une utilisation particulièrement efficace, ce qui peut réduire les coûts et promouvoir une production plus économe en ressources.

La société A partage ses propres capacités libres avec la société B, qui est pleinement utilisée. Si la société B utilise l'offre, non seulement elle agrandira temporairement ses propres installations de production, mais elle permettra également à la société A d'obtenir une meilleure utilisation de ses capacités. Cela permet aux deux sociétés de réduire au minimum les fluctuations des commandes. Étant donné qu'une telle production commandée par commande nécessite la standardisation des étapes de fabrication individuelles, les conditions préalables pour le calcul automatisé des commandes, l'allocation et enfin le contrôle sont créées en même temps. Cela se traduit par une efficacité supplémentaire.[73]

### **1.6.3 Système cyber-physique (CPS)**

L'industrie 4.0 peut être interprétée comme une étude du système cyber-physique où les progrès et la vitesse de développement de la communication et du calcul forment le système cyber-physique et l'industrie 4.0. Chaque système de production de CPS a des capteurs installés dans tous les aspects physiques afin de connecter les choses physiques avec des modèles virtuels. Étant donné que le système cyber-physique est plus courant dans la société et se produit lors de l'interaction avec les humains, il faut s'assurer que le CPS se comporte de manière stable et a une certaine portée lorsqu'il est utilisé avec l'intelligence artificielle (IA). CPS est également la base pour créer Internet des objets (IoT) qui peuvent être combinés pour devenir l'Internet des services (IoS). Ainsi, les entreprises auront plus de facilité à établir des réseaux mondiaux qui rejoindront les systèmes d'entreposage, les machines et les installations de production de CPS à l'avenir. [74].

### **1.6.4 Internet des objets (IoT)**

L'industrie 4.0 est la nouvelle expression pour la combinaison de la technologie actuelle de l'Internet des objets (IoT) et de l'industrie manufacturière. L'industrie 4.0 a été lancée à la suite de la combinaison de l'Internet des objets (IoT) et de l'Internet des services (IoS) dans le processus de fabrication. En règle générale, l'IoT peut fournir une connectivité avancée des systèmes, des services, des objets physiques, permet la communication objet à objet et le partage de données. L'IoT peut être atteint grâce au contrôle et à l'automatisation d'aspects tels que le chauffage, l'éclairage, l'usinage et la surveillance à distance dans diverses industries [74].

### **1.6.5 Internet des services (IoS)**

L'Internet des services est un élément important de l'industrie automobile. Les activités sont déclenchées par des transferts de données dans les technologies de l'information pour rendre la mobilité quotidienne plus sûre, plus facile et plus agréable. L'Internet des services (IoS) agit en tant que « fournisseurs de services » pour fournir des services via Internet en fonction des types de services de numérisation. Ces services sont disponibles et à la demande autour de business modèles, de partenaires et de toute configuration de services. Les

fournisseurs fournissent et regroupent les services en services à valeur supplémentaire, car ils peuvent recevoir et accéder à la communication entre les consommateurs via divers canaux [74].

### **1.6.6. Big Data et Analytics**

Sous Industrie 4.0, l'analyse des mégadonnées est bénéfique pour la fabrication prédictive et constitue une direction importante pour le développement de la technologie industrielle grâce au développement rapide d'Internet. Cela conduit à d'énormes quantités d'informations produites et obtenues quotidiennement lorsque le traitement et l'analyse actuels sont incapables de faire face à l'aide des méthodes traditionnelles. Par conséquent, le Big Data est récemment devenu un sujet brûlant dans l'Industrie 4.0. De nombreuses autres applications pourraient gagner des valeurs supplémentaires lorsque les techniques existantes deviennent plus matures pour gérer le Big Data. Le Big Data est l'utilisation de la technologie numérique pour effectuer des analyses. Selon la définition de Forrester, le « Big Data » peut-être divisé en quatre dimensions qui sont le volume, la variété, la valeur et la vitesse [74].

### **1.6.7. Robots autonomes**

Les robots actuels ont une plus grande flexibilité, des fonctions avancées et sont plus faciles à utiliser dans une multitude de domaines. Dans un proche avenir, les robots interagiront les uns avec les autres et collaboreront activement avec les humains sous la direction de gestionnaires. Ces robots seront moins chers et plus sophistiqués afin d'obtenir de meilleures capacités par rapport à ceux actuellement utilisés dans le domaine de la fabrication [74].

### **1.6.8. Réalité augmentée**

La réalité augmentée (RA) a commencé à être considérée comme l'une des activités les plus prometteuses dans lesquelles les entreprises technologiques devraient investir massivement. Cette technologie peut apporter un soutien énorme pour les travaux de maintenance dans les entreprises en raison de la réduction du temps nécessaire aux travaux de maintenance et de la réduction des erreurs potentielles dans les travaux de maintenance. Il peut prédire avec une grande précision et permet de maintenir la fréquence de maintenance à un faible nombre en utilisant la maintenance prédictive pour éviter toute maintenance réactive non planifiée. Cela réduira les coûts associés à une maintenance préventive excessive [74].

### **1.6.9. Fabrication additive**

L'industrie 4.0 stimule l'utilisation de technologies de données avancées et de systèmes de production intelligents.

La fabrication additive est l'un des outils essentiels pour adopter l'Industrie 4.0. La mise en œuvre de nouvelles compétences de fabrication dans le but d'intégrer les technologies de l'information joue un rôle crucial dans la compétitivité de l'économie. Les progrès de la cyber-technologie ont encouragé la transition vers l'Industrie 4.0.

La tendance à la recherche de nouveaux matériaux disponibles en utilisant la fabrication additive est en augmentation. Certaines caractéristiques requises d'un matériau peuvent être obtenues par des constituants métalliques et des matériaux intelligents. En fait, la mise en œuvre de l'Industrie 4.0 dépend énormément des capacités de la fabrication additive [74].

### **1.6.10. Cloud (CM)**

Le cloud est une logique système relativement nouvelle qui fournit un énorme espace de stockage à l'utilisateur. Une petite somme d'argent permet aux entreprises ou aux particuliers d'accéder à ces ressources. Au fil du temps, les performances des technologies ne cessent de s'améliorer, cependant, la fonctionnalité des données machine continuera à être stockée dans le système de stockage en nuage, permettant aux systèmes de production d'être davantage axés sur les données. Les limites de l'entreprise peuvent être minimisées car davantage de partage de données se produira entre les sites pour les entreprises liées à la production dans la révolution industrielle. Le cloud devient lentement une considération par de nombreuses entreprises lors de la construction de leurs systèmes de données. Même si les logiciels n'étaient traditionnellement pas conservés dans les nuages, le nombre d'applications développées dans les nuages augmente progressivement [74].

### **1.6.11. Simulation**

La modélisation de simulation est une manière d'exécuter un processus réel ou virtuel ou un système pour découvrir ou deviner la sortie du système ou processus modélisé. Les simulations sont effectuées en utilisant des données en temps réel pour représenter le monde réel dans un modèle de simulation, qui comprend des humains, des produits et des machines. Par conséquent, les opérateurs sont en mesure d'optimiser les paramètres de la machine dans une situation simulée virtuelle avant de l'implémenter dans le monde physique. Cela réduit les temps de configuration de la machine et améliore la qualité. Les dernières révolutions du paradigme de modélisation par simulation permettent de modéliser les systèmes de fabrication et d'autres systèmes grâce au concept d'usine virtuelle. En outre, l'intelligence artificielle avancée (cognitive) sur le contrôle des processus, y compris les ajustements autonomes des systèmes d'exploitation (auto-organisation) peuvent également être réalisés par le biais de simulations [74].

Notre travail consiste essentiellement à la supervision d'un système industriel 4.0 traitée en détail dans le paragraphe précédent. Maintenant, on parlera sur l'IHM qui est la tâche principale de la supervision permettant de fournir une image rapide sur l'ensemble du processus du système étudié.

## **1.7. Interface Homme Machine (HMI)**

Le logiciel d'interface homme/Machine SCADA fournit à la fois des vues graphiques de l'état des terminaux à distance et leurs historiques d'alarmes. Il permet de visualiser l'ensemble des données du procédé et d'intervenir à distance sur les machines. Il génère des rapports d'exploitation et de contrôle de données environnementales. Il archive la synthèse des données dans ses bases d'historiques [77][89].

Les IHM fournissent l'interface entre les personnes et les systèmes automatisés. Ce sont des dispositifs qui montrent à un opérateur l'état du processus et lui permettent ensuite de le contrôler. Ils doivent être efficaces pour démontrer l'état du processus contrôlé et permettre aux utilisateurs de réagir rapidement aux événements. Parmi les exemples incluent : les cloches d'alarme, des écrans d'ordinateur, une application de développement d'interface, des boutons poussoirs, des claviers, des lecteurs d'empreinte digitale, et ainsi de suite. Ces enregistrements peuvent ensuite être examinés pour des informations de gestion et de processus pertinentes. Cette information peut être utilisée pour le contrôle de la qualité, pour facturer les clients, pour démontrer les objectifs de production, pour trouver des inefficacités, pour attribuer la responsabilité, etc.

Les fonctions principales d'un logiciel SCADA sont les actions suivantes :

- La visualisation des données d'exploitation à travers la totalité des installations,
- L'acquisition, le stockage et l'extraction des données d'exploitation importantes avec les commentaires saisis par l'opérateur,
- La visualisation des tendances en temps réel à partir de données temps réel ou depuis les bases d'archivage,
- L'amélioration de la disponibilité des installations et la fourniture des informations fiables,
- La capture des notifications d'alarme adressées au personnel d'exploitation et de maintenance par message texte ou par voie vocale,
- La génération des rapports d'exploitation et les rapports réglementaires régulièrement,
- La gestion la sécurité des processus et des procédés à travers l'ensemble des installations et l'administration des authentications et les habilitations pour l'accès des personnels. En plus l'interface graphique doit faciliter aux opérateurs toute ces taches citées, l'HMI du SCADA est très important pour le bon déroulement de la procédure d'aide à la décision, il est le seul point d'interaction entre l'opérateur et les algorithmes d'aide à la décision, ainsi, il aide l'opérateur dans sa tâche d'interprétation et de prise de décision, en lui offrant une très bonne visibilité sur l'état et l'évolution de l'installation, avec l'affichage en différentes couleurs des résidus, des alarmes et des proposition sur l'action à entreprendre.

### **1.7.1. Composants IHM**

Dans un système SCADA, les composants IHM incluent un pupitre opérateur, un dialogue opérateur, un schéma synoptique et des périphériques.

#### **1.7.1.1. Console opérateur**

La console où l'opérateur surveille et contrôle le système est de la plus haute importance et comprend les unités d'affichage visuel, le clavier alphanumérique, le curseur, les installations de communication, etc. L'unité d'affichage visuel comprend des dispositifs d'interface utilisateur tels que les moniteurs de couleurs multiples (CRT, LCD, dispositifs DEL de 21

pouces minimum), dotés de fonctions de réduction de l'éblouissement (revêtements d'écran antireflet) et doit permettre l'affichage de plusieurs fenêtres d'affichage (fenêtres) sur chaque écran moniteur. Le contrôle du curseur peut être une souris, une boule de commande ou le dernier écran tactile. Un clavier et un dispositif de pointage du curseur sont partagés par tous les moniteurs sur chaque console et le curseur se déplace sur tous les écrans sans changer d'utilisateur, généralement pour le système d'alimentation.

Sur SCADA, chaque opérateur dispose de trois à quatre moniteurs pour une planification appropriée et des vues multiples. Les écrans auront une capacité graphique complète avec zoom et facilité de désencombrement. Les alarmes sonores sont également une caractéristique importante de la console de l'opérateur. L'opérateur est informé de la gravité d'un événement dans le système. La conception de l'infrastructure de la console de l'opérateur, y compris la table et le siège de l'opérateur, est importante et doit Respecter les principes d'ergonomie pour que l'opérateur soit à l'aise pendant le travail.

### **1.7.1.2. Dialogue opérateur**

Le dialogue opérateur décrit comment l'opérateur communique avec le système informatique. Le dialogue et les commandes de l'opérateur doivent être simples et faciles à mémoriser. Les touches de fonction du clavier peuvent être programmées pour incorporer des actions majeures afin que l'opérateur puisse facilement donner les commandes plutôt que de saisir de longs messages et dialogues.

### **1.7.1.3. Diagramme synoptique**

Le schéma synoptique est une partie essentielle de tout centre de contrôle ou grande station maître où l'opérateur et le personnel en charge obtiennent une vue d'ensemble du système sous contrôle. Cela inclut un grand écran LCD / LED avec une fonctionnalité SCADA totale avec plusieurs écrans possibles. Certains centres de contrôle ont un tableau de mosaïque avec un tableau de tuiles dynamique ou statique et des lampes de tableau de carte dynamiques mises à jour par SCADA. Des cartes magnétiques avec des « tuiles » magnétiques statiques sont également utilisées. La tendance consiste à utiliser plusieurs « cubes » de projection vidéo comme cartes dynamiques. L'avantage est que, lorsque l'IHM est mis à jour avec les modifications du système, la carte est également mise à jour, car l'IHM pilote directement la carte.

### **1.7.1.4. Périphériques**

Une imprimante matricielle est utilisée pour imprimer les alarmes et les événements. Il utilise fanfold comme papier d'ordinateur. Une imprimante couleur est utilisée pour capturer des captures d'écran. Une imprimante laser noir et blanc est utilisée pour imprimer des rapports.

## **1.7.2. Fonctionnalités du logiciel IHM**

- Mécanismes de contrôle et d'accès : la console de l'opérateur doit avoir un niveau de sécurité suffisant pour protéger les accès non autorisés au système. Les identifiants d'utilisateur et les mots de passe seront utilisés par opérateurs autorisés à accéder aux consoles d'opérateur,

- Visualisation et contrôle : la présentation visuelle du système d'alimentation L'information et le contrôle sont un moyen efficace de présentation et augmentent l'efficacité de l'opérateur. L'unité d'affichage vidéo du centre de contrôle affiche toutes les informations sur l'interconnexion du système électrique et paramètres d'intérêt, à savoir. La tension, le courant, la fréquence, la puissance circule dans les lignes de jonction et les zones connectées que l'opérateur surveille et utilise pour analyser les événements et prendre des mesures correctives et correctives, si nécessaire,
- Affichages système standard : affichages de diagnostic, spécifiques au site et à l'industrie, affichages graphiques avec fonction d'exploration, et affichage la hiérarchie est importante. Aussi facilité de panoramique et de zoom, désencombrement, et la superposition pour une meilleure clarté des problèmes et des solutions possibles sont les besoins pour les systèmes d'affichage modernes. Il est possible de naviguer facilement dans l'affichage avec le curseur et l'appareil de contrôle,
- Tendances historiques, Affichage des tendances, Tendances en temps réel : l'opérateur estime les données de l'historique et les informations sur les variables de processus, ce qui est utile pour prédire l'avenir de l'état du système et de sa santé. Le centre de contrôle fournit l'historique des informations reçues avec tendance vers l'opérateur. Les ordinateurs rapides avec une grande mémoire sont capables de stocker l'énergie variables système de la base de données et fournir les informations à l'opérateur et hiérarchie supérieure dans le temps minimum avec une plus grande précision. La tendance en temps réel est également très utile pour présenter la bonne image des variables système à l'opérateur,
- Journaux et rapports, valeurs calculées, génération de rapports de feuille de calcul, rapports en tant que mécanisme d'échange de données : dans les applications SCADA de systèmes d'alimentation, la génération de rapports est une tâche majeure, car de nombreux types de rapports doivent être générés pour être présentés à diverses hiérarchies de système et à différents systèmes, départements de l'utilitaire,
- Traitement d'alarme : une fois que les données sont communiquées à la commande centre, ils sont d'abord traités avant d'être présentés à l'opérateur. Les données traitées sont ensuite comparées aux valeurs prédéfinies et en cas de déviation de la valeur nominale, une alarme est déclenchée générés, l'opérateur reconnaît que les correctifs nécessaires l'action est prise. Ainsi, des fonctions importantes du centre de contrôle permettent de générer, annoncer et manipuler le processus et le système les alarmes. La génération et l'affichage de l'alarme et des limites sont fonctions importantes du centre de contrôle, et cette information a besoin à communiquer au système interconnecté en cas d'urgence, limiter les violations et les dysfonctionnements. Parfois, l'opérateur est confondu par la série d'alarmes déclenchées par un seul

événement, autant les quantités changent et les alarmes inutiles de toutes sortes sont dirigées à l'opérateur.

### **1.7.3. Connaissance de la situation [75]**

La conscience de la situation en général consiste à savoir ce qui se passe autour de vous, afin que vous puissiez décider quoi faire. L'opérateur dans une salle de contrôle doit avoir une perception de l'environnement autour de lui dans le temps et / ou dans l'espace, en comprendre le sens et être capable de prendre des décisions concernant les actions à venir, en fonction de la situation. La connaissance de la situation est désormais utilisée dans l'aviation, le contrôle du trafic aérien, la navigation sur les navires, les opérations militaires et les services d'urgence tels que la lutte contre les incendies et les salles de commande des systèmes d'alimentation. La connaissance de la situation est importante lorsque le flux d'informations est rapide et l'erreur de jugement entraînera des conséquences majeures, par exemple dans les systèmes électriques, une panne d'électricité si aucune mesure appropriée n'est prise à temps. De nombreux chercheurs ont défini la conscience de la situation, le plus populaire étant «la perception d'éléments de l'environnement dans un volume de temps et d'espace, la compréhension de leur signification et la projection de leur statut dans un proche avenir »[74].

Le modèle développé comprend trois niveaux : le niveau de perception, où la personne doit percevoir le statut, les attributs et la dynamique des variables dans l'environnement, niveau de compréhension où les données du niveau 1 doivent être synthétisées en utilisant des compétences en interprétation, en reconnaissance de modèles et en évaluation ; et le niveau de projection, où la personne peut extrapoler les informations des niveaux inférieurs et arriver à un plan d'action.

Les opérateurs font des erreurs quand ils ne sont pas complètement au courant des équipements. L'objectif est d'équiper la salle de contrôle d'aides à la visualisation pour le niveau un, de disposer de suffisamment de systèmes de synthèse et d'affichage des données pour le niveau deux et enfin de permettre à l'opérateur de prendre une décision et de le mettre en œuvre.

La visualisation du logiciel de la station maître SCADA a subi une importante transformation avec de nouveaux dispositifs et outils disponibles pour augmenter les niveaux de perception et de compréhension des opérateurs, pour les équiper pour prendre de meilleures décisions au niveau de la projection [74][79].

### **1.7.4. Filtrage intelligent des alarmes : nécessité et technique [76]**

La technologie de traitement des alarmes garantit que les régulateurs ne reçoivent que les alertes relatives aux événements qui doivent être traités immédiatement, tandis que les détails des avertissements secondaires moins critiques sont envoyés aux bases de données et éventuellement imprimés pour une révision ultérieure. Avec uniquement les alarmes les plus importantes du système de distribution présentées de manière prioritaire, les régulateurs peuvent évaluer les problèmes plus facilement et prendre de meilleures décisions pour éviter l'aggravation d'une mauvaise situation.

La raison pour laquelle la technologie de traitement des alarmes a été mise en œuvre assez tôt dans la distribution SCADA (SCADA / DA / DMS) et non dans Le système de transmission SCADA (SCADA / EMS), où il est actuellement mis en œuvre, est une combinaison de la nécessité des applications et de la demande des clients. Et le fait que les entreprises fournissant des produits SCADA de distribution soient généralement différentes de celles proposant des systèmes SCADA / EMS n'a pas aidé à résoudre le problème. Heureusement, ces deux types de systèmes SCADA fonctionnent de manière similaire, ce qui signifie que la technologie de suppression des alarmes de distribution peut être facilement mise en œuvre dans SCADA / EMS.

Du côté de la distribution, les alarmes SCADA sont généralement déclenchées par défauts et les événements qui les entourent, qui se produisent continuellement au cours des opérations de routine. Par exemple, lorsqu'un disjoncteur d'un départ de sous-station se déclenche en raison d'un défaut transitoire, jusqu'à sept alarmes peuvent être déclenchées :

- Un pour le déclenchement du disjoncteur et trois chacun lorsque les tensions et les courants sur les trois phases atteignent zéro. Le répartiteur n'a besoin que de l'alarme de déclenchement du disjoncteur et n'a besoin d'aucune information d'alarme si le disjoncteur est automatiquement refermé après une erreur transitoire, car la situation se résorbe d'elle-même,
- Des alarmes sonores et visuelles inondant la salle de contrôle toute la journée, les distributeurs ont demandé aux fournisseurs SCADA de distribution de supprimer les alarmes secondaires tout en autorisant les alarmes principales, bien que les alarmes principales requièrent une intervention de l'opérateur tandis que les alarmes secondaires ne requièrent aucune action de l'opérateur. En réponse à cette demande, les fournisseurs ont développé des techniques de filtrage, dont certaines peuvent être configurées lors de la mise en œuvre SCADA ou activées lors d'une tempête,
- Une telle demande n'a jamais eu lieu sur la génération et la transmission puisque les alarmes SCADA / EMS sont déclenchées moins fréquemment et uniquement pendant les pannes réelles. Parce que ces alarmes n'ont pas posé les mêmes inconvénients quotidiens, les services publics n'ont tout simplement jamais demandé aux fournisseurs de mettre en place des filtres d'alarme dans SCADA / EMS jusqu'à présent.

### **1.7.5. Techniques de suppression des alarmes**

La panne d'électricité de 2003 a contraint l'industrie de l'électricité à revenir sur la question des alarmes. Sur l'invitation des clients des services publics, les fournisseurs SCADA / EMS incorporent des techniques de filtrage dans le logiciel du centre de contrôle. En général, quatre méthodes éprouvées de traitement des alarmes sont actuellement utilisées dans les systèmes SCADA de distribution et les fournisseurs peuvent les choisir pour les implémenter dans leurs futurs produits.

### **1.7.5.1. Filtrage des alarmes par zone de responsabilité**

La possibilité de partitionner le système par fonction ou par zone géographique est inhérente à l'architecture SCADA. Cela permet à un utilitaire de séparer la surveillance et le fonctionnement de divers affichages SCADA, alarmes et points de contrôle et d'en attribuer la responsabilité à différentes salles de contrôle, répartiteurs ou même à d'autres utilitaires. Les systèmes SCADA de distribution peuvent généralement être répartis en 64 fonctions ou zones géographiques. Les systèmes SCADA sont conçus de cette manière en raison de la grande variété de leur application. Un service public d'eau, de gaz et d'électricité, par exemple, peut souhaiter investir dans un seul système SCADA, mais créer des salles de contrôle distinctes pour chacun de ses trois services. Créer des AOR pour les services de gaz, d'eau et d'électricité accomplit cette tâche. Un exemple plus courant est une coopérative de génération-transmission qui transforme les fonctions de surveillance du réseau de distribution vers ses coopératives membres électriques de 9h à 17h. chaque jour et reprend ces fonctions la nuit et le week-end. Le partitionnement AOR offre également aux utilitaires une grande flexibilité pour le routage des alarmes. Par exemple, toutes les alarmes opérationnelles peuvent être envoyées à la salle de contrôle, tandis que les alarmes de surveillance des équipements passent en maintenance. Ou un répartiteur peut recevoir des alarmes relatives à une région géographique, tandis qu'un autre répartiteur reçoit les alarmes d'une autre région géographique.

Les variations du partitionnement des alarmes sont presque infinies, mais l'essentiel est que cela permet au service public de filtrer les alarmes de sorte que seuls les plus importants atteignent les personnes qui peuvent les gérer.

Dans les systèmes SCADA / EMS déjà installés ces dernières années, le partitionnement peut déjà être intégré au système, bien que le nombre de partitions puisse ne pas être aussi nombreux que ceux de la distribution SCADA. Les alarmes du système d'alimentation peuvent être divisées et filtrées de la même manière que celles de l'autre côté, avec pour résultat une moindre distraction pour le répartiteur.

### **1.7.5.2. Filtrage par priorité des points d'alarme**

Lors de la configuration d'une base de données SCADA de distribution, un niveau de priorité d'alarme est attribué à chaque point de contrôle et de surveillance du réseau. Ces points ont généralement une importance d'un à huit, huit étant les plus critiques. Du côté de la distribution, par exemple, des nombres élevés pourraient être attribués aux disjoncteurs situés sur des lignes d'alimentation critiques.

De la console de la salle de contrôle, les régulateurs peuvent sélectionner les alarmes venant à leurs fenêtres d'affichage par priorité. Dans les opérations quotidiennes, le répartiteur peut vouloir voir les alarmes de tous les niveaux de priorité à l'écran, mais lorsqu'une tempête commence à se déplacer sur le territoire, par exemple, le répartiteur peut modifier dynamiquement la préférence pour afficher uniquement les alarmes de priorité 6 et plus. Cela permet aux régulateurs de contrôler le filtrage et la suppression des avertissements en fonction de la gravité de la situation [76].

### 1.7.5.3. Suppression d'alarme programmée

Lorsqu'un système SCADA est configuré pendant l'installation, l'utilisateur peut déterminer la durée pendant laquelle une situation hors seuil doit durer avant de déclencher une alarme. Si la situation est transitoire ou résolue avant que cette période ne soit écoulée, le déclencheur ne se produit jamais et le répartiteur n'est pas gêné par un événement non critique, bien que des détails soient toujours écrits dans le fichier de disque d'alarme et d'événement et éventuellement imprimés. Un exemple est un chargeur de distribution avec réenclencheur automatique. Lorsqu'une branche d'arbre souffle contre le conducteur au beau milieu d'une tempête de vent, le réenclencheur s'ouvre puis se referme comme programmé. Si la branche ne frappe plus la ligne, le réenclencheur reste fermé. Mais le répartiteur recevrait inutilement deux alarmes, l'une pour l'ouverture et l'autre pour la fermeture, bien que les opérations normales aient été rétablies [76].

Dans le processus de suppression des alarmes programmées, une minuterie commence lorsque le réenclencheur s'ouvre en premier et aucune alarme n'est activée. Une fois que la période prédéfinie s'est terminée, peut-être 2 à 4 s, le système SCADA examine à nouveau ce point pour voir si le réenclencheur est toujours ouvert. Si c'est le cas, l'alarme est déclenchée et le répartiteur sait qu'une situation est plus grave qu'une condition transitoire. Sinon, si le système SCADA détecte que le fonctionnement du chargeur est revenu à la normale, aucune alarme ne sera déclenchée.

Pour une utilisation dans les opérations SCADA de génération et de transmission, la technique de suppression serait appliquée à l'état de transmission lignes et unités de production d'énergie. Étant donné que SCADA / EMS surveille généralement si ces composants se situent à l'intérieur ou à l'extérieur de certaines limites, des durées acceptables d'exceptions de seuil peuvent facilement être affectées à chaque point de contrôle pour la suppression des alarmes.

### 1.7.5.4. Suppression des alarmes basée sur les connaissances

Dans la base de données SCADA, des liens directs peuvent être créés entre éléments de réseau qui déclenchent des alarmes primaires et secondaires. En les reliant, les alarmes secondaires peuvent être éliminées si l'alarme principale a déjà été activée. Ceci peut être illustré à l'aide de l'exemple ci-dessus d'ouverture de départ qui provoque la chute de la tension et des courants, envoyant six alarmes inutiles au répartiteur [76][79].

Les enregistrements de base de données sont créés pour chaque point de tension et de courant sur le chargeur et lié au statut du disjoncteur dans la base de données. Si la valeur tombe à zéro à l'un de ces points, ce qui déclenche une faible rafale alarme, un pointeur d'adresse dans la base de données SCADA sera automatiquement vérifié l'état du point de mesure du disjoncteur d'alimentation avant d'activer l'alarme de basse tension ou de courant. Si l'état du disjoncteur est ouvert, le système SCADA sait qu'une alarme principale a déjà été déclenchée et supprime l'alarme redondante de basse tension. Se déroulant en une fraction de seconde, ce processus enregistre ensuite l'alarme secondaire dans le fichier de disque d'alarme et d'événement et envoie les alarmes à l'imprimante d'alarme et d'événement. Les alimentations et les disjoncteurs sont des éléments du système de distribution électrique, mais la suppression

des alarmes basée sur la connaissance peut être appliquée aussi facilement du côté de la génération et du côté de la transmission. La clé de la mise en œuvre de cette technologie dans SCADA / EMS consiste à identifier et à relier les fonctions système critiques qui ont ensuite une incidence sur les autres opérations pouvant déclencher des alarmes. Par exemple, quand un disjoncteur de la génératrice se déclenche, la tension aux bornes ira à zéro. Le déclenchement du disjoncteur constituerait l'alarme principale et la tension terminale, une alarme secondaire [76][79].

Les fournisseurs SCADA implémentent un ou plusieurs de ces filtres et techniques de suppression. Depuis la technologie de base qui fait AOR et le filtrage des points d'alarme existe déjà dans certains SCADA / EMS, ces deux deviendront probablement les méthodes de traitement des alarmes dominantes.

### **1.7.6. Besoins et exigences de l'opérateur [77]**

Le poste principal est l'emplacement à partir duquel l'opérateur / l'ingénieur système surveille la santé du système d'alimentation et émet les instructions de contrôle nécessaires. C'est là que l'opérateur passe généralement de 6 à 8 heures à surveiller et à contrôler le système. Une conception appropriée du centre de commande doit permettre à l'opérateur de fonctionner facilement sans exercer de contrainte sur des parties vitales du corps. Une atmosphère et un logement appropriés doivent être créés et la conception de la console de l'opérateur doit être conforme aux normes afin que l'opérateur soit à l'aise et puisse se concentrer sur son travail. Certains des besoins et des exigences de l'opérateur dans le contrôle salle, pour répondre aux objectifs fonctionnels, sont énumérés comme suit :

- Flexibilité de l'espace de travail : l'opérateur travaillant dans le centre de contrôle de longues durées pour répondre aux besoins fonctionnels doit pouvoir surveiller et contrôler le fonctionnement de l'équipement du système d'alimentation via les différents périphériques d'entrée et de sortie connectés à la console. L'opérateur doit passer facilement d'un appareil à l'autre,
- Facilité d'utilisation des dispositifs de commande : l'opérateur utilise un système de commande et d'utilisation convivial,
- Facilité avec laquelle l'opérateur atteint le point de contrôle : le mode opératoire et le système de contrôle, utilisé par l'opérateur, garantit que les alarmes et les indicateurs sont faciles à localiser au moment de l'urgence et les mesures nécessaires sont prises en cas de besoin,
- Bonne résolution avec le moins d'erreurs : Les unités d'affichage affichent le synoptique et les autres informations associées, facilement lisibles et fournissant également des informations exactes et correctes à l'opérateur,
- Exigences en matière de formation : Une formation adéquate de l'opérateur en matière de fonctionnement et de contrôle est requise de temps à autre,

- Coordination oculaire : la console de l'opérateur, les périphériques d'entrée, les unités d'affichage, etc., doivent offrir une approche confortable pour la manipulation de l'équipement,
- Atmosphère agréable : l'opérateur qui travaille pendant de longues durées a besoin d'autres installations, à savoir, de divertissement, d'exercice, de yoga, de thé ou de café, de repos, etc. dans un centre de contrôle convivial,
- Moins de fatigue : confort d'utilisation, stabilité et fiabilité du matériel, une formation adéquate, etc., assure la réduction des stress dans différentes parties du corps et améliore l'efficacité du travail de l'opérateur.

## 1.8. Domaine d'application du SCADA

La technologie SCADA est mieux appliquée aux processus dispersés sur de grandes superficies. Elle est relativement simple à contrôler et à surveiller et nécessite une intervention fréquente, régulière ou immédiate. Les examens suivants de tels processus devraient vous aider à visualiser la gamme de types d'applications SCADA qui convient [55] :

- A. Les groupes de petites centrales hydroélectriques allumées et éteintes pour répondre à la demande des clients sont généralement situés dans des régions isolées ; ils peuvent être contrôlés en ouvrant et en fermant des vannes à la turbulence. Ils doivent être surveillés en permanence et doivent répondre relativement rapidement aux demandes des utilisateurs ,
- B. Les installations de production de pétrole ou de gaz, y compris les systèmes de stockage de puits, les équipements de mesure des fluides et les pompes sont généralement réparties sur de grandes superficies nécessitant des contrôles relativement simples, tels que l'allumage / extinction des moteurs, la collecte régulière des informations sur les compteurs et l'adaptation rapide des conditions restantes sur le terrain,
- C. Les pipelines pour produits chimiques gazeux ou pour eau contiennent des éléments situés à différentes distances d'un point de contrôle central et peuvent être contrôlés en ouvrant et fermant des vannes ou en démarrant et en arrêtant des pompes. Ils doivent être en mesure de réagir rapidement aux conditions du marché et aux fuites de gaz dangereux ou écologiques matériaux sensibles,
- D. Les systèmes de transmission électrique peuvent couvrir des milliers de kilomètres carrés. Ils peuvent être contrôlés par des interrupteurs d'ouverture et de fermeture et doivent réagir presque immédiatement aux changements de charge sur les lignes,
- E. Les systèmes d'irrigation couvrent souvent des centaines de kilomètres carrés. Ils peuvent être contrôlés en ouvrant et en fermant des vannes simples. Ils doivent être contrôlés en ouvrant et en fermant des vannes simples et nécessitent la collecte de valeurs de compteur pour l'eau fournie aux consommateurs.

Ces exemples ne sont que des exemples de SCADA installé avec succès. Chacun de ces types de processus ainsi que de nombreux autres types de contrôle illustrés dans ces exemples peuvent donner l'impression erronée que SCADA ne convient pas à un contrôle plus complexe, comme nous le verrons plus loin. La complexité de la commande à distance possible avec SCADA a augmenté au fur et à mesure que la technologie a mûri. Les signaux typiques collectés à partir de sites distants incluent les indications d'état des alarmes, les valeurs analogiques et les valeurs totalisées du compteur. Cependant, une grande quantité d'informations peut être collectée avec un nombre apparemment limité de types de signaux disponibles. Par exemple, un exemple de changement de bit binaire serait une instruction ordonnant à un moteur d'arrêter. Un exemple de valeur analogique sera interprété comme instruction de changement d'un point de consigne du contrôleur de vanne à 70% avec des types de signaux simples.

## 1.9. Avantage du système SCADA

Parmi les avantages du SCADA [78], on retrouve :

- Le suivi de près du système ; voire l'état du fonctionnement de procédé dans des écrans même s'il se situe dans une zone lointaine,
- Le contrôle et l'assurance que toutes les performances désirées sont atteintes ; de visualiser les performances désirées du système à chaque instant, et s'il y aurait une perte de performance, une alarme se déclencherait d'une manière automatique pour prévenir l'opérateur,
- Produire une alarme lorsqu'une faute se produit et visualise même la position où se situent la faute et l'élément défectueux, ce qui facilite la tâche du diagnostic et de l'intervention de l'opérateur,
- Donne plusieurs informations sur le système ainsi aide l'opérateur à prendre la bonne décision, et ne pas se tromper dans son intervention,
- Diminue les tâches du personnel en les regroupant dans une salle de commande,
- Elimination ou réduction du nombre de visites aux sites éloignés ; avec une interface graphique, on peut suivre l'état de l'installation à chaque instant, ainsi on n'aura pas besoin de faire des visites de contrôle,
- Fiabilité accrue, le système pouvant être utilisé avec moins de gravité, les imprévus et les pannes sont résolus rapidement,
- Des coûts d'exploitation réduits, car la participation du personnel est moindre en raison à l'automatisation,
- Rétablissement plus rapide du courant en cas de panne, car les défauts peuvent être détectés plus rapidement et prendre des mesures,

- Meilleure gestion de l'énergie active et réactive, car les valeurs sont correctement capturées dans le système d'automatisation et une action appropriée peut être pris,
- Coût de maintenance réduit, car la maintenance peut être effectuée de manière plus efficace (passage d'une maintenance basée sur le temps à une maintenance conditionnelle) avec une surveillance continue de l'équipement,
- Réduction de l'influence humaine et des erreurs lors de l'accès aux valeurs automatiquement, et la lecture du compteur et les erreurs associées sont évitées,
- Prise de décision plus rapide, grâce à la richesse des informations disponibles à l'opérateur sur les conditions du système pour l'aider à prendre des décisions précises et appropriées.

## **1.10. Logiciels de supervision**

Dans cette partie, nous allons présenter quelques logiciels de supervision utilisé selon la marque du contrôleur [56].

- INTOUCH Factory Systems de Wonderware.
- Fix d'INTELLUTION.
- PCVUE d'Arc Informatique.
- Panorama d'Europ Supervision.
- Wizcon de Wizcon.
- OCS Moniteur de Schneider Electric.
- RSVIEW 32 de Rockwell Automation.
- PlantScape Honewell.
- Simatic WinCC de Siemens.

Le Wincc flexible ou bien Wincc professionnel est utilisé avec l'automate de marque Siemens, RSVIEW 32 avec l'automate Rockwell et OCS Moniteur avec l'automate Schneider Electric, etc...

Dans notre travail, nous avons utilisé le logiciel WinCC Flexible en raison du type d'automate programmable de marque Siemens utilisé par les deux systèmes : MPS PA et MPS500 de marque FESTO.

## **1.11. Objectif et points forts de notre travail**

### **1.11.1. Objectif principal**

L'objectif principal de ce travail consiste au développement d'une interface homme machine pour les systèmes MPS PA de AFB et MPS500 de la marque FESTO en s'appuyant

sur les données optimales appliquées au processus industriel du système AFB de FESTO en appliquant une nouvelle approche « data-base » pour un nouveau système AFB et MPS 500 de la marque FESTO . Notre contribution consiste en la modélisation, la commande et la visualisation d'un système réel AFB de FESTO se trouvant au niveau du laboratoire de recherche MELT, de l'université de Tlemcen en utilisant une base de données optimale.

### 1.11.2. Points forts de ce travail

- Ce travail est 100 % pratique,
- Le système étudié est un système moderne modulaire flexible,
- Le système étudié est un système réel installé au niveau de notre laboratoire de recherche MELT,
- Le système étudié est un cas réel,
- Etude de deux systèmes de la marque FESTO :
  - ✚ MPS 500 de FESTO : un système de production automatisé complet contient plusieurs types des capteurs, actionneurs, pré actionneurs, API, câbles et réseau industriel ,
  - ✚ MPS PA de AFB de FESTO : un système didactique et de recherche utilisent ce qu'on appelle l'automatisation hybride qui est une technique réunissant l'automatisation de la fabrication et l'automatisation des process, et qui s'inscrit donc en toute logique dans la tendance générale qui consiste à fusionner ces deux techniques d'automatisation dans les industries dites hybrides. Ces industries sont les branches qui nécessitent des systèmes et des solutions aussi bien pour les techniques de conduite de process que pour les procédés de fabrication. Les exemples les plus significatifs sont l'industrie alimentaire, l'industrie agro-alimentaire et l'industrie pharmaceutique.
- Utilisation d'une nouvelle approche Base de données afin de définir les paramètres spécifique et optimale du système réel,
- Utilisation de la modélisation mathématique,
- Utilisation de la modélisation graphique : grafcet,
- Utilisation de la modélisation graphique : approche bond graph,
- Développement des IHM de supervision professionnel, spécifique, optimale.

## 1.12. Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes consacrés à la présentation de SCADA avec différents composant, architecteur, génération du SCADA en précisant notre but de travail, la contribution et le système choisi à étudier. Nous avons commencé par une description détaillée du composant clé du système SCADA qui est le système de communication en donnant presque toutes les variétés de protocoles existant dans le système SCADA. Nous avons jugé utile de donner aussi une description sur les éléments utilisés dans ce système complexe et stratégique comme les différents capteurs et particulièrement les moyens de connexions filaires existants

qui sont méconnus par beaucoup de personne travaillant dans ce domaine. Pour compléter notre contribution, nous avons fait référence à l'industrie 4.0 qui utilise principalement le système SCADA. On ne peut pas parler du système SCADA sans fournir une description sur l'IHM et particulièrement du logiciel puissant de Siemens pour le développement des IHM qui est le WinCC flexible. Tout travail de thèse repose sur un état d'art se trouvant dans la littérature. Cette recherche est primordiale pour la continuité du travail. Pour cela, dans chapitre, nous avons cité plusieurs travaux utilisant le système SCADA. On a pris comme exemple l'industrie pétrolière, les systèmes de production d'énergie électrique particulièrement les énergies renouvelables, sans oublier le domaine stratégique comme le dessalement et approvisionnement en eau potable et l'épuration des eaux usées. De ces différentes industries et domaines, nous avons essayé de définir notre problématique et ns axes de recherche et de contribution de notre thèse.

Dans le prochain chapitre, nous allons présenter une description complète sur le système MPS PA de AFB et MPS 500 de FESTO, leur mode de fonctionnement, les différents composants de chaque station du système étudié.

# **Chapitre II**

## **Description complète du système MPA PA du AFB et MPS 500 de FESTO**

## 2.1. Introduction

Dans le monde industriel d'aujourd'hui, la concurrence entre les entreprises est de plus en plus rude. Pour cela, ces dernières sont obligées d'utiliser des technologies très avancées afin d'augmenter leurs productivités. Ces technologies comprennent beaucoup de composants et d'équipements moderne tel que les capteurs, les actionneurs, les automates programmables industriels, les réseaux industriels, les machines automatiques à commandes numérique entre autres. Cela va engendrer une importante circulation de données et d'informations qui doivent être bien gérées afin de garantir un excellent fonctionnement de ces systèmes automatisés de production. Le système MPS de la marque FESTO est un système didactique et de recherche, c'est un système complet qui utilise plusieurs types de capteurs, de pré-actionneurs, d'actionneurs, d'automates programmables et de câbles réseaux industriels. Aussi, c'est un système qui a un montage flexible avec ces stations et le plus haut degré programmable par l'API.

Les industries modernes utilisent ce qu'on appelle l'automatisation hybride qui est une technique réunissant l'automatisation de la fabrication et l'automatisation des process. Ces industries sont les branches qui nécessitent des systèmes et des solutions aussi bien pour les techniques de conduite de process que pour les procédés de fabrication. Les exemples les plus significatifs sont l'industrie alimentaire, l'industrie agro-alimentaire et l'industrie pharmaceutique.

Le système AFB de FESTO est un équipement modulaire pour la gestion de l'eau qui simule les processus de base de plantes d'eau et de traitement des eaux usées. Grâce à sa conception industrielle, il clarifie la façon dont l'eau et des eaux usées sont collectés, transportés et traités dans les usines. Il fournit une introduction solide dans l'automatisation des processus et de la technologie de contrôle en boucle fermée. Ce système permet de développer des compétences dans le fonctionnement et l'entretien des machines et des processus. Elles augmentent la prise de conscience sur les corrélations et de promouvoir un style de travail indépendant quand il s'agit d'analyse des problèmes et leurs résolutions ainsi que l'optimisation des processus.

On trouve plusieurs travaux de chercheurs dans le domaine des traitements des eaux afin d'analyser et d'enregistrer l'évolution des performances de la dégradation de la matière organique par lagunage aéré [1] aussi pour évaluer les rendements des stations d'épuration [2] d'autre part. Un nouveau travail consiste à surveiller la circulation du virus Sars-CoV-2 à partir de sa présence dans les eaux de 150 stations sur les 20 000 installées sur le territoire français [3]. D'autres travaux dans les stations d'épuration ont été menés afin de caractériser des effluents industriels ainsi que l'impact de leur usage agricole sur la santé des populations [4]. On trouve aussi un autre travail afin de présenter l'effet des différentes doses de boues des stations d'épuration sur les éléments majeurs et les composés organiques du sol sableux des régions arides (Cas de Sol sableux de Médenine) [5].

Dans ce chapitre, nous allons donner une description complète sur le nouveau système MPS PA et MPS 500 du AFB de FESTO en présentant les différentes stations de chaque

système. Aussi, nous précisons les différentes méthodes et moyens utilisés dans notre travail pour définir les différents paramètres afin de faciliter la tâche d'acquisition des données du système MPS de AFB de FESTO dont le but est de développer une approche pour la conception de systèmes de supervision appliqués aux processus industriels via l'IHM en utilisant le logiciel de supervision et d'acquisition des données WinCC Flexible de Siemens.

## **2.2. Description du système AFB de FESTO**

### **2.2.1. Cycle de fonctionnement et composants du systèmes AFB**

Dans le système AFB de FESTO en question, le liquide doit être filtré au niveau de station de filtrage. Tout d'abord, le liquide à filtrer provenant de la cuve d'eau sale est acheminé au filtre par l'intermédiaire d'une pompe. Ensuite, Le liquide filtré passe dans la cuve d'eau propre par l'intermédiaire d'un clapet qui doit être acheminé par une pompe à la station de Mélange. Ce dernier élabore différentes recettes à partir de 3 réservoirs. À l'ouverture du robinet à boisseau sphérique à 2 voies, une pompe refoule le liquide issu de l'un des 3 réservoirs dans la cuve principale avec régulation du débit. Une seconde pompe permet d'acheminer le mélange préparé à la station réacteur qui amène et maintient le mélange à une température donnée suivant la recette choisie en adoptant différents profils de température et différentes durées d'agitation. La dernière pompe achemine le mélange chauffé à la station de remplissage qui met le liquide en flacon. Ces derniers sont transportés par convoyeurs au poste de remplissage.

Ce système en question est composé de quatre (04) stations (figure 2.1) :

- Station de filtrage,
- Station réacteur,
- Station mélange,
- Station de remplissage.

Chaque station est commandée par un automate programmable Industriel Siemens S7-314C-2 DP/PN utilisant le logiciel SIMATIC Step7 V5.5.

Pour l'acquisition des informations, le système AFB de FESTO comporte plusieurs types de capteurs. On trouve différents types de capteurs : optique (à barrage, à réflexe), à ultrason, contacteur à flotteur, de proximité, les capteurs Capacitifs à proximité, des capteurs de pression. Il comporte aussi plusieurs actionneurs principalement des pompes et des vannes, des moteurs électriques, agitateurs, des effecteurs comme les convoyeurs, séparateur pneumatique de la station de remplissage, des pré actionneurs pneumatique et électrique ainsi que des pupitres de commande.

Plusieurs types de câbles et de protocoles de communication sont utilisés pour relier les différentes composantes du systèmes (capteurs, actionneurs, stations, automates programmables et ordinateurs) sont : les câbles ASI (Actuators Sensors Interface), les câbles Profibus (Process Field Bus), les Câbles Sys Link ainsi que le réseau Profinet pour la liaison directe des automates programmables aux ordinateurs.



Figure 2.1 : Stations du système MPS PA 204 de l'AFB de FESTO [6].

### 2.2.2. Présentation de la station de filtration

La station de filtration associe un système régulé à des capteurs numériques-analogiques et à des actionneurs. La régulation de pression est assurée par un régulateur intégré dans l'API.



Figure 2.2 : Station de filtration [7].

Un liquide à filtrer provenant de la cuve d'eau sale est acheminé au filtre par l'intermédiaire d'une pompe. Le liquide filtré passe dans la cuve d'eau propre par l'intermédiaire d'un clapet. Il peut ensuite être acheminé par une pompe à la station suivante ou être repompé dans la cuve d'eau sale. Au rinçage, le filtre est d'abord complètement rempli de liquide, puis décolmaté à l'air comprimé. Le liquide contenant les impuretés dissoutes est alors réacheminé à la cuve d'eau sale. Les fonctions de régulation sont exécutées un régulateur PID pour la régulation de pression (fonction principale).

### 2.2.2.1. Organigramme général de fonctionnement de la station de filtration du AFB de FESTO

Dans cette section, nous allons présenter le fonctionnement général de la station de filtration AFB de FESTO sous forme d'organigramme de la figure 2.3.

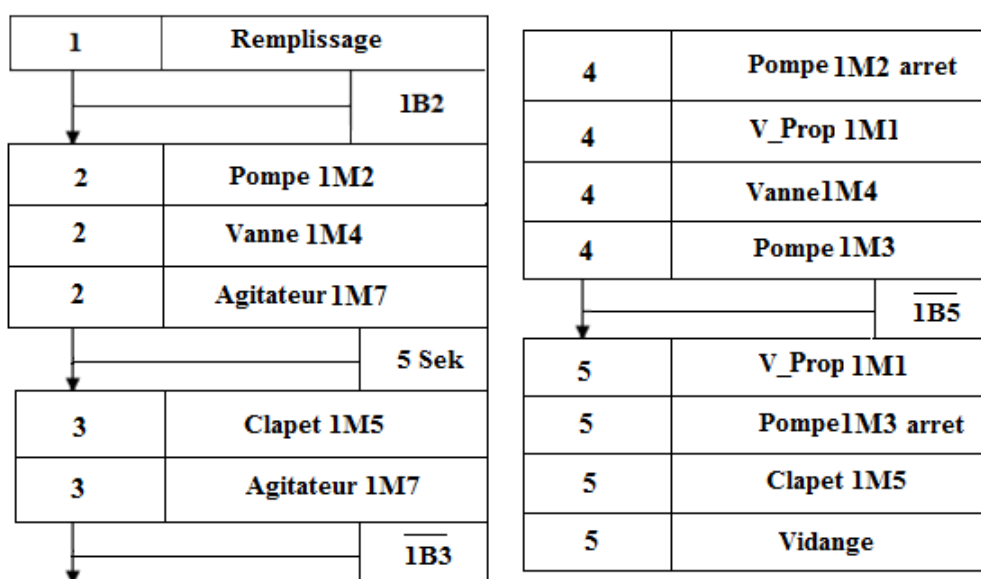


Figure 2.3 : Organigramme général de la station de filtration du AFB de FESTO.

### 2.2.2.2. Composants de la station de filtration

D'après la figure 2.4, la station filtration comprend tous les composants du tableau 2.1.

Tableau 2.1 : Composants de la station de filtration.

Capteurs	Actionneurs	Unités de commande	Elément passif
(4) Capteur de proximité capacitif	(12) Pompe à eau sale, pompe de transfert à la station PA aval	Commande de pompe	(10) Cuve d'eau propre
Manomètre (mécanique)	(8) Agitateur	Équipement de commande/régulation	(9) Cuve d'eau sale
Capteur de pression (analogique) à indicateur	(11) Robinet à boisseau sphérique à 3 voies à commande pneumatique	Commande /régulation	(4) Filtre
(2) Contacteur à flotteur	(6) Tiroir à commande pneumatique	API régulateur industriel	Tuyautage
	(5) Clapet à commande pneumatique	(1) Pupitre tactile	
	(3) Détendeur (analogique)	(7) Bornier	

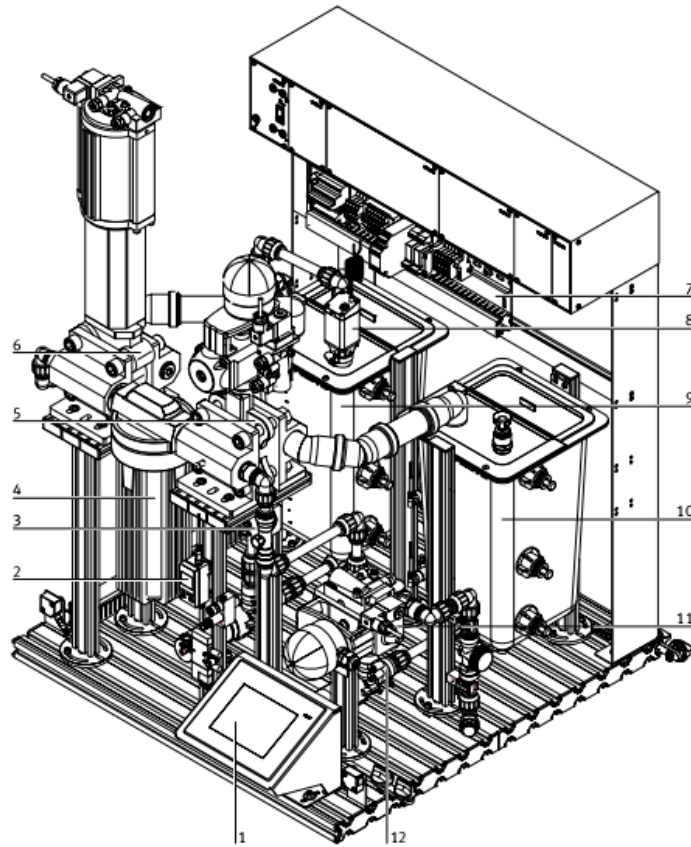


Figure 2.4 : Station de filtration du AFB de FESTO.

### 2.2.3. Présentation de la station de mélange

La station de mélange associe un système régulé à des capteurs numériques-analogiques et à des actionneurs.



Figure 2.5 : Station de mélange.

La régulation de débit est assurée par le régulateur PID intégré à l'API qui régule le cycle du process après sélection de la quantité d'un mélange et d'une recette suivant la recette sélectionnée une pompe de mélange pompe alors les constituants à partir de trois cuves de dosage dans la cuve principale le mélange élaboré peut être acheminé par une pompe à une station aval.

### 2.2.3.1. Organigramme général de fonctionnement de la station de mélange du AFB de FESTO

Dans cette section, nous allons présenter le fonctionnement général de la station de mélange AFB de FESTO sous forme d'organigramme de la figure 2.6.

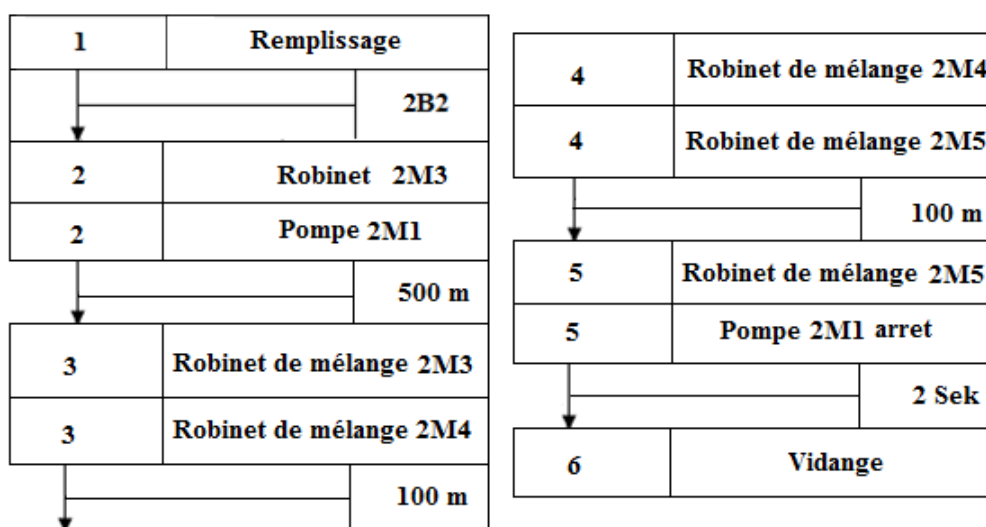


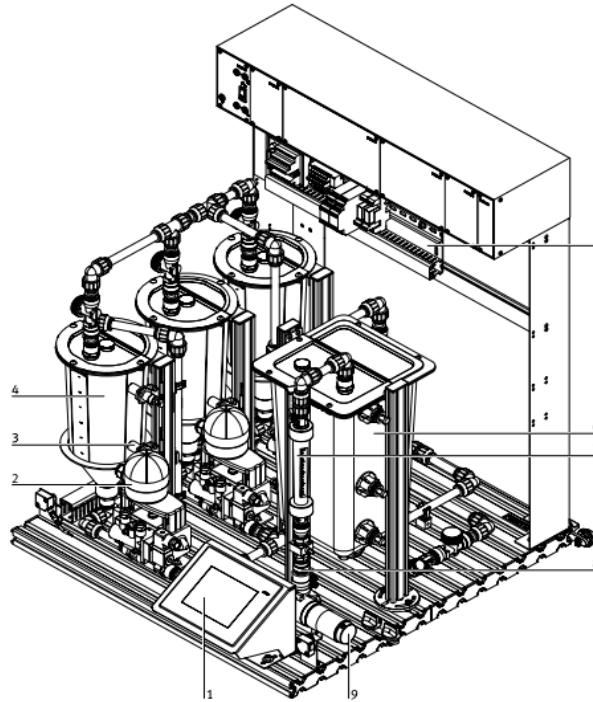
Figure 2.6 : Organigramme général de la station de mélange du AFB de FESTO.

### 2.2.3.2. Composants de la station de mélange

Tous les composants, d'après la figure 2.7, de cette station sont réunis dans le tableau 2.2.

Tableau 2.2 : Composants de la station de mélange.

Capteurs	Actionneurs	Unités de commande	Élément passif
(4) contacteurs à flotteur de détection de niveau dans les cuves	(9) Pompe de mélange/Pompe de transfert à la station PA aval	Commande de pompe	(6) Cuve principale
(3) capteurs de proximité capacitifs	(2) Robinet à boisseau sphérique à 2 voies à commande pneumatique	Équipement de commande/régulation	(4) 3 cuves de dosage
(7) Capteur de débit à flotteur (mécanique)		Commande /régulation (1) Pupitre tactile	Tuyautage
(8) Capteur de débit à turbine (électrique)		API régulateur industriel (5) Bornier/Convertisseur de mesure fréquence/tension	



**Figure 2.7 :** Station de mélange du AFB de FESTO.

#### 2.2.4. Présentation de la station de réaction

La station réacteur (Figure 2.8) amène et maintient le liquide à une température donnée. Suivant la recette choisie, elle adopte différents profils de température et différentes durées d'agitation.



**Figure 2.8 :** Station réacteur de AFB de FESTO.

Le liquide contenu dans la cuve du réacteur est porté à une certaine température, suivant la recette, par le chauffage et agité par un module agitateur. La température réelle du système est mesurée par un capteur de température et doit être maintenue constante même à la suite de perturbations ou de sauts de la valeur de consigne.

- La circulation du liquide est assurée par deux pompes centrifuges. La 1<sup>ère</sup> pompe de refroidissement aspire le liquide chaud dans la cuve et le refoule pour le refroidir à travers le système de tuyauteries extérieur à la cuve. L'autre pompe de transfert à la station PA permet d'acheminer le liquide à température à la station suivante.
- Les pompes centrifuges ne doivent pas tourner à sec. Il faut donc qu'avant de mettre la station en service, la cuve et les tuyauteries menant et en partant des pompes soient remplies de liquide.
- Le thermoplongeur est mis sous tension pour réchauffer le liquide contenu dans la cuve en intermittence par une commande à modulation de largeur d'impulsions conditionnée par le rapport cyclique.
- La température est mesurée par un capteur. Le signal de résistance de la sonde de température est converti par le convertisseur de mesure en un signal normalisé (0...10 V), valeur spécifiée par notre organe de commande qui est l'API.
- Deux capteurs capacitifs de proximité haut et bas sont montés en vue de surveiller le niveau d'eau.
- Le contacteur à flotteur surveille la montée du niveau dans la cuve et sert à éviter le débordement.

La station réacteur associe un système régulé à des capteurs numériques-analogiques et à des actionneurs. La régulation de température est assurée par API et régulateur. Le cycle est fonction de trois recettes sélectionnables et comprend le chauffage et l'agitation d'un liquide. Suivant la recette sélectionnée, le liquide est éventuellement refroidi dans un circuit spécifique. Le mélange élaboré peut être acheminé par une pompe à une station aval.

Les fonctions de régulation exécutables sont les suivantes :

- Régulateur PID pour chauffage et refroidissement (fonction principale) avec option :
  - ❖ Régulation 2 points (« tout ou rien ») pour chauffage,
  - ❖ Régulation 2 points (« tout ou rien ») pour refroidissement,
  - ❖ Régulation 3 points (« tout ou peu ou rien ») pour chauffage/refroidissement,
  - ❖ Régulation 3 points du système intégrant le chauffage et la pompe de refroidissement comme organes de réglage et faisant appel à un signal analogique normalisé.

#### **2.2.4.1. Fonctionnement général de la station réacteur selon FluidLab**

Dans cette section, nous allons présenter le fonctionnement général de la station réacteur de AFB de FESTO sous forme d'organigramme de la figure 2.9.

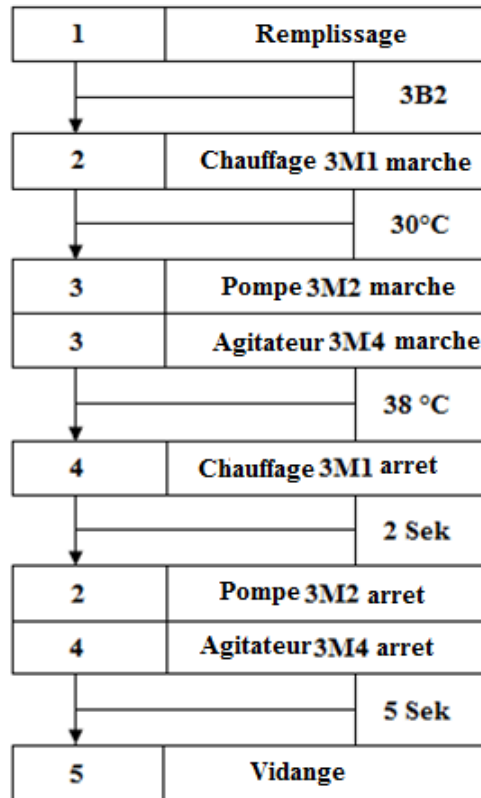


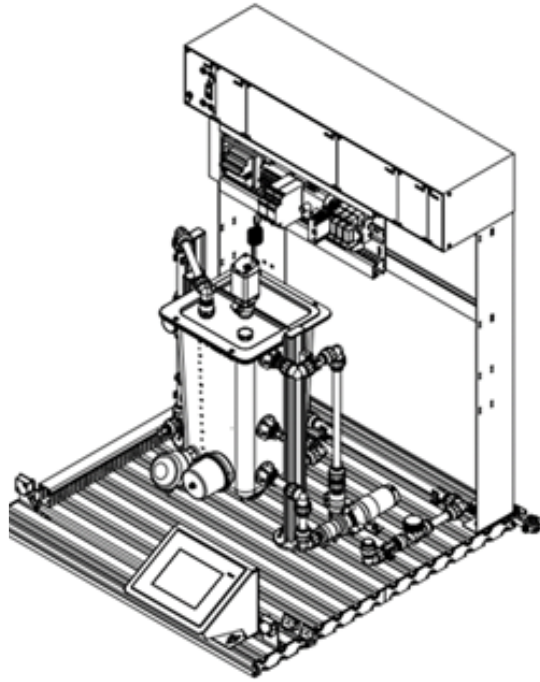
Figure 2.9 : Organigramme général de la station réacteur du AFB de FESTO.

### 2.2.4.2. Composants de la station réacteur

Les composants du tableau 2.3 servent au fonctionnement de cette station décrite par la figure 2.10.

Tableau 2.3 : Composants de la station réacteur.

Capteurs	Actionneurs	Commande de pompe	Elément passif
Contacteur à flotteur pour niveau de la cuve	Pompe de refroidissement	Commande de pompe	Cuve
Capteurs de proximité capacitifs	Pompe de transfert à la station PA aval	Unité de commande	Tuyautage
Capteur de température	Chauffage	Commande /régulation	
	Agitateur	API régulateur industriel	



**Figure 2.10 :** Station réacteur du AFB de FESTO.

### **2.2.5. Présentation et fonction du station de remplissage**

La station de conditionnement met du liquide en flacons. Le liquide est pompé du réservoir dans la cuve de dosage. Les flacons sont transportés par convoyeurs au poste de remplissage. Un séparateur pneumatique sépare les flacons. Les flacons sont enfin remplis d'une certaine quantité de liquide en fonction de la recette choisie provenant de la cuve de dosage.



**Figure 2.11:** Station du remplissage.

La station de remplissage associe un système régulé à des capteurs numériques-analogiques et à des actionneurs. La régulation de niveau est assurée par le régulateur PID de l'API et régulateur. Un convoyeur à deux bandes transporteuses achemine les pots vides à la station de remplissage. À l'issue de la sélection d'une recette, le liquide contenu dans la cuve de dosage sert à remplir soit un nombre donné de pots, soit, en mode continu, un nombre quelconque de pots.

### 2.2.5.1. Organigramme général de la station de remplissage AFB de FESTO

Dans cette section nous allons présenter le fonctionnement général de la station de remplissage AFB de FESTO sous forme d'organigramme de la figure 2.11.

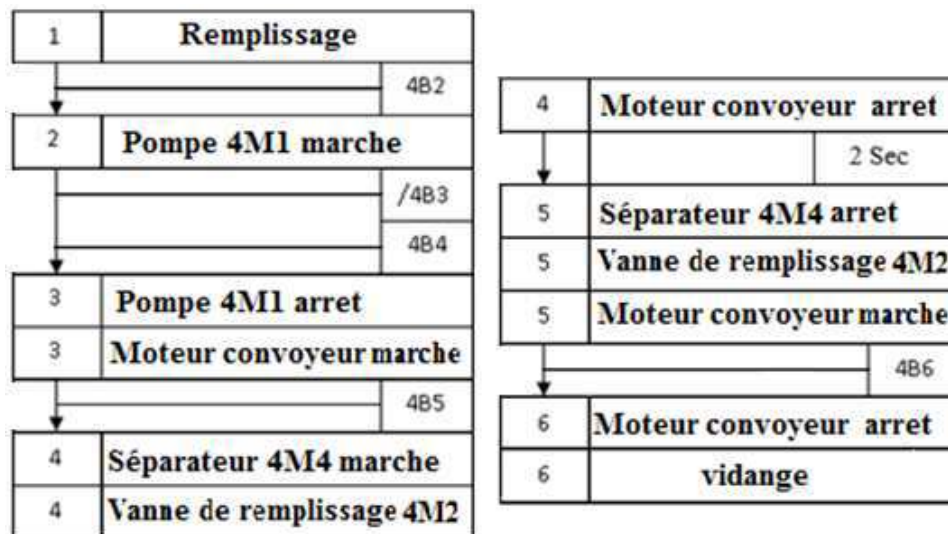


Figure 2.12 : Organigramme général de la station de remplissage AFB de FESTO.

### 2.2.5.2. Composants de la station de remplissage

Comme le montre la figure 2.13, la station de remplissage comprend les composants du tableau 2.4.

Tableau 2.4: Composants de la station de remplissage.

Capteurs	Actionneurs	Commande de pompe	Élément passif
Capteur de proximité capacitif	(9) Pompe	Commande de pompe	(3) Cuve principale
(6) Capteur à ultrason	(8) Distributeur de dosage	Unité de commande	(7) Cuve de dosage
Détecteur à réflexion	(2) Convoyeur	Commande /régulation	Tuyauterie
Barrière photo électrique	(10) Séparateur pneumatique	API régulateur industriel	
(5) Contacteur à flotteur		(1) Pupitre tactile	

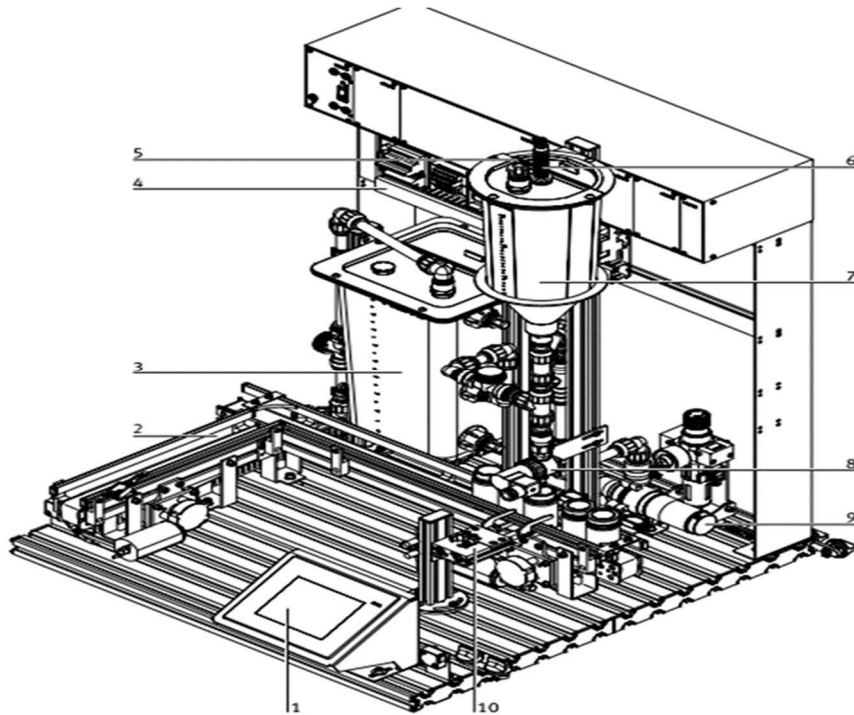


Figure 2.13 : Station de remplissage du AFB de FESTO.

## 2.3. Description du système MPS-FMS 500

### 2.3.1. Vu d'ensemble sur le système

Le système MPS FMS 500 (Modular Production System flexible manufacturing system) de la figure 2.14 est un SPA (système de production automatisé) et le chiffre 500 signifie la disposition des stations à l'entour du convoyeur. Ce système est installé actuellement au sein du laboratoire de recherche en productique MELT de l'université de Tlemcen [8].



Figure 2.14 : Station MPS 500 de FESTO [9].

Dans le système MPS 500, la pièce à usiner est transmise de la station de distribution à la station de contrôle. La station de contrôle vérifie les caractéristiques des pièces à usiner, exclut les mauvaises pièces le cas échéant et transmet les bonnes pièces au système de transport représenté par le convoyeur. L'entrée des pièces s'effectue ainsi à partir de la station de distribution au système. Si aucune station de distribution n'est présente dans le système, la pièce à usiner peut-être déposée à un endroit quelconque sur un porte-pièces (palette).

La station d'usinage est alimentée à l'aide d'une station de manipulation. La pièce à usiner est traitée puis contrôlée. La station de manipulation retourne la pièce à usiner sur le système de transport (convoyeur).

A la station d'assurance qualité, la pièce est contrôlée par rapport à la tolérance dimensionnelle. La station de robotique monte un vérin modèle à partir du corps de base.

La station de stockage peut stocker des pièces à usiner et les remettre au système en cas de besoin. A la station de tri/regroupement (sortie des pièces), les pièces à usiner peuvent être retirées du système. A l'aide de la station de manipulation, les pièces à usiner sont transférées du convoyeur à la station de tri pour être triées par couleur. La station de regroupement ne trie pas les pièces à usiner par couleur, mais prélève une certaine quantité, à savoir 18 pièces. Elle contient quatre glissières, trois glissières sont réservées aux pièces à usiner, la quatrième glissière sert au dépôt des pièces pendant le processus de mise en référence.

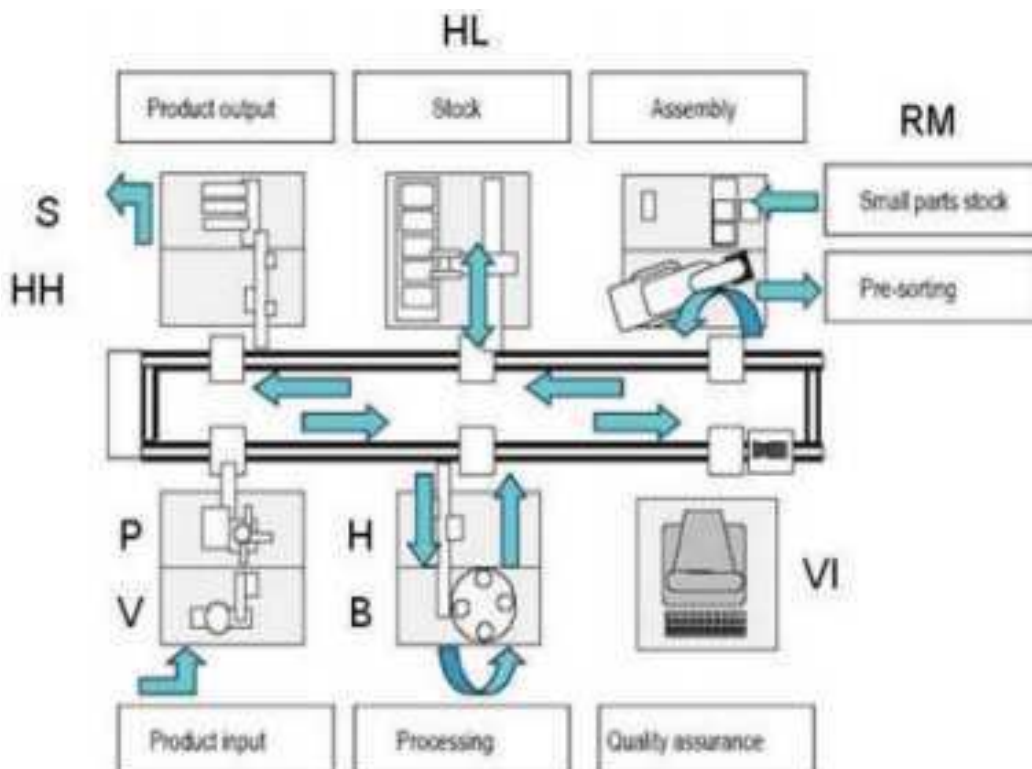


Figure 2.15 : Configuration MPS 500.

- H station de manipulation,
- B : Station d'usinage,

- VI : Station de visualisation,
- RM : station d'assemblage robotisé,
- HL : station du magasin central automatisé,
- HH : station de manipulation,
- S : station de tri.

Ce système est composé de Six stations plus un convoyeur principal qui peut gérer la Circulation du flux de production entre ces stations à l'aide de palettes.

Les Stations du système sont les suivantes :

- Station de Distribution,
- Station de Production,
- Station de Qualité (La Caméra),
- Station d'assemblage,
- Station de Stockage et déstockage,
- Station de tri/Livraison.

Chaque station du système est commandée par un automate programmable Industriel Siemens S7-314C-2 DP/PN utilisant le logiciel Step7 V5.5. La station d'assemblage robotisée qui contient un robot MITSUBISHI est commandé et programmé par un cerveau industriel.

Pour l'acquisition des informations, le système MPS 500 comporte plusieurs types de capteurs. On trouve les trois types de capteurs optique (à barrage, à réflex, à proximité), les Capteurs Inductifs à Proximité, les capteurs Capacitifs à proximité, les capteurs fins de course (électromagnétique et électromécanique), un capteur de qualité représenté par la caméra. Le système comporte aussi plusieurs actionneurs représentés par des Moteurs électrique et des vérins pneumatique, des effectuer comme la table dial de la station de production, des pré actionneurs pneumatique et électrique ainsi que des pupitres de commande.

Les câbles et protocoles de communication utilisés entre les différents composants du systèmes (capteur, actionneurs, stations, automates programmables et ordinateur) sont : les câbles ASI (Actuators Sensors Interface), les câbles Profibus (Process Field Bus), les Câbles Sys Link ainsi que les câbles d'adaptation MPI USB pour siemens pour la liaison directe des automates programmables aux ordinateurs.

### **2.3.2. Station de distribution/Contrôle**

#### **2.3.2.1. Mode de fonctionnement de la sous station de distribution**

Dans la station de distribution. Le magasin éjecte une à une des pièces à usiner dans un magasin. Jusqu'à 8 pièces à usiner peuvent être Stocké dans un ordre quelconque dans le tube du magasin. Les pièces à usiner doivent être insérées côté ouvert vers le haut. Un vérin à double

effet éjecte la pièce à usiner du bas du magasin jusqu'en butée mécanique. Cette position sert de point de transfert à l'étape suivante (vérin Oscillant).



**Figure 2.16 :** Station de distribution de système MPS 500.

La présence d'une pièce à usiner dans le tube du magasin est détectée au moyen d'une barrière photoélectrique. La position du vérin d'éjection est détectée par un capteur électromagnétique. La vitesse de sortie et de rentrée du vérin d'éjection peut être réglée progressivement à l'aide de limiteurs de débit unidirectionnels.

Le module de transfert est un manipulateur pneumatique. Les pièces à usiner sont saisies par une ventouse. Les pièces à usiner sont déplacées par un vérin oscillant. L'angle de rotation peut être réglé de manière variable entre  $0^\circ$  et  $180^\circ$  à l'aide de butées de fin de course mécaniques. La détection de fin de course s'effectue par des capteurs électriques de fin de course (électromécaniques). Ce module de transfert peut être exploité avec une ventouse qui nous permet d'aspirer et d'éjecter les Pièces à traiter.

### **2.3.2.2 Mode de fonctionnement de la sous station du contrôle**

La station de contrôle de la figure 2.17 détermine les caractéristiques des pièces à usiner posées. Le module de détection effectue l'identification de la couleur de la pièce à usiner. Un capteur capacitif identifie chaque pièce à usiner indépendamment de sa couleur. Un détecteur à réflexion détecte les pièces à usiner métalliques et les pièces à usiner rouges. Les pièces à usiner noires ne sont pas reconnues.



**Figure 2.17** : Station de contrôle du système MPS 500.

Le signal de sortie est soit numérisé par une carte de comparaison avec des valeurs seuils réglables soit transmis par un système de traitement des signaux analogiques B5 au moyen du bloc de connexion d'un API.

Un vérin linéaire achemine les pièces conformes vers la station en aval en empruntant la glissière à coussin d'air supérieure. Les autres pièces à usiner sont rebutées sur la glissière inférieure.

### 2.3.2.3. Composants de la station de distribution/contrôle

Le tableau 2.5 représente les différents composants de la station de distribution/contrôle.

**Tableau 2.5** : Variables de la station de distribution/contrôle.

Codes	Désignation	Type	Utilité
2B1 Partie distribution	Capteur	Pneumatique	Pièce à usiner aspirée (vide présent)
3B1 Partie distribution	Capteur	Électromécanique	Vireur rotatif en position 1 Magasin
3B2 Partie distribution	Capteur	Électromécanique	Vireur rotatif en position 2 en aval
S1_d Partie distribution	Capteur	Électromécanique	Touche START
S2_d Partie distribution	Capteur	Électromécanique	Touche STOP (contact à ouverture)

Codes	Désignation	Type	Utilité
S3_d Partie distribution	Capteur	Électromécanique	Sélecteur automatique/manuel
S4_d Partie distribution	Capteur	Électromécanique	Touche mise en référence/RESET
FLR_d=FLR_t	Capteur	Pneumatique	Filtre lubrifiant régulateur
Part_AV_t	Capteur	Capacitif	Pièce présente
B2_t testing	Capteur	Optique de proximité	Pièce à usiner autre que noire
B4_t testing	Capteur	Optique à réflect	Barrière lumineuse de sécurité
B5_t testing	Capteur	Potentiométrique	Hauteur de pièce à usiner correcte
1B1_d=1B1_t	Capteur	Electromagnétique	Vérin de levage en haut (détecteur fin de course)
1B2_d=1B2_t	Capteur	Electromagnétique	Vérin de levage en bas (détecteur fin de course)
2B1	Capteur	Electromagnétique	Vérin d'éjection rentré
IP_FI	Capteur	Optique de proximité	Station en aval libre
I_FO_Ready	Capteur	Optique de proximité	Communication « Distributing ready »
S1_t	Capteur	Électromécanique	Touche START
S2_t	Capteur	Électromécanique	Touche STOP (contact à ouverture)
S3_t	Capteur	Électromécanique	Touche mise en référence/RESET
S_Auto	Capteur	Électromécanique	Automatic/manuel
10B4	Capteur	Inductif	Détection de passage de la palette
10B5	Capteur	Electromagnétique	Détection de niveau haute du stopper de palette
1M1 testing	Actionneur	Pneumatique	Vérin de levage vers le bas
1M2 testing	Actionneur	Pneumatique	Vérin de levage vers le haut
2M1 testing	Actionneur	Pneumatique	Vérin d'éjection vers l'avant
3M1 testing	Actionneur	Pneumatique	Glissière à coussin d'air activée
IP_N_FO	Actionneur	Electrique	Station occupée
3M2 Partie distribution	Actionneur	Pneumatique	Vireur rotatif vers la position 2 en aval
H1 (VH1) Partie distribution	Actionneur	Electrique	Voyant START allumé
H2 (VH2) Partie distribution	Actionneur	Electrique	Voyant position de repos (Reset)
1M1 partie distribution	Actionneur	Pneumatique	Vérin d'éjection de la pièce à usiner
2M1 Partie distribution	Actionneur	Pneumatique	Vide activé
2M2 Partie distribution	Actionneur	Pneumatique	Impulsion d'éjection en marche
3M1 Partie distribution	Actionneur	Pneumatique	Vireur rotatif vers la position 1 vers le Magasin
3M2 Partie distribution	Actionneur	Pneumatique	Vireur rotatif vers la position 2 en aval

H1 Partie distribution	Actionneur	Electrique	Voyant START allumé
MG	Effecteur	//////////	Stocker les pièces (Magasin)
10M5	Actionneur	Pneumatique	Arrêter la palette
P1 (VP1)	Actionneur	Electrique	Voyant START allumé
I_FO_Ready Partie testing	Actionneur	Optique de proximité	Communication « Distributing ready »
P2 (VP2)	Actionneur	Electrique	Voyant position de repos (Reset)
PA1_d = PA1_t	Pré-Actionneur	Pneumatique	Distribution d'énergie Pneumatique
PA2_d = PA2_t	Pré-Actionneur	Electrique	Distribution de l'énergie électrique

### 2.3.3. Station de production/handling

#### 2.3.3.1. Mode de fonctionnement de la sous station d'usinage

Dans la station d'usinage, il est procédé au contrôle et à l'usinage de pièces sur un plateau à indexation. Le plateau à indexation dispose de 6 réceptacles à semi-ouverts et est entraîné par un moteur à courant continu. Le positionnement du plateau à indexation s'effectue au moyen d'un circuit à relais, la position du plateau à indexation est détectée par un capteur inductif.

Les pièces à usiner sont contrôlées et usinées en 2 procédures parallèles sur le plateau à indexation. Une bobine dotée d'un induit contrôle si les pièces ont été insérées dans la bonne position. La pièce à usiner est fixée par un dispositif de serrage électrique lors de l'usinage par un perceuse électrique.

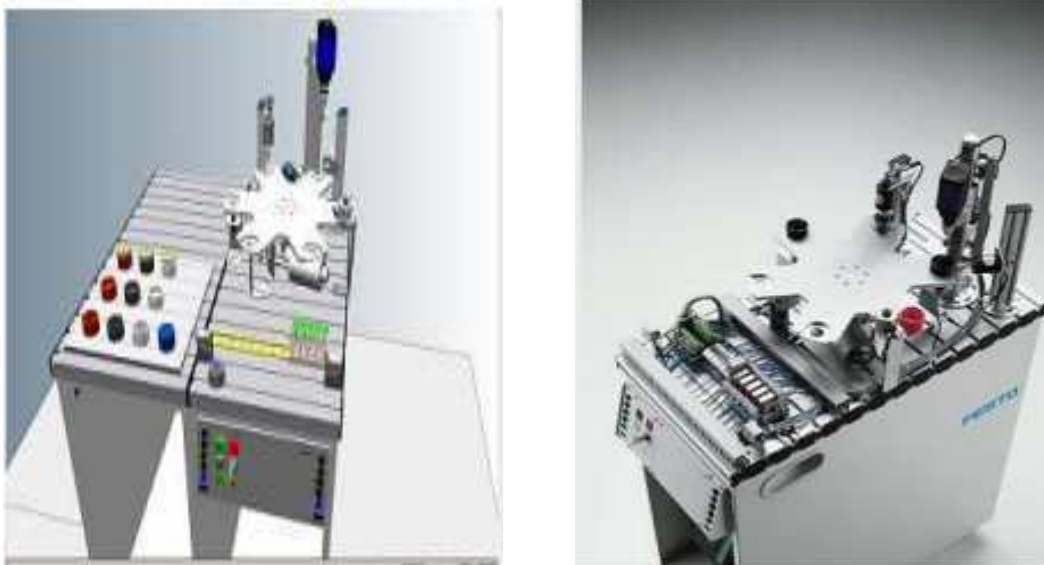


Figure 2. 18 : Sous Station de Production (Usinage).

La tâche de la station d'usinage est de :

- Contrôler les caractéristiques des pièces à usiner (position correcte, perçage).
- Traiter les pièces à usiner et de transférer les pièces à usiner à une station en aval.

### 2.3.3.2. Mode de fonctionnement de la sous Station de manipulation (Handling partie Livraison et Production)

Cette partie est considérée comme sous station commune dans le fonctionnement entre la sous station de production et la sous station de livraison c'est-à-dire que la même se trouve en combinaison avec la sous station de production et une autre identique en combinaison avec la sous station de livraison.

La station est équipée d'un manipulateur flexible à deux axes. Les pièces à usiner insérées sont détectées dans le réceptacle par une barrière photo-électrique. Le manipulateur y prélève les pièces à usiner à l'aide d'une pince pneumatique. Un capteur optique équipe la pince. Le capteur distingue les pièces « noires » et les pièces « autres que noires ». Les pièces à usiner sont alors acheminées, en fonction de ces critères, vers des glissières distinctes. D'autres critères de tri peuvent être définis en cas de combinaison de la station avec d'autres stations.

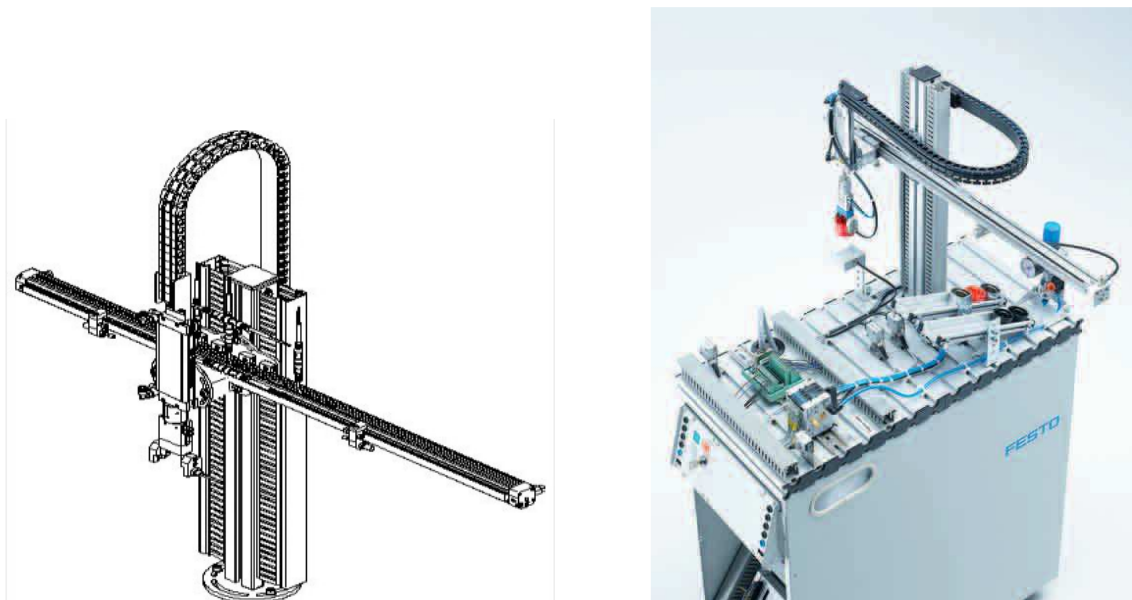


Figure 2. 19 : Sous Station de Manipulation (Handling).

### 2.3.3.3. Composants de la station de production /handling

Tous les composants de cette station sont réunis dans le tableau 2.6.

Tableau 2. 6 : Variables de la station d'usinage/manipulation.

Codes	Désignations	Types	Utilités
Part_AV Partie Production	Capteur	Capacitif	Pièce présente
B2 Partie Production	Capteur	Capacitif	Pièce à usiner à la perceuse
B1 Partie Production	Capteur	Capacitif	Pièce à usiner au dispositif de contrôle
1B1 Partie Production	Capteur	Électromécanique	Perceuse en haut
1B2 Partie Production	Capteur	Électromécanique	Perceuse en bas

B3 Partie Production	Capteur	Inductif	Plateau à indexation positionné
B4 Partie Production	Capteur	Inductif	Contrôle des orifices de perçage en ordre
IP_FI Partie Production	Capteur	Optique de Proximité	Station en aval libre
S1 Partie Production	Capteur	Électromécanique	Touche START
S2 Partie Production	Capteur	Électromécanique	Touche STOP (contact à ouverture)
S3 Partie Production	Capteur	Électromécanique	Sélecteur automatique/manuel
S4 Partie Production	Capteur	Électromécanique	Touche mise en référence/RESET
Part_AV Partie Handling	Capteur	Optique de proximité	Pièce présente
1B1 Partie Handling	Capteur	Électromagnétique	Manipulation à la station en amont
1B2 Partie Handling	Capteur	Électromagnétique	Manipulation à la station aval
1B3 Partie Handling	Capteur	Électromagnétique	Manipulation à la position de tri
2B1 Partie Handling	Capteur	Électromagnétique	Pince sortie
2B2 Partie Handling	Capteur	Électromagnétique	Pince rentrée
3B1 Partie Handling	Capteur	Optique de proximité	La pièce à usiner n'est pas noire.
IP_FI Partie Handling	Capteur	Optique de proximité	Station en aval libre
S1 Partie Handling	Capteur	Électromécanique	Touche START
S2 Partie Handling	Capteur	Électromécanique	Touche STOP (contact à ouverture)
S3 Partie Handling	Capteur	Électromécanique	Sélecteur automatique/manuel
S4 Partie Handling	Capteur	Électromécanique	Touche mise en référence/RESET
FLR	Capteur	Pneumatique	Filtre lubrifiant régulateur
20B3	Capteur	Optique à barrage	Détection de la pièce au niveau de la palette
20B4	Capteur	Inductif	Détection de passage de la palette
1M1 Partie Handling	Actionneur	Pneumatique	Manipulation vers la station en amont
1M2 Partie Handling	Actionneur	Pneumatique	Manipulation vers la station en aval
2M1 Partie Handling	Actionneur	Pneumatique	Sortir la pince
3M1 Partie Handling	Actionneur & effecteur	Pneumatique	Ouvrir pince.
P_N_FO Partie Handling	Actionneur	Électrique	Station occupée
P1 Partie Handling	Actionneur	Électrique	Voyant START allumé
P2 Partie Handling	Actionneur	Électrique	Voyant position de repos (Reset)
M3 Partie Production	Actionneur	Électrique	Perceuse, moteur activé

M2 Partie Production	Actionneur	Électrique	Plateau à indexation, moteur activé
M1 Partie Production	Actionneur	Électrique	Déplacer la perceuse vers le bas et vers le haut
M4 Partie Production	Actionneur	Électrique	Serrer la pièce à usiner.
M5 Partie Production	Actionneur	Électrique	Contrôler la pièce à usiner
IP_N_FO Partie Production	Actionneur	Électrique	Station occupée
P3 Partie Production	Actionneur	Électrique	Voyant pièce défectueuse
P1 Partie Production	Actionneur	Électrique	Voyant START allumé
P2 Partie Production	Actionneur	Électrique	Voyant position de repos (Reset)
PA2=PA4	Pré-Actionneur	Électrique	Distribution de l'énergie électrique
PA3=PA1	Pré-Actionneur	Pneumatique	Distribution d'énergie pneumatique
C1& C2	Buffer _effecteur	Par gravitation	Faire le tri ou le stockage des pièces
K1.....K5	Pré-Actionneur	Électrique	Faire la commande des différentes actionneur

### 2.3.4. Station d'assemblage

#### 2.3.4.1. Mode de fonctionnement de la station d'assemblage

La station d'assemblage est composée de deux sous-stations, un bras robotique « RV-2AJ » chargé de la manutention depuis le convoyeur vers la sous-station d'assemblage qui est aussi le stock des pièces nécessaires à l'assemblage.



Figure 2. 20 : Station d'assemblage.

### 2.3.4.2. Composants de la station d'assemblage

Les différentes variables du tableau 2.7 sont nécessaires au fonctionnement de la station d'assemblage.

**Tableau 2.7 :** Variables de la station d'assemblage.

Codes	Désignations	Types	Utilités
1B1 Partie assemblage	Capteur	Électromagnétique	Vérin à ressort rétracté
1B2 Partie assemblage	Capteur	Électromagnétique	Cylindre à ressort prolongé
B3 Partie assemblage	Capteur	Électromécanique	Ressort en position de ramassage
2B1 Partie assemblage	Capteur	Electromagnétique	Cylindre de couverture rétracté
2B2 Partie assemblage	Capteur	Électromagnétique	Cylindre de couverture étendue
B1 Partie assemblage	Capteur	Optique à Barrage	Aucune couverture en position de ramassage
B2 Partie assemblage	Capteur	Optique à Barrage	Magasin sans couvercle
Part_AV Partie Reboot	Capteur	Optique de proximité	Pièce présente
B1 Partie Reboot	Capteur	Optique de proximité	Pièce à usiner autre que noire
B2 Partie Reboot	Capteur	Optique de proximité	Orientation pas en ordre
IP_FI Partie reboot	Capteur	Optique de proximité	Station en aval libre
S1 Partie assemblage	Capteur	Électromécanique	Bouton de démarrage Start
S2 Partie assemblage	Capteur	Électromécanique	Bouton d'arrêt Stop
S3 Partie assemblage	Capteur	Électromécanique	Commutateur Mode Automatic-manuel
S4 Partie assemblage	Capteur	Électromécanique	Bouton de remise à zéro Reset
FLR	Capteur	Pneumatique	Filtre lubrifiant régulateur
1M1partie reboot	Actionneur& effecteur	Pneumatique	Ouvrir pince (sur robot GR1/Air1)
2M1 Partie Reboot	Actionneur& effecteur	Pneumatique	Fermer la pince (sur robot GR1/Air2)
H1 Partie assemblage	Actionneur	Electrique	Voyant de démarrage Start
H2 Partie assemblage	Actionneur	Electrique	Voyant de remise à zéro Reset
H3 Partie assemblage	Actionneur	Electrique	Voyant indiquant que le magasin est sans couvercle
H4 Partie assemblage	Actionneur	Electrique	Voyant indiquant que le magasin est sans ressort
IP_N_FO Partie Reboot	Actionneur	Électrique	Station occupée (sur Part_AV)
1M1 Partie assemblage	Actionneur& effecteur	Pneumatique	Cylindre à Rétracter le ressort
2M1 Partie assemblage	Actionneur& effecteur	Pneumatique	Cylindre à Rétracter le Couvercle
PA_2	Pré-Actionneur	Electrique	Distribution de l'énergie électrique
PA_1	Pré-Actionneur	Pneumatique	Distribution d'énergie Pneumatique

### 2.3.5. Station du magasin central automatisé

La station du magasin central automatisé (figure 2.21) est un magasin de production et peut être utilisé dans un processus complet comme magasin d'entrée, intermédiaire ou de sortie.

#### 2.3.5.1. Mode de fonctionnement du magasin central automatisé

Le magasin central automatisé sert de plaque tournant logistique pour toutes les pièces finies, les produits semi-finis et les modules. Dans sa fonction de magasin à rayonnage pour palettes, il peut accueillir jusqu'à 20 palettes (100 x 160 mm, 160 x 160 mm) sur les 5 allées de rayons. Comme magasin à rayonnage pour pièces à usiner, les points de réception intégrés pour pièces à usiner de 40 mm de diamètre peuvent stocker et déstocker jusqu'à 35 pièces à usiner dans les 5 allées de rayons.

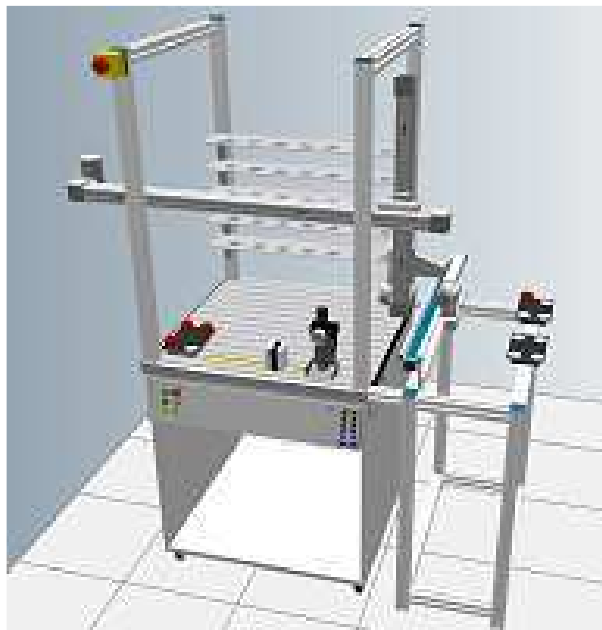


Figure 2. 21 : Station du magasin central automatisé.

Le stockage et le déstockage a lieu du même côté frontal du magasin. Le magasin central automatisé permet l'application de différents principes pour la gestion des stocks :

- « First in-First out » (FIFO),
- « Last in-First out » (LIFO).

La tâche de la station du magasin central automatisé HRL20 est de :

- Stocker palettes/pièces à usiner,
- Déstocker palettes/pièces à usiner.

### 2.3.6. Station de tri/handling

Cette station procède au tri de pièces à usiner sur 3 glissières. Les pièces à usiner insérées en début de bande sont détectées à l'aide d'un détecteur à réflexion.

### 2.3.6.1. Mode de fonctionnement de la sous station de tri

Des capteurs installés en aval du barrage détectent les propriétés de la pièce (noire, rouge, métallique). Le tri des pièces à usiner et leur acheminement aux glissières respectives est assuré par des déviations manœuvrées par des vérins à faible course via un mécanisme d'inversion. Une barrière à réflexion surveille le niveau de charge des glissières.



Figure 2.22 : Sous station de tri.

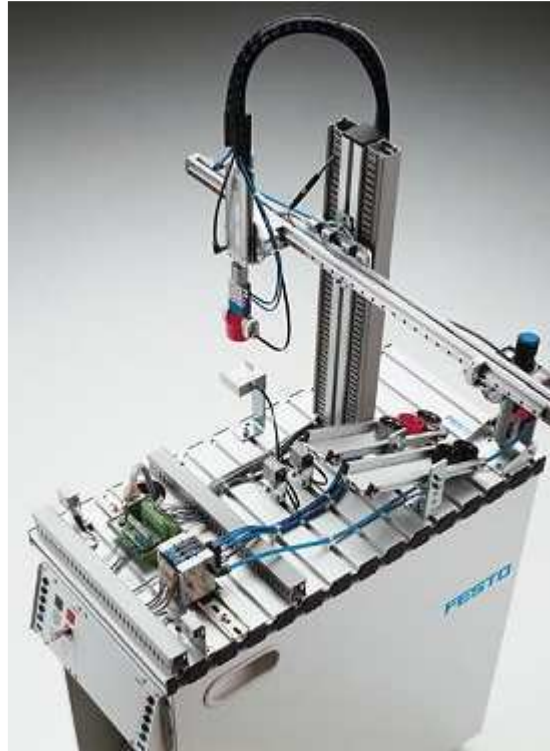
### 2.3.6.2. Mode de fonctionnement de la sous station de manipulation

La manipulation est une sous-fonction du flux matériel. Le transport et le stockage représentent d'autres sous-fonctions.

D'après VDI 2860, la manipulation correspond à la création, la modification définie ou le maintien temporaire d'un ordre spatial prédéfini de corps déterminés géométriquement.

La tâche de la station de la figure 2.23 de manipulation est de :

- Déterminer la nature des matériaux des pièces à usiner,
- Retirer des pièces à usiner d'un module de réception,
- Déposer les pièces à usiner sur la glissière « métallique/rouge » ou sur la glissière « noire » ou de transmettre les pièces à usiner à une station en aval.



**Figure 2.23 :** Sous station de la manipulation.

### 2.3.6.3. Composants de la station tri/handling

Le tableau 2.8 donne un aperçu sur tous les composants de cette station.

**Tableau 2. 8 :** Variables de la station de livraison.

Codes	Désignations	Types	Utilités
Part_AV Partie tri	Capteur	Optique de proximité	Pièce présente
B2 Partie tri	Capteur	Inductif	Pièce en métal
B3 Partie tri	Capteur	Optique de proximité	Pièce à usiner autre que noire
B4 Partie tri	Capteur	Optique à réflectif	Glissière pleine
1B1 Partie tri	Capteur	Electromagnétique	Dérivation 1 rentrée
1B2 Partie tri	Capteur	Electromagnétique	Dérivation 1 sortie
2B1 Partie tri	Capteur	Electromagnétique	Dérivation 2 rentrée
2B2 Partie tri	Capteur	Electromagnétique	Dérivation 2 sortie
IP_FI Partie tri	Capteur	Optique de proximité	(non disponible)
S1_T Partie tri	Capteur	Électromécanique	Touche START
S2_T Partie tri	Capteur	Électromécanique	Touche STOP (contact à ouverture)
S3_T Partie tri	Capteur	Électromécanique	Sélecteur automatique/manuel

S4 Partie tri	Capteur	Électromécanique	Touche mise en référence/RESET
Part_AV Partie Handling	Capteur	Optique de proximité	Pièce présente
1B1 Partie Handling	Capteur	Electromagnétique	Manipulation à la station en amont
1B2 Partie Handling	Capteur	Electromagnétique	Manipulation à la station aval
1B3 Partie Handling	Capteur	Electromagnétique	Manipulation à la position de tri
2B1 Partie Handling	Capteur	Electromagnétique	Pince sortie
2B2 Partie Handling	Capteur	Electromagnétique	Pince rentrée
3B1 Partie Handling	Capteur	Optique de proximité	La pièce à usiner n'est pas noire.
IP_FI Partie Handling	Capteur	Optique de proximité	Station en aval libre
S1_H Partie Handling	Capteur	Électromécanique	Touche START
S2_H Partie Handling	Capteur	Électromécanique	Touche STOP (contact à ouverture)
S3_H Partie Handling	Capteur	Électromécanique	Sélecteur automatique/manuel
S4_H Partie Handling	Capteur	Électromécanique	Touche mise en référence/RESET
FLR_H=FLR_T	Capteur	Pneumatique	Filtre lubrifiant régulateur
60B4	Capteur	Inductif	Détection d'arrivé de la palette
60B3	Capteur	Optique à barrage	Détection pièce au niveau de la palette
K1 Partie tri	Actionneur	Électrique	Moteur de la bande activé
1M1 Partie tri	Actionneur & effecteur	Pneumatique	Sortir la dérivation 1.
2M1 Partie tri	Actionneur & effecteur	Pneumatique	Sortir la dérivation 2.
3M1 Partie tri	Actionneur & effecteur	Pneumatique	Stoppeur rentré
IP_N_FO Partie tri	Actionneur	Electrique	Station occupée
P3 Partie tri	Actionneur	Electrique	Voyant glissière pleine
1M1 Partie Handling	Actionneur	Pneumatique	Manipulation vers la station en amont
1M2 Partie Handling	Actionneur	Pneumatique	Manipulation vers la station en aval
2M1 Partie Handling	Actionneur	Pneumatique	Sortir la pince
3M1 Partie Handling	Actionneur	Pneumatique	Ouvrir pince.
P_N_FO Partie Handling	Actionneur	Electrique	Station occupée
1EF1	Effecteur	Pneumatique	Orientation pièces Rouges
1EF2	Effecteur	Pneumatique	Orientation pièces Métalliques
C1	Buffer-effecteur	Gravitation	Stockage des pièces rouges

C2	Buffer-effecteur	Gravitation	Stockage des pièces Métalliques
C3	Buffer-effecteur	Gravitation	Stockage des pièces Noires
C4&C5	Buffer-effecteur	Gravitation	Stockage des pièces.
C6	Support_effecteur	Sans Types	Point de départ
P1_H Partie Handling	Actionneur	Electrique	Voyant START allumé
P2_H Partie Handling	Actionneur	Electrique	Voyant position de repos (Reset)
PA1_H=PA1_T	Pré-Actionneur	Electrique	Distribution de l'énergie électrique
PA2_H=PA2_T	Pré-Actionneur	Pneumatique	Distribution d'énergie pneumatique

Afin de poursuivre notre travail de thèse, vu la complexité du système en notre possession, nous avons dû choisir, pour la suite de notre travail uniquement deux (02) stations de ce système. Dans ce qui suit, nous allons essayer de justifier notre choix.

## 2.4. Stations choisies

Pour le système MPS PA du AFB de FESTO, nous avons choisi deux stations :

- Station de remplissage et station réacteur dont l'objectif est de développer une interface homme machine spécifique et optimale pour les deux stations. Pour cela, dans la phase d'acquisition des données, nous avons défini les paramètres spécifiques et optimaux du système AFB de FESTO afin de les introduire dans l'IHM développée en intégrant des régulateurs PID pour la régulation du niveau de la station de remplissage et la régulation du niveau et de température pour la station réacteur du système MPS PA du AFB de FESTO.

Pour le système MPS 500 de FESTO, nous avons choisi une seule station :

- Station de distribution du système MPS 500 de FESTO dont l'objectif est de développer aussi une interface homme machine spécifique et plus professionnelle de la station de distribution du système MPS de FESTO, sachant que cette station contient deux sous stations : la sous station du magasin et le module de transfert.

## 2.5. Critère de choix des stations du système MPS de FESTO

Pour le système MPS PA du AFB de FESTO, nous avons choisi la station de remplissage dans un premier temps car elle contient un capteur analogique (capteur à ultrason) de niveau qui permet d'intégrer un régulateur PID pour la régulation de niveau. Aussi, nous avons choisi la station réacteur de système MPS PA du AFB de FESTO dont le but est d'améliorer le premier travail par la régulation de deux paramètres « niveau et température ».

Pour le système MPS 500 de FESTO, nous avons choisi la station de distribution parce qu'elle contient plusieurs types des capteurs et d'actionneurs plus que les autres stations. Aussi,

dans l'organisation des stations de système MPS 500, c'est la première station du système MPS 500 car c'est elle qui alimente le système MPS 500 de FESTO.

Dans le paragraphe suivant, nous avons jugé utile de bien décrire les différents outils et logiciels utilisés pour mener à bien l'objectif tracé.

## **2.6. Présentation des outils et logiciels utilisés**

Le système MPS 500 et MPS PA du AFB de FESTO est un système de production automatisé complet qui utilise plusieurs types des capteurs, d'actionneurs, pré actionneurs, effecteurs et moyen de communication. Dans lequel un système de production automatisé (SPA) est un ensemble d'éléments en interaction, et organisés dans un but Précis : agir sur une matière d'œuvre afin de lui donner une valeur ajoutée. il se décompose en deux parties :

- Partie Opérative (Capteur, actionneur). Déjà traité dans La partie description du système MPS PA de AFB et MPS 500 de FESTO,
- Partie Commande (unité de traitement, Moyen de communication, IHM).

### **2.6.1. Systèmes automatisés**

#### **2.6.1.1. Définition [10]**

L'automatisation industrielle consiste à utiliser la programmation logique numérique pour faire fonctionner des machines et d'autres équipements industriels, qui réduit l'intervention manuelle dans le processus de prise de décision et utilise des équipements mécaniques pour le contrôle manuel.

#### **2.6.1.2. Structure des systèmes automatisés [11]**

Le système d'automatisation est essentiellement composé de deux parties principales par rapport aux autres parties pour assurer le fonctionnement du système et l'interaction entre les parties.

##### **1. Partie contrôle (PC)**

C'est la partie opérationnelle de l'architecture avec des composants mécaniques, pneumatiques et hydrauliques, qui peuvent se résumer à un actionneur et répondre au signal électrique envoyé par la partie commande, puis exécuter physiquement le processus industriel. Il existe également des éléments de détection physique, tels que des capteurs, qui permettent à la partie commande de notifier passivement l'état du système à un instant donné (la partie commande est alors chargée de vérifier l'état). Actif (déclencher un signal lors d'un événement physique spécifique).

## 2. Partie opération (PO)

Il délivre des commandes de fonctionnement à la partie opérateur. Sa fonction est :

- ✚ D'envoyer des instructions d'opération à la partie exécution. Ces commandes sont transmises au pré-exécuteur,
- ✚ De recevoir des informations sur l'état du site chirurgical envoyées par le capteur,
- ✚ De recevoir les instructions d'utilisation de la console,
- ✚ D'envoyer des signaux de signalisation,
- ✚ D'assurez-vous que les informations sont traitées selon la logique donnée (programme) pour passer une commande.

### 2.6.1.3. But d'un système automatisé

Chaque système a un objectif. Dans ce cas, son rôle est :

- ✚ De réduire les coûts et le temps de production, simplifier le travail manuel,
- ✚ D'éliminer les tâches douloureuses et répétitives,
- ✚ D'améliorer la productivité et améliorer la qualité,
- ✚ De réduire les risques de travail et améliorer la sécurité,
- ✚ D'économiser les matières premières, économiser de l'énergie,
- ✚ De maintenir la qualité.

### 2.6.1.4. Avantages et inconvénients d'un système automatisé [10]

#### 1. Avantages

- Les tâches effectuées par les opérateurs humains impliquant un travail physique fastidieux peuvent être facilement remplacées,
- Les opérateurs humains peuvent éviter de travailler dans des environnements de production dangereux avec des températures extrêmes, de la pollution, des éléments intoxicants ou des substances radioactives,
- Les tâches qui sont difficiles pour un opérateur humain typique peuvent être facilement effectuées. Ces tâches comprennent le levage de charges lourdes et volumineuses, le travail avec des objets extrêmement petits, etc.
- La production est toujours plus rapide et le coût du produit est nettement inférieur (par rapport au même produit fabriqué avec une opération manuelle),
- Plusieurs contrôles de qualité peuvent être intégrés dans le processus de production pour assurer la cohérence et l'uniformité,
- L'économie de l'industrie peut être considérablement améliorée, ce qui a un impact direct sur le niveau de vie.

**2. Inconvénients**

- Perte d'emplois. Comme la majorité du travail est effectué par des machines, le besoin en travail manuel est très réduit,
- Toutes les tâches souhaitées ne peuvent être automatisées à l'aide de la technologie actuelle. Par exemple, il est préférable de laisser l'assemblage manuel des produits de forme et de taille irrégulières. (Cette tendance semble changer avec les ordinateurs et les algorithmes avancés),
- Il est possible d'utiliser l'automatisation pour certains processus, par exemple la production en grande quantité, les produits reproductibles et cohérents,
- Le coût initial de la mise en œuvre d'un système d'automatisation est très élevé. Un ensemble de personnel qualifié est toujours nécessaire pour la maintenance et l'entretien.

**2.6.1.5. Chaîne de fonctions d'un système automatisé**

La chaîne fonctionnelle constitue l'unité de base de la conception, étudiez le fonctionnement du système automatisé. Il se caractérise par la disposition des fonctions de chaque membre Forme de chaîne, qui combine tous les éléments de la partie exécution Partie de contrôle du système qui facilite l'exécution des fonctions Chirurgical. Parce que tous ces éléments sont fonctionnellement liés les uns aux autres, ce regroupement est appelé une chaîne fonctionnelle.

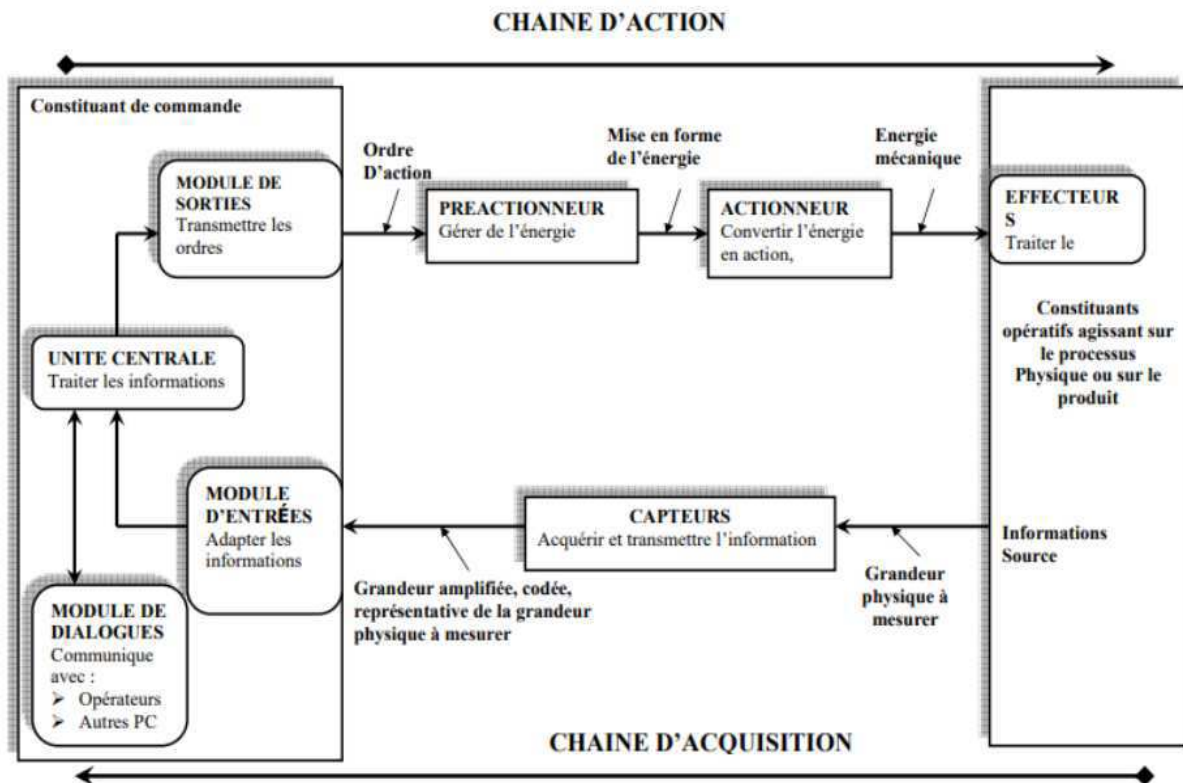


Figure 2.24 : Organisation générale d'une chaîne fonctionnelle [12].

## 1. Propriété d'une chaîne fonctionnelle [12]

Elle contient généralement 3 parties :

### a. Chaîne d'action

Il assure l'animation de la partie opérative nécessaire au fonctionnement du matériel à partir du développement de la commande au sein des éléments constitutifs :

- **Capteurs** : les capteurs transforment une grandeur physique (température, débit, niveau, vitesse ...) en une grandeur électrique. Il existe différents types de capteur :
  - Analogiques : 0 – 20 mA, 0 – 10 V,
  - Tout Ou Rien : 0 ou 1,
  - Numériques.

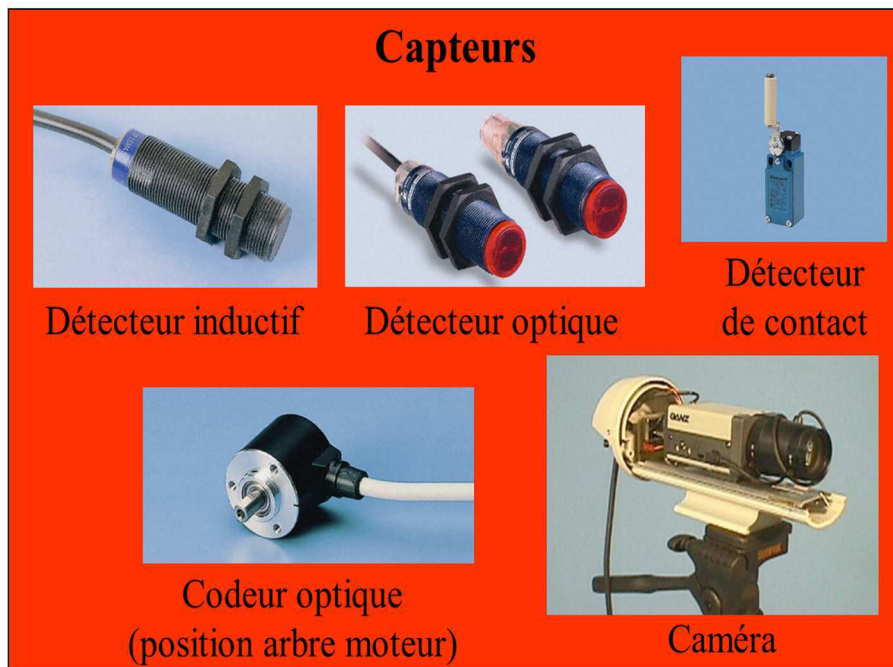


Figure 2.25 : Différents capteurs d'un système automatisée [13].

- **Pré-actionneur**

L'interface entre l'unité de contrôle (PC) et l'unité d'opérative (PO). Sa fonction est de transférer les commandes du PC au PO. Généralement, ils sont utilisés pour contrôler la puissance sur la base de signaux de contrôle de faible puissance.

- Contacteurs de puissance,
- Variateurs de vitesse,
- Cartes de commandes,
- Commandes de vannes,
- Distributeurs : pneumatique, hydraulique.

- **Actionneur**

Ils convertissent l'énergie d'entrée en énergie de sortie appropriée pour que l'actionneur exécute la tâche de fonctionnement.

- Moteurs : asynchrone, pas à pas, courant continu,
- Vérins : pneumatiques, hydrauliques,
- Pompes,
- Vannes.

- **Effecteur**

C'est l'élément terminal de la chaîne fonctionnelle. Il agit directement sur le produit et réalise la valeur ajoutée recherchée par l'opération ou la tâche d'opération. Il est généralement connecté à l'actionneur via une chaîne d'alimentation. La chaîne de puissance est une structure composée d'éléments de transmission, de conversion et de guidage, qui permet de rendre l'énergie de sortie de l'actionneur disponible pour une utilisation par l'actionneur. Ils agissent directement sur la matière d'œuvre :

- Production,
- Manutention,
- Assemblage,
- Remplissage,
- Emballage.

**b. Chaîne d'acquisition**

Elle permet de développer et de transmettre des informations qui peuvent être utilisées par l'unité centrale, ainsi de remplir la fonction de "collecte d'informations". Elle se compose généralement par des capteurs qui font la fonction d'obtention des informations. Cela comprend la mesure des phénomènes physiques et la fourniture d'images informatives de ceux-ci.

**c. Partie traitement**

La partie de traitement de la chaîne fonctionnelle, utilisée pour traiter les informations dans la chaîne d'achat pour préparer la commande de la chaîne d'action.

**2.6.2. Automate Programmable Industriel**

Un Automate Programmable Industriel API : (Automate programmable industriel), en anglais PLC : (Programmable Logic Controller), est un appareil électronique de traitement de l'information (remplacement de logique à relais câblé) il effectue des fonctions d'automatisme programmées telles que :

- Logique combinatoire,
- Séquencement,

- Temporisation,
- Comptage,
- Calcul numérique,
- Asservissement et régulation.

Il permet de commander, mesurer et contrôler via des signaux d'entrées et de sorties (numériques ou analogiques) toutes machines et processus dans un environnement industriel.

Un automate programmable industriel se compose :

- D'une unité de traitement (Microprocesseur + Mémoire),
- D'interfaces d'entrées et de sorties (Analogiques et numériques),
- De modules de communication,
- D'un module d'alimentation.

### 2.6.2.1. Structure d'un API

Un API est structuré autour de plusieurs éléments de base : l'unité de traitement, la mémoire, l'unité d'alimentation, les interfaces d'entrées-sorties, l'interface de communication et le périphérique de programmation.

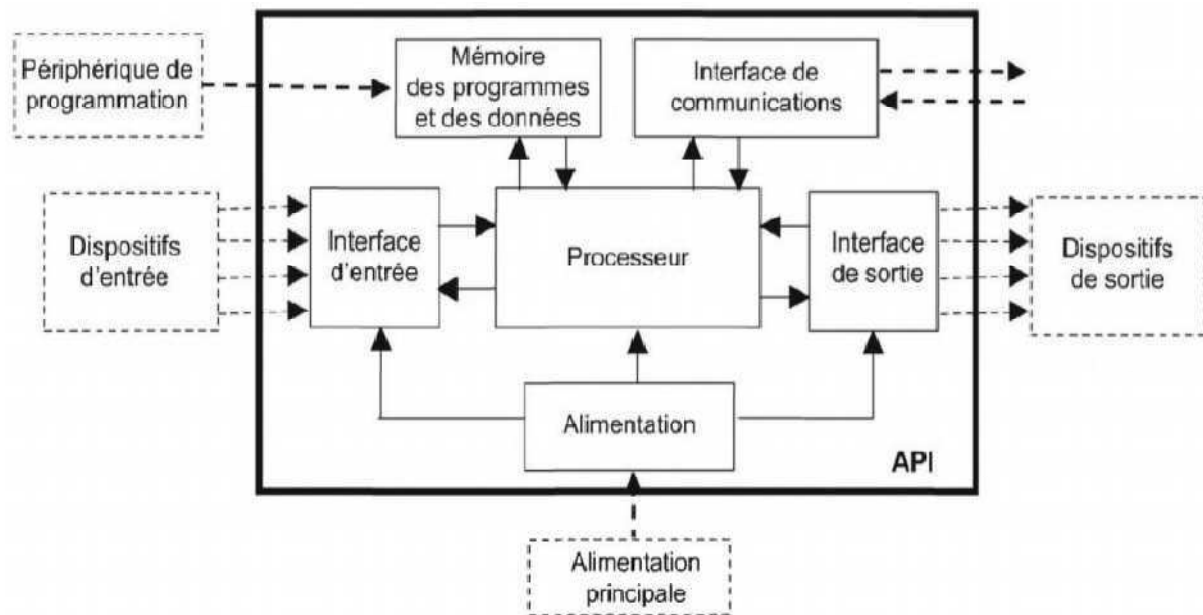


Figure 2.26 : Structure d'un système automatisé.

- **Processeur ou unité centrale de traitement :** (CPU, Central Processing Unit) contient le microprocesseur. La CPU interprète les signaux d'entrée et effectue les actions de commande conformément au programme stocké en mémoire, en communiquant aux sorties les décisions sous forme de signaux d'action,

- **Unité d'alimentation** : est indispensable puisqu'elle convertit une tension alternative en une basse tension continue nécessaire au processeur et aux modules d'entrées-sorties,
- **Périphérique de programmation** : est utilisé pour entrer les programmes dans la mémoire du processeur. Ces programmes sont développés sur le périphérique, puis transférés dans la mémoire de l'API,
- **Mémoire** : contient le programme qui définit les actions de commande effectuées par le microprocesseur. Elle contient également les données qui proviennent des entrées en vue de leurs traitements, ainsi que celles des sorties.

#### 2.6.2.2. Domaines d'application des API.

- **Commande de machines**
  - Machines outil à commande numérique,
  - Convoyage, stockage automatisé,
  - Système d'emballage,
  - Machines de chantier, engin et grue de levage.
- **Automatisme du bâtiment**
  - Chauffage, climatisation,
  - Distribution électrique,
  - Systèmes de sécurité.
- **Régulation de processus**
  - Chimie, pétrochimie, pharmaceutique,
  - Traitement des eaux (stations de dessalement, station d'épuration),
  - Station thermique, nucléaire, fours, métallurgie, cimenterie.
- **Contrôle de systèmes**
  - Industrie mécanique, agro-alimentaire,
  - Production et distribution d'énergie (électricité, pétrole, gaz),
  - Transports (chemin de fer, routier, marine, téléphérique).

#### 2.6.3. Sources d'énergie dans un système industriel [13][14]

Au niveau de l'industrie, on peut trouver trois sources d'énergie trop utilisés, leurs utilités et selon leurs besoins dans les systèmes de productions et chaque type de ces trois a des avantages et des inconvénients.

Les trois types d'énergie sont :

- **Energie Hydraulique**

Avantage

- Très forte puissance et force,
- Utilisation dans des environnements dangereux,
- Grande vitesse de déplacement des vérins.

- **Energie Electrique**

Avantage

- Mise à disposition généralisée,
- Source autonome et secourue,
- SAP « tout électrique »,
- Silencieux,
- Précaution à prendre en atmosphère humide (IP).

- **Energie Pneumatique**

Avantage

- Énergie propre et de mise en œuvre aisée,
- Sécurité de fonctionnement,
- Grande vitesse de déplacement des vérins.

Le tableau ci-dessous nous permet de donner une comparaison entre ces trois énergies dans l'industrie selon l'utilité.

**Tableau 2.9** : Comparaison entre les trois technologies énergétiques.

	Pneumatique	Hydraulique	Electrique
Production	Compresseur 1 par atelier	Groupe hydraulique 1 par système	Réseau électrique
Liaison	Tubes, flexibles Pertes de charges selon la distance et la forme		Câbles, fils
Rendement	03 à 0.5	0.7 à 0.9	0.9

## 2.6.4. Unité de traitement

### 2.6.4.1. Différents types de traitement

- Le traitement combinatoire : à une combinaison des variables d'entrée correspond à une et une seule combinaison des variables de sortie,

- Le traitement séquentiel : la combinaison des variables de sortie dépend de l'état antérieur. La notion de mémoire est présente,
- Le traitement des boucles de régulation : il élabore les algorithmes PI, PID, ... et délivre la valeur de la grandeur « réglante ».

#### 2.6.4.2. Différentes solutions technologiques

- Les relais de commande : pour des systèmes très simples et pour les parties de commande qui doivent être câblées, les sécurités entre autres,
- L'Automate Programmable Industriel : solution la plus répandue. Il permet plus de souplesse grâce à la programmation,
- Le régulateur industriel : il est spécialement dédié à la régulation allant d'une à plusieurs dizaines de boucles en même temps,
- Le microcontrôleur pour les systèmes produits en grande quantité (ABS de voiture).

La nouvelle technologie utilisée dans notre système MPS PA de AFB et MPS 500 de la marque FESTO est automate programmable industriel de type S7-314C-2 DP/PN de Siemens.



Figure 2.27 : S7 300.

#### 2.6.4.3. Programmation des API

##### 1. Logiciel de programmation Simatic Manager Step7 [23]

Step 7 est le progiciel de base pour la configuration et la programmation de système d'automatisation SIMATIC, le plus connu et le plus utilisé dans le monde pour l'automatisation industrielle.

Il s'agit d'autre plateforme comprenant le logiciel TIA Portal pour la programmation API et WinCC Flexible pour l'interface homme machine.

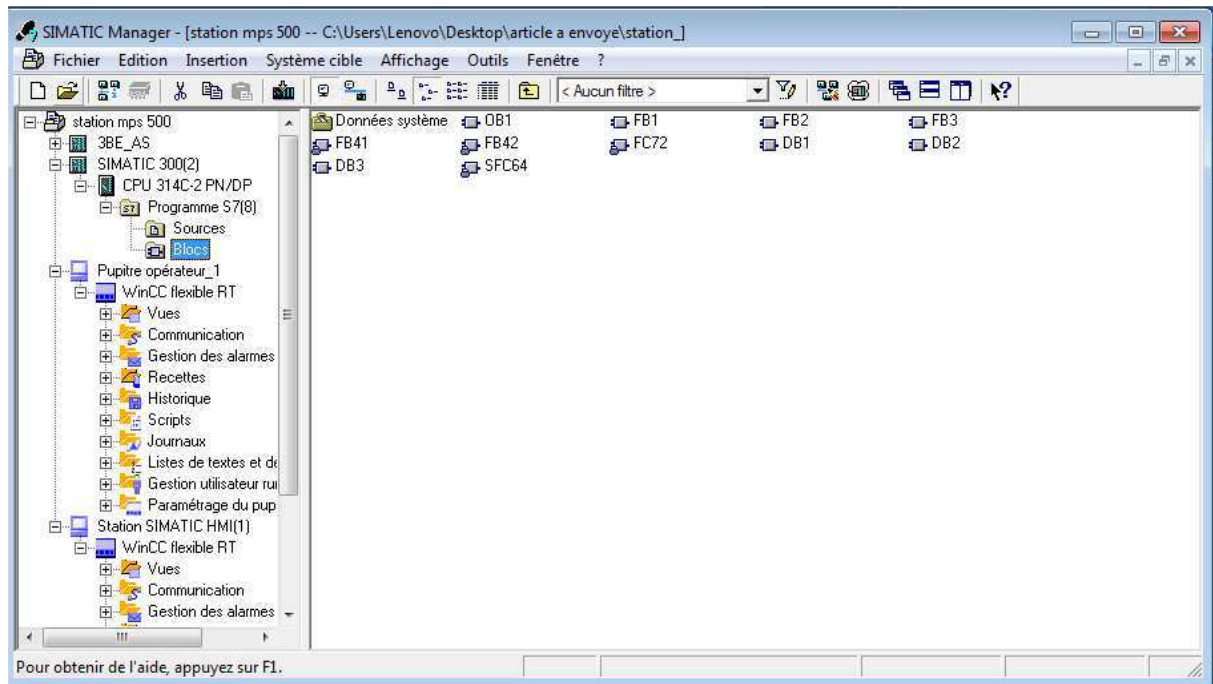


Figure 2.28 : Interface du logiciel Simatic Manager Step7.

### a. Avantages de ce logiciel

- Programmation intuitive et rapide avec des éditeurs de programmation nouvellement développés SCL, CONT, LOG, LIST et GRAPH,
- Efficacité accrue grâce aux innovations linguistiques de STEP 7,
- Programmation symbolique uniforme, Calculâtes Box, ajout de blocs durant le fonctionnement, et bien plus encore,
- Sécurité accrue avec Security Integrated - Protection du savoir-faire, protection contre la copie, protection d'accès et protection contre la falsification.

### b. Langages de programmation

Le logiciel Step7 permet de programmer avec plusieurs langages différents, qui peuvent être même mélangés dans un même programme. Il y a des langues qui sont utilisées avec toutes les API ou des langages dédiées à un type spécifique. La programmation peut être effectuée soit en utilisant le langage Grafcet directement, soit en créant une séquence d'exécution avec un Bloc d'Organisation.

Pour tous les automates, on utilise les langages suivants :

- Texte structuré (SCL),
- Schéma à contacts (CONT),
- Logigramme (LOG).

Pour les familles d'automates S7-300, on utilise les langages suivants :

- Liste d'instructions (LIST),
- Programmation de chaînes séquentielles (Grafcet).

Dans notre cas, nous utiliserons le langage de programmation Grafcet et ladder pour programmer le système étudié.

Après avoir donné un aperçu sur les différents outils utilisés dans notre travail, nous allons voir dans ce qui va suivre la modélisation des systèmes industriels en général. Cela va nous faciliter à mieux comprendre le processus pour pouvoir le simplifier.

## 2.7. Modélisation des systèmes

Dans notre travail , nous allons introduire brièvement le processus de modélisation mathématique et graphique en utilisant la modélisation graphique Grafcet /Ladder du Simatic Manager Step7, l'approche Bond Graph et mettre en évidence le lien entre les deux niveau comportemental (modèle graphique) et le niveau mathématique (équations algèbro-différentielles) afin de modéliser un nouveau système MPS PA de AFB de FESTO dont l'objectif est de minimiser et éliminer les paramètres inconnus aussi simplifier la présentation du système AFB de FESTO .

Dans notre travail, nous avons utilisé le logiciel **20 Sim** pour la modélisation graphique (Bond Graph) et logiciel Step7 et WinCC Flexible pour le développement du IHM de supervision pour le système MPS PA du AFB et MPS 500 de la marque FESTO.

Pour cela, dans cette partie, nous allons donner une présentation générale sur les différents concepts de base de l'approche bond graph et langage de programmation utilisées dans notre travail aussi les outils et logiciels utilisés afin d'appliquer directement dans le chapitre 3.

Dans cette partie, nous allons expliquer les différentes Outils software à utiliser dans nos parcours de ce modeste travail afin d'atteindre notre cible de cette thèse.

### 2.7.1. Différentes approches sur la modélisation

Le processus de modélisation diffère d'un système physique à l'autre. Une méthode commune permet de représenter le système suivant trois niveaux d'abstraction ou de langage.

- **Niveau technologique** : le système physique est décomposé en objets élémentaires (systèmes, procédés, bases de données) avec des frontières bien définies permettant d'identifier leurs entrées/sorties et les interactions entre ces composants sous forme graphique, ce qui est bien plus convivial que les équations issues de l'application des principes physiques fondamentaux. La représentation graphique permet d'explicitier les échanges énergétiques entre les différents composants tels que les équipements énergétiques CVC, les apports solaires, la structure du bâtiment, etc. Les approches Omola et Dymola par exemple font partie de ce niveau de langage. Le niveau technologique peut être simplifié grâce à l'encapsulation qui consiste à regrouper des composants,
- **Niveau comportemental** : dans cette étape, on spécifie les mécanismes physiques internes. L'objet est modélisé par un ensemble de « paramètres localisés » (en anglais : Lumped parameter method) représentant les phénomènes se produisant

dans le système étudié : capacité thermique, résistance thermique, etc. L'approche **Bond Graph** est de niveau comportemental à représentation graphique,

- **Niveau mathématique** : pour réaliser des simulations en vue d'analyser le comportement d'un système, on doit spécifier la nature exacte des relations entre les variables du modèle, les paramètres, les constantes, etc. Ceci n'est possible que lorsqu'on passe au niveau mathématique du modèle. L'information fournie par les deux niveaux précédents représente un moyen d'interprétation des résultats des simulations issus du niveau mathématique. Le système est en effet représenté par un ensemble d'équations algèbro-différentielles décrivant son comportement dynamique. Grâce à certains logiciels, comme **20-Sim**, il est possible de générer automatiquement le modèle mathématique à partir de la représentation graphique du niveau comportemental.

### 2.7.1.1. Modélisation mathématique

Le procédé par lequel nous utilisons des expressions mathématiques pour décrire une situation quantitative réelle s'appelle la modélisation. Modéliser consiste à écrire en notation mathématique ce qui est exprimé d'abord en mots en faisant intervenir des variables au besoin.[15].

Un modèle mathématique est une représentation une interprétation abstraite de la réalité physique qui est accessible à l'analyse et au calcul [16].

### 2.7.1.2. Modélisation graphique

Un langage de programmation graphique ou visuel est un langage de programmation dans lequel les programmes sont écrits par assemblage d'éléments graphiques. Sa syntaxe concrète est composée de symboles graphiques et de textes, qui sont disposés spatialement pour former des programmes. De nombreux langages visuels se basent sur les notions «de boîtes et de flèches» : les boîtes (ou d'autres d'objets) sont traitées comme des entités, reliées par des flèches ou des lignes qui représentent des relations.[17].

## 1. Langage Contact (LADDER)

### a. Définition

Le langage à contacts (LD : Ladder Diagram) est composé de réseaux lus les uns à la suite des autres par l'automate. Ces réseaux sont constitués de divers symboles représentant les entrées/sorties de l'automate, les opérateurs séquentiels (temporisations, compteurs, . . . ), les opérations, ainsi que les bits systèmes internes à l'automate (ces bits permettent d'activer ou non certaines options de l'automate, telle que l'initialisation des grafkets)[16],

### b. Symboles utilisés

Il existe 3 types d'élément du langage :

- Les entrées (ou contact) : permettant de lire la valeur d'une variable booléenne,
- Les sorties (ou bobines) : permettant d'écrire la valeur d'une variable booléenne,
- Les blocs fonctionnels : permettant de réaliser des fonctions avancées [18],

Le tableau 2.10 donne les principaux éléments (contact et bobines) d'un réseau LD.

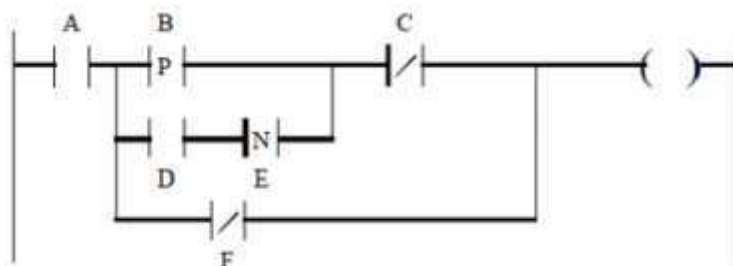
**Tableau 2.10** : Principaux éléments (contacts et bobines) d'un réseau LD [18].

Object graphique	Nom
-   -	Contact normalement ouvert
- / -	Contact normalement fermé
- P -	Contact fermé au front montant
- N -	Contact fermé au front descendant
-( )-	Bobine normalement ouverte
-( / )-	Bobine normalement fermée
- (S)- ou-(L)-	Bobine Latch (maintenu à 1 une fois actionné)
- (R)-ou - (U)-	Bobine Reset (remise à 0 de la bobine latch)
- (P)-	Bobine active au front montant de son entrée
- (N)-	Bobine active au front descendant de son entrée
-<return>	Retour inconditionnel (vers le sous-programme appelant)
-cond-<return>	Retour conditionnel
-»Label	Saut inconditionnel
-cond-»Label	Saut conditionnel

### c. Exemple

L'ordre d'exécution des éléments de ce réseau de la figure 2.29 est comme suivant :

- 1<sup>ère</sup> phase : lecture des contacts A et B jusqu'à la rencontre de la 1<sup>ère</sup> liaison verticale de convergence entre les contacts B et C.
- 2<sup>ème</sup> phase : lecture du premier sous-réseau, contacts D et E.
- 3<sup>ème</sup> phase : reprise de lecture de la première ligne du réseau connexe, contact E, jusqu'à la rencontre de la deuxième liaison verticale de convergence.
- 4<sup>ème</sup> phase : lecture du deuxième sous-réseau, contact F.
- 5<sup>ème</sup> phase : lecture de la bobine.



**Figure 2.29** : Exemple d'un réseau Ladder [19].

## 2. Grafcet

Le GraFCET (Graphe Fonctionnel Commandes Étapes et Transitions) est un langage graphique permettant de définir le comportement séquentiel du système d'automatisation à partir des éléments suivants : Connaissance des mesures à prendre par rapport aux variables de sortie, ainsi les événements qui peuvent faire le transfert d'une situation à une autre. [20]

La figure 2.30 montre les différents éléments constituant un grafcet.

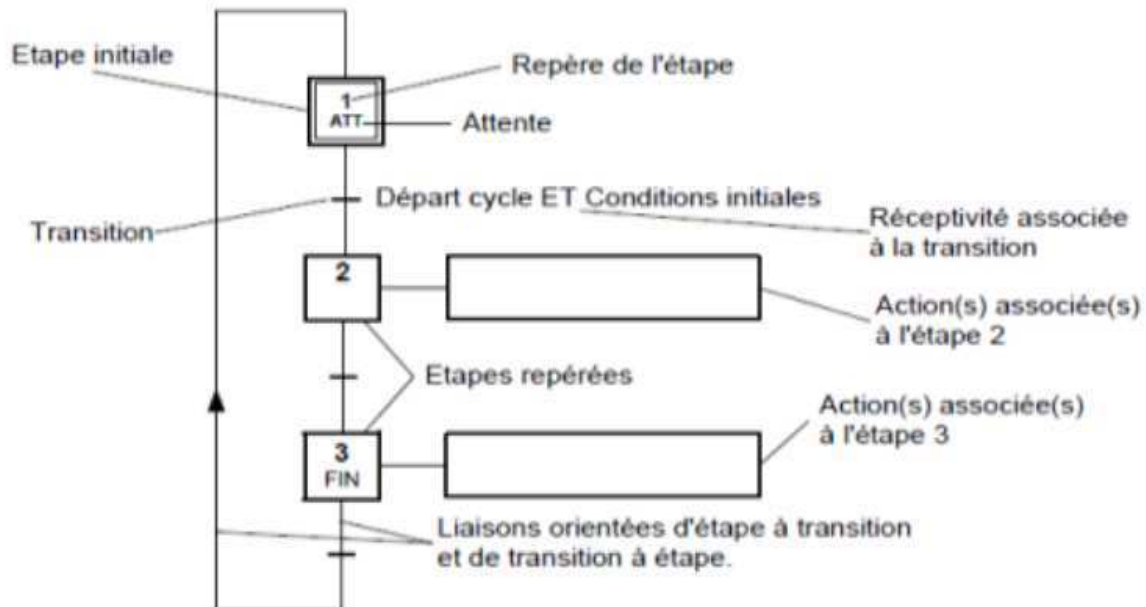


Figure 2.30 : Principe du grafcet [21].

- Etape initiale : représente une étape qui est active au début du fonctionnement. Elle se différencie de l'étape en doublant les côtés du carré,
- Transition : la transition est représentée par un trait horizontal,
- Réceptivité : les conditions de réceptivité sont inscrites à droite de la transition.
- Etape : chaque étape est représentée par un carré repéré numériquement,
- Action(s) : elles sont décrites littéralement ou symboliquement à l'intérieur d'un ou plusieurs rectangles reliés par un trait à la partie droite de l'étape,
- Liaisons orientées : indique le sens du parcours [21].

## 3. Approche Bond Graph [22]

L'avantage principal du PBG est le fait qu'il facilite la modélisation des systèmes thermodynamiques palliant les problèmes de non linéarité rencontrés dans la modélisation par les BGs. Il permet également de travailler avec des variables qui sont plutôt mesurables (flux de chaleur par exemple) qu'avec des variables qui ne sont pas faciles à mesurer (flux d'entropie), ce qui rend la confrontation avec les mesures plus pratique.

**a. Présentation des concepts de base de l’approche Bond Graph**

Les échanges énergétiques sont représentés en termes de flux  $f$  (grandeur extensive) et d’effort  $e$  (grandeur intensive) et s’appuient sur la notion de causalité. L’approche bond graph repose sur les quatre règles suivantes :

- ✚ Deux éléments qui s’échangent une puissance sont liés par un trait (lien, ou bond en anglais),
- ✚ Ce trait est complété d’une demi-flèche indiquant le sens positif de transfert de puissance,
- ✚ Le trait causal indique, indépendamment du sens de la demi-flèche, lequel des deux éléments applique l’effort et lequel envoie le flux,
- ✚ Le trait causal est positionné du côté de l’élément qui reçoit l’effort.

**b. Exemple d’illustration**

Si l’élément A applique un effort sur l’élément B, B réagit en envoyant un flux à A. Et si A envoie un flux à B, Alors, B réagit en appliquant un effort sur A.

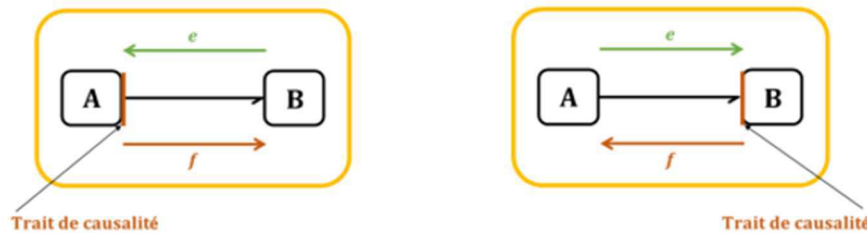


Figure 2.31: Echange d’effort.

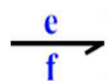
**c. Notion de puissance et notation**

Les variables de puissance sont liées l’une à l’autre par des paramètres physiques. Le choix de ces variables dépend du domaine physique concerné. Par exemple, dans le domaine électrique, la variable flux représente le « courant » et la variable effort la « tension ». Dans le domaine de la thermique, la variable flux représente « le flux de chaleur » et la variable effort « l’écart de température ».

- La puissance est toujours le produit entre deux variables :

$$P = ef \quad \text{avec} \quad e(t) = \text{l'effort} , \quad f(t) = \text{le flux}$$

- Le transfert de puissance est représenté par une demi flèche signale le sens de transfert



- L’énergie se calcule par l’intégrale de puissance

$$E(t) = \int_0^t e(\tau).f(\tau).d\tau + E(0)$$

Deux autres variables sont également utilisées appelées variables d'énergie, dites respectivement « moment généralisé » et « déplacement généralisé ». Elles sont définies par les relations suivantes :

- Les variables d'énergie sont définies par la relation intégrale :

$$p(t) = \int_0^t e(\tau).d\tau + p(0) \quad \text{le moment}$$

$$q(t) = \int_0^t e(\tau).d\tau + q(0) \quad \text{le déplacement}$$

#### d. Pluridisciplinarité du BG

Le BG est un outil pluridisciplinaire. Ainsi, on retrouve pour chaque domaine, les variables de puissance et d'énergie. Le tableau 2.11 donne le sens physique des variables généralisées correspondant à chaque domaine technique.

**Tableau 2.11** : Variables généralisées et domaines techniques.

Domaine	Effort $e$	Flux $f$	Moment $p$	Déplacement $q$
Mécanique Translation Rotation	Force $F$ Couple $\tau$	Vitesse $v$ Vitesse angulaire $\Omega$	Quantité de MVT Moment cinétique	Déplacement $x$ Angle $\theta$
Hydraulique	Pression $P$	Débit volumique $Q$	Impulsion de pression	Volume $V$
Electricité	Tension $u$	Courant $i$	Flux magnétique	Charge $q$
Magnétisme	Fmm	Dérivée flux magnétique $\phi$		Flux magnétique
Thermo dynamique	Température $T$	Flux d'entropie		Entropie
Chimie	Potentiel chimique	Flux molaire		Masse molaire

#### e. Éléments basiques des Bond Graphs

Les éléments basiques des BGs sont au nombre de neuf.

##### Éléments à 1-port

Il s'agit des éléments passifs **R**, **C** et **I** qui reçoivent de la puissance (la demi-flèche est orientée vers l'élément) et des éléments actifs **Se** et **Sf** qui fournissent de la puissance (la demi-flèche est orientée sortante de l'élément).

Ayant un seul port, les éléments à 1-port sont les plus utilisés dans les modèles BG notamment lorsque le système est « mono-énergétique ».

##### Élément actif

C'est un élément qui fournit la puissance : **Se** et **Sf**

**Tableau :2.12 :** Elément actif dans différents domaines.

Mécanique	Hydraulique	Electricité
Actionneur : source de force $Se : F \longrightarrow$	Pompe à débit constant : source de débit $Sf : d \longrightarrow$	Batterie : source de tension $Se : U \longrightarrow$

Dans le cas où il est besoin de varier l'effort ou le flux fournis par les éléments sources, on utilise les éléments sources « modulés » que l'on désigne par MSe et MSf.

**Elément résistif**

C'est un élément à 1-port dont l'effort et le flux sont reliés par une fonction. Cet élément représente le phénomène de dissipation d'énergie.

- Relation algébrique entre effort et flux

$$e = R \cdot f$$

**Tableau :2.13 :** Elément résistif dans différents domaines.

Mécanique	Hydraulique	Electricité
Frottement fluide f $F = f \cdot V$ $\longrightarrow R : f$	Restriction R (écoulement laminaire) $P = R \cdot Q$ $\longrightarrow R : R$	Résistance R $U = R \cdot I$ $\longrightarrow R : R$

**Elément d'inertie**

C'est un élément d'accumulateur d'énergie cinétique caractérisé par une fonction liant le flux au moment généralisé. Il modélise l'inertie du système. L'élément I représente les effets inductifs dans les systèmes électriques, la masse ou les effets inertiels dans les systèmes mécaniques et les pertes de charge dans les systèmes hydrauliques.

$$P(t) = I \cdot f(t) \quad f(t) = \frac{1}{I} \int_0^t e(\tau) \cdot d\tau \quad e(t) = I \frac{df(t)}{dt}$$

- Energie stocké

$$E(t) = \int_0^t e(\tau) \cdot f(\tau) d\tau = \int_0^t I \frac{df(\tau)}{dt} f(\tau) d\tau = \frac{1}{2} I \cdot f^2(t)$$

**Tableau 2.14 :** Elément d'inertie dans différents domaines.

Mécanique	Hydraulique	Electricité
Masse m $F = m \frac{dV}{dt}$ $\longrightarrow I : m$ $E = \frac{1}{2} m V^{-2}$	Inertie d'un fluide $P = \frac{p \cdot L}{S} \frac{dQ}{dt}$ $\longrightarrow I : p \cdot L/S$	Inductance L $U = L \cdot \frac{dI}{dt}$ $\longrightarrow I : L$ $E = \frac{1}{2} L I^2$

**Élément capacitif**

C'est un élément à un port reliant l'effort au déplacement généralisé (Éq.). L'élément C représente le stockage de l'énergie. Le ressort, la capacité électrique, l'accumulateur, etc. représentent des éléments capacitifs.

- Relation algébrique entre effort et déplacement

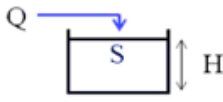
$$q(t) = c \cdot e(t) \qquad e(t) = \frac{1}{c} \int_0^t f(\tau) \cdot d\tau$$

- Energie stocké

$$E(t) = \frac{1}{2} C \cdot e^2(t)$$

Le tableau 2.15 montre l'élément capacitif représenté respectivement dans le domaine mécanique, hydraulique et électrique.

**Tableau 2.15 :** Élément capacitif dans différents domaines.

Mécanique	Hydraulique	Electricité
<p>Ressort de raideur K <math>F = K \cdot x</math></p> <p><math>\rightarrow C : 1/K</math></p> <p><math>E = \frac{1}{2} \frac{1}{K} F^2 = \frac{1}{2} K x^2</math></p>	<p>Accumulateur</p>  <p><math>P = \frac{p \cdot g}{S} \int_0^t Q(\tau) \cdot d\tau</math></p> <p><math>\rightarrow C : S/(\rho \cdot g)</math></p>	<p>Capacité C <math>U = L \cdot \frac{dI}{dt}</math></p> <p><math>\rightarrow C : C</math></p> <p><math>E = \frac{1}{2} C U^2</math></p>

**Éléments à 2-ports**

Plusieurs composants physiques tels que : le bras de levier, le transformateur électrique, le gyrateur électrique-mécanique, etc. ne peuvent pas être modélisés par des éléments 1-port. Ainsi, on introduit les éléments à 2-ports qui conservent la puissance. Les plus utilisés sont le transformateur TF et le gyrateur GY. Aussi, il y'a d'autres éléments, notamment l'élément R à 2-ports.

TF et GY représentent des transformations de puissance inter-domaines. Ils sont représentés comme suit :



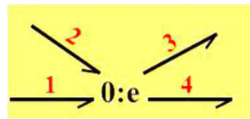
### ✚ Éléments de jonction

Les éléments de jonctions servent à coupler les éléments à 1-ports. Il en existe deux : la jonction 0 et la jonction 1. N'étant pas des éléments de stockage ou de dissipation d'énergie, les jonctions permettent la conservation de la puissance.

#### ▪ Jonction 0

Caractérise une variable d'effort commune à plusieurs éléments

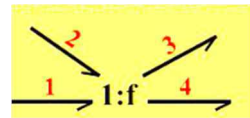
$$\begin{cases} e_1 = e_2 = e_3 = e_4 = e \\ f_1 + f_2 = f_3 + f_4 \end{cases}$$



#### ▪ Jonction 1

Caractérise une variable de flux commune à plusieurs éléments

$$\begin{cases} f_1 = f_2 = f_3 = f_4 \\ e_1 + e_2 = e_3 + e_4 \end{cases}$$



### ✚ Causalité

La notion de causalité (relation de cause à effet) est importante car elle permet de localiser les entrées/sorties du sous-système à modéliser. La causalité permet de déduire l'effort ou le flux d'un lien BG lorsque la valeur de l'un ou l'autre est connue. Elle est la conséquence de la conservation de la puissance dans un lien BG.

Dans le langage Band Graph, la façon dont les entrées/sorties sont indiquées est représentée par le « trait causal ». Il s'agit d'un trait perpendiculaire situé dans une des deux extrémités du lien BG. Il est positionné du côté vers où l'effort est imposé. En effet, lorsque deux systèmes 1 et 2 échangent de la puissance, deux types de causalité interviennent :



- Le système 1 impose un effort au système 2 qui renvoie un flux à 1,
- Le système 1 impose un flux au système 2 qui renvoie un effort à 1.

#### **f. Logiciel 20-Sim [24]**

20-sim est un programme de modélisation et de simulation pour les systèmes mécatroniques. Comme le montre la figure 2.32, avec 20-sim, il est possible de réaliser des modèles graphiques, similaires à un schéma d'ingénierie.

20-sim fournit des outils qui permettent de créer des modèles très rapidement et intuitivement. Il est possible de créer des modèles en utilisant des équations, des blocs diagrammes, des composants physiques et des Bond Graph. Diverses boîtes à outils aident à construire les modèles, à simuler et à analyser leurs performances.

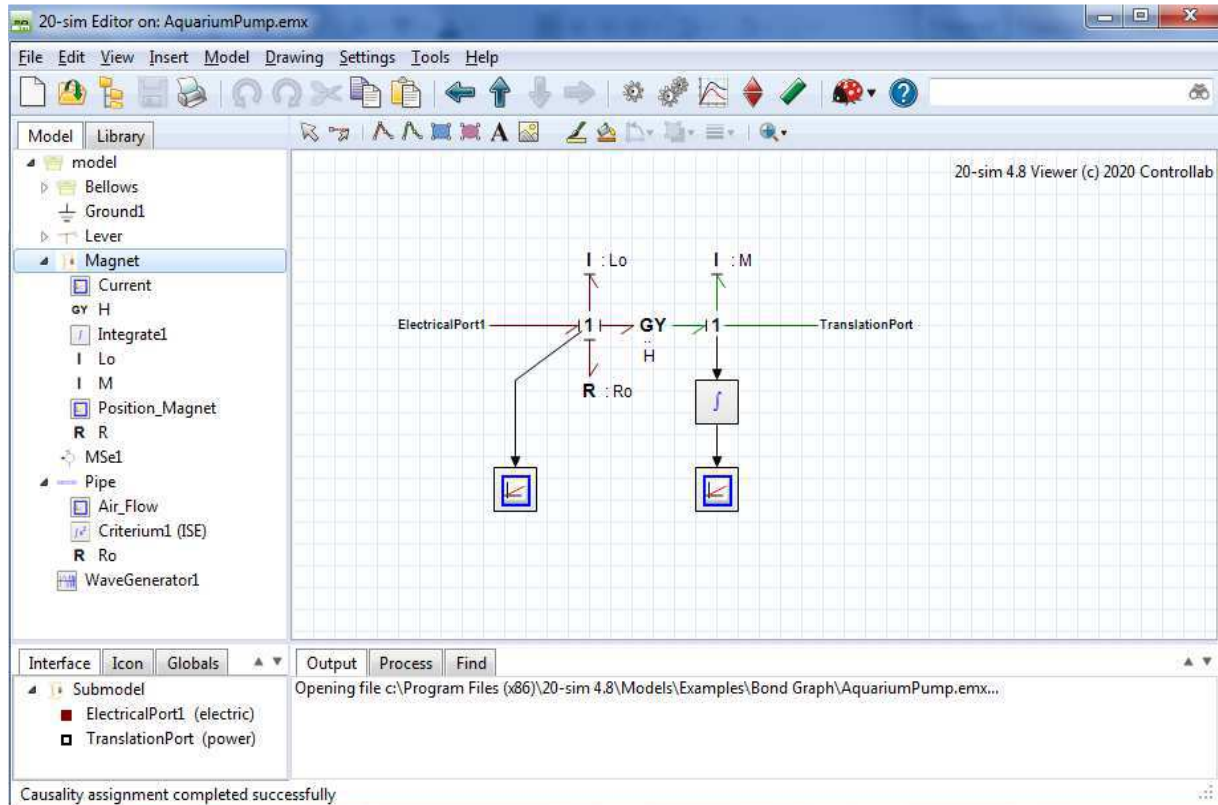


Figure 2.32 : Interface du logiciel 20-Sim.

Après la modélisation, nous avons laissé le plus important de notre travail qui est la réalisation de l'IHM de notre système choisi. Dans ce qui va suivre, nous donnons un aperçu sur le logiciel de développement d'IHM de supervision qui le WinCC flexible de Siemens.

## 2.8. Logiciel de développement d'IHM : WINCC Flexible

### 2.8.1. Introduction

WinCC est le logiciel phare de Siemens, qui permet de créer des interfaces homme-machine sur des écrans tactiles (IHM). Le logiciel Simatic WinCC Flexible Advanced est idéal pour une utilisation en tant que logiciel IHM dans toutes les applications dans lesquelles le contrôle et la surveillance de l'opérateur sont requis sur site [25]. WinCC V15 réunit les avantages suivants :

- Simplicité,
- Ouverture,
- Flexibilité.

## 2.8.2. Composants de la fenêtre principale de WinCC flexible

La fenêtre de la figure 2.33 montre les composants principaux que nous allons les utiliser pour le développement de notre IHM de supervision.

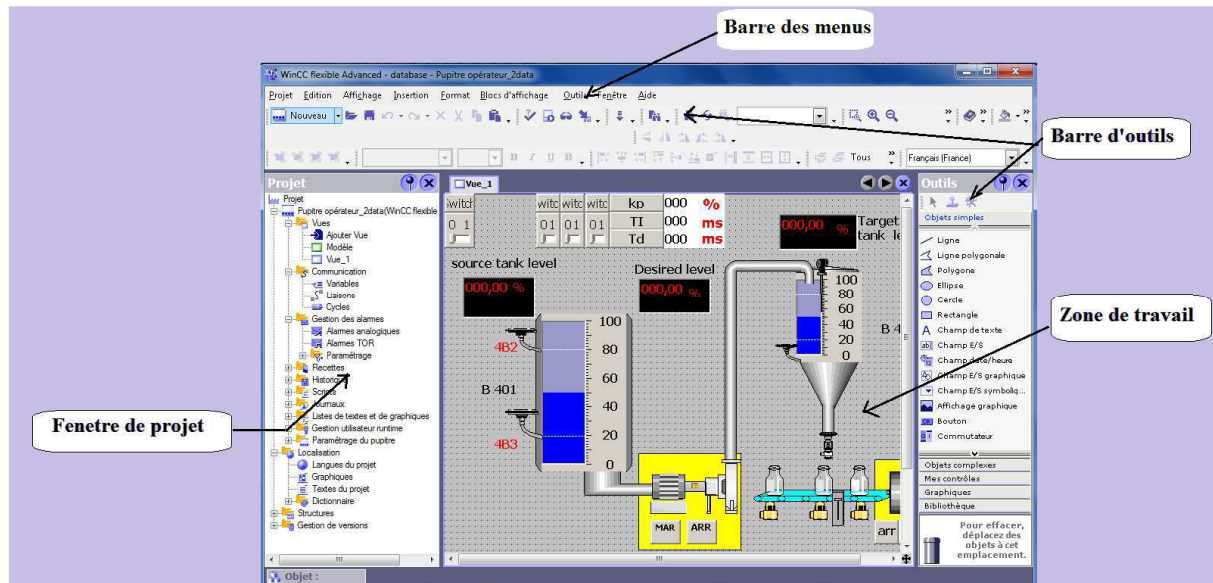


Figure 2.33 : Fenêtre principale de WinCC flexible.

- ✓ Barre des menus : La barre des menus contient toutes les commandes nécessaires à l'utilisation de WinCC flexible. Les raccourcis disponibles sont indiqués en regard de la commande du menu,
- ✓ Barres d'outils : La barre d'outils permet d'afficher tout dont le programmeur à besoin,
- ✓ Zone de travail : La zone de travail sert à configurer des vues, de façon qu'il soit le plus compréhensible par l'utilisateur, et très facile à manipuler et consulter les résultats,
- ✓ Boîte à outils : La fenêtre des outils propose un choix d'objets simples ou complexes qu'on insère dans les vues, p. ex. des objets graphiques et éléments de commande,
- ✓ Fenêtre des propriétés : Le contenu de la fenêtre des propriétés dépend de la sélection actuelle dans la zone de travail, lorsqu'un objet est sélectionné, on peut éditer les propriétés de l'objet en question dans la fenêtre des propriétés [26].

## 2.8.3. WinCC flexible Runtime

Au Runtime, l'opérateur peut réaliser le contrôle-commande du processus. Les tâches suivantes sont alors exécutées [26] :

- Communication avec les automates,
- Affichage des vues à l'écran,
- Commande du processus, par exemple spécification de consignes ou ouverture et fermeture de vannes,
- Archivage des données de Runtime actuelles, des valeurs processus et événements d'alarme par exemple.

### **Option WinCC flexible**

Des options sont disponibles pour les composants suivants :

- WinCC flexible Engineering Système,
- WinCC flexible Runtime sur des pupitres opérateur basés sur PC,
- Pupitre opérateur non basés sur PC.

## **2.8.4. Étapes de mise en œuvre**

Pour créer une interface homme-machine, vous devez d'abord être familiarisé avec les éléments de l'installation et le logiciel de programmation automate utilisé. Nous avons créé interface pour la surveillance avec le logiciel WinCC V15.

### **2.8.4.1. Etablir une liaison en utilisant protocole de communication**

La première chose à faire est d'établir une connexion en utilisant le protocole de communication Ethernet industriel WinCC et notre contrôleur. De cette manière, WinCC peut lire les données de la mémoire du contrôleur.

### **2.8.4.2. Création de la table des variables**

La connexion entre notre projet WinCC et le contrôleur est maintenant établie.

Nous pouvons accéder à toutes les zones de stockage de l'automate.

- Mémoire entrée/sortie,
- Mémento,
- Bloc de données.

Les variables sont utilisées pour la communication, c'est-à-dire que les données sont échangées entre les composants du processus d'automatisation ou entre le pupitre opérateur et l'automate.

Afin de faire correspondre les données du projet de programmation avec les données du projet de supervision, vous pouvez créer une table de correspondance des données via l'angle variable.

Chaque ligne correspond à une variable de WinCC. Elle est spécifiée par :

- Son nom,
- La liaison vers l'automate,
- Son type,
- Et le taux de rafraîchissement de celle-ci.

Le taux de rafraîchissement est le temps que doit mettre WinCC entre deux lectures dans la mémoire de l'automate.

## 2.9. Objectif à atteindre

L'objectif à atteindre consiste au développement et à la conception d'un IHM de supervision et de contrôle effectuée avec le logiciel WinCC, en s'appuyant sur les données optimales appliquées au processus industriel du système AFB de FESTO. En employant d'une part la simulation où nous allons utiliser les deux simulateurs de Siemens : PLCSIM de la suite STEP7 SIMATIC Manager et RUNTIME de WinCC et d'autre part en intégrant le PID comme un objet technologique pour la régulation du niveau dans la sous station étudiée. Notre contribution consiste en la modélisation, la commande et la visualisation d'un système réel AFB de FESTO se trouvant au niveau du laboratoire de recherche MELT, de l'université de Tlemcen en utilisant sur une base de données optimale. L'application de la supervision réalisée va nous permettre une visualisation et un diagnostic temps réel du système.

## 2.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné une description complète sur le fonctionnement avec les différents composants de chaque station du système MPS PA de AFB et MPS 500 de la marque FESTO. Notre système étudié est géré par un API. Cette étude est focalisée sur l'automate programmable S7-300, en mettant en avant ses caractéristiques techniques. Dans ce chapitre, nous avons cité les logiciels utilisés pour la programmation et la supervision qui feront l'objet du chapitre 3.

Dans le prochain chapitre, nous allons présenter une étude purement technique des stations étudiées et décrire leur modélisation. Avant de commencer le développement de l'IHM, nous avons étudié les programmes STEP7 de chaque station et déterminer toutes les adresses des variables du programme ensuite déduire une base de données optimale de ces stations avec l'intégration d'un objet technologique de régulation. Notre contribution consiste en la modélisation, la commande et la visualisation d'un système réel AFB de FESTO en intégrant des objets technologique PID pour la régulation de niveau d'une part et la régulation de température d'autre part.

## **Chapitre III**

# **Etude technique de la station de remplissage et réacteur du AFB de FESTO**

### 3.1. Introduction

Les systèmes de supervision et de contrôle SCADA sont très importants permettant de superviser un processus complexe. Ce dernier est un domaine de croisement des disciplines telles que la mécanique, l'automatique, l'informatique, l'ergonomie, la psychologie cognitive, et la sociologie. Si des outils techniques ou méthodologiques existent pour faciliter la conception de tels systèmes, ils souffrent cependant de certaines limites. Plusieurs logiciels de conception d'application dénommés génériquement SCADA (WinCC Professionnel) ont été conçus pour faciliter la conception des systèmes de supervision. Ces outils « temps-réel » permettent de visualiser les états physiques ou fonctionnels des équipements et de prendre en charge les fonctions avancées d'un procédé.

La conception du système SCADA est basée sur la connaissance du modèle ou le comportement physique du processus à contrôler. Les méthodes à base de modèle utilisent des approches opératoires construites à partir des lois physiques ou identifiées du processus. Ces approches sont basées sur la comparaison entre le comportement réel du système et un comportement de référence décrit par un modèle mathématique. Cette comparaison se fait en utilisant des indicateurs de fautes, appelés résidus, générés à partir du modèle de référence en ayant recours à des méthodes analytiques, telles que : les observateurs, l'espace de parité, ou à des méthodes graphiques telles que les bond graphs, et les graphes bipartis.

Dans le but d'enrichir notre travail et aussi définir notre contribution qui est articulé autour d'un travail réalisé en 2004 sur l'étude d'un exemple typique qui montre que le système SCADA basé sur des bases de données actives en temps réel a une efficacité supérieure et la capacité de la base de données est grandement améliorée [1]. Aussi, un autre travail en 2006 introduit la notion de la gestion de la base des données dans les systèmes SCADA afin de fonctionner des systèmes en temps réel dans un environnement difficile [2]. D'après ces travaux, nous avons défini notre contribution qui est la modélisation, étude et développement d'une IHM de supervision pour le système MPS de FESTO.

Tout d'abord, nous avons fait une étude complète avec des essais réels sur le système pour définir les différents paramètres du système AFB de FESTO afin de les introduit dans la table des mnémoniques et la base des données du logiciel Simatic Manager STEP7 pour faire une comparaison entre les deux possibilités d'acquisition des données. Ensuite, nous avons conclu par les paramètres spécifiques et optimaux pour chaque station du système MPS PA de AFB de FESTO. Enfin, nous avons développé des IHM spécifiques et professionnels pour chaque station avec des IHM graphiques.

### 3.2. Objectif du travail

L'objectif à atteindre dans ce travail consiste au développement et à la conception d'un IHM de supervision et de contrôle effectuée avec le logiciel WinCC, en s'appuyant sur les données optimales appliquées au processus industriel du système AFB de FESTO, en employant d'une part la simulation où nous allons utiliser les deux simulateurs de Siemens :

PLCSIM de la suite STEP7 SIMATIC Manager et RUNTIME de WinCC. D'autre part, nous allons intégrer le PID comme un objet technologique pour la régulation du niveau dans deux stations étudiées. Notre contribution consiste en la modélisation, la commande et la visualisation d'un système réel AFB de FESTO se trouvant au niveau du laboratoire de recherche MELT, de l'université de Tlemcen en s'appuyant sur une base de données optimale. L'application de la supervision réalisée va nous permettre une visualisation et un diagnostic temps réel du système.

### 3.3. Méthodologie du travail

En premier lieu, nous allons commencer par la modélisation mathématique de la station pour définir différents paramètres de cette station afin de les introduire dans la phase d'acquisition des données en utilisant deux possibilités : la table des mnémoniques et la base des données qui est une nouvelle approche en faisant une comparaison. Cela pour tirer les paramètres spécifiques du système étudié. A la fin, nous allons entamer la partie conception d'une IHM de supervision de chacune de la station du système AFB de FESTO.

Il faut souligner, comme déjà mentionné dans le chapitre précédent, l'étude se fera sur la station de remplissage en premier, puis sur la station réacteur du système AFB de FESTO.

### 3.4. Modélisation de la station de remplissage du système AFB de FESTO

#### 3.4.1. Modélisation des différents éléments

Dans cette partie, nous allons commencer par la modélisation de la station de remplissage puis nous allons entamer la partie conception et supervision de la station de remplissage de système AFB de FESTO décrit par la figure 3.1.

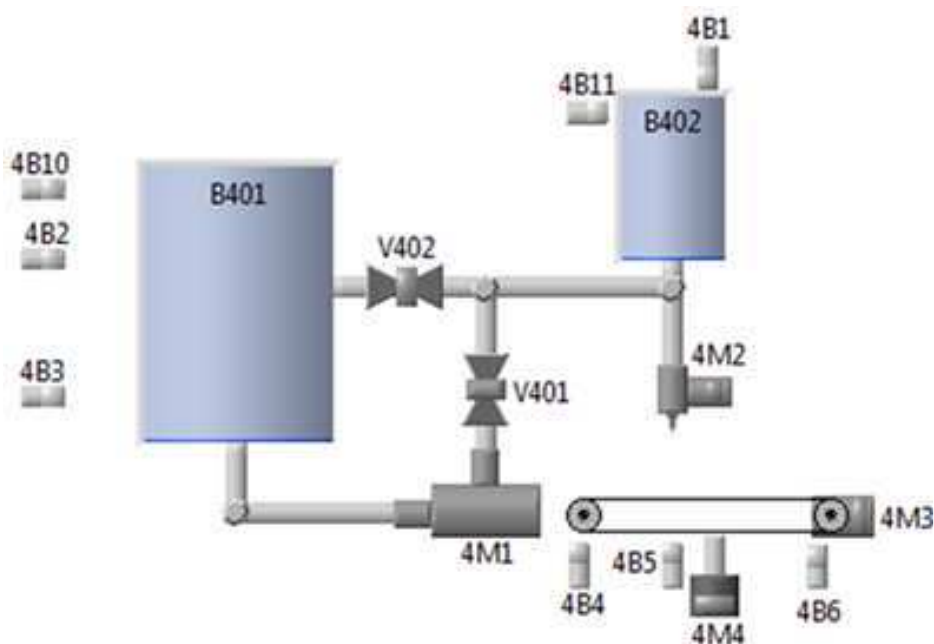
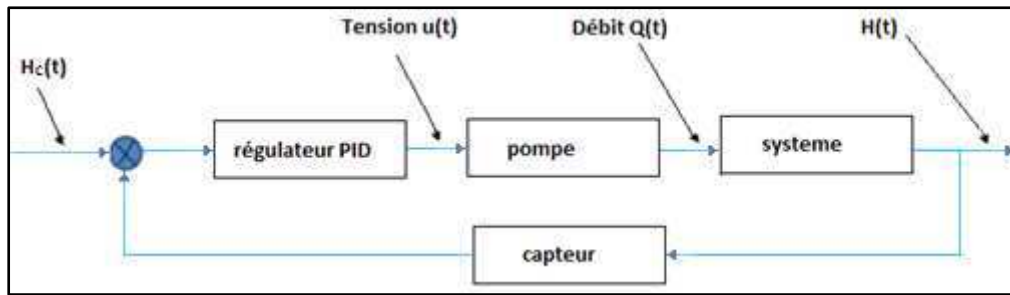


Figure 3.1 : Représentation simplifiée de la station du remplissage (FluidLab).

D'après la figure 3.1, la station de remplissage peut être modélisée comme suit :



**Figure 3.2 :** Schéma bloc d'asservissement de la station de remplissage.

Avec :

$H_c(t)$  : Hauteur d'eau désirée dans le réservoir (consigne),

$Q(t)$  : Débit d'arrivé d'eau,

$H(t)$  : Hauteur d'eau réelle dans le réservoir cible (B402),

PID : Régulateur proportionnel intégral dérivé.

La fonction du régulateur PID est donnée comme suit :

$$c(p) = k \frac{(1 + T_1)}{p} + (1 + T_2 \cdot p) \quad (3.1)$$

Avec :

$k$  : le gain de correcteur.

$T_i$  ( $i = 1,2$ ) constante de temps du pôle.

Le bilan de masse du système (station de remplissage) est donné par les équations suivantes :

- **Réservoir source B401**

Le réservoir source est utilisé pour remplir le réservoir cible par l'intermédiaire d'une pompe.

En utilisant l'équation d'équilibre d'écoulement pour le premier réservoir (réservoir source), on peut écrire le modèle mathématique comme suit.

$$S_1 \frac{dh_1}{dt} - qs_2 + qe_1 = 0 \quad (3.2)$$

- **Réservoir cible B402**

$$S_2 \frac{dh_2}{dt} - qe_1 + qs_2 = 0 \quad (3.3)$$

- **Pompe**

La vitesse de la pompe peut être ajusté par le paramètre  $\alpha$  pour remplir le réservoir cible B402.

La relation entre la tension d'alimentation de la pompe  $\mu$  et  $qe_1$  le débit d'entrée au réservoir cible B402 est donnée dans l'équation suivante (4).

$$qe_1 - \alpha\mu_1 = 0 \quad (3.4)$$

- **Vanne de remplissage des flacons (débit de sortie du réservoir cible B402)**

$$qs_2 = a_2 \cdot K\sqrt{2gh_2} \quad (3.5)$$

- **Vanne de remplissage du réservoir cible (débit de sortie du réservoir source B401)**

$$qs_1 = a_1 \cdot K\sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (3.6)$$

- **Capteur de niveau**

$$y_i - h_i = 0 \quad (3.7)$$

- **Algorithme de contrôle**

$$\mu_i = \{ 0 \text{ if } lmin \leq y_i \quad 1 \text{ if } lmin \geq y_i \quad (3.8)$$

- **Equation différentielle**

$$\frac{dh_i}{dt} - z_i = 0 \quad (3.9)$$

- **Fonction de la station de remplissage du AFB de Festo**

$$S_1 \frac{dh_1}{dt} - qs_1 + qe_1 + S_2 \frac{dh_2}{dt} - qe_1 + qs_2 + qs_1 - \alpha\mu_1 + qs_2 + a_2 \cdot k\sqrt{2gh_2} + qs_1 - a_1 \cdot k\sqrt{2g(h_1 - h_2)} = 0 \quad (3.10)$$

• **Fonction de la station de remplissage du AFB de FESTO en fonction de niveau**

$$\begin{cases} \frac{dh_1}{dt} = \frac{1}{S_1} (-a_1 \cdot k \sqrt{2g(h_1 - h_2)}) \\ \frac{dh_2}{dt} = \frac{1}{S_2} (a_2 \cdot K \sqrt{2g(h_1 - h_2)}) - a_2 \cdot k \sqrt{2gh_2} + \alpha \mu_1 \\ y = k_c \cdot h_2 \end{cases} \quad (3.11)$$

Avec :

$q_{e_1}$  : Débit d'entrée dans le réservoir source.

$q_{s_1}$  : Débit de sortie du réservoir source.

$q_{e_2}$  : Débit d'entrée dans le réservoir cible.

$q_{s_2}$  : Débit de sortie du réservoir cible.

$y_i$  : Mesure de niveau  $i=1$ .

$k$  : Coefficient de vanne.

$h_i$  : Niveau du réservoir  $i=1$

$S_i$  : Surface de réservoir  $i=1..2$

$\alpha$  : Coefficient de pompe.

$z$  : Dérivé du niveau.

$k_c$  : Gain de capteur.

$a_2$  : Section de vanne.

$a_1$  : Section du canal 1.

### 3.4.2. Essai réel sur la station de remplissage du AFB de FESTO

Dans cette partie, nous avons fait des essais réels sur la station de remplissage pour avoir le comportement réel du système et déterminer les valeurs des paramètres qu'on nous a besoin afin de les introduire dans l'IHM développé.

Le tableau 3.1 représente des essais réels sur le temps écoulé en seconde pour le remplissage des différents niveaux de réservoir cible avec différents coefficients de pompe 50%, 60%, 70%, 80%, 90% et 100% en calculant la vitesse de remplissage du réservoir cible et le vidange du réservoir source.

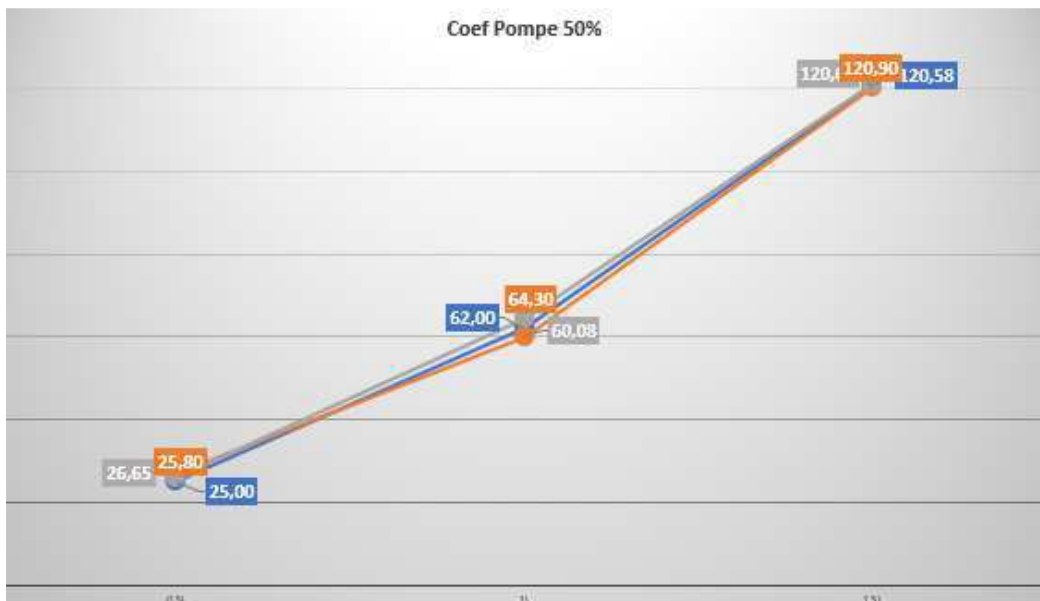
**Tableau 3.1** : Essai sur la station de remplissage du système AFB de FESTO.

Paramètres	Valeurs obtenues						Observations
Volume transféré (l)	0,5l	1l	1,5l	2l	2,5l	3l	Volume initial du Réservoir Source (Vos) : 10,0l
Volume restant (Vos)	9,5l	9l	8,5l	8l	7,5l	7l	Volume initial du Réservoir Cible (V0c) : 0,0l
Volume atteint (Voc)	0,5l	1l	1,5l	2l	2,5l	3l	Surface du réservoir Source : 361cm <sup>2</sup>
Hauteur diminuée hs(cm)	1,5cm	3,0cm	4,5cm	6,0cm	7,5cm	9,0cm	Surface du réservoir Cible : 154cm <sup>2</sup>

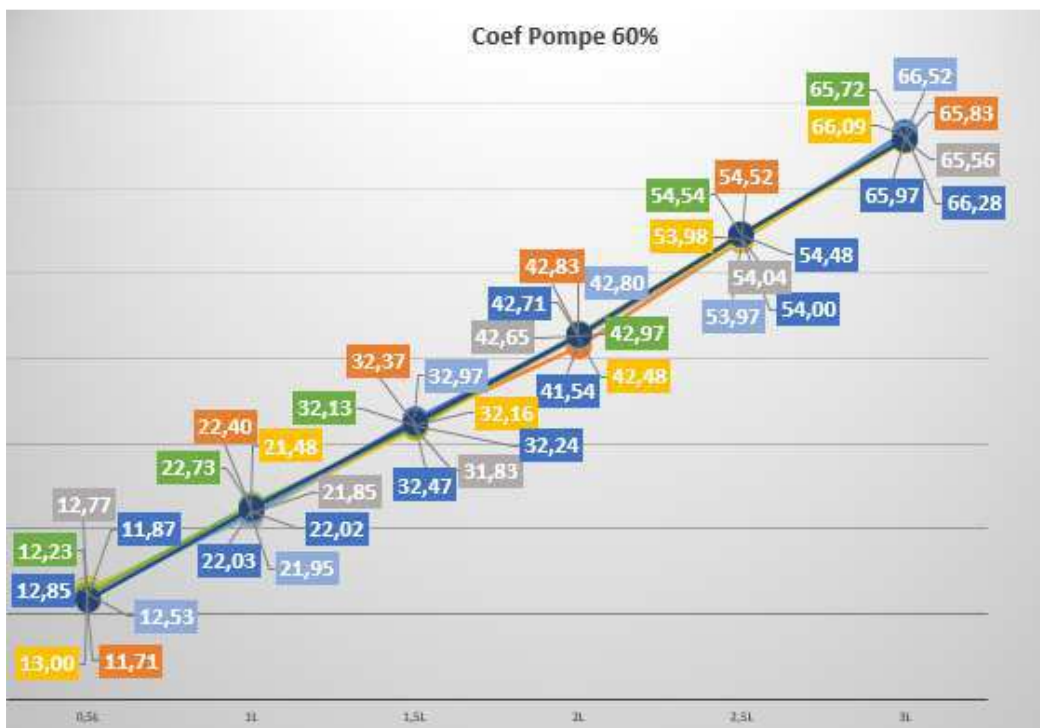
Hauteur atteinte hc(cm)		4,0cm	4,5cm+	8,0cm+	11,5cm+	15,0cm+	18,0cm+	Débit max de la pompe : 10,6l/mn
Temps Ecoulé (s)	Essai 1	25	62	120,58	Pour ce coef la pompe ne peut plus remplir le réservoir au dela de 1,5l			Essai Pratique Coef. Pompe = 50%
	Essai 2	26,65	60,08	120				
	Essai 3	25,8	64,3	120,9				
Vs(cm/s) (Valeurs Calculées)	Essai 1	0,06	0,04	0,03				
	Essai 2	0,05	0,04	0,03				
	Essai 3	0,05	0,04	0,03				
Vc(cm/s) (Valeurs Calculées)	Essai 1	0,16	0,14	0,09				
	Essai 2	0,15	0,14	0,1				
	Essai 3	0,16	0,14	0,09				
Temps Ecoulé (s)	Essai 1	12,53	21,95	32,97				42,8
	Essai 2	12,85	22,03	32,47	41,54	54	65,97	
	Essai 3	13	21,48	32,16	42,48	53,98	66,09	
	Essai 4	12,77	21,85	31,83	42,65	54,04	65,56	
	Essai 5	11,87	22,02	32,24	42,71	54,48	66,28	
	Essai 6	12,23	22,73	32,13	42,97	54,54	65,72	
	Essai 7	11,71	22,4	32,37	42,83	54,52	65,83	
Vs(cm/s) Vitesse Ecoulement (Réservoir Source)	Essai 1	0,12	0,14	0,13	0,14	0,13	0,13	Valeurs déterminées par calcul Coef. Pompe = 60%
	Essai 2	0,12	0,14	0,13	0,14	0,13	0,14	
	Essai 3	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13	
	Essai 4	0,12	0,14	0,14	0,14	0,13	0,14	
	Essai 5	0,12	0,14	0,13	0,13	0,13	0,14	
	Essai 6	0,12	0,13	0,14	0,13	0,13	0,14	
	Essai 7	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,14	
Vc(cm/s) Vitesse Ecoulement (Réservoir Cible)	Essai 1	0,31	0,39	0,36	0,36	0,35	0,33	
	Essai 2	0,32	0,39	0,36	0,37	0,35	0,33	
	Essai 3	0,31	0,4	0,37	0,36	0,35	0,33	
	Essai 4	0,31	0,39	0,37	0,36	0,35	0,33	
	Essai 5	0,34	0,39	0,37	0,36	0,34	0,33	
	Essai 6	0,33	0,37	0,37	0,36	0,34	0,33	
	Essai 7	0,34	0,37	0,37	0,36	0,34	0,33	
Temps Ecoulé (s)	Essai 1	8,91	18,73	27,69	36,56	45,6	54,53	Essai Pratique Coef. Pompe = 70%
	Essai 2	9,64	18,94	27,5	36,63	45,42	54,57	
	Essai 3	9,31	18,7	27,93	36,04	45,4	55,2	

Vs(cm/s)	Essai 1	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	Valeurs déterminées par calcul Coef. Pompe = 70%	
	Essai 2	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,16		
	Essai 3	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,16		
Vc(cm/s)	Essai 1	0,45	0,45	0,43	0,42	0,42	0,4		
	Essai 2	0,41	0,45	0,44	0,42	0,42	0,4		
	Essai 3	0,43	0,45	0,43	0,43	0,42	0,4		
Temps	Essai 1	7,95	15,56	22,09	29,46	36,91	43,87		Essai Pratique Coef. Pompe = 80%
	Essai 2	7,8	16,3	22,05	29,35	36,58	43,5		
	Essai 3	7,58	16,11	22,4	30,25	36,55	44,31		
Vs(cm/s)	Essai 1	0,19	0,19	0,2	0,2	0,2	0,21	Valeurs déterminées par calcul Coef. Pompe = 80%	
	Essai 2	0,19	0,18	0,2	0,2	0,21	0,21		
	Essai 3	0,19	0,19	0,2	0,2	0,21	0,2		
Vc(cm/s)	Essai 1	0,5	0,55	0,54	0,53	0,51	0,5		
	Essai 2	0,51	0,52	0,54	0,53	0,52	0,51		
	Essai 3	0,53	0,53	0,54	0,51	0,52	0,5		
Temps Ecoulé (s)	Essai 1	7,94	12,61	18,34	22,97	28,96	34,92	Essai Pratique Coef. Pompe = 90%	
	Essai 2	6,89	12,58	17,35	22,96	28,72	34,89		
	Essai 3	6,76	12,41	17,5	22,86	29,06	34,8		
Vs(cm/s)	Essai 1	0,19	0,24	0,25	0,26	0,26	0,26	Valeurs déterminées par calcul Coef. Pompe = 90%	
	Essai 2	0,22	0,24	0,26	0,26	0,26	0,26		
	Essai 3	0,22	0,24	0,26	0,26	0,26	0,26		
Vc(cm/s)	Essai 1	0,5	0,67	0,65	0,68	0,66	0,63		
	Essai 2	0,58	0,68	0,69	0,68	0,66	0,63		
	Essai 3	0,59	0,68	0,69	0,68	0,65	0,63		
Temps Ecoulé (s)	Essai 1	5,59	11,43	15,86	20,89	25,42	30,42	Essai Pratique Coef. Pompe = 100%	
	Essai 2	5,83	11,41	15,7	20,9	25,32	30,69		
	Essai 3	5,9	11,24	15,64	19,65	25,33	30,96		
Vs(cm/s)	Essai 1	0,27	0,26	0,28	0,29	0,3	0,3	Valeurs déterminées par calcul Coef. Pompe = 100%	
	Essai 2	0,26	0,26	0,29	0,29	0,3	0,29		
	Essai 3	0,25	0,27	0,29	0,31	0,3	0,29		
Vc(cm/s)	Essai 1	0,72	0,74	0,76	0,74	0,75	0,72		
	Essai 2	0,69	0,74	0,76	0,74	0,47	0,72		
	Essai 3	0,68	0,76	0,77	0,79	0,47	0,71		

D'après les résultats trouvés, nous avons représenté sous forme graphique (Figure 3.3) les essais en fonction du temps (en seconde) de remplissage du réservoir cible pour chaque niveau en faisant 03 essais en fixant le coefficient de pompe en 50%.



**Figure 3.3** : Représentation graphique des essais de remplissage du réservoir cible avec un coefficient de pompe à 50%.



**Figure 3.4** : Représentation graphique des essais de remplissage du réservoir cible avec un coefficient de pompe à 60%.

Par contre, les graphes des figures 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 et 3.8 représentent des essais en fonction du temps de remplissage de réservoir cible (en seconde) pour différents niveaux allant de 0,5l jusqu'au 3l en faisant 07 essais/niveau en fixant le coefficient de pompe à 60%, 70%, 80%, 90% et 100% respectivement.

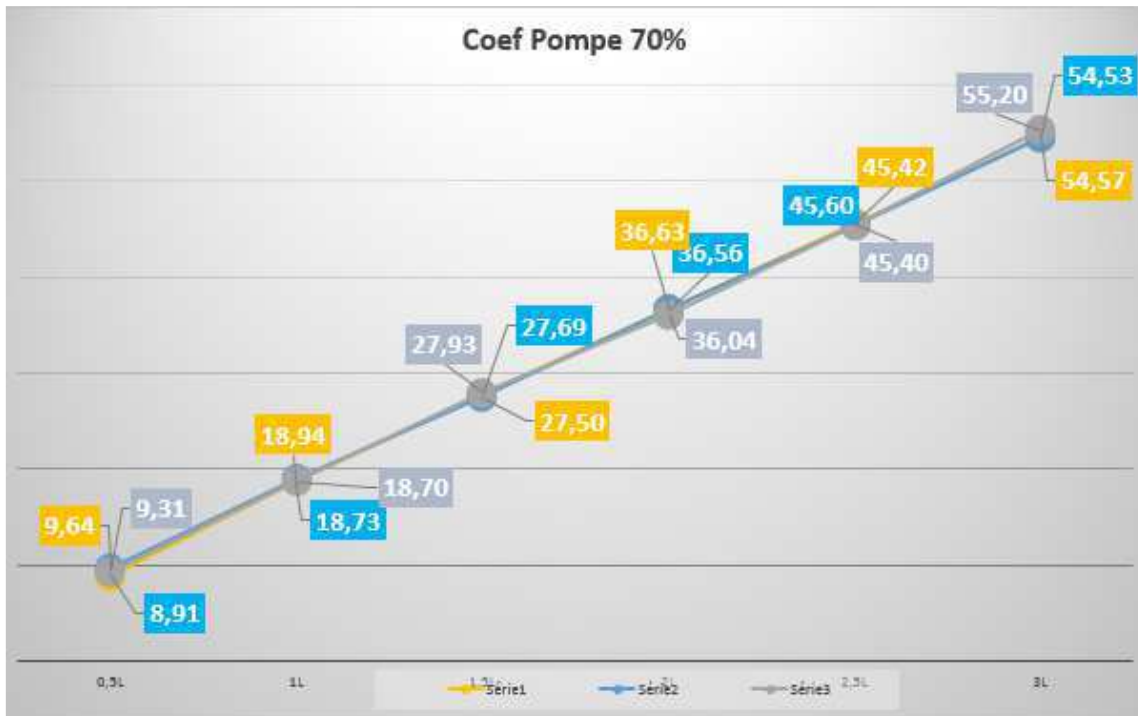


Figure 3.5 : Représentation graphique des essais de remplissage du réservoir cible avec un coefficient de pompe à 70%.



Figure 3.6: Représentation graphique des essais de remplissage du réservoir cible avec un coefficient de pompe à 80%.



Figure 3.7 : Représentation graphique des essais de remplissage du réservoir cible avec un coefficient de pompe à 90%.

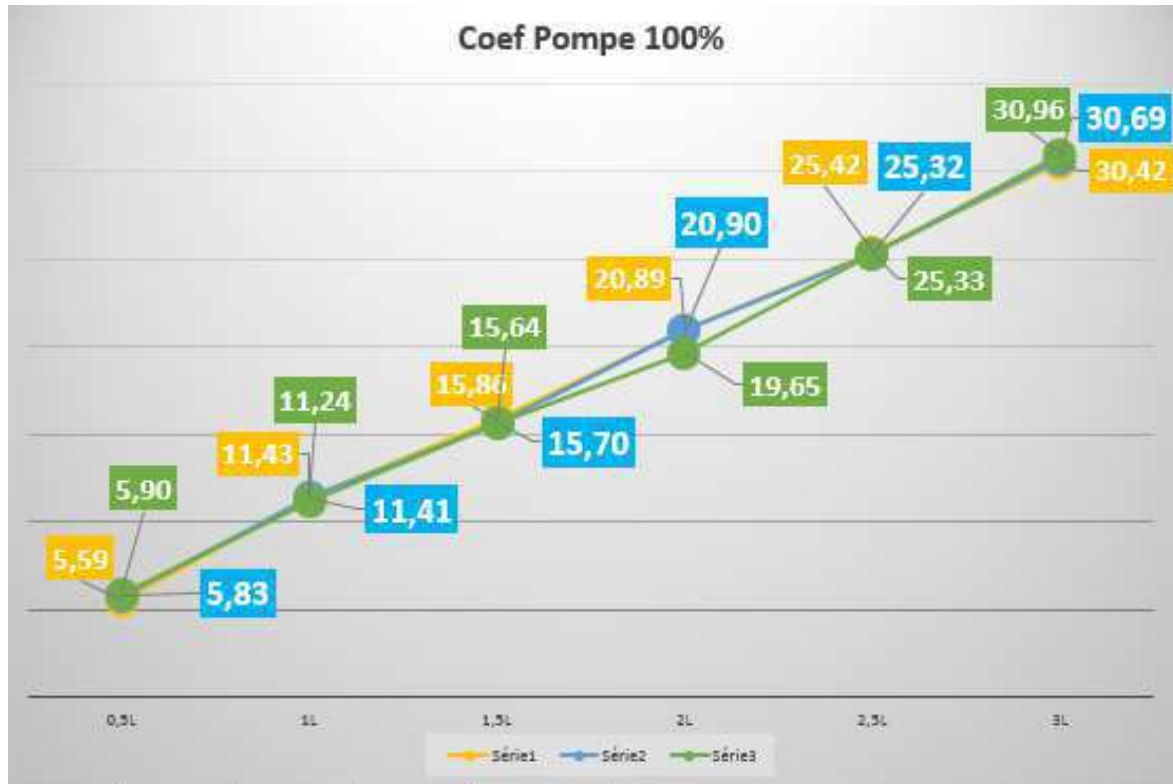


Figure 3.8: Représentation graphique des essais de remplissage du réservoir cible avec un coefficient de pompe à 100%.

### 3.4.3. Discussion des résultats obtenu

D'après les résultats obtenus à travers les différents essais, nous avons conclu que pour :

- Le coefficient de vitesse de pompe inférieure ou égale 40%, la pompe ne fonctionne pas,
- Le coefficient de vitesse de pompe égale à 50%, la pompe ne peut pas remplir le réservoir au-delà de 1.5L,
- Lorsque le volume dépasse 2L, le moteur ne peut plus tourner puisque la pression atteinte bloque la pompe.

### 3.4.4. Paramètres du système obtenus

D'après les essais réels réalisés, nous sommes arrivés à identifier les paramètres de notre système pour qu'elles soient introduites dans le modèle mathématique. Les paramètres du système sont choisis réunis comme suit dans le tableau 3.2.

**Tableau 3.2** : Paramètres de la station de remplissage.

Paramètres	Désignation	Valeurs
Section du réservoir source	S1	36100 mm <sup>2</sup>
Largeur du réservoir source	L1	190 mm
Profondeur du réservoir source	M	190 mm
Section du réservoir cible	S2	15386 mm <sup>2</sup>
Diamètre de la partie circulaire	Dr	140 mm
Diamètre de la partie conique	Dc	50 mm
Volume du liquide dans la bouteille	Vb	80 ml
Débit de sortie du réservoir cible	qs2	0.0025 L/s
Tension d'entrée	$\mu(t)$	0-10 v (0-24 vcc)
Pression max	P	50 kpa (0.5 bar)
Alimentation de station de remplissage		24Vcc /4.5A
Débit de la pompe	Q	0-6 l/min
Tension de la pompe	$\mu(t)$	0-24 v
Gain de la pompe	A	0-100%
Gain du capteur	Kc	0-100%
Gamme de mesure de capteur de niveau à ultrason (réservoir cible)		500-150 mm

### 3.4.5. Détermination des paramètres du régulateur PID

La détermination des paramètres du régulateur repose essentiellement sur la fonction de transfert de notre système et particulièrement de sa constante de temps. En identifiant les paramètres des éléments constitutifs de notre système (capacité des 02 réservoirs source et cible, le coefficient de la pompe et les dimensions du circuit hydraulique), il s'est avéré que notre

système peut être considéré comme un système lent. Par conséquent, seulement un régulateur PI peut donner de bonne performance.

Pour montrer la méthodologie appliquée, nous allons s'intéresser dans ce paragraphe à la régulation du niveau du réservoir cible. Donc, par conséquent, le réservoir source doit être rempli. Il faut savoir que la dynamique du réservoir source n'a pas d'influence car les 02 réservoirs sont presque sur la même hauteur. Seul le moteur aura une influence importante sur le système et particulièrement sur la régulation du niveau du réservoir cible.

### 3.4.5.1. Fonction de transfert de la station remplissage

D'après les équations (3.3) et (3.4), le modèle mathématique de remplissage du réservoir cible B402 ainsi que du débit fourni par la pompe utilisée pour alimenter ce réservoir sont comme suit :

$$S_2 \frac{dh_2}{dt} - qe_1 + qs_2 = 0 \quad (\text{Réservoir cible})$$

$$qe_1 - \alpha \mu_1 = 0 \quad (\text{débit délivré par la pompe})$$

Le débit d'entrée  $qe_1$  varie avec la vitesse de la pompe qui est ajustée par le paramètre  $\alpha$  (rapport cyclique) pour remplir le réservoir cible.

Le schéma bloc de la Figure 3.9 représente le schéma Simulink utilisé pour déterminer les performances de notre régulateur PI intégré pour réguler la hauteur du réservoir cible.

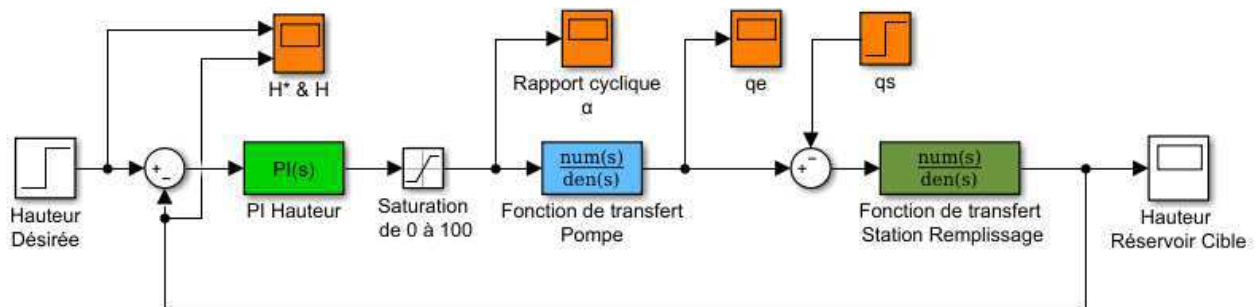


Figure 3.9: Schéma Simulink de notre process intégrant le régulateur PI.

Autres choses importantes, on a constaté, d'après le débit de la pompe et la pression au niveau de la conduite, les pertes de charge (singulière et linéaire) sont négligeables, alors le système devient simple à contrôler.

### 3.4.5.2. Calcul et choix des paramètres du régulateur

D'après les paramètres donnés dans de tableau 3.2, les deux fonctions de transfert sont représentées comme suit :

- Fonction transfert Pompe :  $\text{num}(s) = [1]$ ,  $\text{denum}(s) = [0, 1]$ , qui correspond à un débit de  $1\text{cm}^3$  pour un rapport cyclique  $\alpha = 1\%$  ( $Q = 0$  à  $6\text{L/s}$  pour une tension =  $0$  à  $10\text{V}$  au niveau du tableau 3.2),
- Fonction de transfert Station Réacteur pour le remplissage du réservoir :  $\text{num}(s) = [1]$ ,  $\text{denum}(s) = [154, 0]$ , qui correspond à un réservoir ayant une base d'une surface de  $154\text{ cm}^2$  ( $S_2 = 15386\text{ mm}^2$  dans le tableau 3.2).

En introduisant le régulateur dans notre process, la fonction de transfert en boucle fermé devient :

$$FTBF = \frac{K_p s + k_i}{s^2 + \frac{k_p}{S_2} s + \frac{k_i}{S_2}} \quad (3.12)$$

Les paramètres du PI ont été déterminés en imposant les valeurs de  $\omega$  (pulsation propre) et  $\zeta$  (l'amortissement).

D'après la FTBF, en fonction de  $\omega_n$  et  $\zeta$ ,  $k_p = 2\xi\omega_0 S_2$  et  $k_i = \omega_0^2 S_2$  (équation non utilisée).

Sachant que notre système est lent ou très lent et choisi totalement amorti, nous avons pris comme valeur :  $\omega_n = 0.16 rad/s$  et  $\xi = 1$ . Après calcul, nous avons trouvé un  $k_p = 50$ .

Il faut savoir que l'introduction de la saturation est très importante pour représenter le système dans son état réel car quelque soit la dynamique choisie, on ne peut pas dépasser le débit max fourni par la pompe (correspondant à  $\alpha = 100\%$ ), pour cela, il était difficile de déterminer  $K_i$  par calcul. Pour cela, on a imposé  $K_p$  et par la méthode essai-erreur, nous avons trouvé un  $K_i = 0.01$ .

La figure 3.10 représente la réponse de notre système, utilisant Matlab-Simulink (Figure 3.9) en prenant les paramètres choisis et calculés. La réponse obtenue montre le bon choix des paramètres du PI et aussi elle donne aussi une information sur la lenteur de notre système qui dépend essentiellement du débit de la pompe.

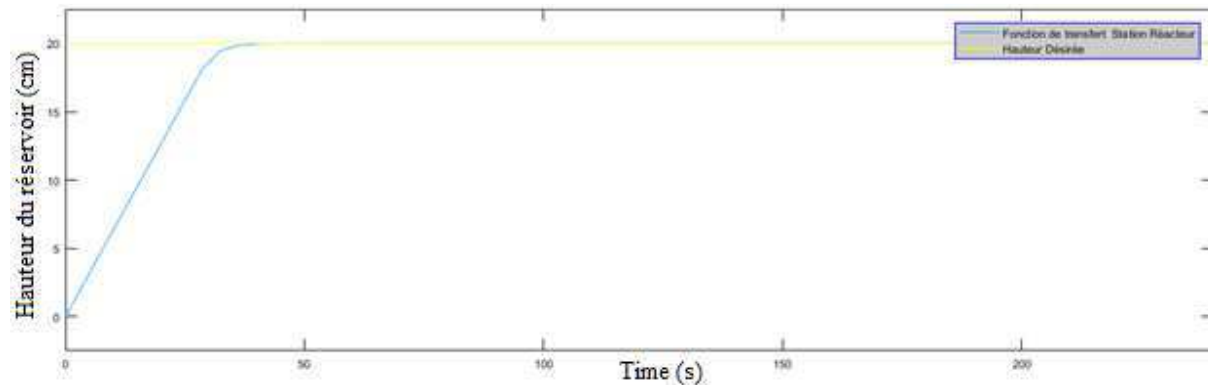


Figure 3.10 : Réponse du système régulé obtenue par Matlab-Simulink.

### 3.5. Description opérationnelle de la station de remplissage

Avant de commencer le développement de l'IHM, nous avons développé le programme STEP7 de la station de remplissage avec la régulation de niveau et déterminé toutes les adresses des variables du programme.

Dans la partie acquisition des données, nous avons utilisé deux possibilités :

- Création de la table mnémonique variable (Entrées/Sorties),
- Création d'un bloc de données spécifique pour le système de remplissage.

### 3.5.1. Acquisition des données de la station de remplissage AFB de FESTO

La tâche d'acquisition des données permet d'assurer le transfert sans erreur des informations entre le processus et la supervision dans un contexte caractérisé par une variété de supports de transmission et différents protocoles de communication.

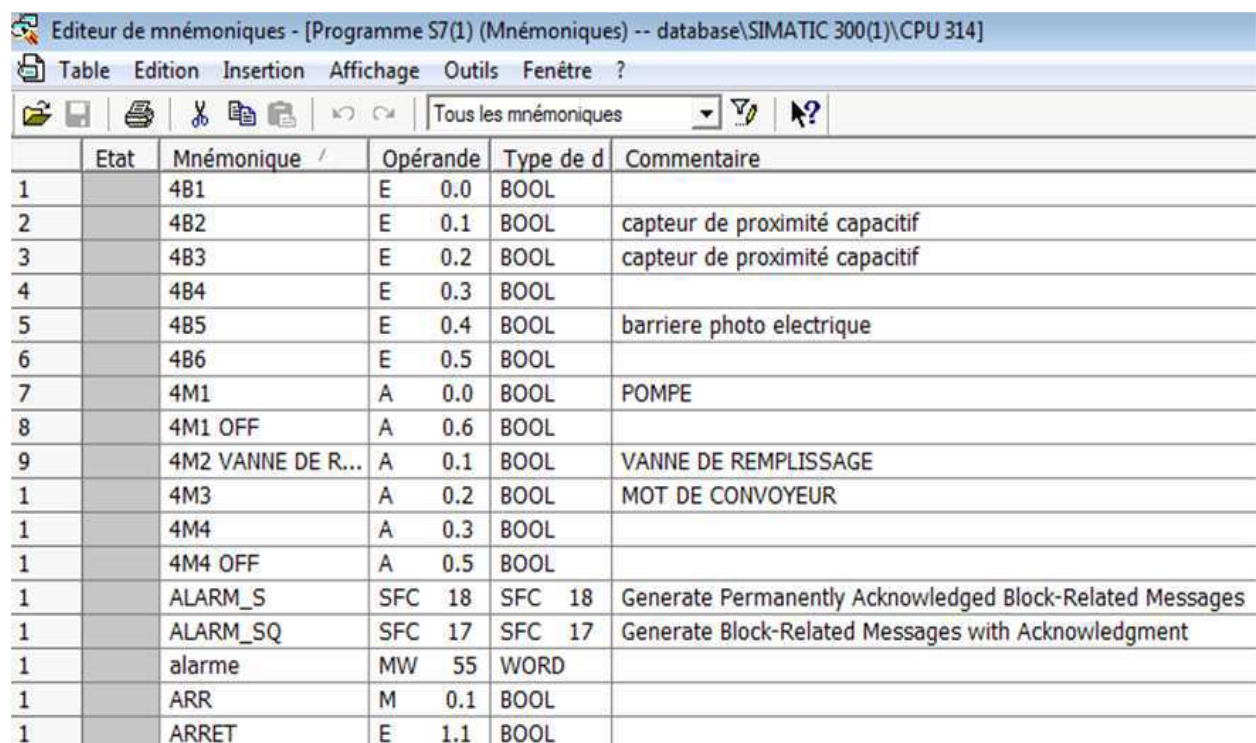
L'acquisition des données signifie non seulement le transfert d'informations des dispositifs périphériques vers les ordinateurs de supervision mais aussi le transfert d'informations dans le sens inverse afin de permettre au système de supervision de contrôler le processus qui doit diriger son évolution en modifiant les valeurs des variables qui conditionnent son opération.

On peut dire que l'acquisition est la fonction principale parmi celles effectuées par les systèmes SCADA. En fait, nous mettons le processus en communication avec le système de supervision pour obtenir toutes les informations sur les états du processus qui sont nécessaires pour permettre l'observation et l'évolution du processus lui-même en temps réel.

#### 3.5.1.1. Création de la table des mnémoniques

Dans le tableau 3.3, nous allons présenter les différentes variables Entrés/Sorties (Capteurs et Actionneur) qui existent dans cette station avec leur adresse physique et simulation ainsi que d'autres variables comme les variables de type Memento.

**Tableau 3.3 :** Table des mnémoniques de la station de remplissage AFB de FESTO.



The screenshot shows the 'Editeur de mnémoniques' window for 'Programme S7(1) (Mnémoniques)'. The table below is extracted from the interface.

	Etat	Mnémonique /	Opérande	Type de d	Commentaire
1		4B1	E 0.0	BOOL	
2		4B2	E 0.1	BOOL	capteur de proximité capacitif
3		4B3	E 0.2	BOOL	capteur de proximité capacitif
4		4B4	E 0.3	BOOL	
5		4B5	E 0.4	BOOL	barriere photo electrique
6		4B6	E 0.5	BOOL	
7		4M1	A 0.0	BOOL	POMPE
8		4M1 OFF	A 0.6	BOOL	
9		4M2 VANNE DE R...	A 0.1	BOOL	VANNE DE REMPLISSAGE
1		4M3	A 0.2	BOOL	MOT DE CONVOYEUR
1		4M4	A 0.3	BOOL	
1		4M4 OFF	A 0.5	BOOL	
1		ALARM_S	SFC 18	SFC 18	Generate Permanently Acknowledged Block-Related Messages
1		ALARM_SQ	SFC 17	SFC 17	Generate Block-Related Messages with Acknowledgment
1		alarme	MW 55	WORD	
1		ARR	M 0.1	BOOL	
1		ARRET	E 1.1	BOOL	

1		ARRU	E	0.7	BOOL	
1		bouteille au point...	M	4.2	BOOL	
2		bouteille pleine	M	0.3	BOOL	
2		cc	M	0.4	BOOL	
2		cd	MD	12	REAL	
2		ci	MD	16	REAL	
2		COMMANDE DE P...	MD	20	REAL	
2		COMPLETE REST...	OB	100	OB	100 Complete Restart
2		consigne	MD	24	REAL	
2		CONT_C	FB	41	FB	41 Continuous Control
2		cp	MD	28	REAL	
2		CPN	MW	68	WORD	
3		cpnreal	MD	199	REAL	
3		CUVE VIDE	M	0.5	BOOL	
3		d_sel	M	0.6	BOOL	
3		DBG	DB	1	DB	1 BASE DE DONNEE
3		DETECTEUR DE ...	E	3.1	BOOL	
3		ereur	MD	32	REAL	
3		G7_STD_3	FC	72	FC	72
3		GT_STRNG	FC	15	FC	15 Greater Than String
3		i_sel	M	0.7	BOOL	
3		init	M	1.0	BOOL	
4		KP	MD	176	REAL	kp
4		la vanne de rem...	M	1.2	BOOL	
4		man	MD	36	REAL	
4		man on	M	1.3	BOOL	
4		MAR	M	1.4	BOOL	
4		MARCHE	E	1.0	BOOL	
4		MARMAN	E	0.6	BOOL	
4		MOTEUR DE CON...	A	0.4	BOOL	
4		niveau	MD	40	REAL	
4		NIVEAU BAS	A	124.0	BOOL	
5		niveau de reserv...	MW	100	INT	
5		niveau de reserv...	MW	102	INT	
5		NIVEAU HAUT	A	124.1	BOOL	
5		niveau minimale	A	124.3	BOOL	
5		NIVEAU RESERV...	MD	44	REAL	
5		p_sel	M	1.5	BOOL	
5		pompe	MW	66	WORD	
5		pompe v real	MD	148	REAL	
5		reservoir rempli	A	124.2	BOOL	
5		SCALE	FC	105	FC	105 Scaling Values
6		sortie	MD	164	REAL	
6		sortie f	MD	172	REAL	
6		sou	A	120.0	BOOL	
6		SP_INT	MD	48	REAL	Sollwert Realformat geregelt / setvalue real format controlled
6		SP_INT_TP	MD	100	REAL	
6		SP_Man	MD	52	REAL	Sollwert Realformat Hand / setvalue real format manual
6		start	M	1.6	BOOL	
6		stop	M	1.7	BOOL	
6		t1	M	2.0	BOOL	
6		t2	M	2.1	BOOL	
7		t3	M	2.2	BOOL	
7		t4	M	2.3	BOOL	
7		t5	M	2.4	BOOL	
7		t6	M	2.5	BOOL	
7		TD	MD	180	TIME	td
7		TI	MD	185	TIME	ti
7		TIME_TCK	SFC	64	SFC	64 Read the System Time

7	TP_4M1	M	2.6	BOOL	POMPE ACTIVE
7	TP_4M3	M	2.7	BOOL	mot de conv en marche
7	TP_4M4	M	3.0	BOOL	Séparature active
8	UNSCALE	FC	106	FC 106	Unscaling Values
8	var	M	3.1	BOOL	
8	WR_USMSG	SFC	52	SFC 52	Write a User-Defined Diagnostic Event to the Diagnostic Buffer
8	x0	M	3.2	BOOL	
8	x1	M	3.3	BOOL	
8	x2	M	3.4	BOOL	
8	x3	M	3.5	BOOL	
8	x4	M	3.6	BOOL	

### ▪ Discussion sur les variables utilisées

D'après la table mnémorique, on remarque que :

- Les données présentées sont définies de manière mal ordonnée.
- L'acquisition des données n'est pas précise et doit être définie selon l'étude et la décision de l'opérateur donc l'acquisition des données n'est pas optimale pour le système étudié.
- On ne peut pas obtenir des données historiques pour le système étudié.
- On ne peut pas obtenir l'état et les valeurs des variables si le système est en cours de fonctionnement.
- L'adressage se fait de manière manuelle donc on peut faire des erreurs d'adressage et ces erreurs sont habituellement la cause du dysfonctionnement de notre système.

Pour toutes ces raisons, nous nous sommes orientées à la création d'une base de données qui sera présentée dans le paragraphe suivant.

#### 3.5.1.2. Création de la base des données

Dans cette partie, nous allons introduire la base de données en temps réel qui est une nouvelle approche pour présenter les données de la station de remplissage afin de faciliter le contrôle du modèle du système AFB de FESTO.

Le tableau 3.4 englobe la base des données en arrêt avant le chargement de la station de remplissage AFB de FESTO en introduisant les valeurs initiales du débit d'entrée, du débit de sortie et des niveaux des réservoirs source et cible.

**Tableau 3.4 :** Base de données avant le chargement de la station de remplissage AFB de FESTO.

Adresse	Nom	Type	Valeur initiale	Commentaire
0.0		STRUCT		
+0.0	reservoirsource	STRUCT		
+0.0	debitdentree	REAL	0.000000e+000	0----27648
+4.0	debitdesortie	REAL	0.000000e+000	0---100
+8.0	NIVEAUMENTPREAL	REAL	0.000000e+000	0---10L
+12.0	CAPNIVEAMIN	REAL	3.000000e+001	30%
+16.0	CAPNIVEAMAX	REAL	8.000000e+001	80%
+20.0	sectionderese	REAL	3.610000e+004	la section est 36100mm <sup>2</sup>
+24.0	levolume	REAL	1.000000e+002	volume de reservoir source est 10l
=28.0		END STRUCT		

+28.0	resecible	STRUCT		
+0.0	debitdentree	REAL	0.000000e+000	0-0.1L/s
+4.0	debit sortie	REAL	2.500000e-003	
+8.0	debitentreper	INT	0	
+10.0	debitseortieper	INT	0	
+12.0	sectionderes	REAL	1.538600e+004	S2=15386mm <sup>2</sup> la surface de reservoir cible
+16.0	levolumeentrant	REAL	0.000000e+000	le volume de reservoir cible=3L
+20.0	levolumesortant	REAL	0.000000e+000	
=24.0		END_STRUCT		
+52.0	capteur	STRUCT		la tension est de 0--10v
+0.0	niveaudacapmax	REAL	1.000000e+002	la gamme de mesure de capteur est de 150 -50
+4.0	niveaumentpreel	REAL	0.000000e+000	0-3L(0mm-90mm)
+8.0	niveaupar	INT	0	0%-100%
=10.0		END_STRUCT		
+62.0	pompe	STRUCT		
+0.0	debitmaxpompe	REAL	1.700000e-001	DEBIT MAX DE POMPE =10.6L/MIN=0.17l/sec
+4.0	debitenreel	REAL	0.000000e+000	DEBIT DE POMPE 0-6L/min=0-0.1L/SEC
+8.0	debitper	INT	0	0%-100%
=10.0		END_STRUCT		
Adresse	Nom	Type	Valeur initiale	Commentaire
+72.0	PID	STRUCT		
+0.0	manon	BOOL	FALSE	
+0.1	FEVPERON	BOOL	TRUE	
+0.2	PSEL	BOOL	TRUE	
+0.3	ISEL	BOOL	TRUE	
+0.4	DSEL	BOOL	TRUE	
+2.0	CYCLE	TIME	T#100MS	
+6.0	consigne	REAL	5.000000e+001	0%-100%
+10.0	cpn	WORD	W#16#0	0-27648
+12.0	man	REAL	1.000000e+000	
+16.0	kp	REAL	1.000000e+000	
+20.0	ti	TIME	T#2MS	
+24.0	td	TIME	T#1MS	
+28.0	COMMANDEDEPOMPE	REAL	0.000000e+000	0%-100%
+32.0	VALREALPOMPE	REAL	0.000000e+000	0L/MIN-6L/MIN
+36.0	ereur	REAL	0.000000e+000	ereur =consigne-CPN
+40.0	CP	REAL	0.000000e+000	
+44.0	CD	REAL	0.000000e+000	
+48.0	CI	REAL	0.000000e+000	
+52.0	niveauderesercible	REAL	0.000000e+000	0%-100% (0-3l)
=56.0		END_STRUCT		
=128.0		END_STRUCT		

Par contre, dans le tableau 3.5, nous présenterons la base des données en cours de chargement de la station de remplissage AFB de FESTO avec une commande de consigne de 50%.

**Tableau 3.5 :** Base de données en cours de chargement de la station de remplissage AFB de FESTO.

Adresse	Nom	Type	Valeur initial	Valeur en cours	Commentaire
0.0	reservoirsource.debitdentree	REAL	0.000000e+000	0.0	0---27648
4.0	reservoirsource.debitdesortie	REAL	0.000000e+000	0.0	0---100
8.0	reservoirsource.NIVEAUMENTPRE	REAL	0.000000e+000	100.0	0---10L
12.0	reservoirsource.CAPNIVEAMIN	REAL	3.000000e+001	30.0	30%
16.0	reservoirsource.CAPNIVEUMAX	REAL	8.000000e+001	80.0	80%
20.0	reservoirsource.sectionderese	REAL	3.610000e+004	0.0	la section est 36100mm <sup>2</sup>
24.0	reservoirsource.levolume	REAL	1.000000e+002	10.0	volume de reservoir source est 10l
28.0	resecible.debitdentree	REAL	0.000000e+000	0.002152054	0-0.1L/s
32.0	resecible.debitsortie	REAL	2.500000e-003	0.0	
36.0	resecible.debitentreper	INT	0	0	
38.0	resecible.debitseortieper	INT	0	0	
40.0	resecible.sectionderes	REAL	1.538600e+004	0.0	S2=15386mm <sup>2</sup> la surface de reservoir cible
44.0	resecible.levolumeentrant	REAL	0.000000e+000	0.0002152054	le volume de reservoir cible=3L
48.0	resecible.levolumeasant	REAL	0.000000e+000	0.0001309317	
52.0	capteur.niveaudecapmax	REAL	1.000000e+002	0.0	la gamme de mesure de capteur est de 150 -500mm
56.0	capteur.niveaumentpreel	REAL	0.000000e+000	0.0	0-3L (0mm-90mm)
60.0	capteur.niveauper	INT	0	0	0%-100%
62.0	pompe.debitmaxpompe	REAL	1.700000e-001	0.1	DEBIT MAX DE POMPE =10.6L/MIN=0.171/sec
66.0	pompe.debitenreel	REAL	0.000000e+000	0.0	DEBIT DE POMPE 0-6L/min=0-0.1L/SEC
70.0	pompe.debitper	INT	0	0	0%-100%
72.0	PID.manne	BOOL	FALSE	FALSE	
72.1	PID.PEVPERON	BOOL	TRUE	TRUE	
72.2	PID.PSEL	BOOL	TRUE	TRUE	
72.3	PID.ISEL	BOOL	TRUE	TRUE	
72.4	PID.DSEL	BOOL	TRUE	TRUE	
74.0	PID.CYCLE	TIME	T#100MS	T#100ms	
78.0	PID.consigne	REAL	5.000000e+001	50.0	0%-100%
82.0	PID.cpn	WORD	W#16#0	W#16#3600	0-27648
84.0	PID.man	REAL	1.000000e+000	0.0	
88.0	PID.kp	REAL	1.000000e+000	1.0	
92.0	PID.ti	TIME	T#2MS	T#1ms	
96.0	PID.td	TIME	T#1MS	T#1ms	
100.0	PID.COMMANDEDEPOMPE	REAL	0.000000e+000	2.278524	0%-100%
104.0	PID.VALREALPOMPE	REAL	0.000000e+000	0.0	0L/MIN-6L/MIN
108.0	PID.erreur	REAL	0.000000e+000	0.0	erreur =consigne-CPW
112.0	PID.CP	REAL	0.000000e+000	0.0	
116.0	PID.CD	REAL	0.000000e+000	-5.802969e-006	
120.0	PID.CI	REAL	0.000000e+000	2.27853	
124.0	PID.niveaudereresecible	REAL	0.000000e+000	50.0	0%-100% (0-3l)

D'après le tableau 3.5 représentant les données en cours de chargement de la station remplissage avec une commande de consigne de 50%, on remarque que :

- Les données définies au niveau de cette table sont bien organisées car pour chaque équipement ou appareil nous avons un début et une fin de structure.
- L'acquisition des données est précise et spécifique pour le système étudié.
- On peut obtenir un historique des données du système étudié.
- On peut avoir et sauvegarder des valeurs même si le système est en cours de chargement.
- L'adressage des variables se fait de manière automatique ce qui élimine toute erreur ou problème d'adressage.

- L'Utilisation de données est spécifique en fonction du système étudié.
- On peut observer les variables en temps réel.

### 3.5.1.3. Paramètres choisis

D'après la base de données, les paramètres spécifiques choisis pour la station de remplissage AFB de FESTO sont : le niveau des réservoirs, le débit d'entrée/sortie des réservoirs, le contrôleur, l'état de la vanne et la commande de la pompe. Les différentes valeurs des paramètres choisis se trouvent dans le tableau 3.6.

**Tableau 3.6** : Paramètres choisis de la station de remplissage.

Paramètres choisis	Valeurs correspondantes
Niveau du réservoir source	10 L
Niveau de réservoir cible	3 L
Coefficient de commande du pompe	0-100%
Débit d'entrées au réservoir cible	0.1 L /S
Débit de sortie du réservoir cible	0.0025 L /S

Comme nous l'avons mentionné dans les paragraphes, notre travail principal était la détermination des paramètres du système étudié. Dans le travail suivant, notre objectif principal constitue au développement d'une interface homme machine spécifique et optimale de la station de remplissage du système AFB de FESTO.

Pour cela dans la phase d'acquisition des données, nous avons défini les paramètres optimaux du système AFB de FESTO afin de les introduire dans l'IHM développée.

## 3.6. Développement de l'IHM de la station de remplissage du système AFB de FESTO

Les stations du système AFB de FESTO utilisent des automates de type S7-314C-2PN/DP de siemens programmés et configurés par le logiciel SIMATIC Manager STEP7 V5.5. Pour développer l'IHM de supervision, d'acquisition de données et de commande de la station de remplissage, nous allons utiliser le logiciel SCADA de la firme Siemens, SIMATIC WINCC Flexible. Dans cette partie, nous allons montrer et expliquer les différentes étapes de la création de l'IHM ainsi que les simulations que nous avons fait en utilisant le simulateurs PLCSim de SIMATIC STEP7 et le simulateur Runtime de SIMATIC WINCC Flexible pour vérifier le fonctionnement de l'IHM développée.

Pour assurer la communication entre l'automate et l'IHM, nous avons utilisé le réseau Ethernet Industriel comme protocole de communication. Dans l'interfaces nous allons utiliser des réservoirs cylindrique et conique, une pompe, des capteurs TOR, un capteur analogique et un régulateur de niveau PID pour représenter la station de remplissage AFB de FESTO.

### 3.6.1. Réalisations des tests à travers l'IHM développée

La figure 3.11 présente l'interface Homme-Machine de la station remplissage du système AFB de FESTO que nous avons développée avec le logiciel SIMATIC WinCC Flexible.

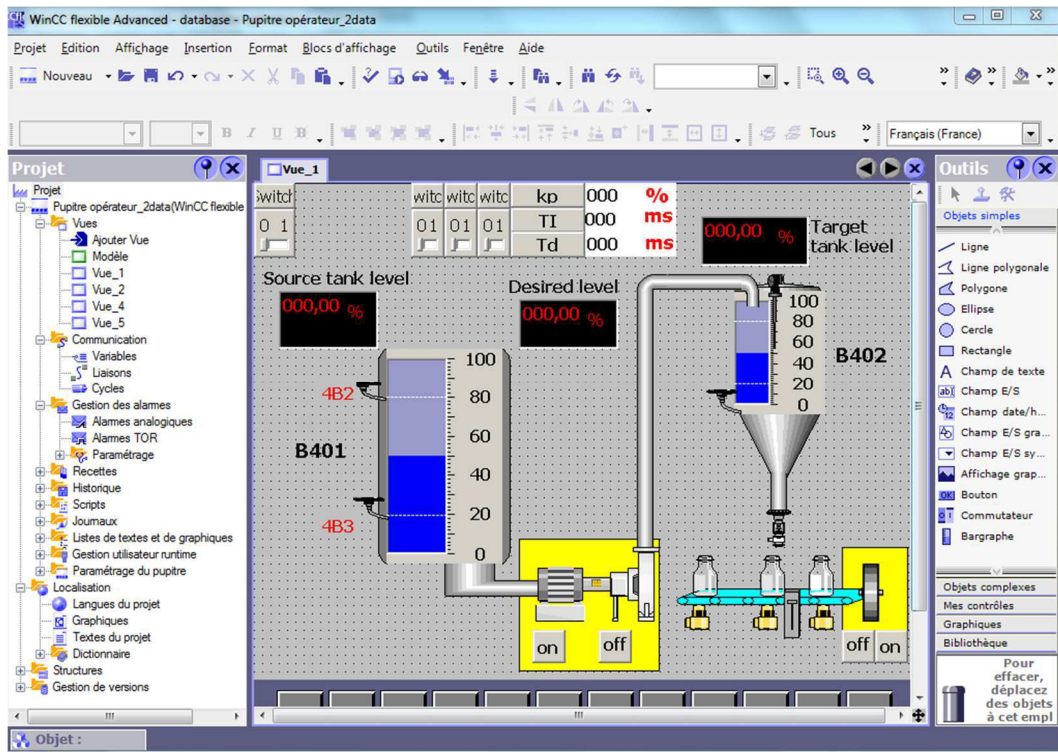


Figure 3.11 : Interface homme-machine développée de la station de remplissage du système AFB de FESTO.

Dans la figure 3.12 ainsi que la figure 3.13, on présente l'IHM de la station remplissage. On remarque très bien qu'en mode ARRÊT les réservoirs source et cible sont vides et tous les actionneurs et les capteurs sont à l'arrêt.

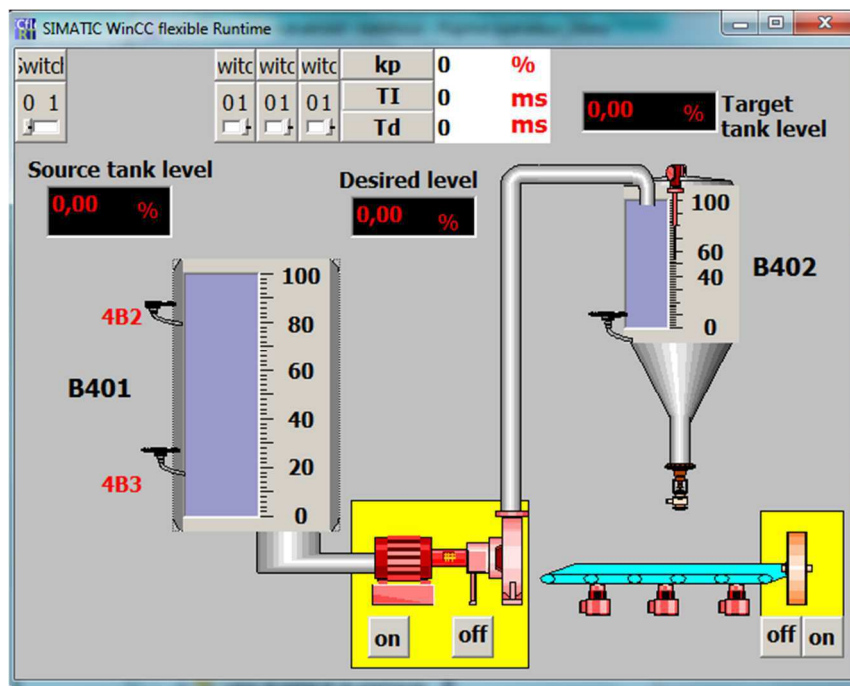


Figure 3.12 : IHM de la station de remplissage du système AFB de FESTO en mode Arrêt.

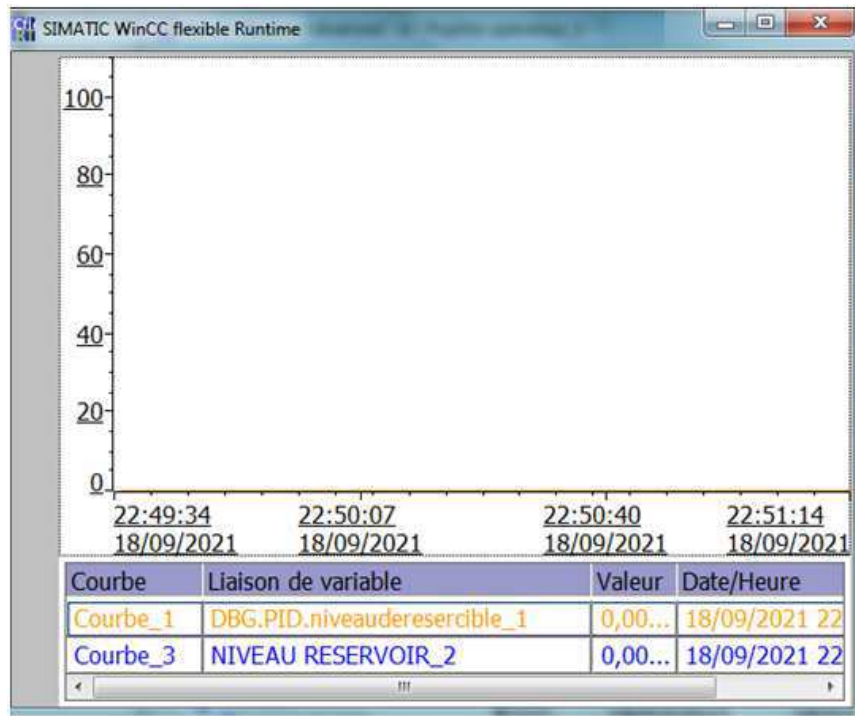


Figure 3.13: IHM de la station de remplissage du système AFB de FESTO en mode Arrêt.

Par contre, la figure 3.14 renforcé par le graphique de la figure 3.15 montrent qu’au lancement du mode RUN de la station le réservoir source est plein 100%, la pompe est activée puisque le niveau du réservoir source dépasse 80 % et le réservoir cible est vide.

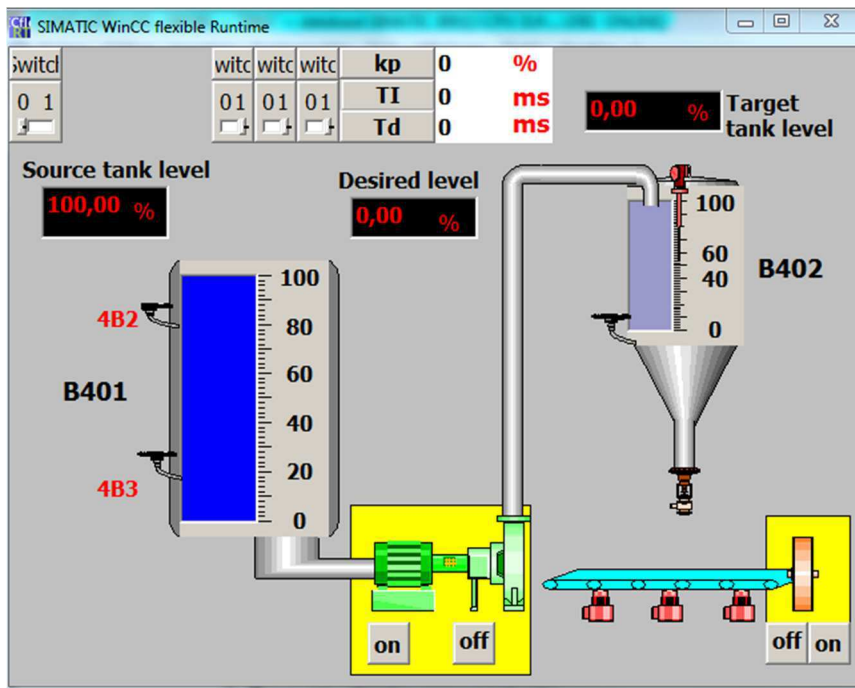


Figure 3.14 : IHM de la Station de remplissage AFB de FESTO en mode RUN au démarrage.

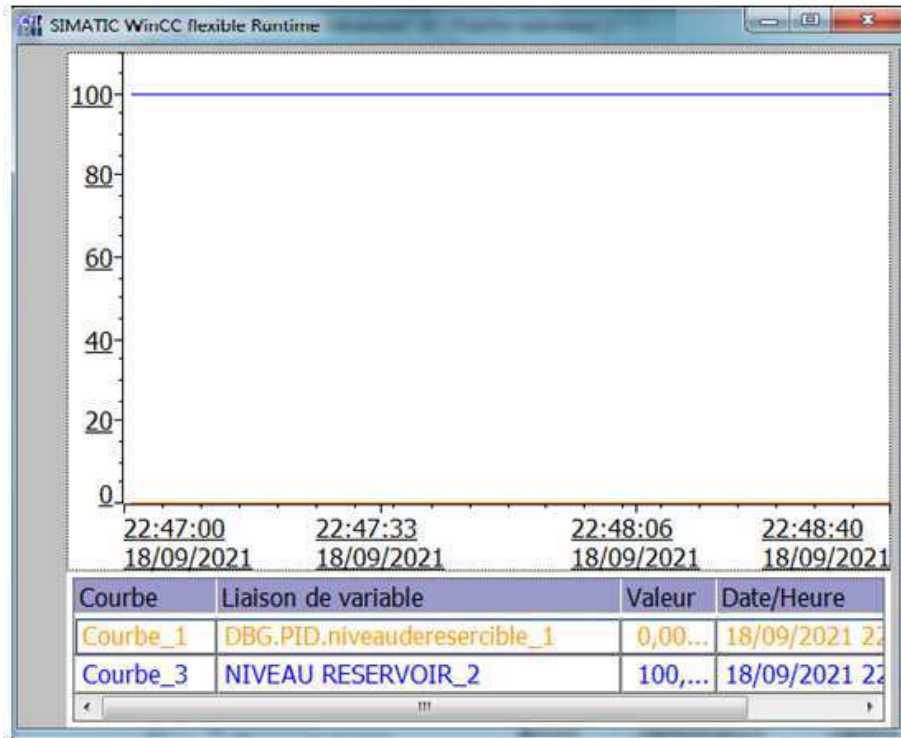


Figure 3.15 : IHM de la station réacteur de AFB de FESTO en mode RUN en cours de régulation du niveau du réservoir cible.

La figure 3.16 représente l'IHM qui supervise et contrôle la station de remplissage en mode RUN. Nous remarquons très bien que tous les capteurs et les actionneurs sont alimentés et le niveau du réservoir cible est à 50% en cours de remplissage et commence à se stabiliser autour de la consigne à 50% (Figure 3.17 et 3.18).

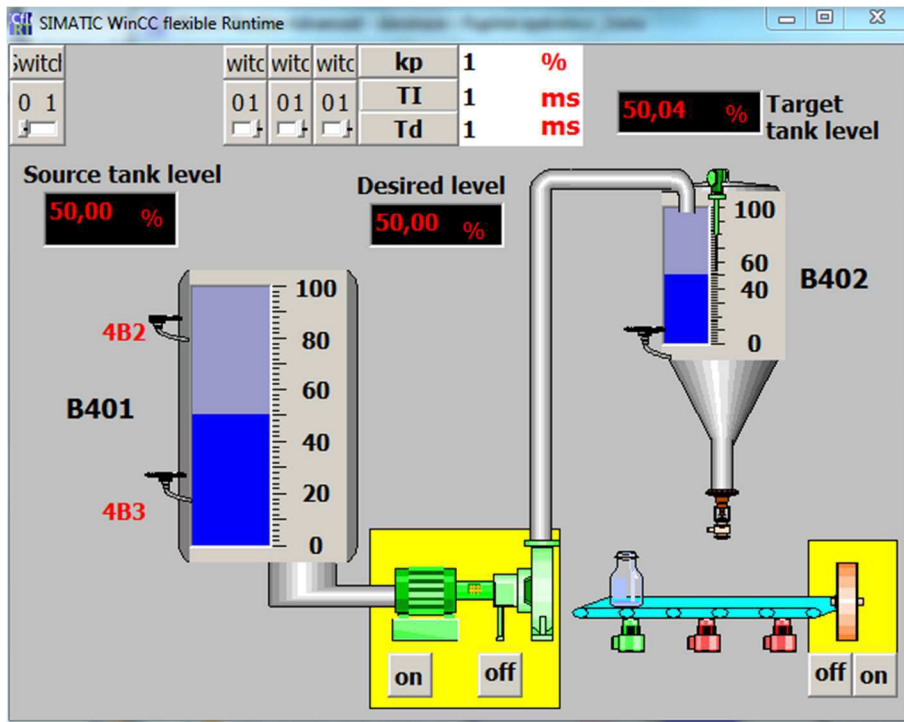
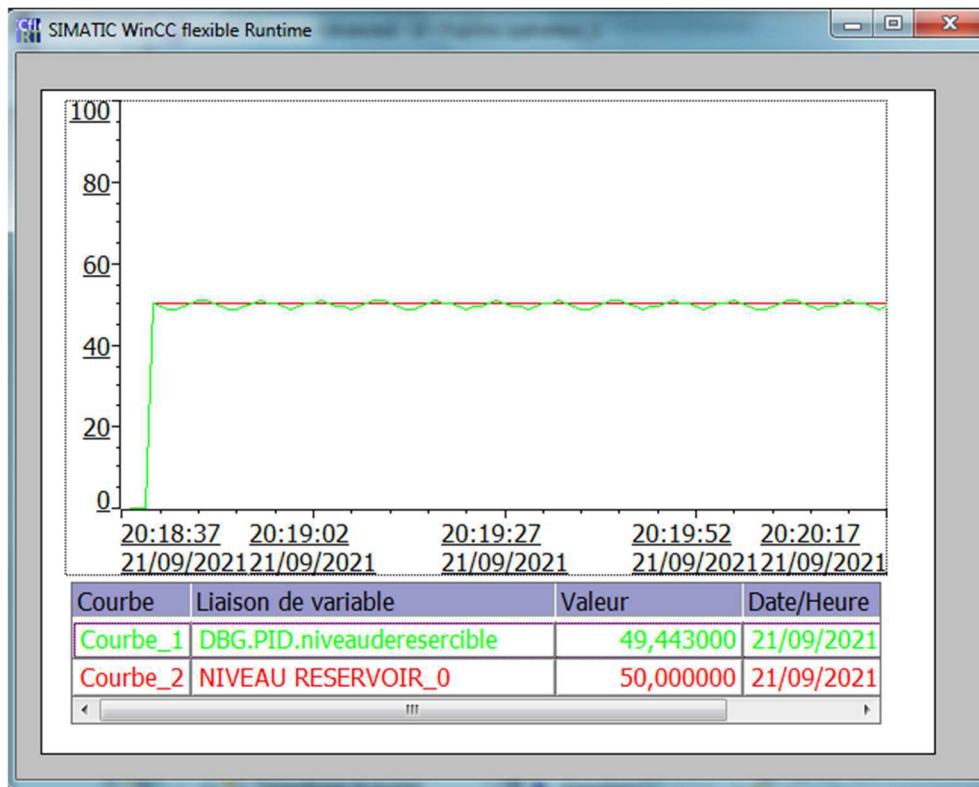
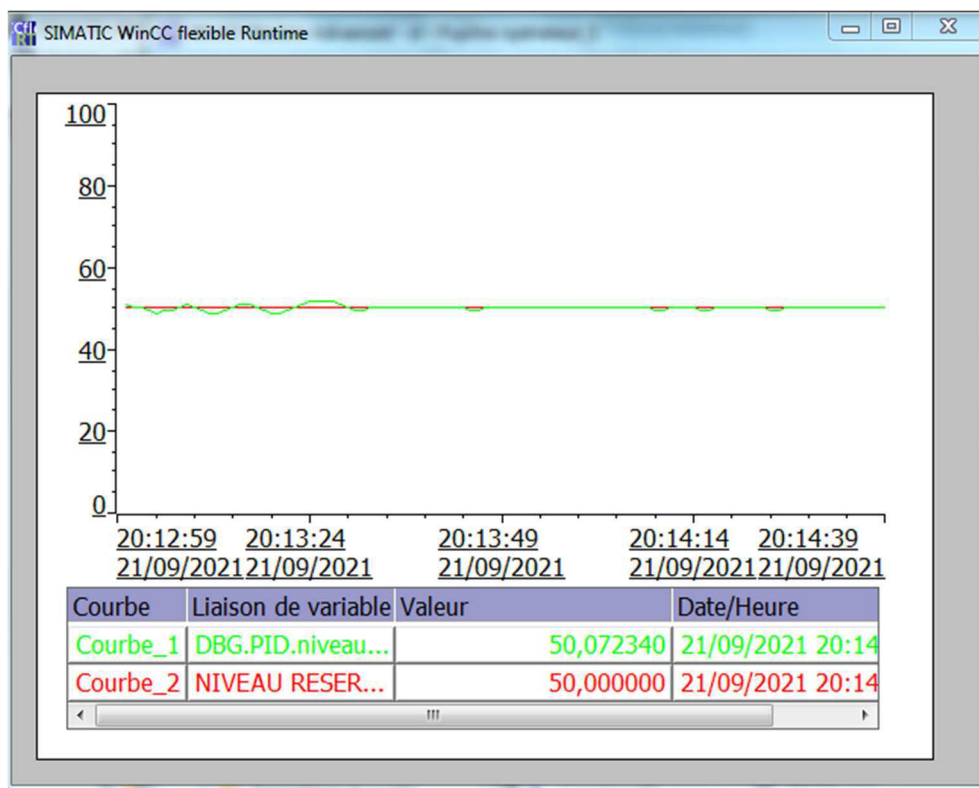


Figure 3.16 : IHM de la station de remplissage AFB de FESTO en mode RUN.



**Figure 3.17 :** IHM de la station réacteur de AFB de FESTO en mode RUN en cours de régulation du niveau du réservoir cible.



**Figure 3.18 :** IHM graphique développée de la station réacteur de AFB de FESTO en mode RUN en cours de régulation du niveau du réservoir cible.

Le graphique de la figure 3.19 montre que le niveau de remplissage du réservoir cible a atteint parfaitement le niveau du réservoir cible pour une consigne de 50%, ce qui prouve que le régulateur PID fonctionne très bien.

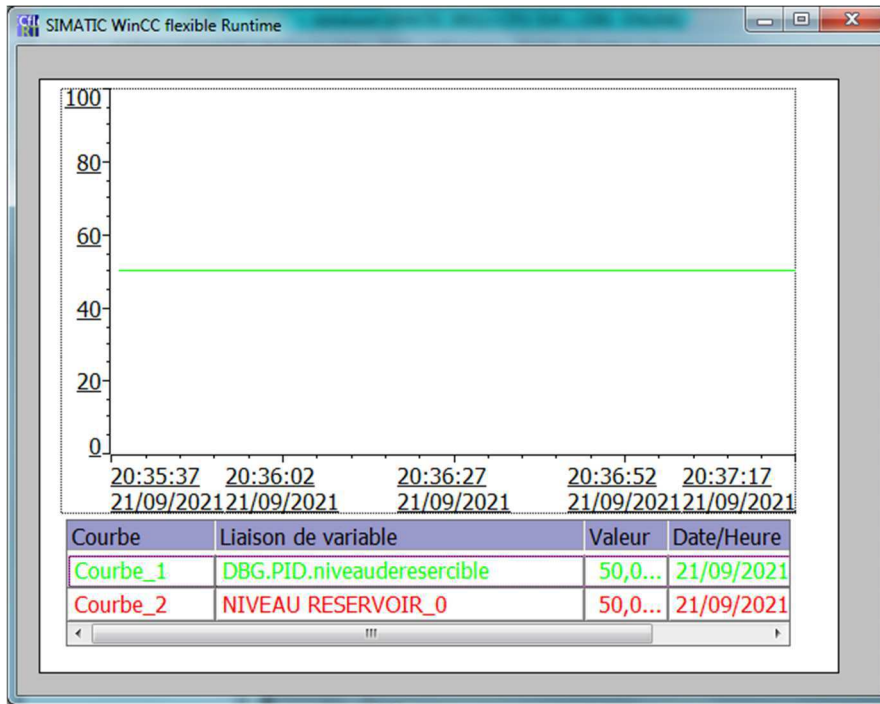


Figure 3.19 : IHM de la station réacteur de AFB de FESTO en mode RUN.

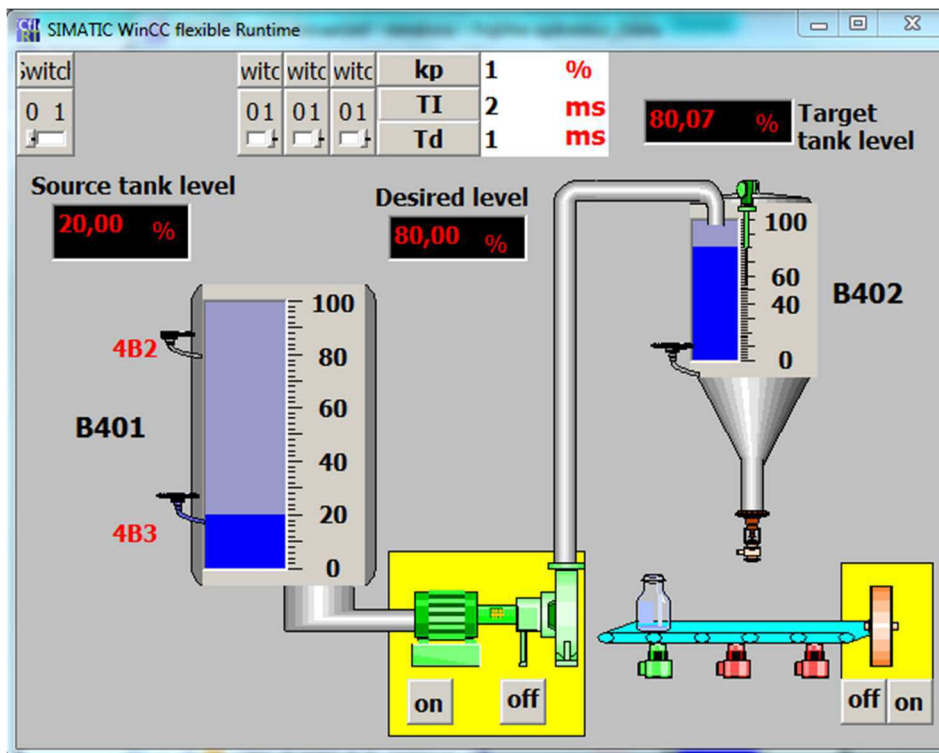


Figure 3.20 : IHM de la Station de remplissage AFB de FESTO en mode RUN.

La figure 3.20 représente l'IHM qui supervise et contrôle la station de remplissage en mode RUN. On remarque très bien que tous les capteurs et les actionneurs sont alimentés et le

niveau du réservoir cible est à 50% en cours de remplissage et suit la commande de la consigne à 80%.

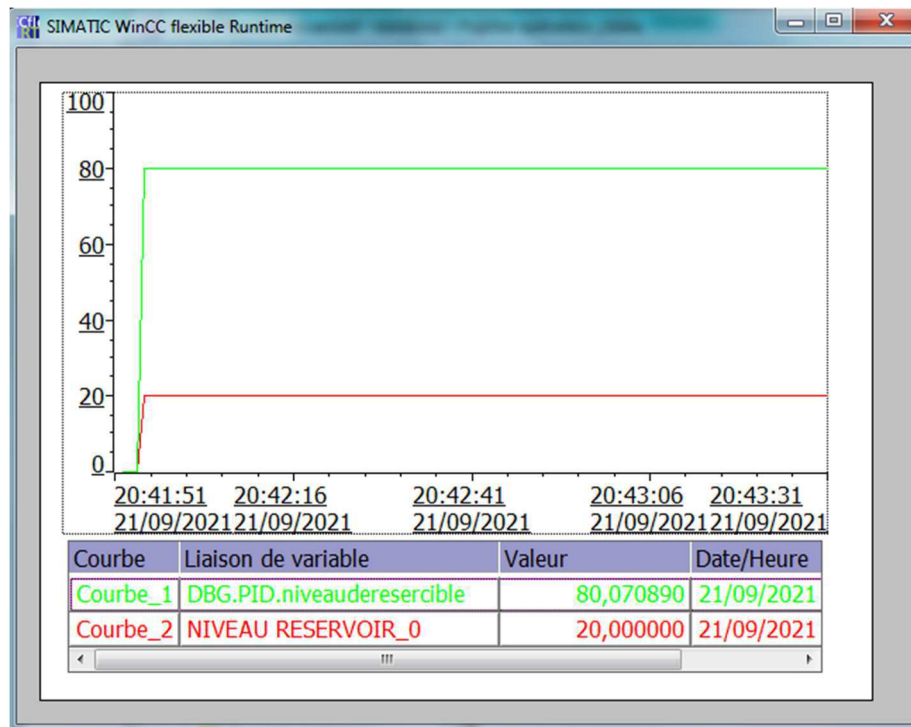


Figure 3.21 : Régulation de niveau du réservoir cible.

Le graphique de la figure 3.21 nous montre que le niveau de remplissage du réservoir cible suit exactement la commande de la consigne 80%, ce qui prouve que le régulateur PID fonctionne très bien.

### 3.6.2. Discussion/interprétation

L'interface homme-machine de la station de remplissage AFB de FESTO a été réalisé avec le logiciel SIMATIC WinCC Flexible, les résultats obtenus sont implémentés dans un environnement SCADA. Après le développement de l'IHM, nous avons procédé à la phase de validation des résultats obtenus à partir de la de la simulation en faisant une phase d'expérimentation sur le modèle obtenu en temps réel dans laquelle nous avons utilisé deux méthode d'acquisition de données : la première utilise la table mnémorique du programme SIMATIC STEP7 et la deuxième la base de données de la station de remplissage, les résultats et les valeurs obtenus avec l'utilisation de la bases des données sont plus précis et plus authentiques pour la supervision et le contrôle du fonctionnement de la station de remplissage du système AFB de FESTO. Ces résultats démontrent que la supervision de la station de remplissage de AFB de FESTO basé sur la base des données présente une efficacité de commande et une réponse très rapide et donne l'avantage de générer des données historiques du système AFB de FESTO qui permet de faire des prévisions, des études et des prédiction plus complètes sur le comportement du système.

Après avoir fini le développement de l'IHM de la station de remplissage, nous allons suivre la même méthodologie pour la station suivante qui est la station réacteur.

### 3.7 Modélisation de la station réacteur du système AFB de FESTO

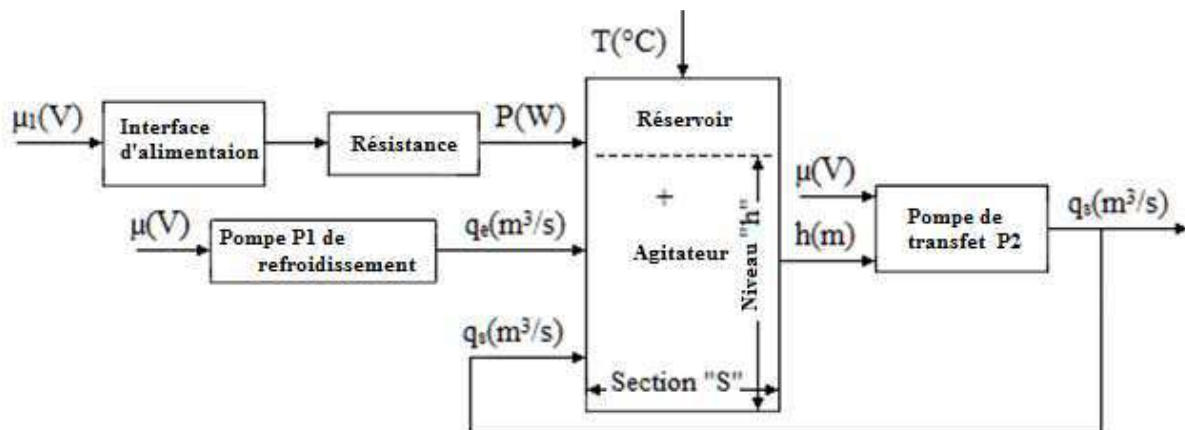
#### 3.7.1. Introduction

Dans le but d'enrichir notre travail qui est la supervision de la station réacteur du AFB de FESTO et sachant que la modélisation mathématique de cette station est très compliquée et qui contient plusieurs paramètres qui rend difficile l'étape d'acquisition des données de système réel, nous allons introduire la modélisation bond graph pour la modélisation de cette station afin d'optimiser les paramètres d'un système hydraulique réel qui va nous permettre de créer une base de données optimale pour ce système.

Dans cette partie, nous allons commencer par la modélisation mathématique de la station réacteur et définir les différents paramètres pour les introduit dans une base des données spécifique du système étudié pour entamer après la partie conception d'une IHM de supervision de la station réacteur du système AFB de FESTO.

#### 3.7.2. Modélisation mathématique des différents éléments

Le système de station réacteur est représentée par la figure 3.22 :



**Figure 3.22 :** Diagramme fonctionnel du dispositif de chauffage de la station réacteur AFB de FESTO.

Le bilan de masse de la station réacteur est donnée par les équations suivantes :

En utilisant l'équation d'équilibre d'écoulement pour le réservoir

$$S \frac{dh}{dt} - q_s + q_e = 0 \quad (3.13)$$

Le débit d'entrée  $q_e$  varie avec la vitesse de la pompe qui est ajustée par le paramètre  $\alpha$  (rapport cyclique) (Eq (3.14)) pour refroidir ou transférer l'eau au réservoir de la station adjacente.

$$q_e - \alpha \mu = 0 \quad (3.14)$$

▪ **Chauffe-eau électrique**

D'après des essais réels sur le système, nous avons remarqué que :

- La température de l'eau est proportionnelle à la durée du chauffage 't',
- La température de l'eau dépend du volume 'V' entrant au réservoir réacteur,
- La température initiale 'T<sub>0</sub>' de l'eau est de 22°C.

$$\Delta T = T - T_0 = \frac{t P}{1.1625.V} \quad (3.15)$$

▪ **Agitateur**

Le module agitateur se compose de l'actionneur (moteur) tournant à une vitesse ( $\omega$ ) et d'un arbre à hélice du type de celui utilisé pour mélanger les peintures.

➤ Equation électrique

L'équation électrique du stator et du rotor est donnée par l'équation (3.16) et (3.17) respectivement lorsque le moteur atteint une vitesse nominale délivrant une fcm  $e = k\phi\omega$ .

$$\mu_s = R_s i_s + L_s \frac{di_s}{dt} \quad (3.16)$$

$$\mu_r = R_r i_r + L_r \frac{di_r}{dt} + e \quad (3.17)$$

➤ Equation mécanique

L'équation (3.18) est obtenue en appliquant le principe fondamental de dynamique aux corps en rotation.

$$J \frac{d\omega}{dt} = C_e - C_f + C_r \quad (3.18)$$

▪ **Modèle mathématique d'un moteur électrique de l'agitateur**

En regroupant les différentes équations régissant le fonctionnement du moteur, on obtient le système ci-dessous :

$$\begin{cases} \frac{di_s}{dt} = \frac{R_s}{L_s} i_s + \frac{1}{L_s} \mu_s \\ \frac{di_r}{dt} = \frac{R_r}{L_r} i_r + \frac{kL_s}{L_r} i_s \omega \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{f}{J} \omega + \frac{kL_s}{J} i_s i_r - \frac{1}{J} C_r \end{cases} \quad (3.19)$$

Nous remarquons que le modèle obtenu est non linéaire et du troisième ordre.

▪ **Modèle mathématique de l'ensemble (Réservoir, Agitateur)**

La modélisation de l'ensemble « Réservoir-Agitateur » est obtenue en appliquant les lois de conservation de masse d'un fluide ayant une masse volumique  $\rho$  (Eq (3.20)) et d'énergie (Eq (3.21)).

$$\rho q_e - \rho q_s = \rho S \frac{dh}{dt} \quad (3.20)$$

$$\rho q_e c \theta - \rho q_s c \theta + P = \rho S \frac{dh}{dt} c \theta \quad (3.21)$$

Le tableau 3.7 donne les paramètres de notre station est donnés

**Tableau 3.7 :** Paramètres de la station réacteur.

Paramètres	Désignation	Valeurs
Section du réservoir	S	36100mm <sup>2</sup>
Chauffage	P	P : 0 à 1000 W, 230 V CA
Pression de service maximale dans les tuyauteries		50 kPa (0,5 bar)
Système de tuyauteries flexibles		DN15 (Øa 15 mm)
Agitateur (0 à 24 V CC)		Tension de commande : 0 à 10 V CC)
Tension d'entrée des différentes pompes	$\mu(V)$	24VCC
Plage de fonctionnement de la boucle de température	T	0 °C à + 60 °C
Gamme de mesure du capteur de température		-50 °C...+150 °C
Signal du capteur de mesure de température	T	Résistance Pt100
Alimentation de la station réacteur		24VCC /4.5A
Débit de la pompe	Q	0 à 6l/mn
Rapport cyclique (gain de la pompe)	A	0 à 100%
Gamme de mesure de capteur de niveau (réservoir de la station réacteur)		150 à 500 mm

### 3.7.3. Détermination des paramètres du régulateur PID

Pour la détermination des paramètres du régulateur, nous allons suivre la même méthodologie entreprise pour réguler le niveau d'eau dans le réservoir cible de la station de remplissage.

Dans ce paragraphe, nous allons aussi s'intéresser à la régulation du niveau du réservoir contenant le réacteur. Nous avons constaté que tout le système repose sur le niveau d'eau dans le réservoir car même pour refroidir le liquide, il faut ajouter du liquide froid du réservoir source de la station précédente au biais de la pompe.

Il faut savoir aussi que les mêmes hypothèses sont prises que ce soit les pertes de charges et la non influence du réservoir source. On a constaté aussi que le système de chauffage est plus lent que le système de remplissage et indépendant de ce système. Donc, il faut en premier temps

réguler le niveau désiré du réservoir et puis réguler sa température. Pour cette raison, nous avons jugé que c'est plus réaliste de donner l'exemple de choix des paramètres du régulateur de niveau du réservoir.

### 3.7.3.1. Fonction de transfert de la station réacteur

D'après les équations (3.13) et (3.14), le modèle mathématique de remplissage du réservoir de la station réacteur ainsi que du débit fourni par la pompe utilisée pour alimenter ce réservoir sont comme suit :

$$S \frac{dh}{dt} - qe_1 + qs_2 = 0 \quad (\text{Réservoir cible})$$

$$qe_1 - \alpha \mu_1 = 0 \quad (\text{débit délivré par la pompe})$$

Le débit d'entrée  $qe_1$  varie avec la vitesse de la pompe qui est ajustée par le paramètre  $\alpha$  (rapport cyclique) pour remplir le réservoir cible.

Le schéma bloc de la Figure 3.23 représente le schéma Simulink utilisé pour déterminer les performances de notre régulateur PI intégré pour réguler la hauteur du réservoir de la station du réacteur.

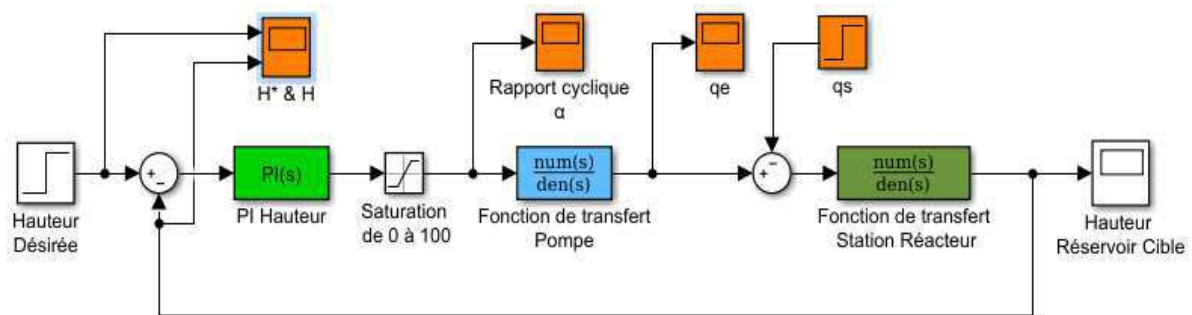


Figure 3.23: Schéma Simulink de notre process intégrant le régulateur PI.

Autres choses importantes, on a constaté, d'après le débit de la pompe et la pression au niveau de la conduite, les pertes de charge (singulière et linéaire) sont négligeables, alors le système devient simple à contrôler.

### 3.7.3.2. Calcul et choix des paramètres du régulateur

D'après les paramètres donnés dans de tableau 3.2, les deux fonctions de transfert sont représentées comme suit :

- Fonction transfert Pompe :  $\text{num}(s) = [1]$ ,  $\text{denum}(s) = [0, 1]$ , qui correspond à un débit de  $1\text{cm}^3$  pour un rapport cyclique  $\alpha = 1\%$  ( $Q = 0$  à  $6\text{L/s}$  pour une tension =  $0$  à  $10\text{V}$  au niveau du tableau 3.7),
- Fonction de transfert Station Réacteur :  $\text{num}(s) = [1]$ ,  $\text{denum}(s) = [154, 0]$ , qui correspond à un réservoir ayant une base d'une surface de  $161\text{ cm}^2$  ( $S_2 = 36100\text{ mm}^2$  dans le tableau 3.7).

Aussi, la même procédure est suivie pour déterminer les paramètres du PI en imposant les valeurs de  $\omega$  (pulsation propre et  $\zeta$  (l'amortissement)).

En introduisant le régulateur dans notre process, la fonction de transfert en boucle fermé devient :

$$FTBF = \frac{K_p s + k_i}{s^2 + \frac{k_p}{S} s + \frac{k_i}{S}} \quad (3.22)$$

Sachant que ce système est lent ou très lent ayant le double de capacité que le réservoir de la station de remplissage et choisi totalement amorti, nous avons pris comme valeur :  $\omega_n = 0.13 \text{ rad/s}$  et  $\xi = 1$ . Après calcul, nous avons trouvé un  $k_p = 94$ .

Aussi, l'introduction de la saturation est très importante pour représenter le système dans son état réel car quelque soit la dynamique choisie, on ne peut pas dépasser le débit max fourni par la pompe (correspondant à  $\alpha = 100\%$ ), pour cela, il était difficile de déterminer  $K_i$  par calcul. Pour cela, on a imposé  $K_p$  et par la méthode essai-erreur, nous avons trouvé un  $K_i = 0.01$ .

La figure 3.24 représente la réponse de notre système, utilisant Matlab-Simulink en prenant les paramètres choisis et calculés. La réponse obtenue montre le bon choix des paramètres du PI et aussi elle donne aussi une information sur la lenteur de notre système qui dépend essentiellement du débit de la pompe.

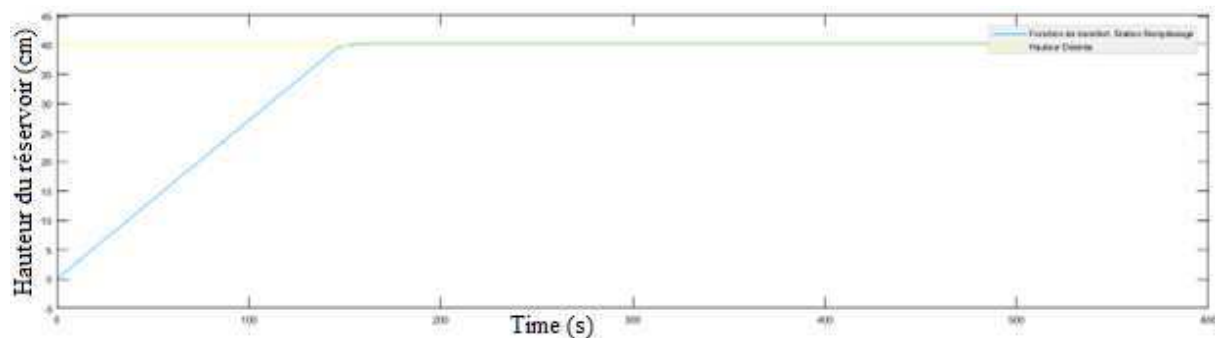


Figure 3.24 : Réponse du système régulé obtenue par Matlab-Simulink (Station Réacteur).

Les différents paramètres du régulateur PI sont introduits dans l'IHM développé afin de réguler le niveau du réservoir qui sera visualisé le même IHM.

### 3.7.4. Modélisation par bond graph de la station réacteur AFB de FESTO

#### 3.7.4.1. Argumentation de la modélisation

Le système à modéliser possède un comportement non linéaire dû principalement au couplage de différents phénomènes de natures diverses. Nous sommes en effet en présence d'énergie - hydraulique (écoulement du fluide dans les conduites) - électrique (alimentation du chauffage) - thermique (échanges thermiques) - mécanique (pompes, agitateur).

Un autre phénomène qui entre en jeu est la dynamique du niveau d'eau qui joue un rôle important dans la modélisation du chauffage en raison du phénomène de gonflement et de tassement. Celui-ci est dû à la variation de la température. Par conséquent, un modèle physique non linéaire de ces phénomènes a été obtenu par une approche bond graph. Ce phénomène introduit les difficultés de mesures du niveau bien connues des industriels.

### 3.7.4.2. Modélisation pseudo bond graph de la station réacteur AFB de FESTO

Le bond graph à mots de la station réacteur est composé de cinq parties : réservoir réacteur, la pompe de refroidissement et la pompe de transfert vers la station suivante, la conduite, le chauffage et un agitateur.

Le système est caractérisé par un couplage de trois énergies : électrique, hydraulique et thermique. Les variables utilisées pour représenter le système sont basées sur la modélisation en pseudo bond graph. La partie hydraulique est caractérisée par le débit  $q$  : un débit d'entrée d'eau est considéré  $q_e$  et un débit de sortie est considéré  $q_s$ . Tandis que la partie électrique est représentée par la tension d'alimentation  $\mu$ , la partie thermique est représentée par la température  $T$  mesuré.

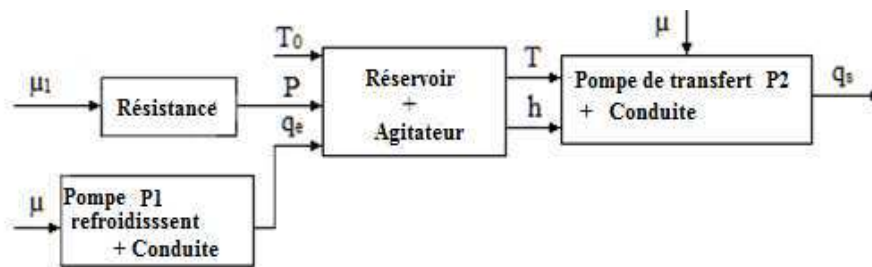


Figure 3.25 : Bond graph à mots de la station réacteur.

### 3.7.4.3. Modélisation de la station réacteur avec régulation du niveau et de température

La station réacteur de AFB de FESTO consiste au réservoir cylindrique alimente en eau par une pompe. Le régulateur de niveau (LC) agit sur la pompe pour maintenir le niveau d'eau constant dans le réservoir. L'eau dans ce dernier est chauffée par une résistance thermique et sa température est contrôlée par le régulateur (TC) en agissant sur la source thermique. Le processus est constitué des capteurs : de niveau  $L$ , de température du réservoir  $T$ . Ces capteurs de niveau et de température sont utilisés pour réguler respectivement le niveau et la température de l'eau de la station réacteur.

La station réacteur de AFB de FESTO décrit par le modèle bond graph couplés caractérisés par la mise en œuvre deux énergies : thermique et fluide. Ces systèmes sont appelés processus thermo fluides. La station réacteur du système AFB de FESTO a été modéliser par le logiciel 20-Sim.

Le modèle bond graph représente la partie énergétique du système. Le processus est modélisé généralement par les éléments bond graph usuels « R, C, I, et les jonctions ». Les actionneurs « source électrique, source thermique, ... » sont modélisés par des sources « d'effort ou/et de flux ». Les sources peuvent être simples « Se, Sf » ou modulées « MSe, MSf », c'est-à-dire commandées par un signal externe fourni par un contrôleur ou un opérateur. Les capteurs et le système de commande forment le système d'information. Dans le premier système (énergétique), la puissance échangée est représentée par une demi-flèche (un lien de puissance)

traduite par les variables d'effort et de flux. Dans le second système (système d'information) la puissance échangée est négligeable, elle est alors représentée par un lien d'information (flèche) qui est le même utilisé dans les blocs diagrammes classiques.

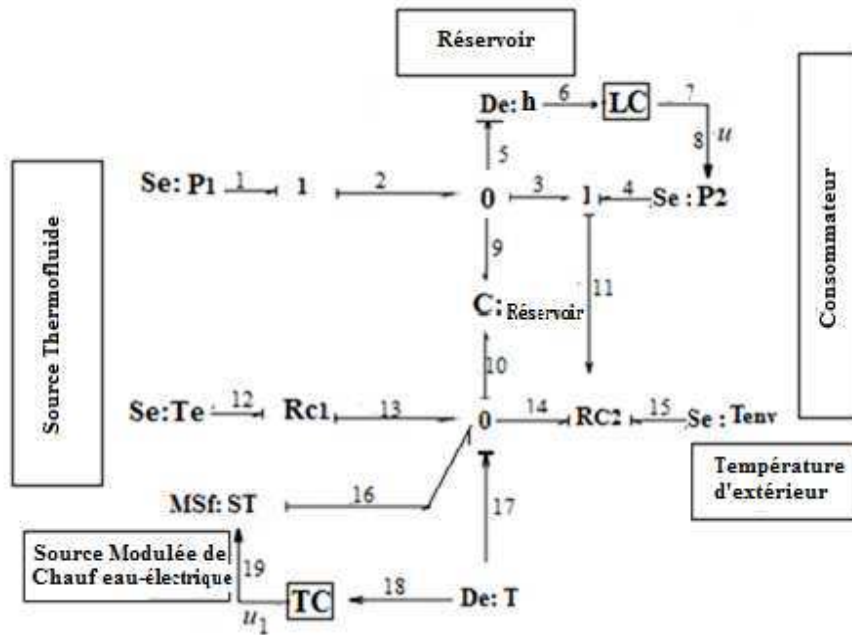


Figure 3.26: Modèle bond graph avec causalité dérivée de la station réacteur du AFB de FESTO.

### 3.7.4.4. Application du modèle bond graph sur logiciel 20 Sim

La figure 3.27 montre le modèle bond graph de la station réacteur est présenté sous logiciel 20 Sim.

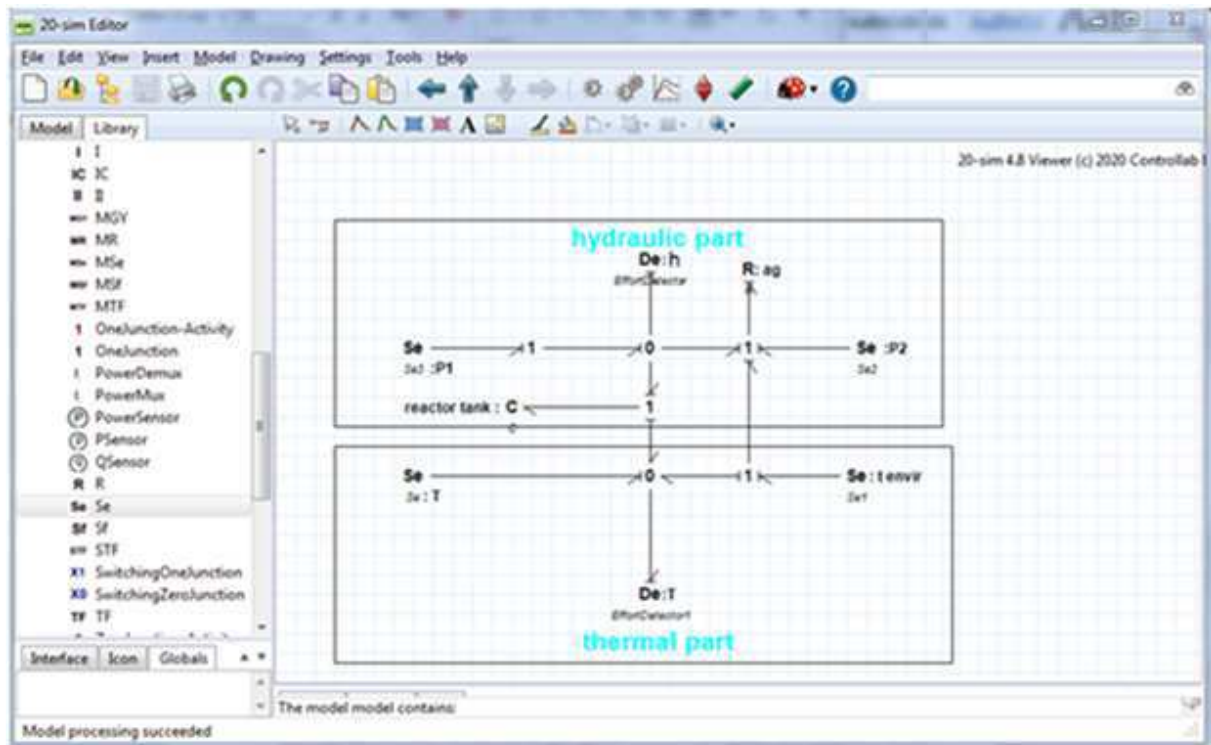


Figure 3.27 : Modèle bond graph de la station réacteur de AFB de FESTO par logiciel 20-Sim.

D'après la modélisation graphique à mot (figure 3.25) et la modélisation en Bond graph de la station réacteur (figure 3.26 et figure 3.27), nous remarquons que les paramètres spécifiques de cette station sont : régulateur de niveau LC avec un capteur de niveau analogique h et le régulateur de température TC avec un capteur analogique de température T, ainsi que 02 sources d'énergie : source thermique, source hydraulique et les débits ( $q_e$ ), ( $q_s$ ).

### 3.8. Supervision de la station réacteur AFB de FESTO

Avant de commencer le développement de l'IHM, nous avons étudié le programme STEP7 de la station réacteur avec la régulation de niveau, la régulation de la température et déterminer toutes les adresses des variables du programme.

#### 3.8.1. Acquisition des données

Dans cette partie, nous allons introduire la base de données en temps réel qui est une nouvelle approche pour présenter les données de la station réacteur afin de faciliter le contrôle du modèle du système AFB de FESTO.

Le tableau 3.8 représente la base de données du système en arrêt avant le chargement de la station réacteur du AFB de FESTO en introduisant des valeurs initiales : du débit de sortie, du débit d'entrée, le niveau pour le réservoir réacteur, la section du réservoir et les paramètres du régulateur de niveau et de température.

**Tableau 3.8 :** Base de données en arrêt de la station réacteur du AFB de FESTO.

Adresse	Nom	Type	Valeur initiale	Commentaire
0.0		STRUCT		
+0.0	Reservoirreacteur	STRUCT		
+0.0	debitdentre	REAL	1.000000e-001	0-0.1L/s
+4.0	debitdesortie	REAL	1.000000e-001	0-0.1L/s
+8.0	sectiondureservoir	REAL	3.610000e+004	
+12.0	niveaumaxdureservoir	REAL	8.000000e+001	80%
+16.0	niveaumindereservoir	REAL	3.000000e+001	30%
+20.0	niveautempsreel	REAL	0.000000e+000	0-10L
+24.0	VOLUMEDEAUMENTRANT	REAL	0.000000e+000	
=28.0		END_STRUCT		
+28.0	pompederefroidissement	STRUCT		
+0.0	debitmaxdupompe	REAL	1.700000e-001	DEBIT MAX DE POMPE =10.6L/MIN=0.171/sec
+4.0	debitdentre	REAL	0.000000e+000	DEBIT DE POMPE 0-6L/min=0-0.1L/SEC
+8.0	debitdesortie	REAL	0.000000e+000	DEBIT DE POMPE 0-6L/min=0-0.1L/SEC
+12.0	debitper	INT	0	0%-100%
=14.0		END_STRUCT		
+42.0	mixeurdereacteur	STRUCT		
+0.0	ladureededagitation	TIME	T#25	
=4.0		END_STRUCT		
+46.0	heater	STRUCT		
+0.0	temperatureentempsreel	REAL	0.000000e+000	
+4.0	lapuissancedechauffage	REAL	2.000000e+002	
+8.0	volumer	REAL	0.000000e+000	

+58.0	REGULATIONDETEMPERATURE	STRUCT		
+0.0	manon	BOOL	FALSE	
+0.1	PEVPERON	BOOL	TRUE	
+0.2	PSEL	BOOL	TRUE	
+0.3	ISEL	BOOL	TRUE	
+0.4	DSEL	BOOL	TRUE	
+2.0	CYCLE	TIME	T#100MS	
+6.0	consigne	REAL	0.000000e+000	0%-100%
+10.0	cpT	WORD	W#16#0	0-27648
+12.0	man	REAL	1.000000e+000	
+16.0	kp	REAL	1.000000e+000	
+20.0	ti	TIME	T#2MS	
+24.0	td	TIME	T#1MS	
+28.0	COMMANDEDEchaufage	REAL	0.000000e+000	0%-100%
+32.0	VALREALTEMPERATURE	REAL	0.000000e+000	0C°-60C°
+36.0	ereur	REAL	0.000000e+000	ereur =consigne-CPN
+40.0	CP	REAL	0.000000e+000	
+44.0	CD	REAL	0.000000e+000	
+48.0	CI	REAL	0.000000e+000	
+52.0	temperaturedeareel	REAL	0.000000e+000	0%-100% (0-60C°)
+56.0	volumedeauentempreal	REAL	0.000000e+000	
+60.0	pt	REAL	0.000000e+000	
=64.0		END_STRUCT		
+122.0	FID	STRUCT		
+0.0	manon	BOOL	FALSE	
+0.1	PEVPERON	BOOL	TRUE	
+0.2	PSEL	BOOL	TRUE	
+0.3	ISEL	BOOL	TRUE	
+0.4	DSEL	BOOL	TRUE	
+2.0	CYCLE	TIME	T#100MS	
+6.0	consigne	REAL	0.000000e+000	0%-100%
+10.0	cpn	WORD	W#16#0	0-27648
+12.0	man	REAL	1.000000e+000	
+16.0	kp	REAL	1.000000e+000	
+20.0	ti	TIME	T#2MS	
+24.0	td	TIME	T#1MS	
+28.0	COMMANDEDEPOMPE	REAL	0.000000e+000	0%-100%
+32.0	VALREALPOMPE	REAL	0.000000e+000	0L/MIN-6L/MIN
+36.0	ereur	REAL	0.000000e+000	ereur =consigne-CPN
+40.0	CP	REAL	0.000000e+000	
+44.0	CD	REAL	0.000000e+000	
+48.0	CI	REAL	0.000000e+000	
+52.0	niveaudeerearREACTION	REAL	0.000000e+000	0%-100% (0-3l)
=56.0		END_STRUCT		
=178.0		END_STRUCT		

Le tableau 3.9 de la page suivante représente la base des données en cours de chargement de la station réacteur du AFB de FESTO avec une commande de consigne à 80% du niveau de réservoir réacteur et une consigne de température de 30 C° sachant que la température initiale de l'eau est à 22 C°.

Tableau 3.9 : Base de données en cours de chargement de la station réacteur du AFB de FESTO.

Adresse	Nom	Type	Valeur initiale	Valeur en cours	Commentaire
0.0	Reservoirreacteur.debitdesortie	REAL	1.000000e+001	0.0	0-0.1L/S
4.0	Reservoirreacteur.debitdesortie	REAL	1.000000e+001	0.0	0-0.1L/S
8.0	Reservoirreacteur.sectiondureserveiro	REAL	3.610000e+004	0.0	
12.0	Reservoirreacteur.niveausensadareserveiro	REAL	8.000000e+001	81.0	80%
16.0	Reservoirreacteur.niveausindirectesv0.1r	REAL	3.000000e+001	31.0	30%
20.0	Reservoirreacteur.niveausenspiereel	REAL	0.000000e+000	0.0	0-10%
24.0	Reservoirreacteur.VOLUMEHAUZEZEAU	REAL	0.000000e+000	0.0	
28.0	pompe derefroissement.debitmaxd pompe	REAL	1.700000e+001	0.0	DEBIT MAX DE POMPE =10.6L/MIN
32.0	pompe derefroissement.febitdesortie	REAL	0.000000e+000	0.0001000000	DEBIT DE POMPE 0-6L/min=0.01
36.0	pompe derefroissement.debitdesortie	REAL	0.000000e+000	0.0	DEBIT DE POMPE 0-6L/min=0.01
40.0	pompe derefroissement.debitper	INT	0	0	04-1004
42.0	mixeurde reacteur.ladurededepagation	TIME	T#2S	T#0ms	
46.0	heater.temperaturesenspiereel	REAL	0.000000e+000	0.0	
50.0	heater.lapaisseurdechauffage	REAL	2.000000e+002	2.0	
54.0	heater.volumer	REAL	0.000000e+000	2.0	
58.0	REGULATIONDETEMPERATURE.mason	BOOL	FALSE	FALSE	
58.1	REGULATIONDETEMPERATURE.FEYERON	BOOL	TRUE	TRUE	
58.2	REGULATIONDETEMPERATURE.FSEL	BOOL	TRUE	TRUE	
58.3	REGULATIONDETEMPERATURE.ISEL	BOOL	TRUE	TRUE	
58.4	REGULATIONDETEMPERATURE.DSEL	BOOL	TRUE	TRUE	
60.0	REGULATIONDETEMPERATURE.CYCLE	TIME	T#100ms	T#100ms	
64.0	REGULATIONDETEMPERATURE.consigne	REAL	0.000000e+000	31.0	04-1004
68.0	REGULATIONDETEMPERATURE.cpt	WORD	W#1610	W#16#0.96	0-27040
70.0	REGULATIONDETEMPERATURE.mah	REAL	1.000000e+000	1.0	
74.0	REGULATIONDETEMPERATURE.kp	REAL	1.000000e+000	1.0	
78.0	REGULATIONDETEMPERATURE.ti	TIME	T#2MS	T#2ms	
80.0	REGULATIONDETEMPERATURE.VALEURTEMPERATURE	REAL	0.000000e+000	0.0	0C°-100°
84.0	REGULATIONDETEMPERATURE.errm	REAL	0.000000e+000	0.0	erreur °consigne-CPI
88.0	REGULATIONDETEMPERATURE.CP	REAL	0.000000e+000	-1.1201575	
102.0	REGULATIONDETEMPERATURE.CB	REAL	0.000000e+000	-1.1361654	
106.0	REGULATIONDETEMPERATURE.CI	REAL	0.000000e+000	81.13896	
110.0	REGULATIONDETEMPERATURE.temperaturesenspiereel	REAL	0.000000e+000	81.12016	04-1004 (0-600°)
114.0	REGULATIONDETEMPERATURE.valeurdebase:temp.cval	REAL	0.000000e+000	0.0	
118.0	REGULATIONDETEMPERATURE.pt	REAL	0.000000e+000	0.0	
122.0	PID.mason	BOOL	FALSE	FALSE	
122.1	PID.FEYERON	BOOL	TRUE	TRUE	
122.2	PID.FSEL	BOOL	TRUE	TRUE	
122.3	PID.ISEL	BOOL	TRUE	TRUE	
122.4	PID.DSEL	BOOL	TRUE	TRUE	
124.0	PID.CYCLE	TIME	T#100ms	T#100ms	
128.0	PID.consigne	REAL	0.000000e+000	31.0	04-1004
132.0	PID.cpt	WORD	W#1610	W#16#5164	0-27040
134.0	PID.mah	REAL	1.000000e+000	1.0	
138.0	PID.kp	REAL	1.000000e+000	1.0	
142.0	PID.ti	TIME	T#2MS	T#2ms	
146.0	PID.td	TIME	T#1MS	T#1ms	
150.0	PID.COMMUNDEPOMPE	REAL	0.000000e+000	13.75416	04-1004
154.0	PID.VALEURALPOMPE	REAL	0.000000e+000	0.0	0L/MIN-6L/MIN
158.0	PID.errm	REAL	0.000000e+000	0.00612251	erreur °consigne-CPI
162.0	PID.CP	REAL	0.000000e+000	0.00612251	
166.0	PID.CB	REAL	0.000000e+000	0.0	
170.0	PID.CI	REAL	0.000000e+000	13.70567	
174.0	PID.valeurdebase:REACTION	REAL	0.000000e+000	79.89192	04-1004 (0-21)

D'après la table des données (tableau 3.9), nous remarquons que :

- Les données définies au niveau de cette table sont bien organisées car pour chaque équipement ou bien appareil nous avons un début et fin de structure,
- L'acquisition des données précis et spécifique pour le système étudié,

- On peut obtenir des données historiques du système étudié,
- On peut prendre des valeurs même si le système est en cours de chargement,
- L'adressage des variables se fait de manière automatique donc on n'a pas des erreurs ou des problèmes d'adressage
- Utilisation des données optimale pour le système étudié
- Table des variables en temps réel

### 3.8.2. Paramètres optimaux

D'après la base des données, les données optimales choisies pour la station réacteur de AFB de FESTO sont : le niveau, le débit, la température, la commande de chauffage et la commande de pompe, englobées dans le tableau 3.10.

**Tableau 3.10** : Paramètres choisis de la station réacteur.

Paramètres choisis	Valeurs correspondantes
Niveau du réservoir réacteur	10L
Coefficient de commande de pompe	0-100%
Coefficient de commande du chauffage	0-100%
Débit d'entrées au réservoir réacteur	0.1L /S
Débit de sortie du réservoir réacteur	0.0025L /S
Température initiale	22C°

Dans un premier temps, nous avons validé en temps réel un modèle dynamique 'Bond Graph' pour définir les paramètres spécifique au système thermofluide du AFB de FESTO et nous avons conclu que les paramètres choisis par la modélisation graphique bond graph sont exactement les mêmes paramètres déduit par la base des données qui est une nouvelle approche dans la phase d'acquisition des données ce qui est prouvé que ces paramètres choisis sont les paramètres optimaux de la station réacteur de système AFB de FESTO.

Il nous reste maintenant le développement d'une interface homme machine spécifique et optimale de la station réacteur du système AFB de FESTO. Pour cela, dans la phase d'acquisition des données, nous avons défini les paramètres spécifiques et optimaux du système AFB de FESTO afin de les introduire dans l'IHM développée en intégrant deux contrôleur PID pour la régulation du « Niveau, Température » de la station réacteur de système MPS PA du AFB de FESTO.

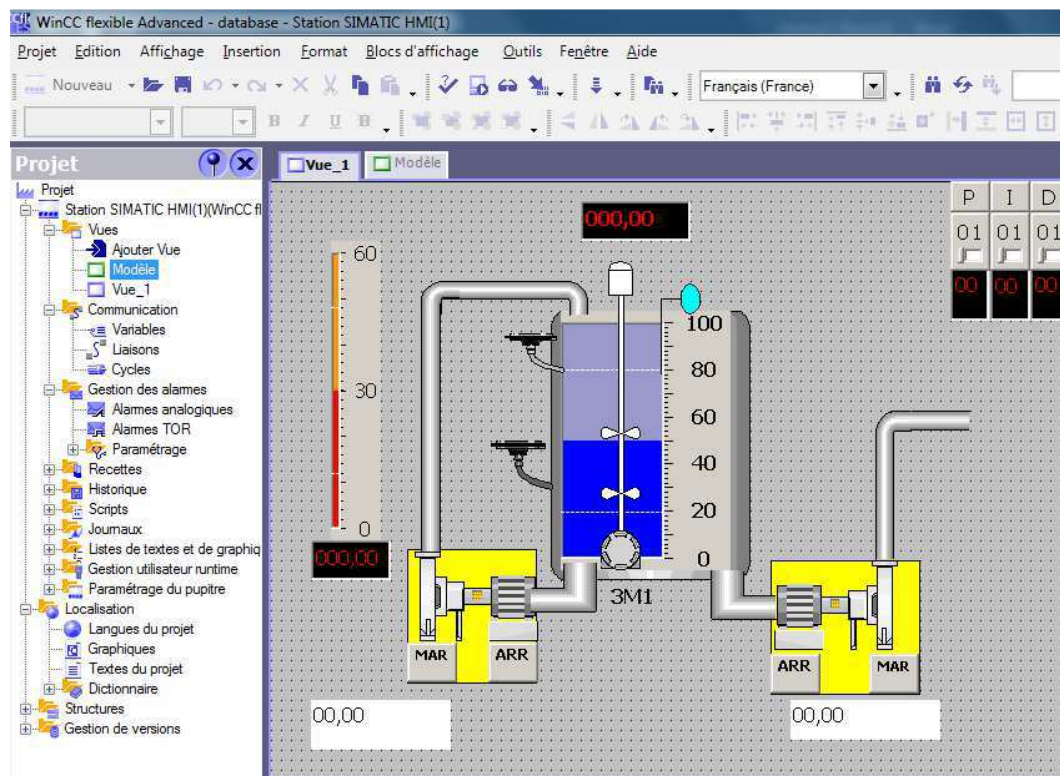
### 3.8.3. Développement de l'IHM de la station réacteur du système AFB de FESTO

Les stations du système AFB de FESTO utilisent des automates de type S7-314C-2PN/DP de siemens programmés et configurés par le logiciel SIMATIC Manager STEP7 V5.5. Pour

développer notre IHM de la station réacteur, nous allons utiliser le logiciel de supervision, de commande et d'acquisition des données SIMATIC WINCC Flexible. Dans cette partie, nous allons montrer et expliquer les différentes étapes de la création de l'IHM ainsi que les simulations que nous avons fait en utilisant le simulateurs PLCsim de STEP7 et le simulateur Runtime de WINCC pour vérifier le fonctionnement de L'IHM développée. Pour assurer la communication entre l'automate et l'IHM, nous avons utilisé un réseau basé sur 'Ethernet Industriel'.

Dans cette interface, nous allons utiliser un réservoir cylindrique, une pompe de transfert, une pompe de refroidissement, un chauffage, des capteurs TOR, un capteur analogique de niveau et de température, un régulateur de niveau PID, un régulateur de température PID pour représenter la station réacteur de AFB de FESTO.

La figure 3.28 représente l'interface de l'IHM qui supervise et contrôle la station réacteur du AFB de FESTO.



**Figure 3.28 :** IHM de la station réacteur du système AFB de FESTO.

Les figures 3.29 et 3.30 présentent la représentation graphique de la station réacteur qui supervise et contrôle le niveau et la température de la station réacteur de AFB de FESTO en mode Stop. Nous remarquons très bien qu'en mode Stop, le réservoir réacteur est vide et tous les actionneurs et les capteurs sont à l'arrêt.

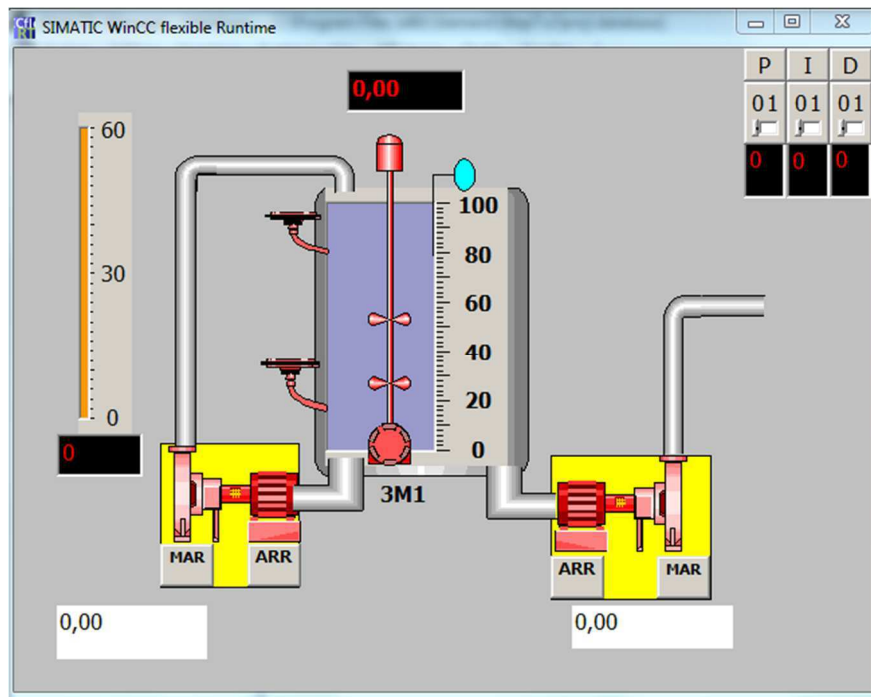


Figure 3.29 : IHM de la station réacteur du AFB de FESTO en mode Arrêt.

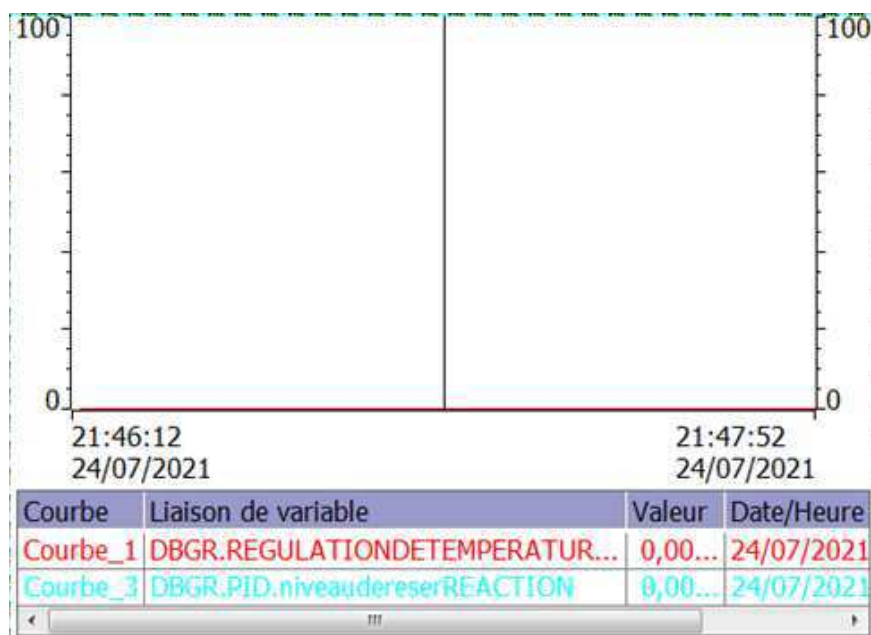


Figure 3.30 : IHM de la station réacteur du AFB de FESTO en mode Arrêt.

Les figures 3.31 et 3.32 représentent l'IHM qui supervise et contrôle la station réacteur en mode Run. Nous remarquons très bien que tous les capteurs et les actionneurs sont en arrêt lorsque le réservoir atteint la consigne demandée et le capteur de niveau minimum est atteint (niveau minimum est moins de 30% du réservoir réacteur), le chauffage en arrêt avec une température initiale T0 à 22°C.

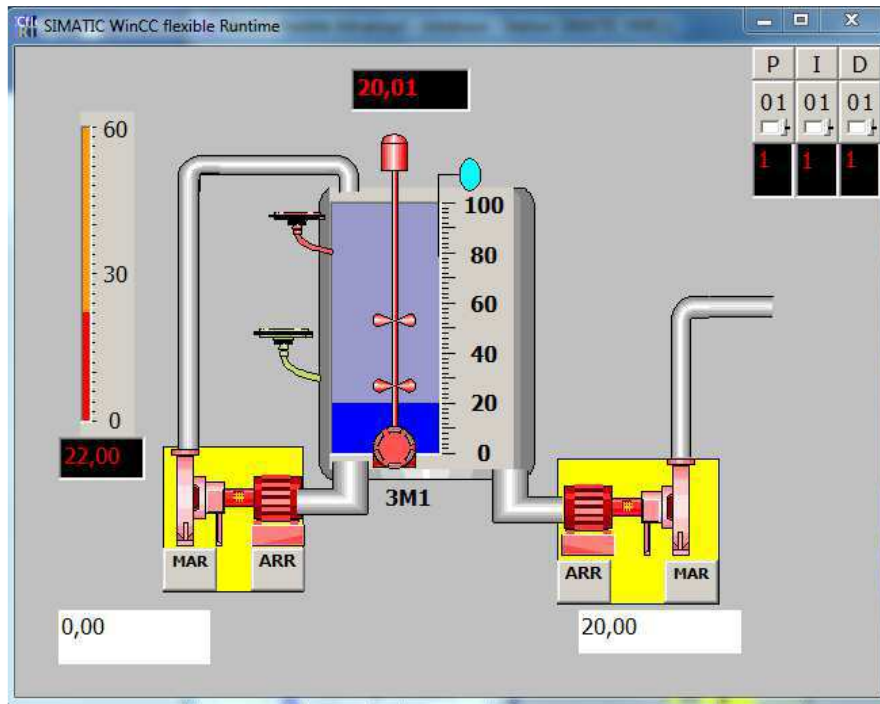


Figure 3.31 : IHM de la station réacteur de AFB de FESTO en mode Run.



Figure 3.32 : IHM de la station réacteur de AFB de FESTO en mode Run.

Les figures 3.33 et 3.34 représentent l'interface graphique d'IHM qui supervise et contrôle la station réacteur de AFB de FESTO en mode de simulateur RUN de WINCC Flexible. On remarque très bien que le couple « niveau, température » atteint la consigne demandée sans erreurs.

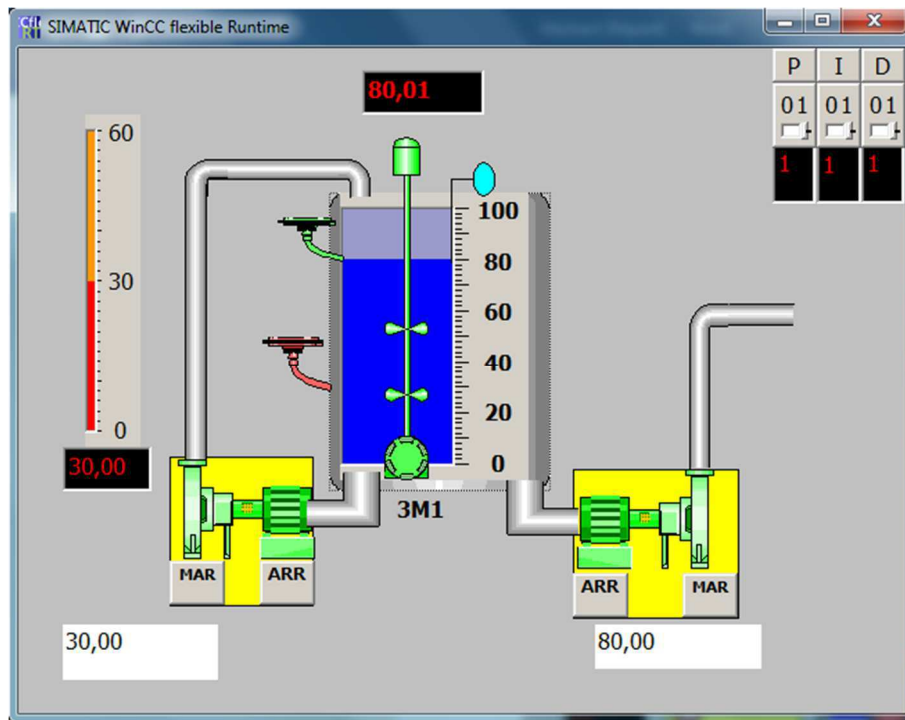


Figure 3.33 : IHM de la station réacteur de AFB de FESTO en mode Run.

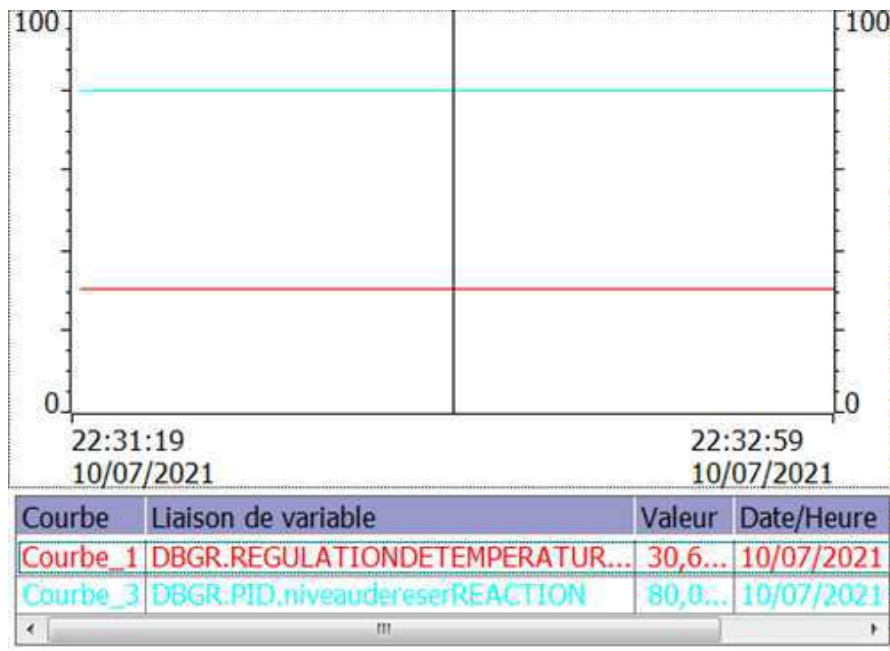


Figure 3.34 : IHM de la station réacteur de AFB de FESTO en mode Run.

On remarque très bien que le capteur qui détecte le niveau minimum est en arrêt et le capteur qui détecte le niveau maximum est actif. Aussi, les actionneurs sont en marche afin d’atteindre la consigne « niveau, température » demandée (niveau maximum 80%) pour envoyer l’eau vers la station suivante.

Pour un travail en perspective, les deux IHM de la figure 3.35 et 3.36 ont été développées mais aucun test n’a été réalisé sur ces deux stations ni en réel, ni en simulation.

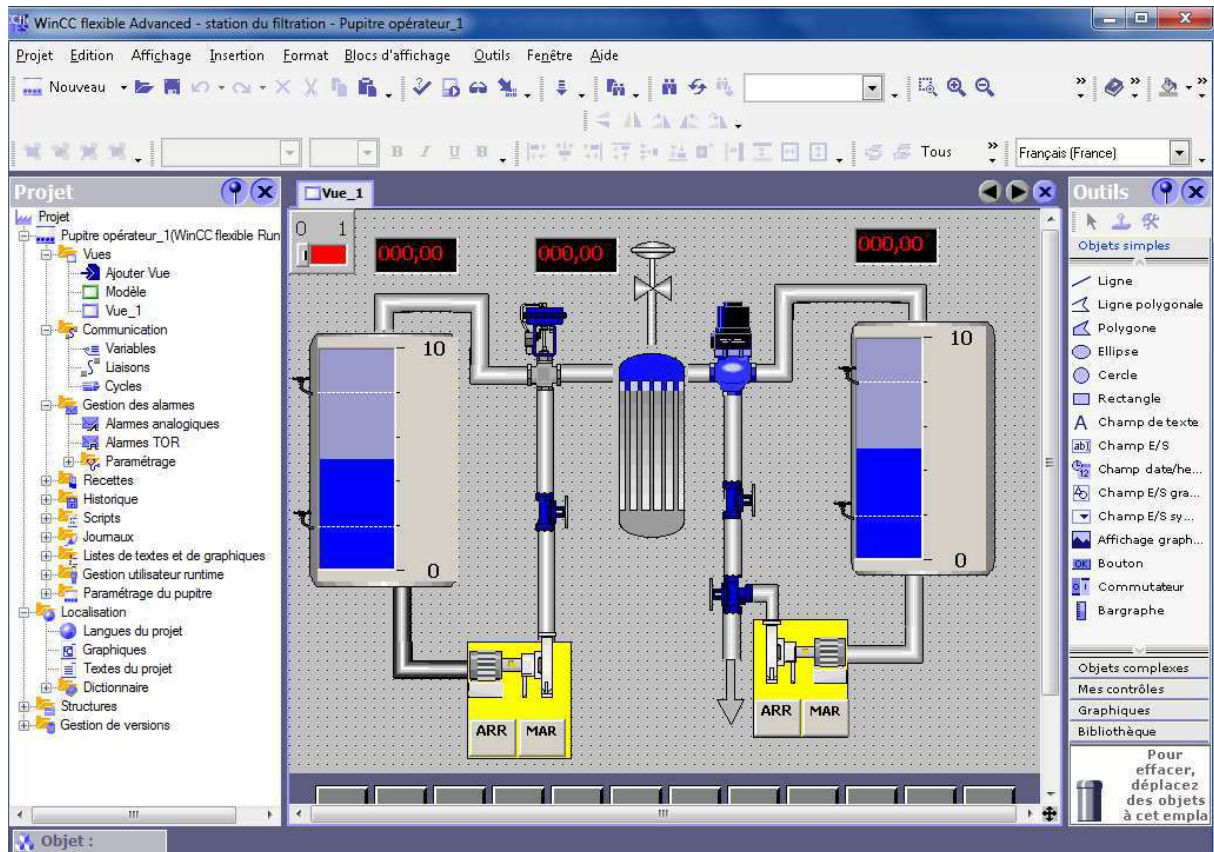


Figure 3.35 : IHM de la station de filtrage du système AFB de FESTO.

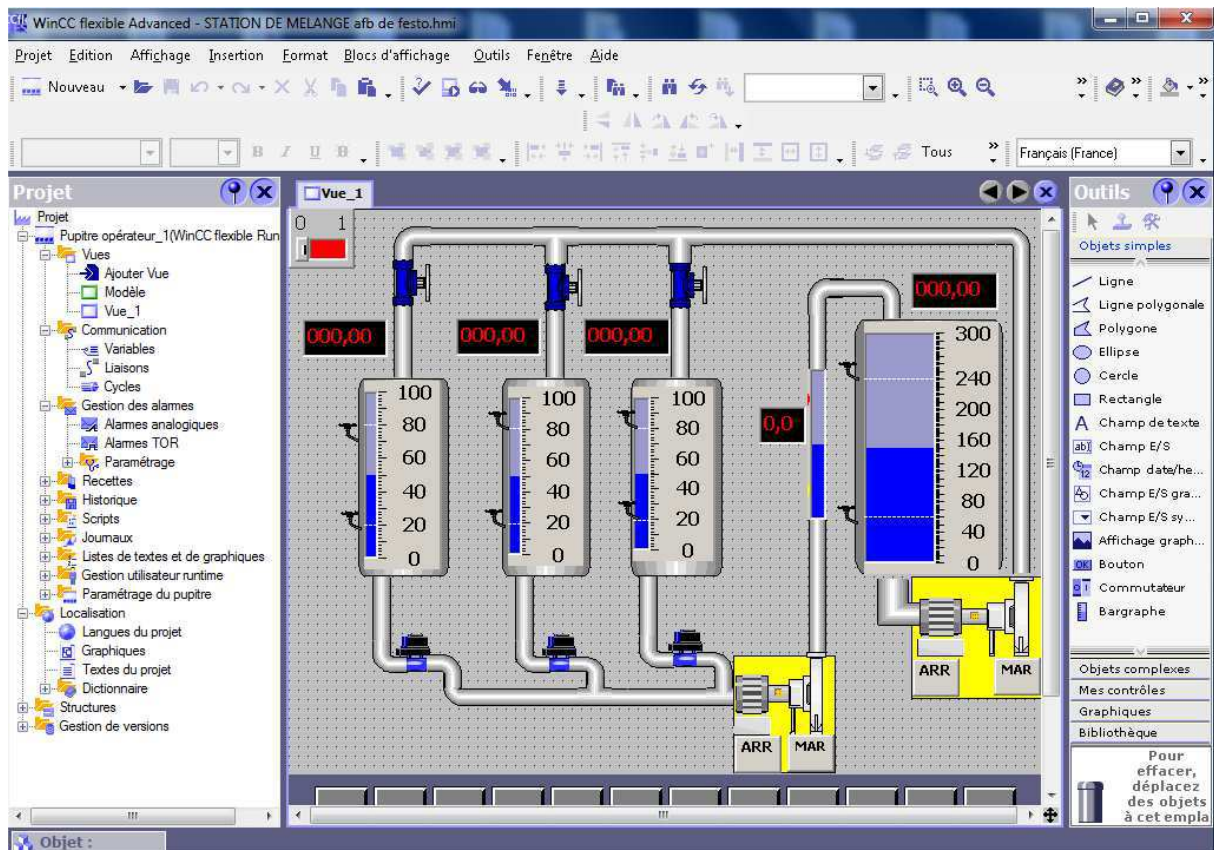


Figure 3.36 : IHM de la station de mélange du système AFB de FESTO.

### 3.8.4. Résultats et discussions

L'interface homme-machine (IHM) de la station réacteur de AFB de FESTO a été réalisé, les résultats obtenus sont implémentés dans un environnement SCADA. Après le développement de l'IHM, nous avons procédé à la phase de validation des résultats obtenus à partir de la de la simulation en faisant une phase d'expérimentation sur le modèle obtenu en temps réel, dans laquelle nous avons utilisé une base des données optimale dans la phase d'acquisition des données , les résultat et les valeurs obtenus avec l'utilisation de la bases des données est les plus précis et les plus compatible au fonctionnement de la station réacteur du système réel AFB de FESTO, les résultats démontrent que la supervision de la station réacteur de AFB de FESTO basé sur la base des données présente une efficacité de commande élevée et une réponse rapide et donner l'avantage du générer des données historiques du système étudier dans notre cas le système réel AFB de FESTO qui permet de faire des prévisions , des études et des prédiction plus complètes sur le comportement du système.

Les fonctions spécifiques de l'IHM réalisée de la station réacteur avec le logiciel WinCC Flexible sont comme suit :

- Mise en service de la station réacteur du système MPS PA
- Analyse des composants du processus et boucles de régulation d'une station MPS PA
- Observer et analyser le cycle de processus du poste de travail
- Expérimentation, configuration et optimisation de agences de régulation ou pas du tout, P, PI ou PID)
- Analyse du comportement d'une boucle de régulation

On peut ajouter une remarque importante c'est que ces résultats peuvent être généralisés sur tous les stations du système MPS PA de AFB de FESTO.

D'après le travail effectué, les paramètres spécifiques et optimaux des stations restantes du système MPS PA sont pour le cas :

- De la station de filtrage : le niveau, la pression, la commande de filtre, la commande de la pompe et le régulateur,
- De la station de mélange : le niveau, le débit, la commande de la pompe, la commande de la vanne et le régulateur.

### 3.9. Comparaison entre l'ancien système et après la supervision

L'ancien système comporte :

- Ecran tactile de commande du mode « manuel/ automatique »,
- Mise en service simple du système MPS PA,
- Ecran tactile juste pour visualiser mais c'était impossible de modifier les consignes et de commander le système.

Le présent système avec IHM de supervision a comme option :

- La commande automatique de la station : on peut changer les consignes (niveau, température ...) et visualiser le système étudié en temps réel,
- La visualisation du fonctionnement en temps réel sur l'IHM de supervision,
- L'observation et l'analyse du cycle du processus en temps réel en suivant l'état de l'installation à chaque instant,
- L'IHM de supervision permet de faciliter la tâche de contrôle/commande du système étudié,
- Une garantie d'une bonne gestion et un bon fonctionnement de système MPS PA,
- La visualisation du système étudié en mode de simulation,
- L'IHM développée simplifie énormément la compréhension du fonctionnement,
- De donner le rôle principal de chaque station et permettre à l'opérateur d'avoir une vision immédiate de l'évolution du processus MPS PA dans le temps en analysant la séquence des états de fonctionnement,
- L'IHM graphique permet de visualiser graphiquement le système étudié et simplifie la supervision.

### 3.10. Perspectives

Comme perspective, nous pouvons citer comme tâche importante restante :

- La sécurisation de la partie réseau du système SCADA,
- Diagnostic du système MPS PA du AFB de FESTO,
- Prévisions et aussi la prédiction plus complète sur le comportement du système.
- Etude du programme Step 7 des stations restantes du système MPS PA de FESTO sachant qu'on a déjà développé des IHM de supervision SCADA en temps réel pour la station de filtration / mélange du système industriel MPS PA de AFB du FESTO.

### 3.11. Conclusion

La supervision est la fonction qui permet à l'opérateur d'avoir une vision immédiate et en temps réel de l'évolution des processus en analysant la séquence des états de fonctionnement.

Parmi les tâches principales de la supervision c'est la réalisation d'interface homme-machine IHM pour que les opérateurs puissent visualiser tous les composants d'un système et ainsi garantir son bon fonctionnement. Pour que l'IHM soit efficace, elle doit fournir à l'opérateur une image rapide et complète de l'ensemble du processus mettant en évidence l'état de l'évolution et les écarts inattendus (alarmes). Les systèmes SCADA sont le lien entre les opérateurs et les ingénieurs d'un côté et les systèmes modernes d'autre côté afin de prendre les bonnes décisions pour une meilleure gestion.

Dans ce chapitre nous avons exposé une méthode complète pour construire une IHM de supervision de la station de remplissage et la station réacteur du système AFB de FESTO via logiciel WinCC Flexible en se basant sur les données optimales et spécifique de la base de données liée au système AFB de FESTO. Ce travail nous a permis de faire la simulation du système en utilisant les deux simulateurs PLCSIM de SIMATIC STEP7 et RUNTIME de SIMATIC WinCC Flexible afin de visualiser le comportement réel de la station remplissage du système AFB et ainsi comparer les états des différents composants de cette dernière avec l'états des composants sur l'IHM développée en temps réel. Les résultats sauvegardés dans la base de données peuvent être utilisés comme un historique de la station afin de prévoir les pannes ou la maintenance de cette dernière et de prédire d'éventuelles erreurs ou défauts, ce qui va nous garantir une bonne gestion et bon fonctionnement de cette station.

**Chapitre IV**  
**Etude et Description du Système**  
**MPS 500 de FESTO**

## 4.1. Introduction

Les systèmes de supervision et de contrôle sont très importants pour la surveillance et la commande des systèmes industriels automatisés en temps réel. L'utilisation des systèmes SCADA et des IHM est devenu une nécessité pour la gestion des systèmes et des ateliers moderne de production dans plusieurs disciplines sachant beaucoup d'études et de recherches sont faites dans ce domaine. On trouve la supervision dans le monitoring, le contrôle et la commande des systèmes de gestion d'électricité afin de rendre ces stations et ces centres de distribution plus performants et plus fiables [1][2]. On trouve aussi les systèmes d'acquisition et de supervision de données SCADA dans les stations d'épuration des eaux qui vont nous permettre de bien superviser les stations d'épuration afin d'améliorer la qualité ainsi que l'optimisation de distribution de cette ressources primordiale [3][4]. Les systèmes SCADA sont aussi très utilisés dans l'industrie du pétrole et du gaz car ces dernières doivent assurer une production continue toutes en garantissant un niveau de sécurité très élevé ce qui oblige l'introduction d'un système de supervision temps réel comme la surveillance en permanence des pipelines des complexes pétrolier et gazier [5][6][7].

Les systèmes SCADA sont intégrés dans la gestion des informations des entreprises afin de maximiser l'efficacité envers le service public et répondre rapidement aux nouvelles exigences commerciales du marché [8][9][10]. On trouve aussi les systèmes de supervision dans tous les ateliers, cellules ou stations de travail modernes ainsi que dans les systèmes flexibles manufacturiers [11][12].

Les systèmes SCADA sont introduits dans le domaine des énergies renouvelables pour contrôler et suivre un prototype photovoltaïque [13][14]. Nous sommes en train aussi d'appliquer le SCADA pour la gestion d'énergie des bâtiments afin de minimiser le gaspillage d'énergie en contrôlant le système de ventilation, température, l'éclairage pour atteindre un objectif qui consiste une économie d'énergie rationnelles pour la réduction des émissions à effet de serre [15][16]. Aussi, on utilise le SCADA pour le diagnostic des défauts d'éoliennes afin d'améliorer leur fonctionnement pour réduire particulièrement le bruit engendré par un mauvais état d'éolienne [17]. En plus, on peut utiliser des approches comme théorie des preuves (D-S) appliqué à l'analyse des alarmes SCADA pour la gestion intelligente des parcs éoliens. Ainsi à l'aide de données enregistrées, on peut faire la prévision de la puissance des éoliennes pour la détection des anomalies dans la prédiction de l'énergie éolienne [18] [19]. Aussi, pour surveiller la durée de vie du matériel industriel comme les transformateurs (domaine électrique par exemple) afin de planifier les activités régulières de maintenance corrective [20][21].

Dans ce chapitre, notre travail s'articule sur la supervision des stations : de distribution, de contrôle, de manipulation, d'usinage et de tri du système automatisé de production moderne du MPS 500 de la marque FESTO. C'est un système didactique et de recherche qui contient plusieurs types des capteurs, d'actionneurs, de pré-actionneurs, d'automates programmables industriels et des moyens des communications [22]. Pour cela, nous allons présenter une méthode complète du développement d'IHM de supervision des stations : de distribution, de contrôle, d'usinage, de manipulation et de tri du système MPS 500 avec le logiciel WinCC de Siemens en utilisant les deux simulateurs S7-PLCSIM de SIMATIC STEP7 et RUNTIME de SIMATIC WinCC afin de visualiser les modèles obtenus en mode de simulation et en temps réel.

## 4.2. Objectif à atteindre

Dans ce Travail, on s'intéresse à cinq stations comme objectif principal : stations : de distribution/contrôle, de manipulation, d'usinage et de tri. L'objectif principal de ce travail constitue au développement d'une interface homme machine spécifique et plus professionnelle tout en essayant de simplifier la conception des stations : de distribution, de contrôle, d'usinage du système MPS de FESTO afin de faciliter la compréhension du fonctionnement pour donner une aide pour chaque personne qui veut travailler sur ce matériel.

## 4.3. Méthodologie du travail

Cette partie concerne le développement et la conception d'IHM de supervision et de contrôle des stations : de distribution, de contrôle, de manipulation, d'usinage et de tri du système MPS 500 de FESTO. Pour cela nous allons expliquer le fonctionnement de ces stations puis définir les différentes variables de ces stations. Enfin, nous présenterons les différentes interfaces de l'IHM développée avec l'explication de leur fonctionnement. Le développement de l'IHM a été effectué avec le logiciel de supervision et d'acquisition des données WinCC Flexible de Siemens.

## 4.4. Description du système étudié

### 4.4.1. Description opérationnelle de la station de distribution

La tâche de la station de distribution est de Séparer des pièces d'un magasin et de transférer ces pièces à l'aide d'un vérin oscillant doté d'une ventouse.

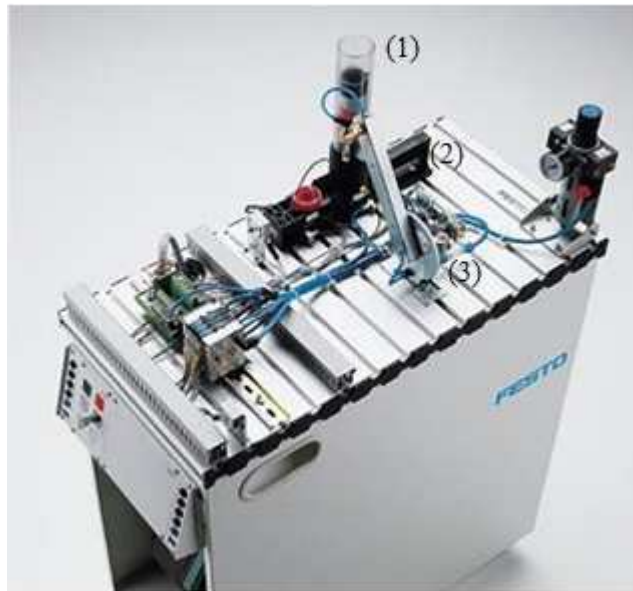


Figure 4.1 : Station de distribution du MPS 500.

La procédure opérationnelle se fait de la manière suivante :

- Magasin (1) contient déjà des pièces à traiter.

- Vérin d'éjection (2) sorti.
- Vérin oscillant (3) en position « Magasin ».
- Si des pièces à traiter sont figuré dans le magasin et si la touche Start est enfoncée, le vérin oscillant est amené à la position « Station en aval ».
- Le Vérin d'éjection rentre et éjecte une pièce à usiner du magasin.
- Le vérin oscillant est amené à la position « Magasin »
- Le vide est activé lorsque la pièce à usiner est correctement aspiré le capteur du vide se déclenche
- Le vérin d'éjection sort et libère la pièce à usiner.
- Le vérin Oscillant rejoint la position « station en aval »
- Le vide est désactivé.
- Le vérin oscillant est amené à la position « Magasin ».

▪ **Organigramme général de fonctionnement de la station de distribution**

L'organigramme de la figure 4.2 montre le processus de fonctionnement de la station de distribution du lancement jusqu'à la fin de la tâche.

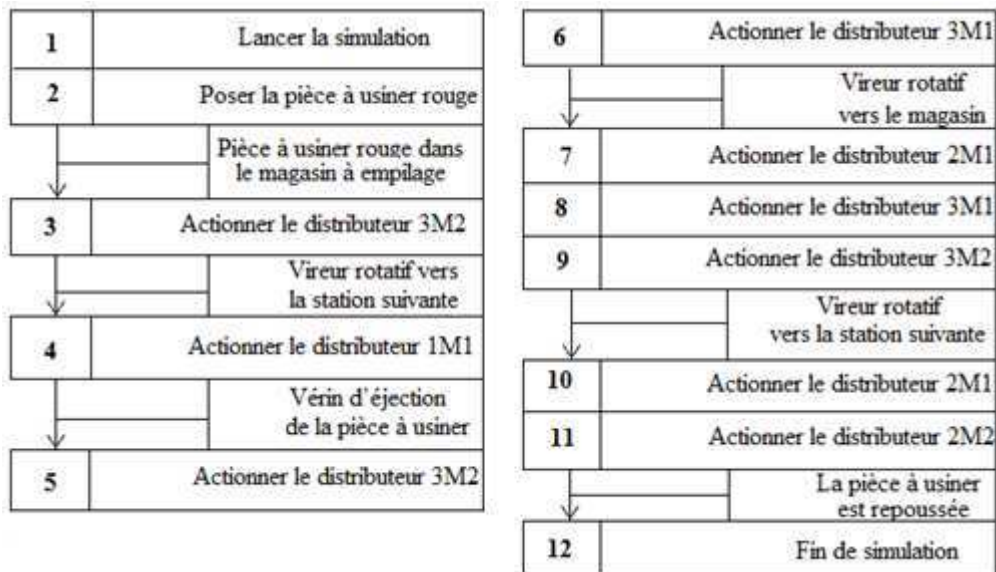


Figure 4.2 : Organigramme général de la station de distribution du MPS 500.

**4.4.2. Description opérationnelle de la station de contrôle**

La tâche principale de cette station est de déterminer la nature des matériaux des pièces à usiner en contrôlant la hauteur des pièces à usiner, soit pour l'éjecter ou de la mettre à disposition de la station en aval.

La procédure de fonctionnement de système est comme suit :

- Détermination de la couleur et le matériau de la pièce à usiner.

- Vérin de levage vers le haut.
- Mesure de la hauteur de pièce à usiner.
- Activer la glissière à coussin d'air.
- Sortir le vérin d'éjection.
- Rentrer le vérin d'éjection.
- Désactiver la glissière à coussin d'air.
- Vérin de levage vers le bas.
- Position initiale



Figure 4.3 : Station de contrôle du MPS 500.

▪ **Organigramme général de fonctionnement de la station de contrôle**

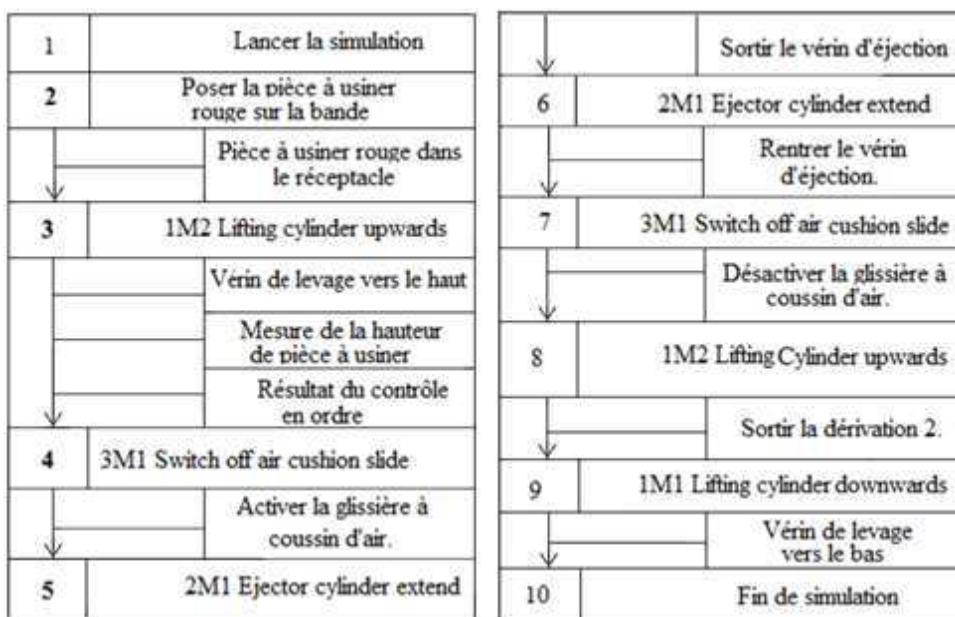


Figure 4.4 : Organigramme général de la station de contrôle du MPS 500.

#### 4.4.2.1. Acquisition des données de la station de distribution/contrôle

Avant de commencer le développement de l'IHM, nous avons étudié le programme STEP7 de la station de distribution/contrôle du système MPS 500 de FESTO et déterminé toutes les adresses des variables du programme.

##### ▪ Table des variables de cette station

Dans ce tableau, nous avons présenté les différentes variables Entrés/Sorties (E/S) (Capteurs et Actionneur) qui existent dans cette sous station (Magasin de livraison, Module de transfert, pupitre) avec leur adresse physique et simulation. L'adressage de chaque variable se fait de la manière suivante :

- Pour les entrées (Capteurs) : En.m ou bien In.m :
  - 'I' ou Bien 'E' signifie l'entrée.
  - N Signifie l'octet (0 à 255) et M signifie le bit (de 0 à 7).
- Pour les Sorties (Actionneurs) : An.m Ou bien Qn.m
  - A ou bien Q signifie la sortie.

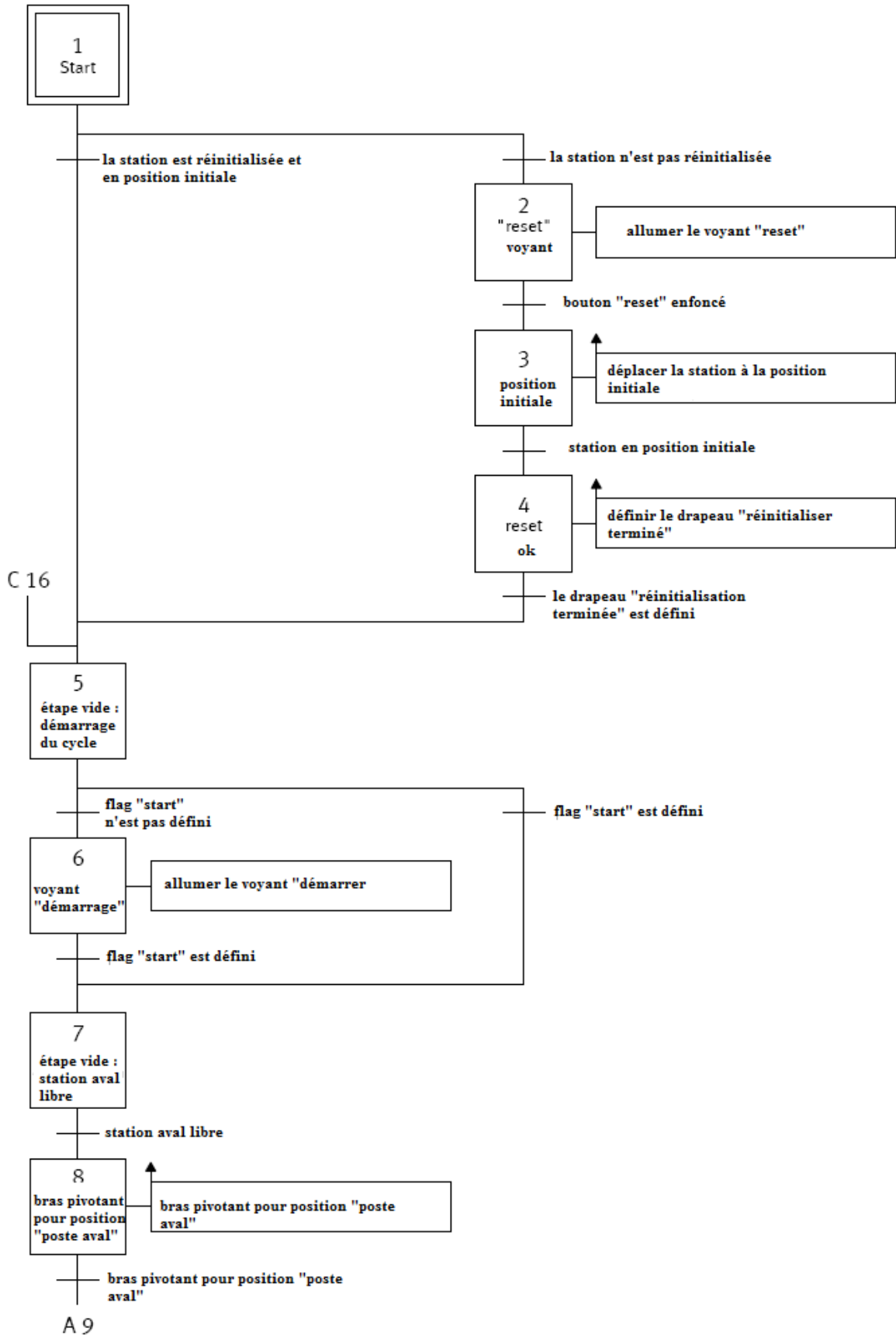
**Tableau 4.1** : Variables de la station de distribution /contrôle du système MPS.

<b>Variable</b>	<b>Désignation</b>	<b>Adresse physique</b>	<b>Commentaire</b>
2B1	Capteur pneumatique	E124.3	Pièce à usiner aspirée vide présent
3B1	Capteur électromécanique	E124.3	Vireur rotatif en position 1 magasin
3B2	Capteur électromécanique	E124.4	Vireur rotatif en position2 en aval
2M1	Actionneur	A124.1	Vide activé
2M2	Actionneur	A124.2	Impulsion d'éjection en marche
3M1	Actionneur	A124.3	Vireur rotatif vers la position 1 vers le magasin
3M2	Actionneur	A124.4	Vireur rotatif vers la position 2 en aval
1B2	Capteur électromagnétique	E124.2	Vérin d'éjection sorti
1B1	Capteur électromagnétique	E124.1	Vérin d'éjection rentré
B4	Capteur optique à barrage	E124.6	Magasin vide
S1	Capteur électromagnétique	E125.0	Touche Start

S2	Capteur électromagnétique	E125.1	Touche Stop contact à ouverture
S3	Capteur électromagnétique	E125.2	Sélection automatique/manuel
S4	Capteur électromagnétique	E125.3	Touche mise en référence Reset
1M1	Actionneur	A124.0	Vérin d'éjection de la pièce à usiner
P1	Actionneur	A125.0	Voyant start allumé
P2	Actionneur	A125.1	Voyant position de repos Reset
P3	Actionneur	A125.2	Voyants indique que le magasin est vide
Em_Stop	Capteur électromagnétique	E125.5	Bolton d'urgence du déverrouillage
IP_FI	Capteur optique à barrage	E124.7	Station en aval est libre

#### 4.4.2.2. Modélisation de la station du distribution/contrôle du système MPS 500 de FESTO

Le développement de l'IHM de la station de distribution du système MPS 500 (comportant deux sous stations : magasin / contrôle) nécessite une étude des programmes SIMATIC STEP7 de la station de distribution écrits en langage S7-GRAPH pour l'implémenter dans un environnement SCADA représenté par une IHM via le logiciel SIMATIC WinCC Flexible pour vérifier le fonctionnement de l'IHM développée. Le Graph7 de la figure 4.5 sert à contrôler la station de distribution.



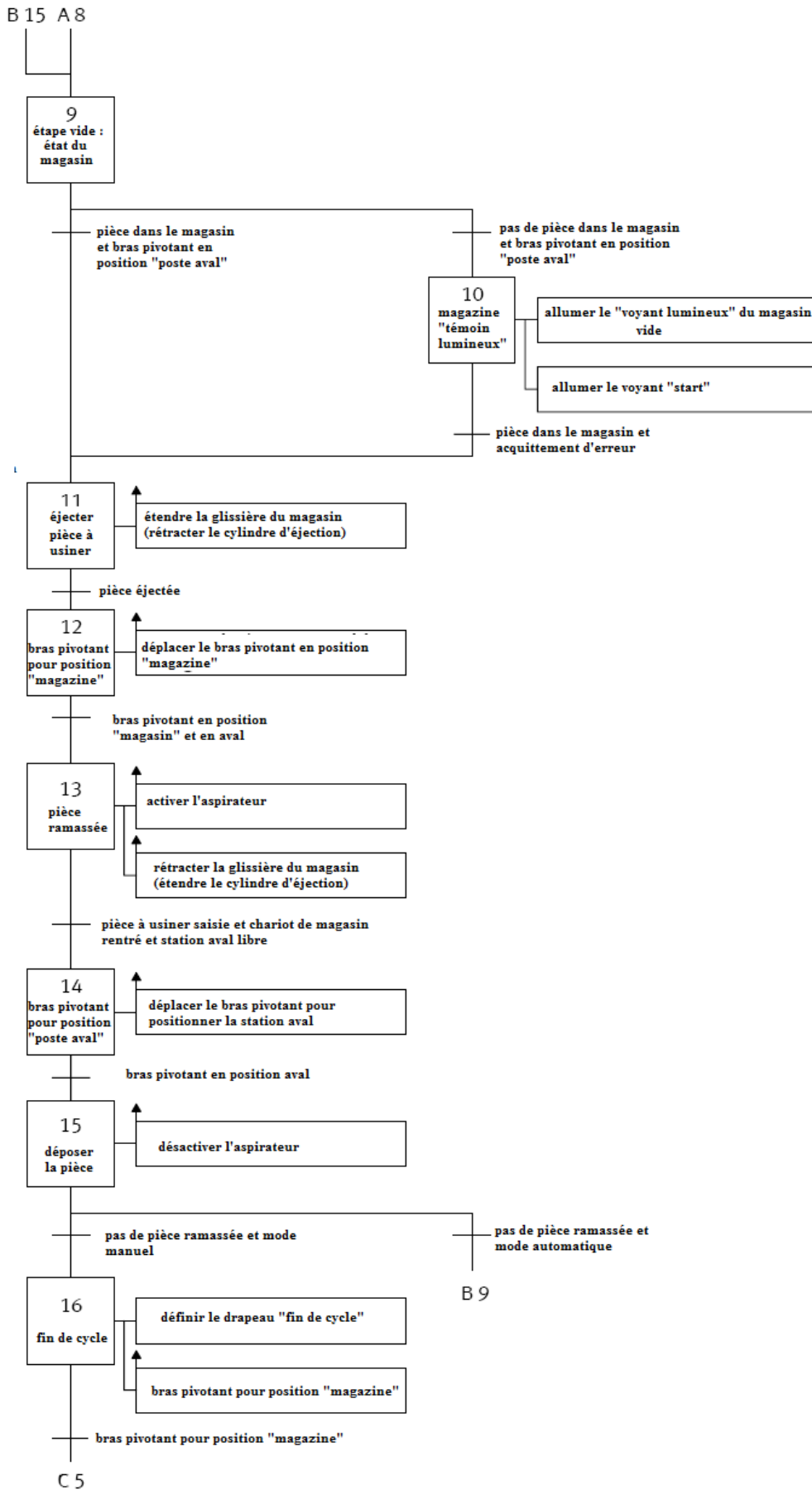
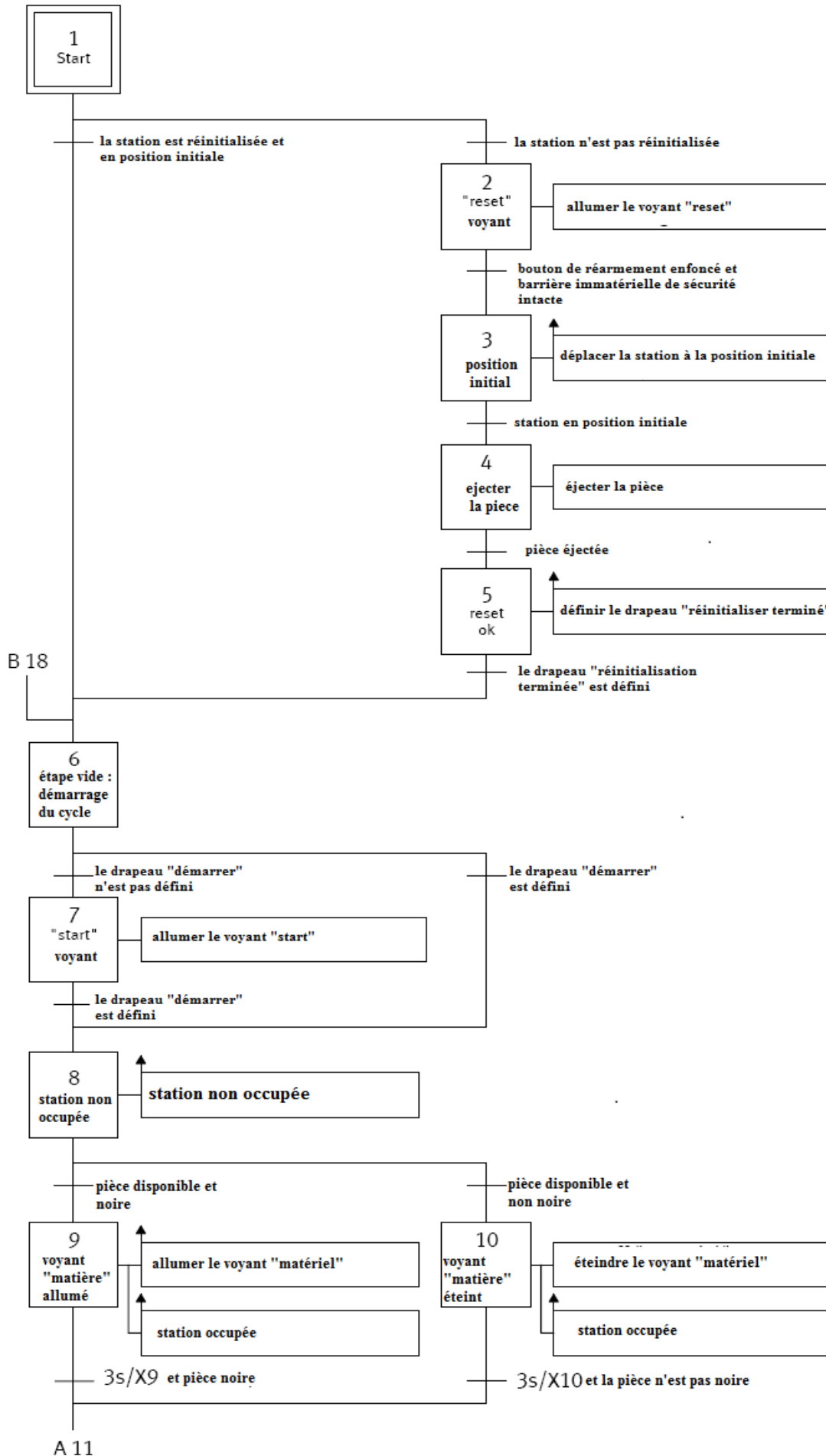


Figure 4.5 : Diagramme fonctionnel séquentiel de la station de distribution du MPS 500.



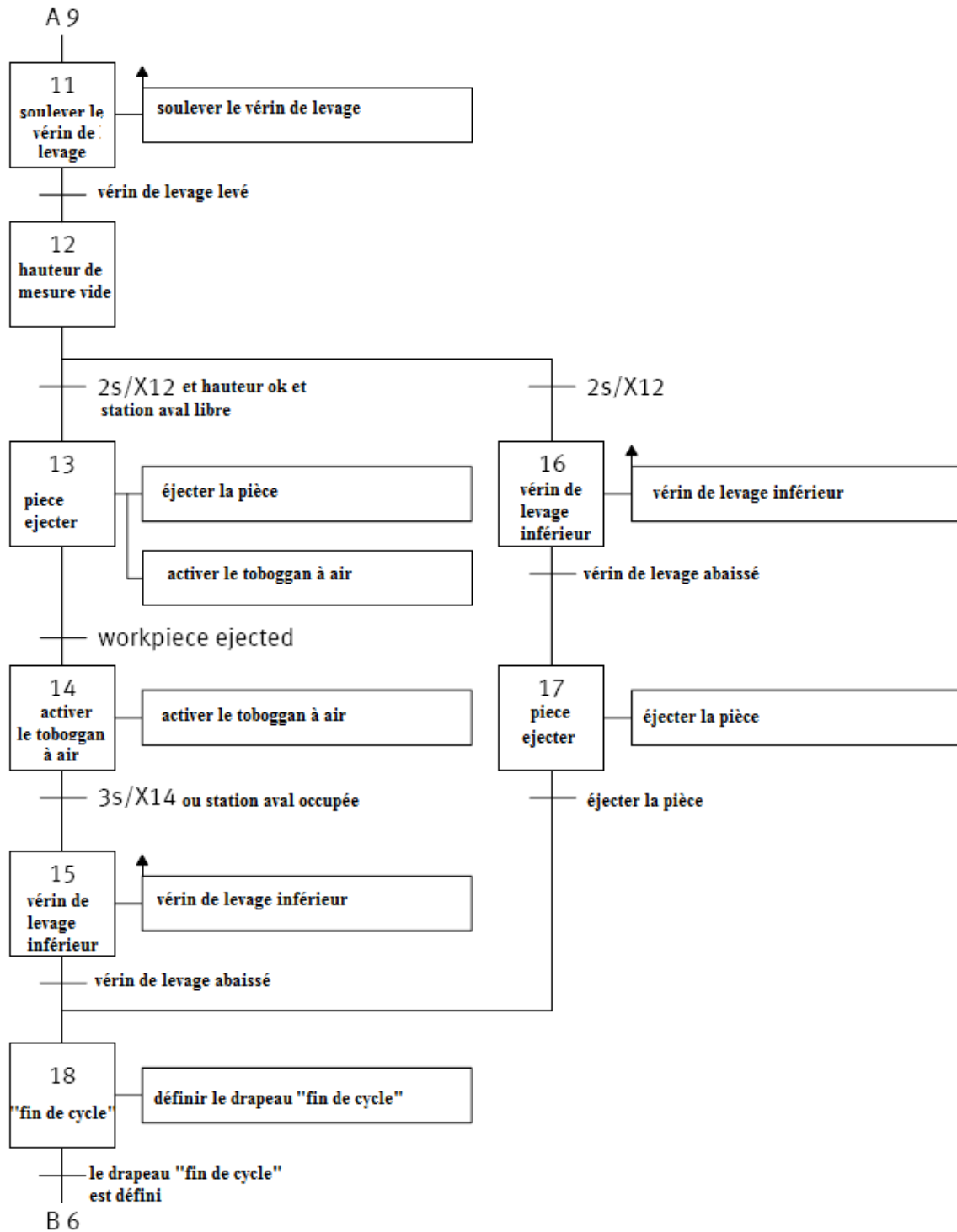


Figure 4.6 : Diagramme fonctionnel séquentiel de la station de contrôle MPS 500.

### 4.4.3. Description opérationnelle de la station d'usinage

La tâche de la station d'usinage est de contrôler les caractéristiques des pièces à usiner (position correcte, perçage), de les traiter les pièces et de transférer les pièces à usiner à la station en aval.



**Figure 4.7 :** Station d'usinage du MPS 500.

Procédure de fonctionnement de système :

- Si une pièce à usiner est identifiée dans le réceptacle 1 et que la touche START est enfoncée, le plateau à indexation tourne de 60°.
- L'induit de contrôle (2) se déplace vers le bas. Il est vérifié si la pièce à usiner est posée avec l'ouverture vers le haut. Si le contrôle s'avère positif, le plateau à indexation est tourné de 60°.
- Le dispositif de serrage (3) serre la pièce à usiner. Le moteur de la perceuse est activé. L'axe linéaire déplace la perceuse vers le bas.
- Lorsque la perceuse a atteint sa position basse, elle est de nouveau déplacée vers sa butée supérieure par l'axe linéaire.
- Le moteur de la perceuse est désactivé, le dispositif de serrage est rentré. Le plateau à indexation est tourné de 60°.
- La dérivation électrique transmet la pièce à usiner à une station en aval.

Cette procédure décrit le passage d'une pièce à usiner dans la station d'usinage. La pièce se trouve dans la position de transfert à une station en aval. Une fois une pièce déposée dans le réceptacle 1, le cycle d'usinage peut être relancé.

▪ **Organigramme général de fonctionnement de la station d'usinage**

L'organigramme résume les différentes étapes importantes au niveau de cette station en commençant par le lancement du processus et le dépôt de la pièce jusqu'à l'éjection de la pièce usinée.

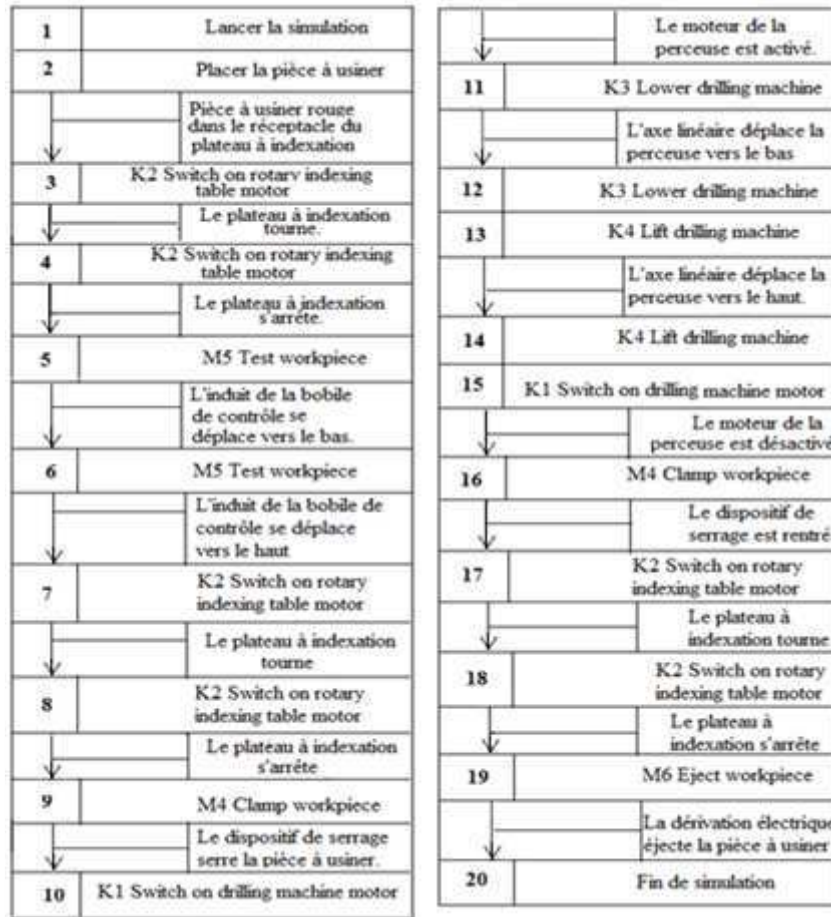


Figure 4.8 : Organigramme général de la station d'usinage du MPS 500.

▪ **Table des variables de la station d'usinage**

Le tableau 4.2 présente les différentes variables E/S existant dans cette sous station avec leur adresse physique.

Tableau 4.2 : Variables de la station d'usinage du système MPS.

Variable	Désignation	Adresse physique	Commentaire
Part_AV	Capteur Capacitif	E124.0	Pièce présente
B2	Capteur Capacitif	E124.1	Pièce à usiner à la perceuse
B1	Capteur Capacitif	E124.2	Pièce à usiner au dispositif de contrôle
1B1	Capteur électromécanique	E124.3	Perceuse en position haute
1B2	Capteur électromécanique	E124.4	Perceuse en position basse
B3	Capteur Inductif	E124.5	Plateau à indexation positionné

B4	Capteur Inductif	E124.6	Contrôle des orifices de perçage en ordre
IP_FI	Capteur Optique de proximité	E124.7	Station en aval libre
K1	Actionneur	A124.0	Perceuse, moteur activé
K2	Actionneur	A124.1	Plateau indexation, moteur activé
K3	Actionneur	A124.2	Perceuse vers le bas
K4	Actionneur	A124.3	Perceuse vers le haut
Y1	Actionneur	A124.4	Pièce à usiner serrée
Y2	Actionneur	A124.5	Contrôle de la pièce à usiner
Y3	Actionneur	A124.6	Ejecter la Pièce à usiner
S1	Capteur électromagnétique	E125.0	Touche Start
S2	Capteur électromagnétique	E125.1	Touche Stop contact à ouverture
S3	Capteur électromagnétique	E125.2	Sélection automatique/manuel
S4	Capteur électromagnétique	E125.3	Touche mise en référence Reset
1M1	Actionneur	A124.0	Vérin d'éjection de la Pièce à usiner
P1	Actionneur	A125.0	Voyant Start allumé
P2	Actionneur	A125.1	Voyant position de repos Reset
P3	Actionneur	A125.2	Voyant indiquant le magasin vide
Em_Stop	Capteur électromagnétique	E125.5	Bouton d'urgence du déverrouillage
IP_FI	Capteur optique à barrage	E124.7	Station en aval est libre

▪ **Modélisation de la station d'usinage du système MPS 500 de FESTO**

Le diagramme fonctionnel théorique de la station d'usinage de la figure 4.9 qui suit parfaitement l'organigramme de la figure 4.8 donne les différentes étapes pour l'accomplissement de la tâche 'usinage d'une pièce. Ils utilisent des macros dans le fonctionnement sachant : M20 : Branche parallèle du contrôle de perçage, M3 : Branche parallèle pour le perçage et M40 : Branche parallèle pour la remise de pièce.

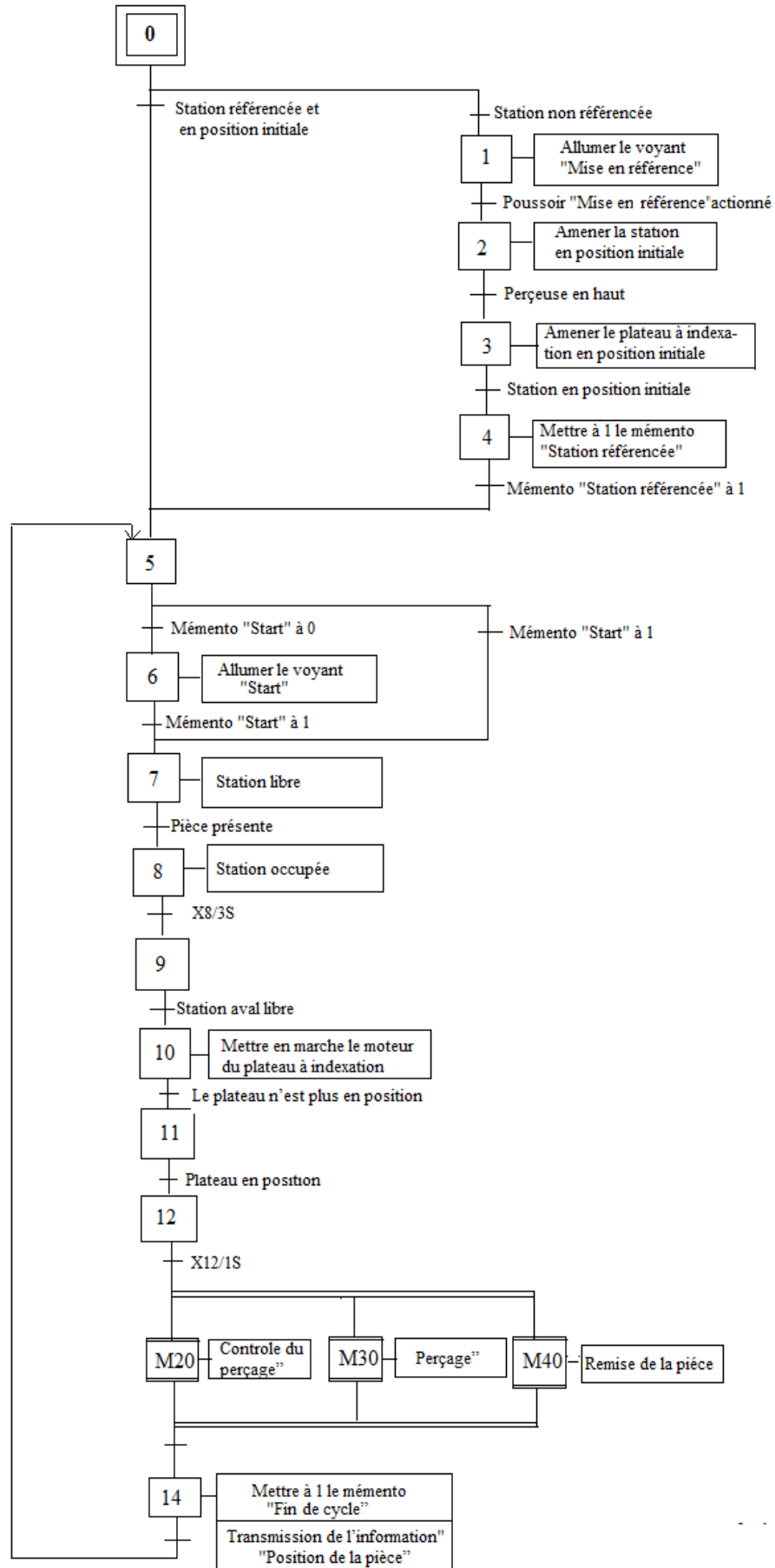


Figure 4.9 : Diagramme fonctionnel séquentiel de la station d'usinage du MPS 500.

#### 4.4.4. Description opérationnelle de la station de manipulation

La tâche de la station de manipulation est de déterminer la nature des matériaux des pièces à usiner et de les retirer du module de réception pour les déposer sur une glissière « métallique/rouge » ou sur une glissière « noire » ou les transmettre à une station avale.

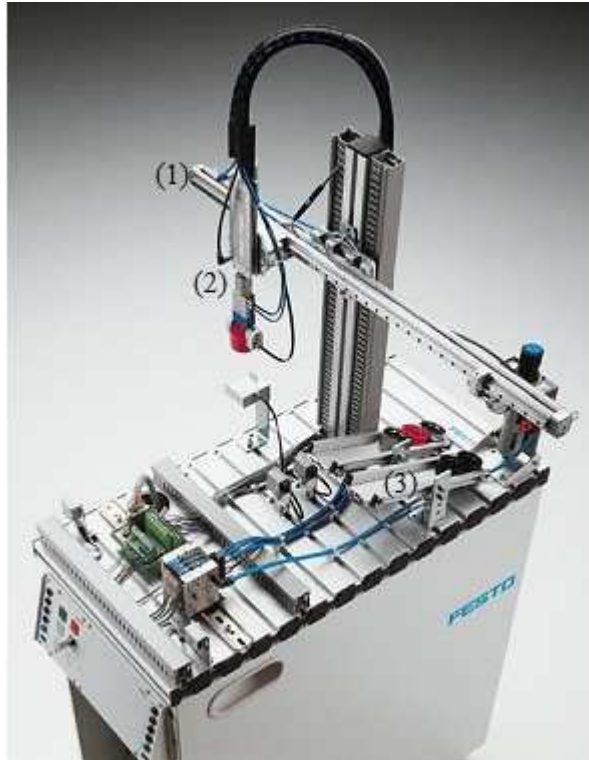


Figure 4.10 : Station de manipulation du MPS 500.

Procédure de fonctionnement de système :

- Si une pièce à usiner est identifiée dans le réceptacle et que la touche START est enfoncée, le vérin de levage est sorti.
- La pince est fermée. La détection de couleurs « Pièce noire » ou « Pièce autre que noire » est exécutée.
- Le vérin de levage (2) est rentré.
- L'axe linéaire (1) rejoint la position « Glissière noire (3) ».
- Le vérin de levage sort.
- La pince est ouverte, la pièce à usiner est déposée sur la glissière.
- Le vérin de levage rentre
- L'axe linéaire rejoint la position « Station en amont ».

#### ▪ Organigramme général de fonctionnement de la station de manipulation

Dans cet organigramme, nous avons montré le cas de traitement d'une pièce rouge. Les mêmes étapes sont suivies pour les autres couleurs.

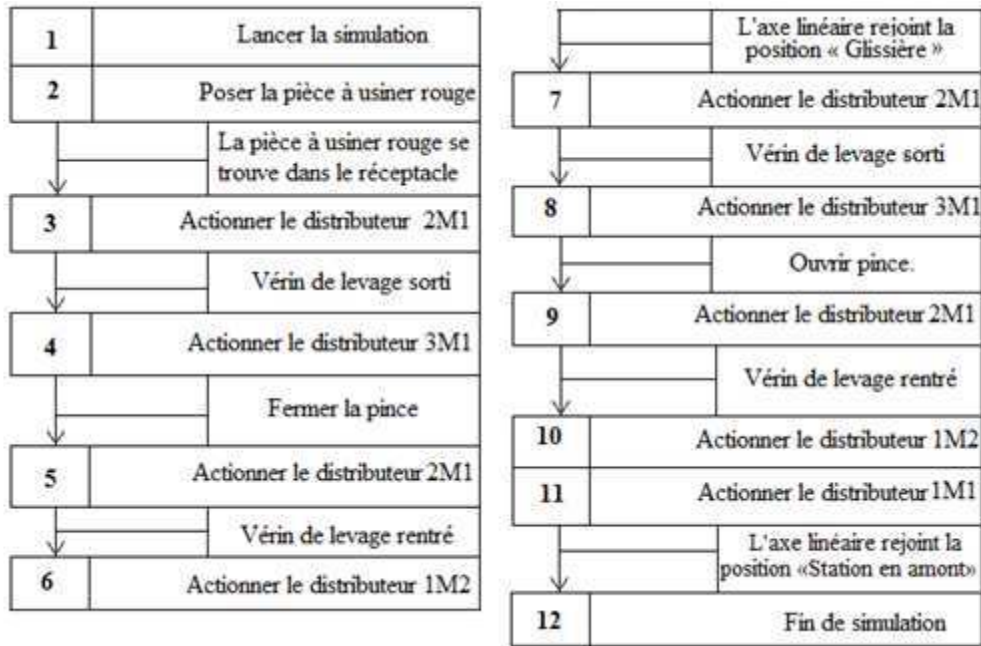


Figure 4.11 : Organigramme général de la station de manipulation du MPS 500.

▪ **Table des variables de la station de manipulation**

La station de manipulation comporte différents E/S regroupé dans le tableau 4.3.

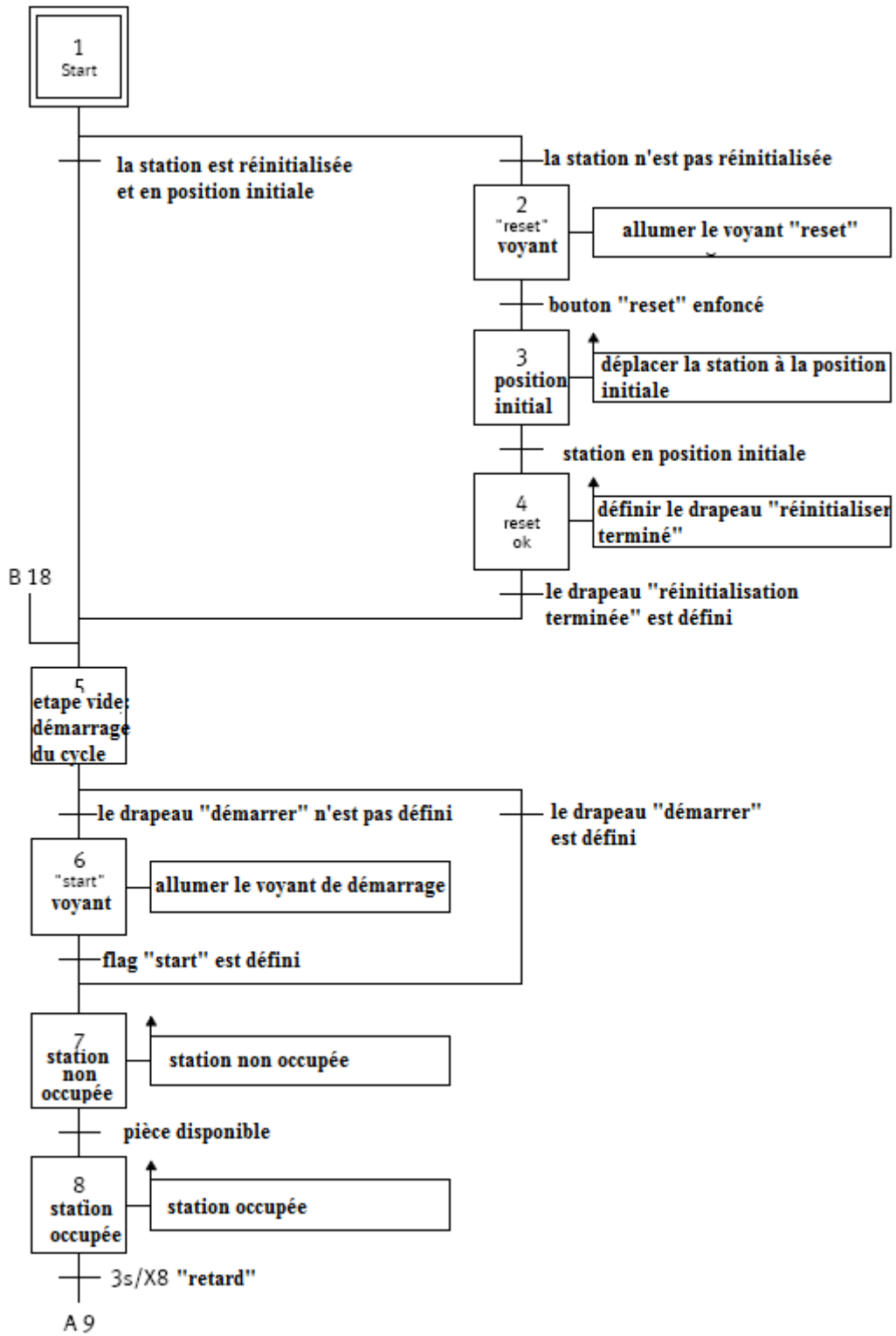
Tableau 4.3 : Variables de la station de manipulation du système MPS.

Variable	Désignation	Adresse physique	Commentaire
Part_AV	Capteur Optique de proximité	E124.0	Pièce présente
1B1	Capteur électromagnétique	E 124.1	Manipulation à la station en amont
1B2	Capteur électromagnétique	E124.2	Manipulation à la station avale
1B3 Partie Handling	Capteur électromagnétique	E124.3	Manipulation à la position de tri
2B1 Partie Handling	Capteur électromagnétique	E124.4	Pince sortie
2B2 Partie Handling	Capteur électromagnétique	E124.5	Pince rentrée
3B1 Partie Handling	Capteur optique de proximité	E124.6	La pièce à usiner n'est pas noire.
IP_FI Partie Handling	Capteur optique de proximité	E124.7	Station en aval libre

S1 Partie Handling	Capteur électromagnétique	E125.0	Touche START
S2 Partie Handling	Capteur électromagnétique	E125.1	Touche Stop (contact à ouverture)
S3 Partie Handling	Capteur électromagnétique	E125.2	Sélecteur automatique/manuel
S4 Partie Handling	Capteur électromagnétique	E125.3	Touche mise en référence/Reset
1M1 Partie Handling	Actionneur Pneumatique	A124.0	Manipulation vers la station en amont
1M2 Partie Handling	Actionneur Pneumatique	A124.1	Manipulation vers la station en aval
2M1 Partie Handling	Actionneur Pneumatique	A124.2	Sortir la pince
3M1 Partie Handling	Actionneur & effecteur Pneumatique	A124.3	Ouvrir pince.
P_N_FO Partie Handling	Actionneur électrique	A124.4	Station occupée
P1 Partie Handling	Actionneur électrique	A124.5	Voyant START allumé
P2 Partie Handling	Actionneur électrique	A124.6	Voyant position de repos (Reset)

▪ **Modélisation de la station de manipulation du système MPS 500 de FESTO**

Dans cette station, le fonctionnement commence lorsque Reset est actionné et Stop non actionné. Après cette condition, la procédure de fonctionnement suit les étapes de l'organigramme de la figure 4.12.



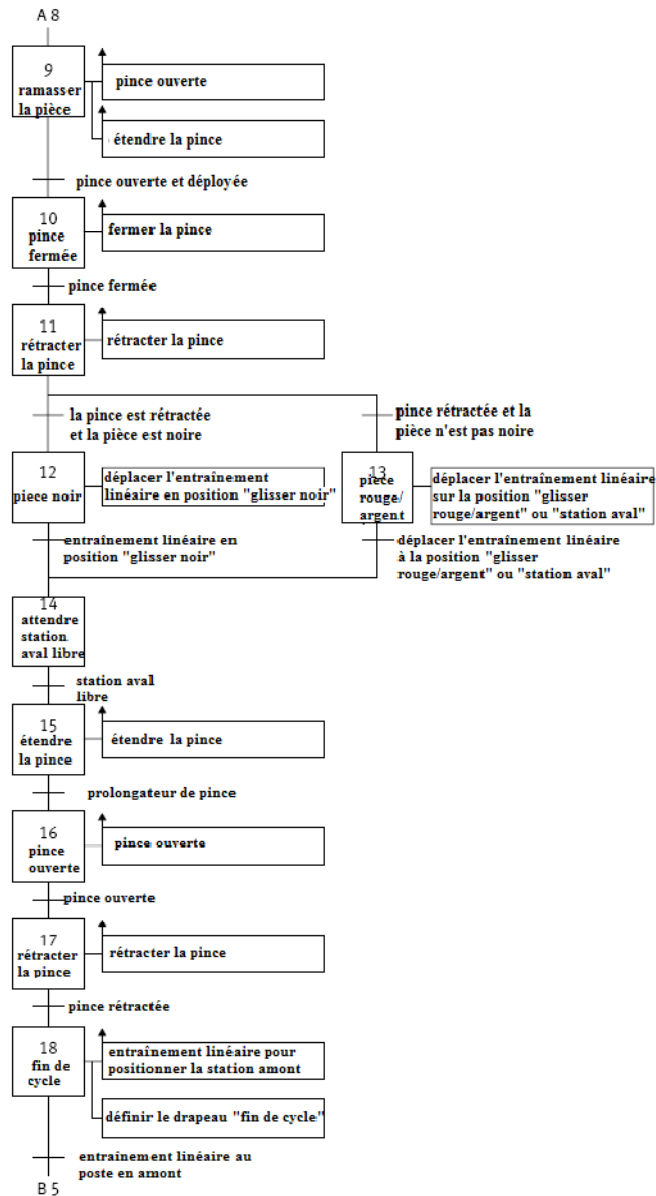


Figure 4.12 : Diagramme fonctionnel séquentiel de la station de manipulation du MPS 500.

#### 4.4.5. Description opérationnelle de la station de tri

La tâche de la station de tri est de trier les pièces en fonction de leurs caractéristiques.



**Figure 4.13:** Station de tri du MPS 500.

Procédure de fonctionnement du système :

- Pièce à usiner (2) identifiée
- Moteur (3) de la bande activée
- Identification de la couleur/du matériau
- Rentrer le barrage (4).
- Si une Pièce à usiner noire détectée, dépôt sur la glissière (1) en fin de bande
- Pièce à usiner éjectée.
- Sortir le barrage
- Moteur de la bande désactivé
  - ✓ Si une Pièce à usiner métallique détectée, dépôt sur la glissière en milieu de bande.
- Sortir la dérivation 2
- Rentrer le barrage.
- Pièce à usiner éjectée
- Sortir le barrage
- Rentrer la dérivation 2
- Moteur de la bande désactivé
  - ✓ Si une Pièce à usiner rouge détectée, dépôt sur la glissière en début de bande.
- Sortir la dérivation 1.
- Rentrer le barrage.
- Pièce à usiner éjectée
- Sortir le barrage
- Rentrer la dérivation 1
- Moteur de la bande désactivé

▪ **Organigramme général de fonctionnement de la station de tri**

Chaque station admet un organigramme spécifique. Pour cette station, son organigramme comporte 10 états principales, les autres organigrammes.

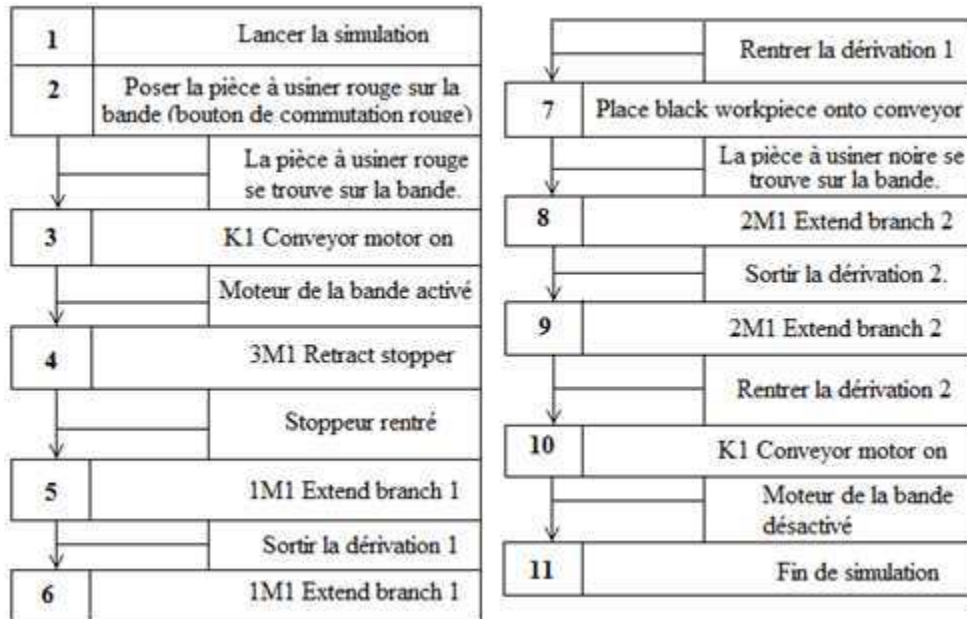


Figure 4.14 : Organigramme général de la station de tri du MPS 500.

▪ **Table des variables de la station de tri**

Vous trouverez dans le tableau 4.4 les différentes E/S qui contribue au fonctionnement et au contrôle de cette station.

Tableau 4.4: Variables de la station de tri de système MPS.

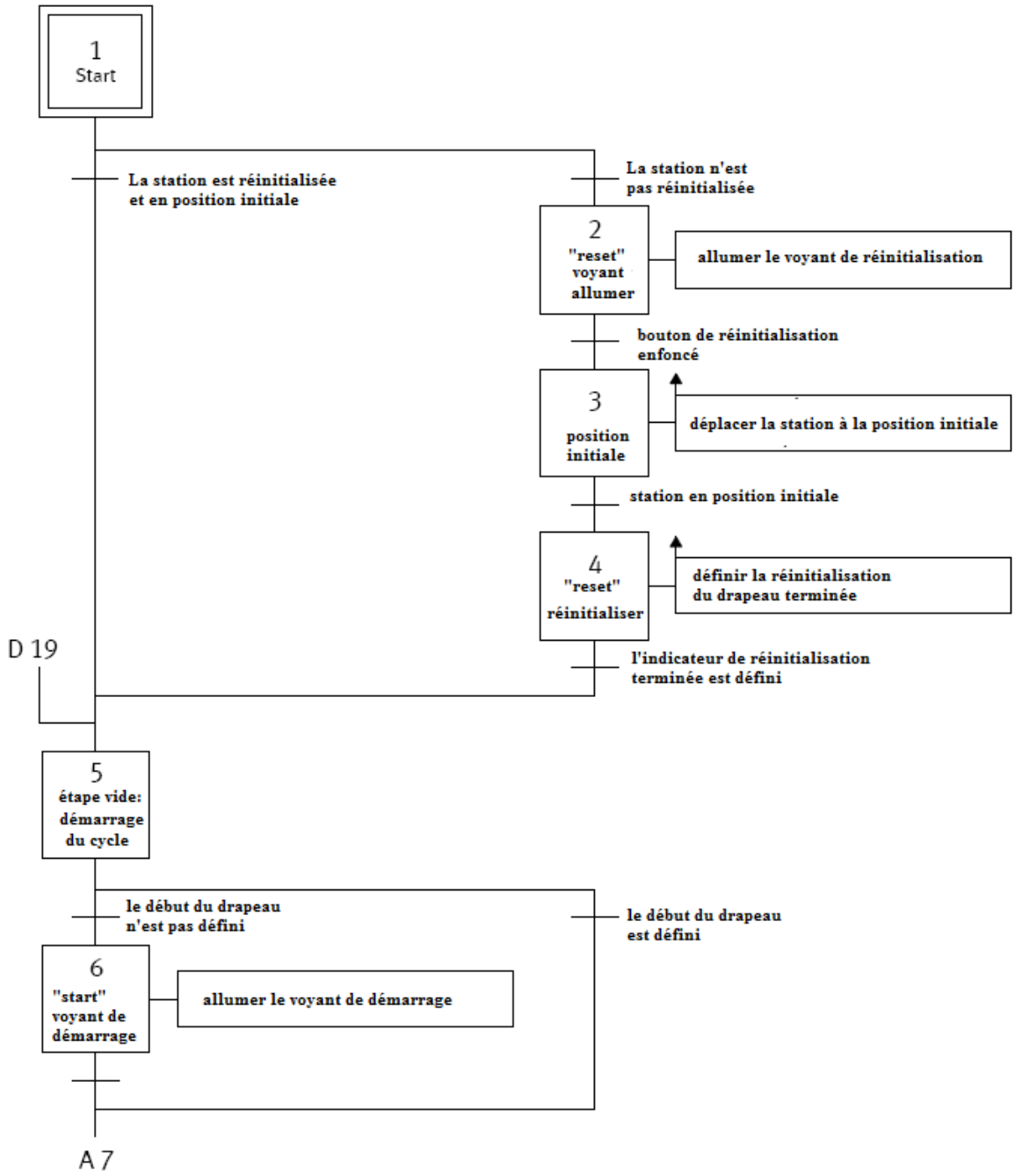
Variable	Désignation	Adresse physique	Commentaire
Part_AV Partie Tri	Capteur optique de proximité	E124.0	Pièce présente
B2 Partie Tri	Capteur inductif	E124.1	Pièce en métal
B3 Partie Tri	Capteur optique de proximité	E124.2	Pièce à usiner autre que noire
B4 Partie Tri	Capteur optique à réflex	E124.3	Glissière pleine
1B1 Partie Tri	Capteur électromagnétique	E124.4	Dérivation 1 rentrée
1B2 Partie Tri	Capteur électromagnétique	E124.5	Dérivation 1 sortie
2B1 Partie Tri	Capteur électromagnétique	E124.6	Dérivation 2 rentrée
2B2 Partie Tri	Capteur électromagnétique	E124.7	Dérivation 2 sortie
IP_FI Partie Tri	Capteur optique de proximité	E125.0	(non disponible)

S1_T Partie Tri	Capteur électromécanique	E125.1	Touche START
S2_T Partie Tri	Capteur électromécanique	E125.2	Touche Stop (contact à ouverture
S3_T Partie Tri	Capteur électromécanique	E125.3	Sélecteur automatique/manuel
S4 Partie Tri	Capteur électromécanique	E125.4	Touche mise en référence/Reset
K1 Partie Tri	Actionneur électrique	A124.0	Moteur de la bande activé
1M1 Partie Tri	Actionneur & effecteur pneumatique	A124.1	Sortir la dérivation 1.
2M1 Partie Tri	Actionneur & effecteur pneumatique	A124.2	Sortir la dérivation 2.
3M1 Partie Tri	Actionneur & effecteur pneumatique	A124.3	Stop pour rentrée
IP_N_FO Partie Tri	Actionneur électrique	A124.4	Station occupée
P3 Partie Tri	Actionneur électrique	A124.5	Voyant glissière pleine

▪ **Modélisation de la station du tri du système MPS 500 de FESTO**

Le grafcet de la figure 4.15 montre que le contrôle de cette station dépend sur plusieurs conditions lors de son fonctionnement. Parmi ces conditions, il faut que :

- Le nombre des pièces maximum de chaque glissière est inférieure ou égale à 6
- Si le nombre global des pièces entré aux stations est égale à 18 la station doit être s'arrêtera.



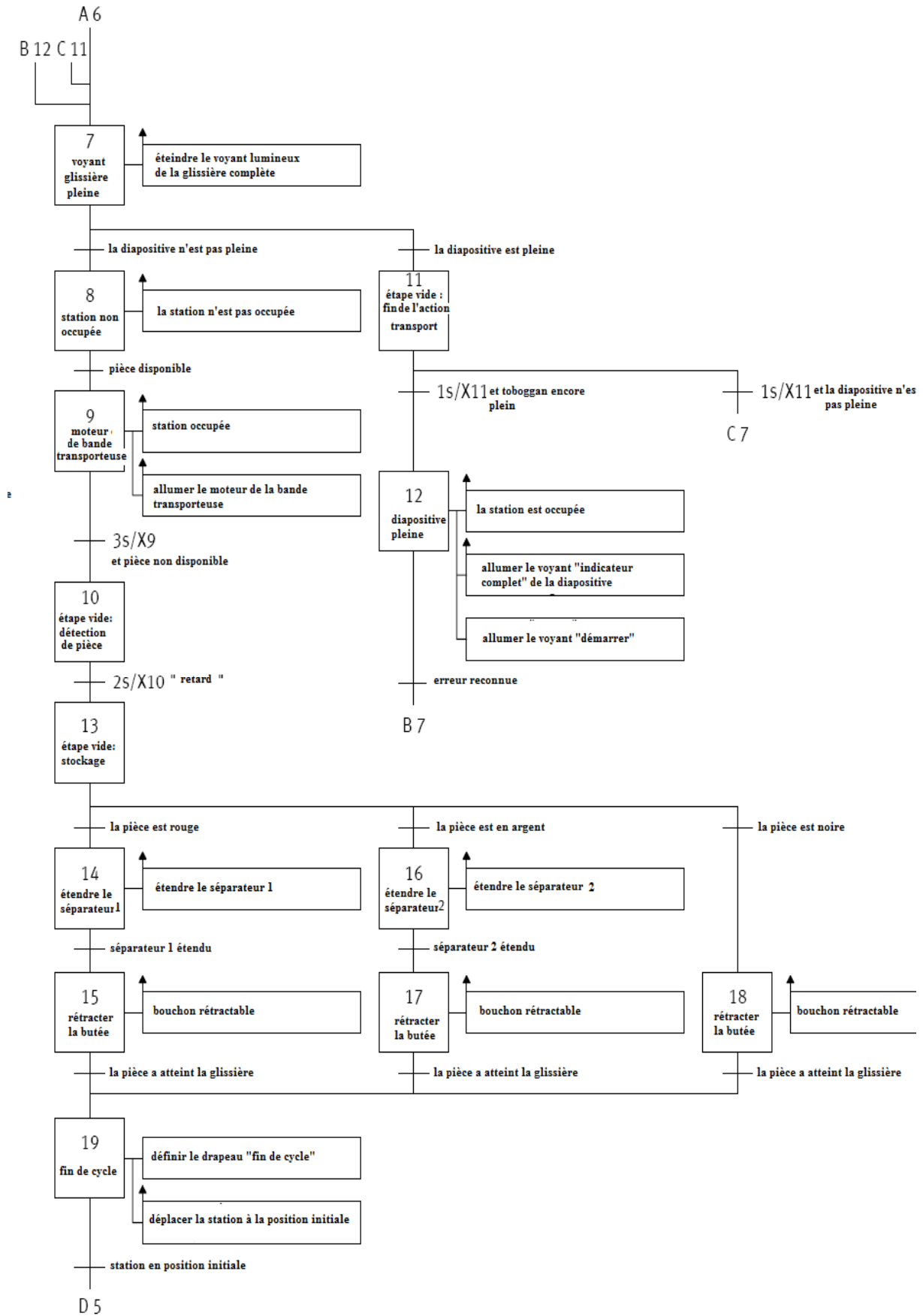


Figure 4.15 : Diagramme fonctionnel séquentiel de la station de tri du MPS 500.

## 4.5. Développement de l'IHM du système étudié

### 4.5.1. Développement de l'IHM de la station de distribution/contrôle du système MPS 500 de FESTO

Les stations du système MPS 500 utilisent des automates de type S7-314C-2 DP/PN de Siemens programmés et configurés par le logiciel SIMATIC Manager STEP7 V5.5. Pour cela, nous allons utiliser le logiciel de supervision, de commande et d'acquisition de données SIMATIC WinCC Flexible pour développer l'IHM de la station distribution/contrôle.

Dans cette partie, nous allons montrer et expliquer les différentes étapes de la création de l'IHM ainsi que les simulations que nous avons fait en utilisant le simulateurs PLCSim de STEP7 et le simulateur Runtime de WinCC pour vérifier le fonctionnement de l'IHM développée. Pour assurer la communication entre l'automate et l'IHM, nous avons utilisé un réseau basé sur Ethernet Industriel. Dans l'interface, nous avons essayé de travailler dans un milieu professionnel. Pour cela, on utilise des composants réels comme les capteurs optiques de proximités, les capteur électromécaniques, vireurs rotatifs, magasin des pièces et les pièces.

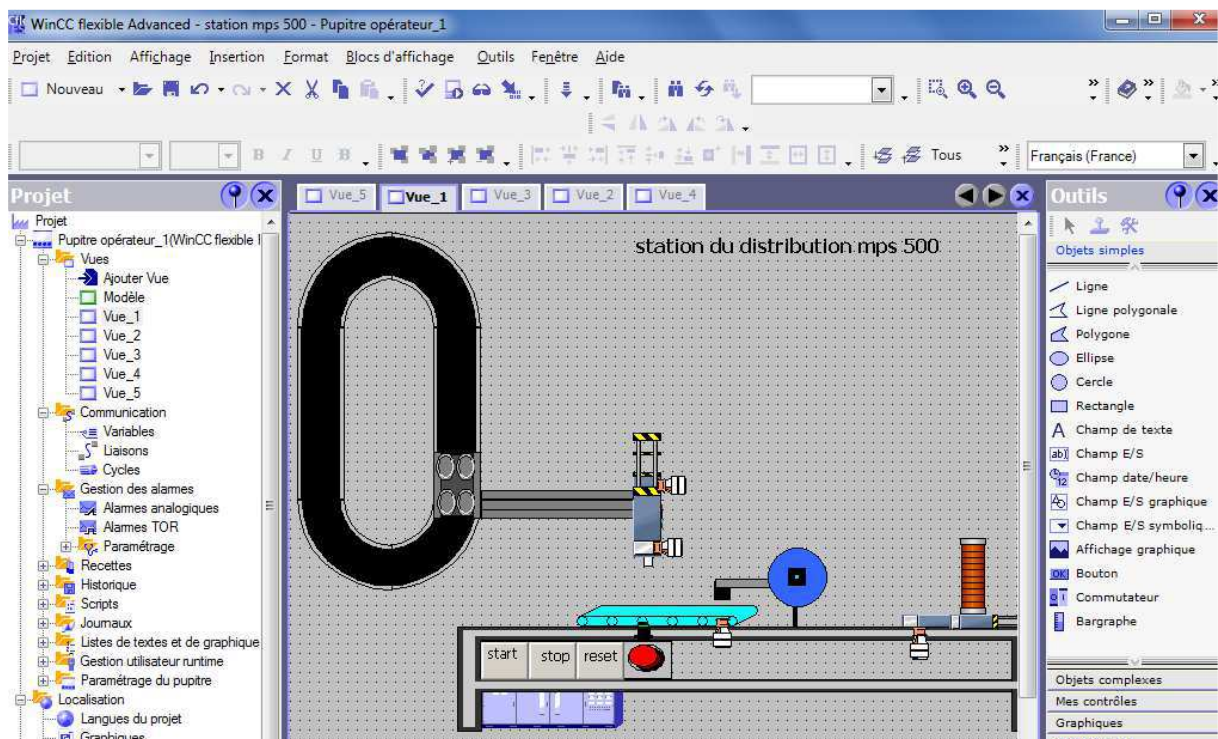


Figure 4.16 : IHM développé de la station de distribution/contrôle du MPS 500.

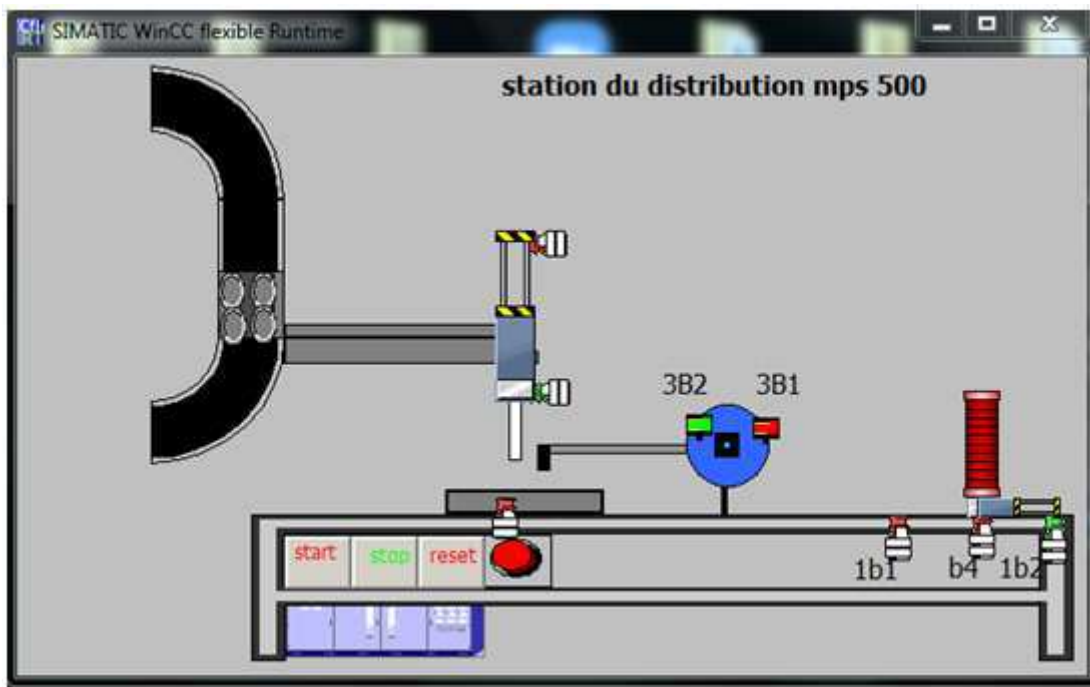


Figure 4.17 : Station de distribution/contrôle du MPS 500 en mode Stop.

La figure 4.17 représente l’IHM de la station de distribution/contrôle du système MPS 500 de FESTO en mode Stop. On remarque que le capteur b4 est désactivé qui détecte que le magasin est vide. Le vireur rotatif devant la station de contrôle est détecté par le capteur 3B2, le capteur 1b2 détecte que le vérin de magasin est en position arrière.

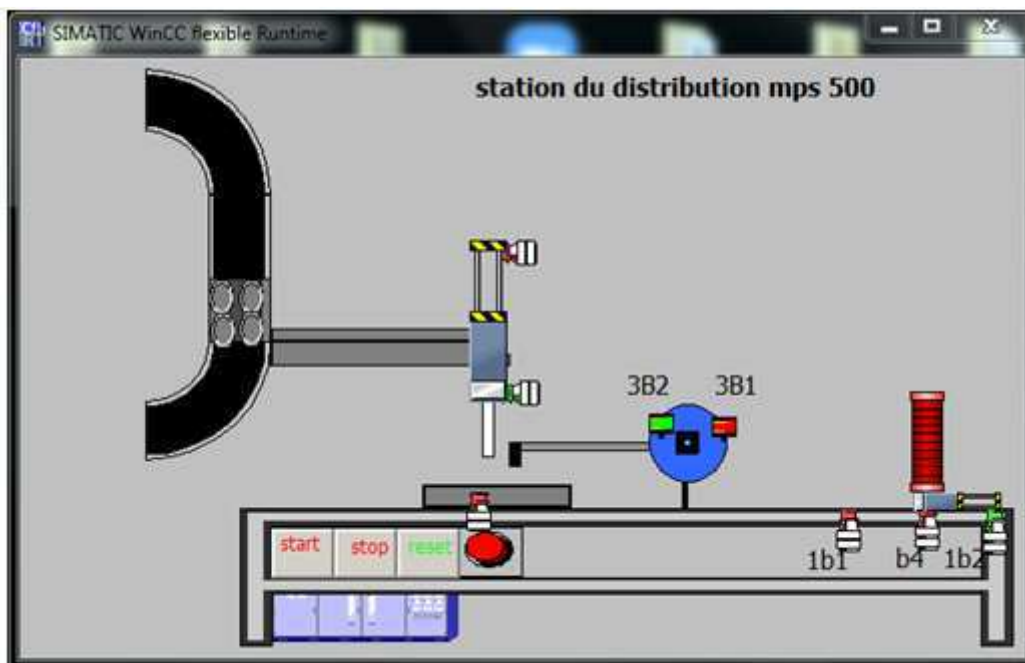
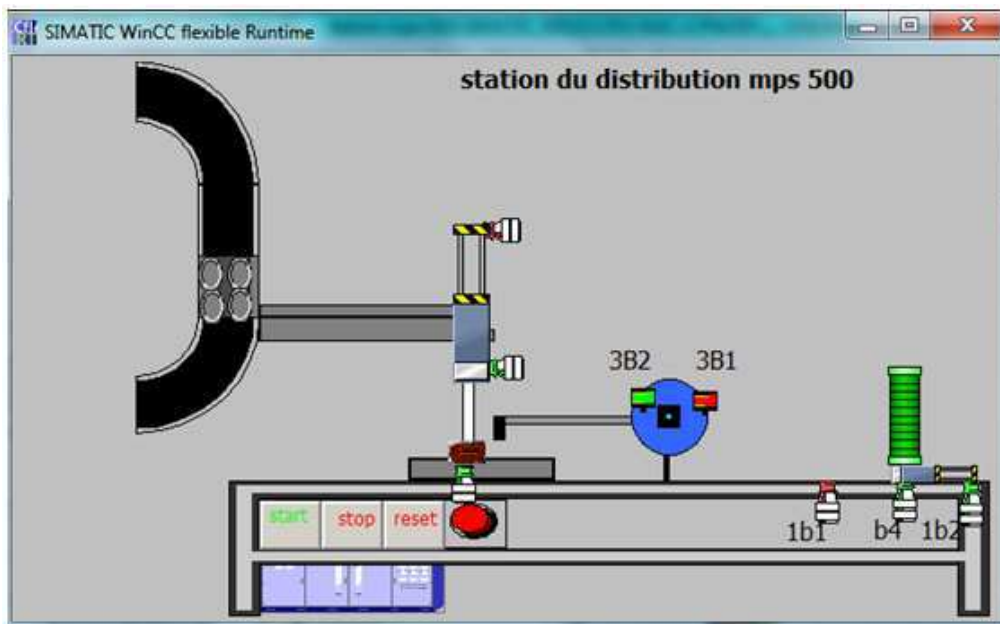


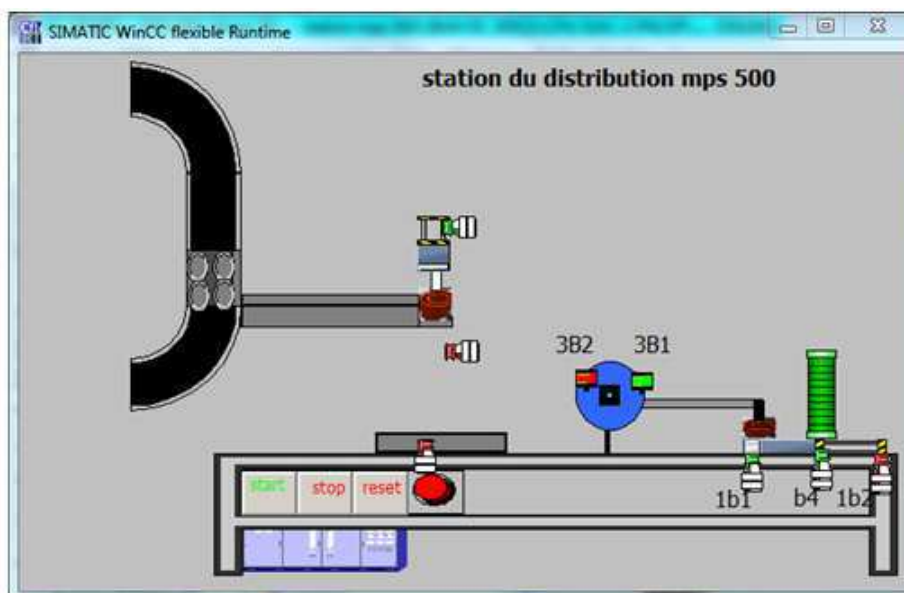
Figure 4.18 : Station du distribution/contrôle du MPS 500 en mode Reset.

La figure 4.18 représente la station en mode de fonctionnement avec la présence d’erreur dans lequel le magasin est vide, la station doit être arrêté et réinitialisé par le bouton Reset.



**Figure 4.19** : Station de distribution/contrôle du MPS 500 en mode Start.

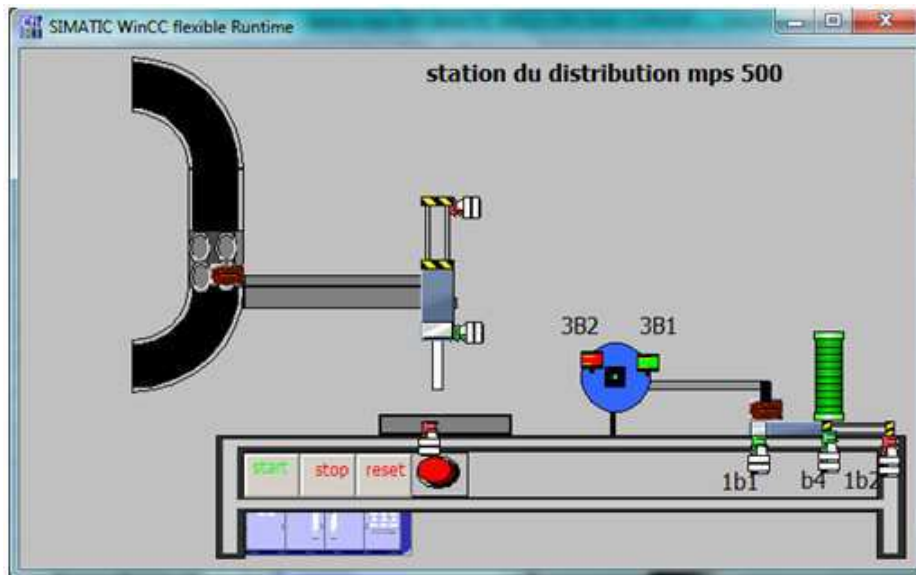
La figure 4.19 représente l'IHM de la station de distribution/contrôle en fonctionnement. Elle montre le bouton Start allumé et les boutons Stop et Reset désactivés. Le capteur b4 activé indique la présence des pièces au niveau de magasin. Le capteur 1b2 détecte que le vérin est en position arrière. Aussi, on remarque que la pièce au niveau de la station avale est détectée au point du vérin afin de l'aspirer par le vérin de station avale et le pivoter vers le magasin de la station avale. Le capteur 3B2 détecte le vireur rotatif devant la station avale.



**Figure 4.20** : Station de distribution/contrôle du MPS 500 en mode Start.

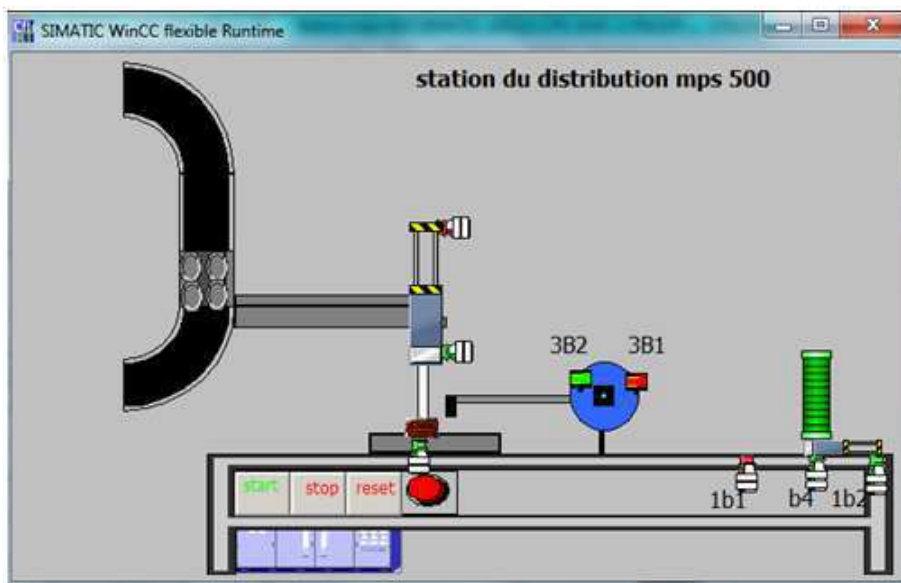
La figure 4.20 représente l'IHM de la station de distribution/contrôle en mode RUN. Bien que le bouton Start soit allumé et les boutons Stop et Reset soient désactivés. Le capteur b4 activé indique la présence des pièces au niveau de magasin. Le capteur 3B2 est désactivé et le capteur 3B1 détecte que le vireur rotatif en position 1 (côté magasin). Le capteur 1b1 détecte le vérin en position avant afin de pousser la pièce pour permettre au vireur rotatif de prendre la

pièce devant le magasin et la déposer devant la station avale. On remarque aussi que le vérin est en position haut pour prendre la pièce précédente de la station avale et la déposer sur le magasin de la station avale afin de pivoter vers la palette.



**Figure 4.21 :** Station du distribution/contrôle du MPS 500 en mode Start.

La figure 4.21 représente l'IHM de la station distribution/contrôle en mode simulateur Runtime et PLCsim avec appui sur le bouton Start. Dans cette figure, on illustre aussi que le capteur b4 nous indique qu'il y'a toujours des pièces dans le magasin. On remarque très bien que le capteur 3B2 est désactivé et le capteur 3B1 détecte que vireur rotatif en position 1 (coté magasin) ; Le capteur 1b1 détecte que le vérin est en avance pour pousser la pièce afin que le vireur rotatif prenne la pièce devant le magasin et la dépose devant la station avale. On remarque aussi le retour de vérin en position basse après que la pièce précédente pivote sur la palette.



**Figure 4.22 :** Station de distribution/contrôle du MPS 500 en fonctionnement.

La figure 4.22 montre toujours l'IHM de la station distribution/contrôle en mode fonctionnement, après appuis sur le bouton Start. Il y a une différence entre la figure 4.21 au niveau de l'état de sortie du vérin.

#### 4.5.2. Développement de l'IHM de la station d'usinage du système MPS 500 de FESTO

Dans l'interface de la station d'usinage, nous avons essayé de travailler dans un milieu professionnel. Pour cela, nous avons utilisé des composants réels comme les capteurs optiques de proximités, les capteurs électromécaniques, capteurs capacitifs, tables rotatives, les pièces, des moteurs électriques.

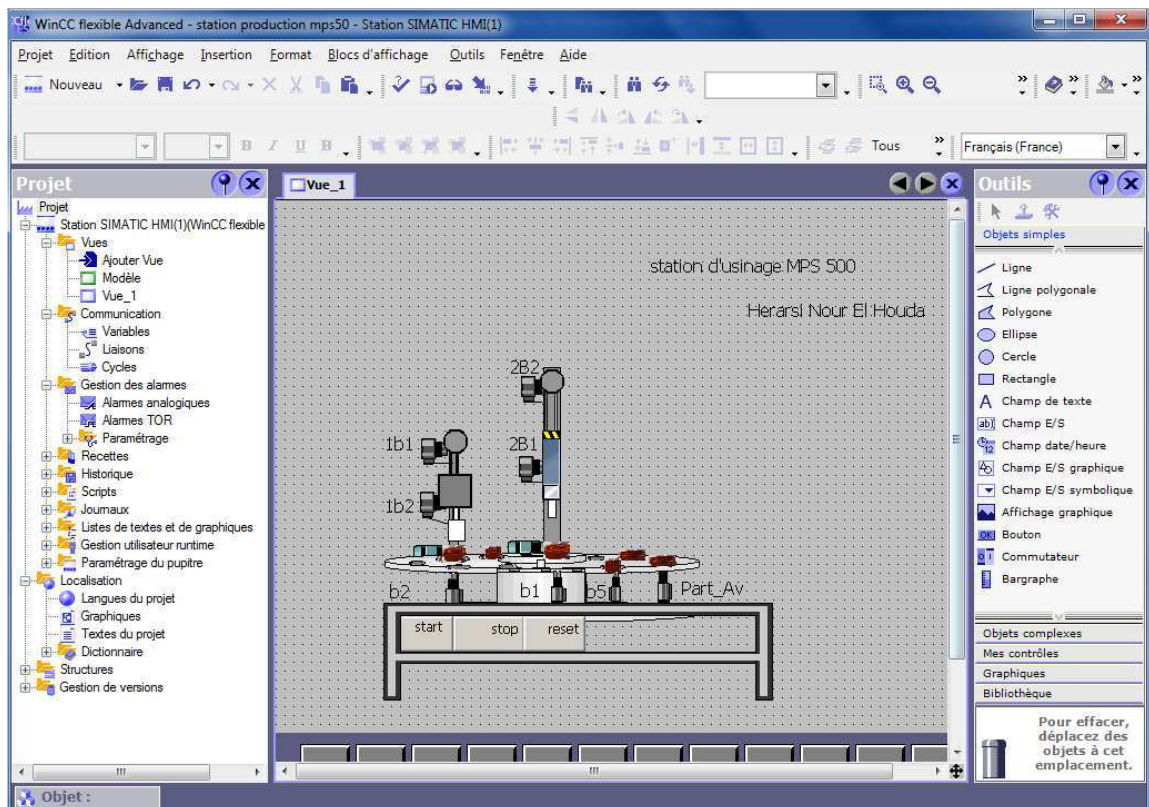
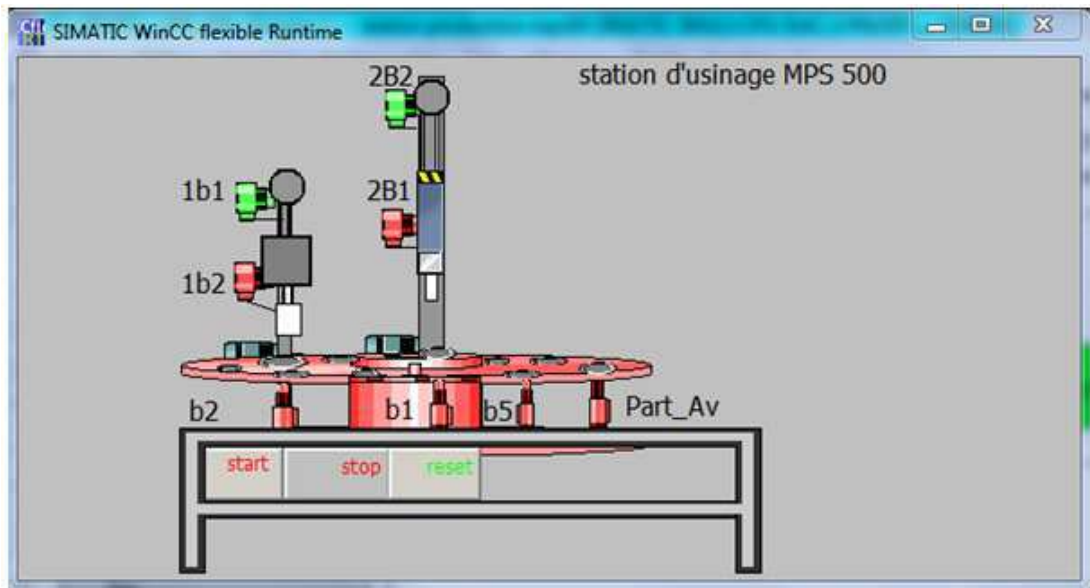
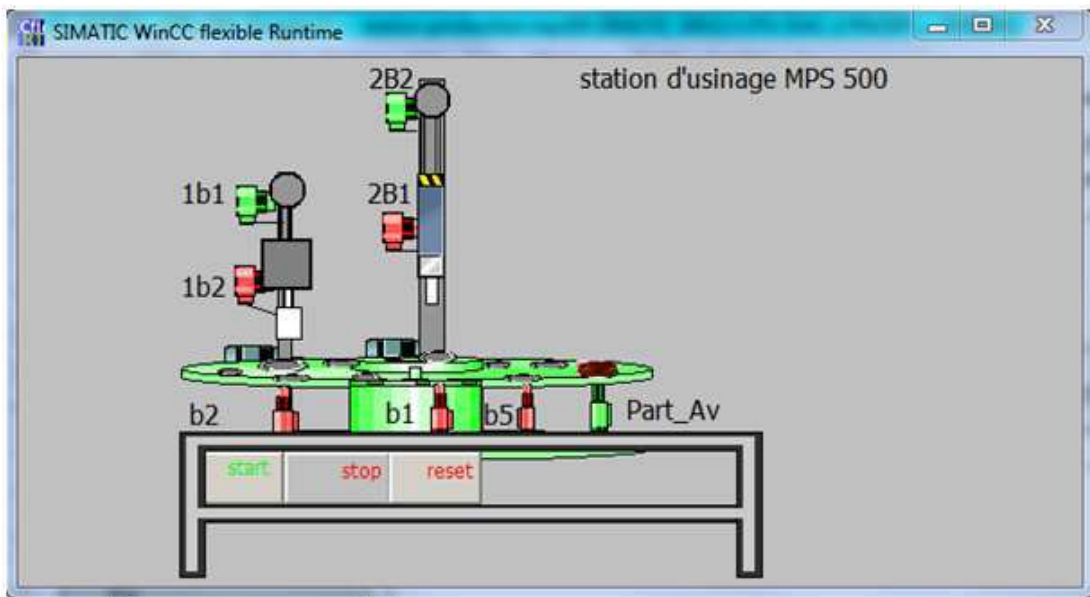


Figure 4.23 : IHM développé de la Station d'usinage du MPS 500.



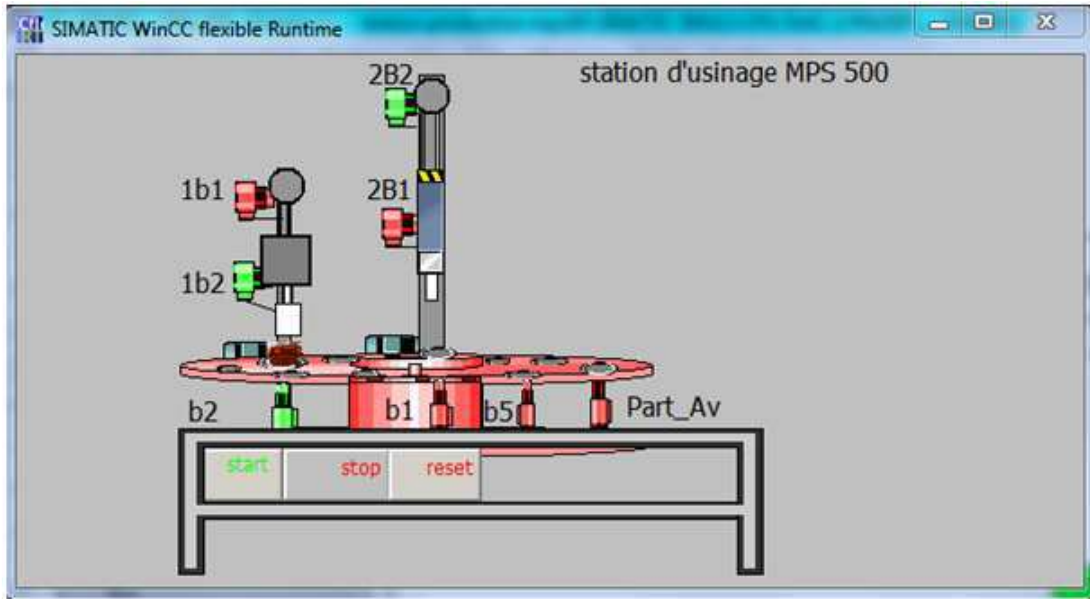
**Figure 4.24 :** Station d'usinage du MPS 500 en mode Reset.

La figure 4.24 représente la station en mode Reset. La perceuse et lisseurs est en haut et la table dial est en arrêt. Aussi, on remarque l'absence de la pièce au niveau de la table dial.



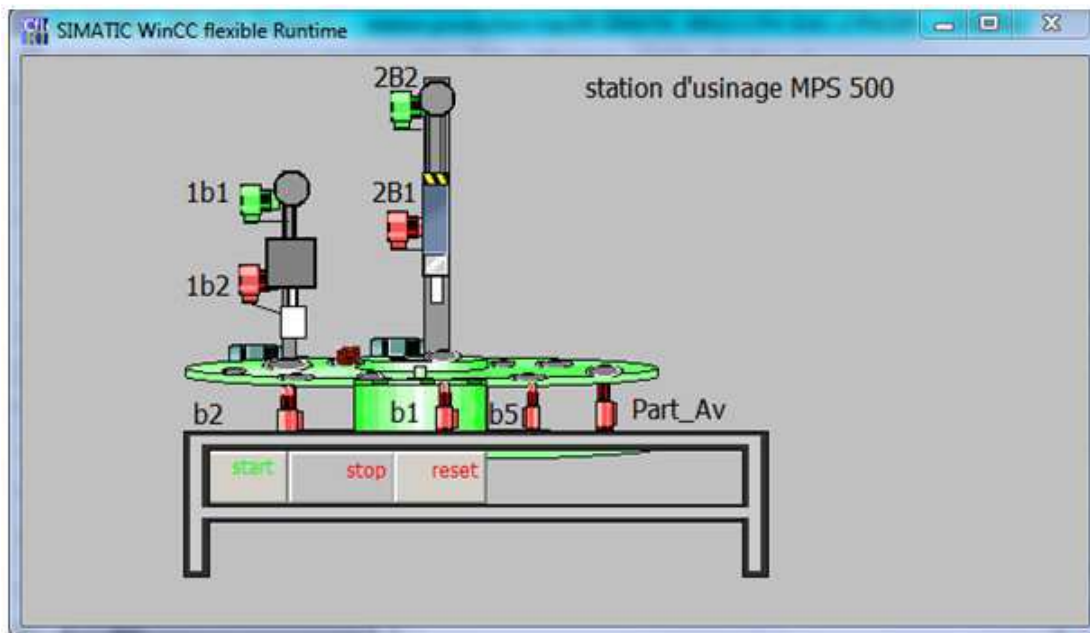
**Figure 4.25 :** Station d'usinage du MPS 500 en mode Start.

La figure 4.25 représente la station en mode de fonctionnement. Lorsque le capteur détecte la présence de la pièce au niveau de la table dial, cette dernière tourne de 60° afin de mettre la pièce au niveau de la perceuse.



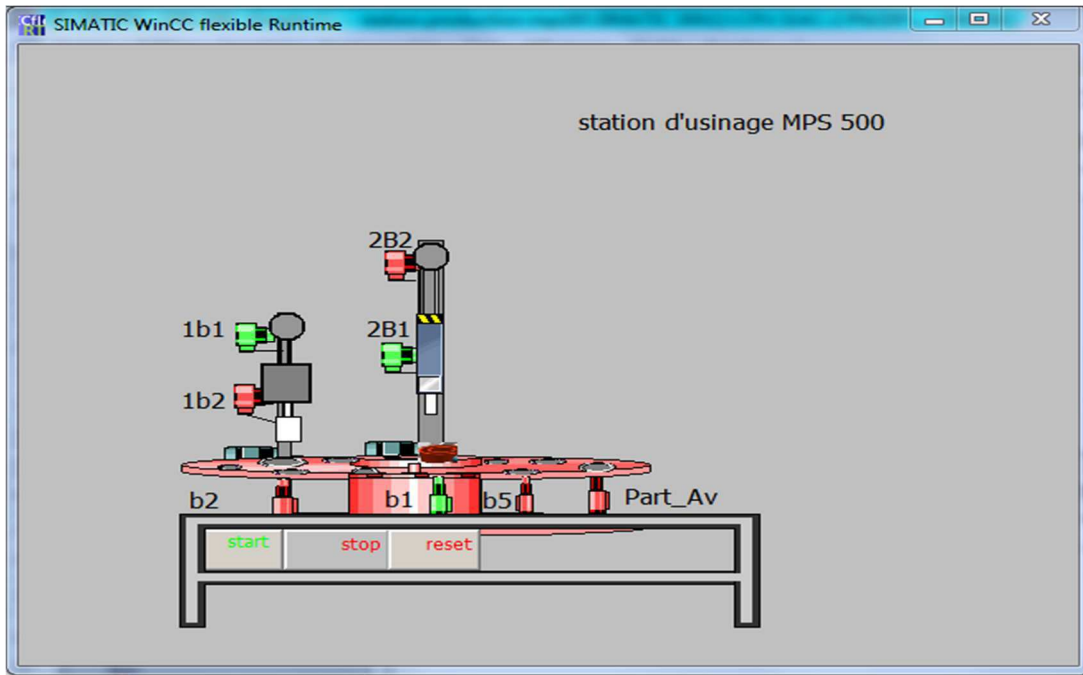
**Figure 4.26 :** Station d'usinage du MPS 500 en mode Start.

La figure 4.26 représente la station en mode de fonctionnement. Lorsque le capteur b2 détecte la présence de la pièce au niveau de l'induit de contrôle cette dernière se déplace vers le bas. Le capteur 1b2 détecte la position basse de l'induit de contrôle.



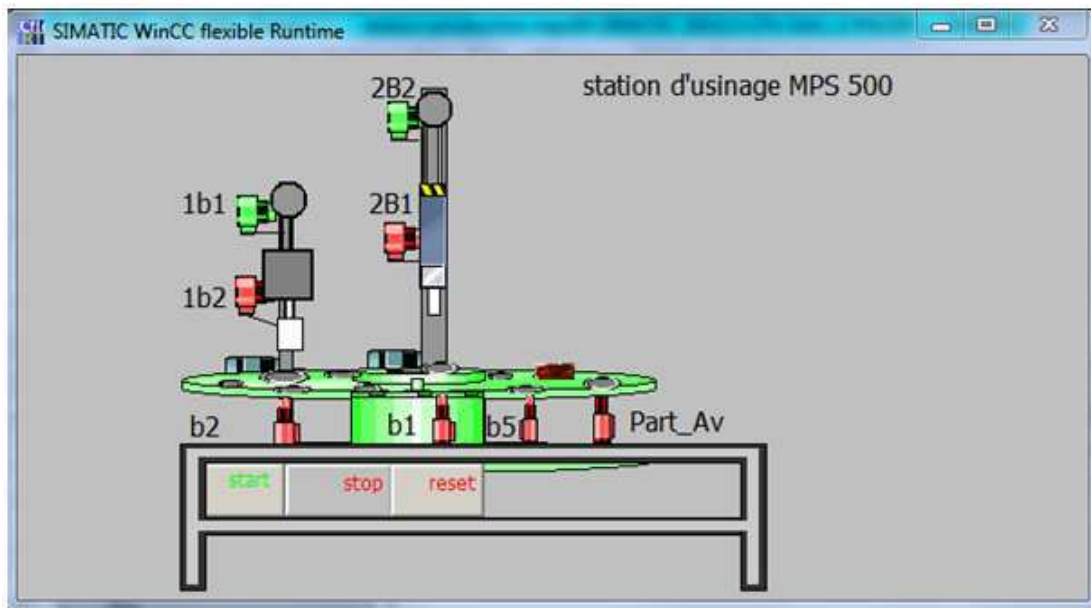
**Figure 4.27 :** Station d'usinage du MPS 500 en mode Start.

La figure 4.27 représente la station en mode de fonctionnement. La table dial tourne de 60° afin de pousser la pièce au niveau de l'induit de contrôle.



**Figure 4.28** : Station d'usinage du MPS 500 en mode Start.

La figure 4.28 représente la station en mode de fonctionnement. Lorsque le capteur B1 détecte la présence de la pièce au niveau de la perceuse, cette dernière se déplace vers le bas. Le capteur 2B1 détecte la position basse de la perceuse.



**Figure 4.29** : Station d'usinage du MPS 500 en mode Start.

La figure 4.29 représente la station en mode de fonctionnement dans lequel la table dial va tourner pour éjecter la Pièce.

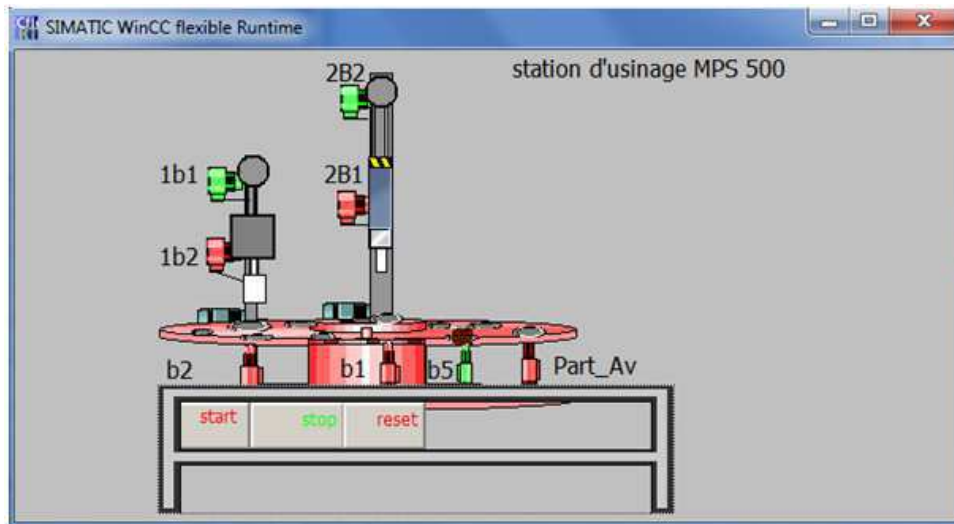


Figure 4.30 : Station d'usinage du MPS 500 en mode Stop.

La figure 4.30 représente l'IHM de la station d'usinage du système MPS 500 de FESTO en mode Stop. On remarque que la perceuse et l'induit de contrôle est en position haute ainsi que le capteur b5 détecte que la pièce est éjectée.

#### 4.5.3. Développement de l'IHM de la station de manipulation du système MPS 500 de FESTO

Dans l'interface, on a utilisé des composants réels comme les capteurs optiques de proximités, les capteurs électromécaniques, les capteurs capacitifs, les capteurs inductifs, les pinces, les pièces des moteurs électrique, manipulateur.

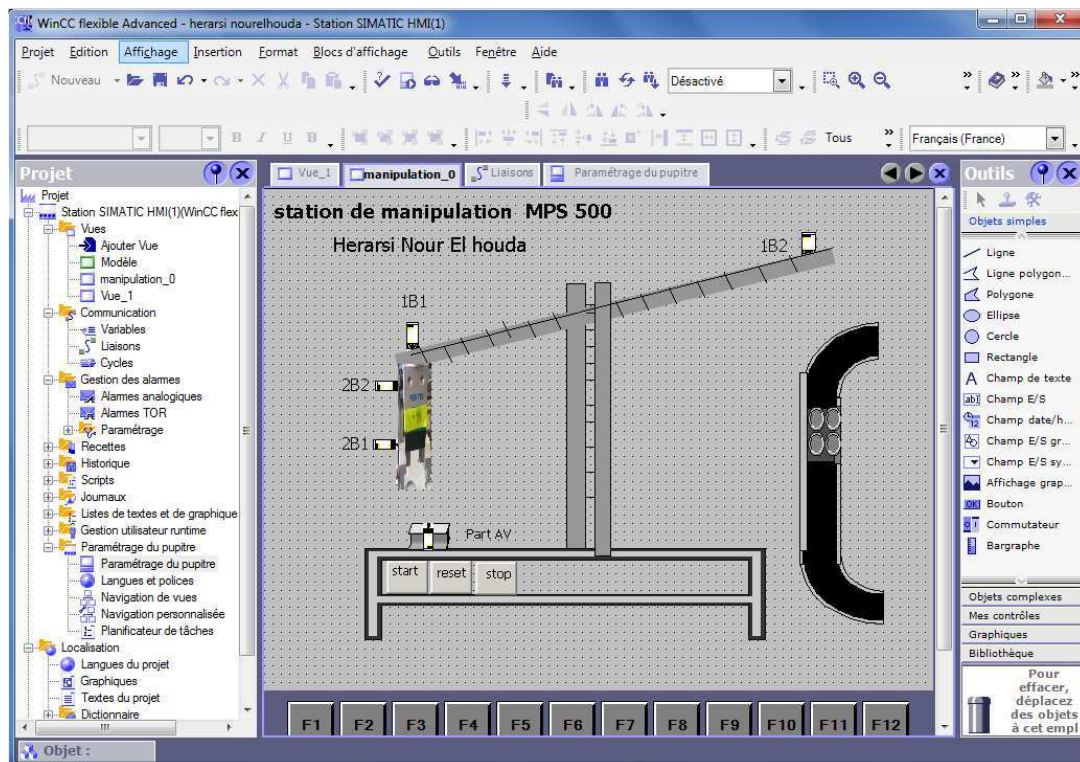


Figure 4.31 : IHM développé de la Station de manipulation du MPS 500.

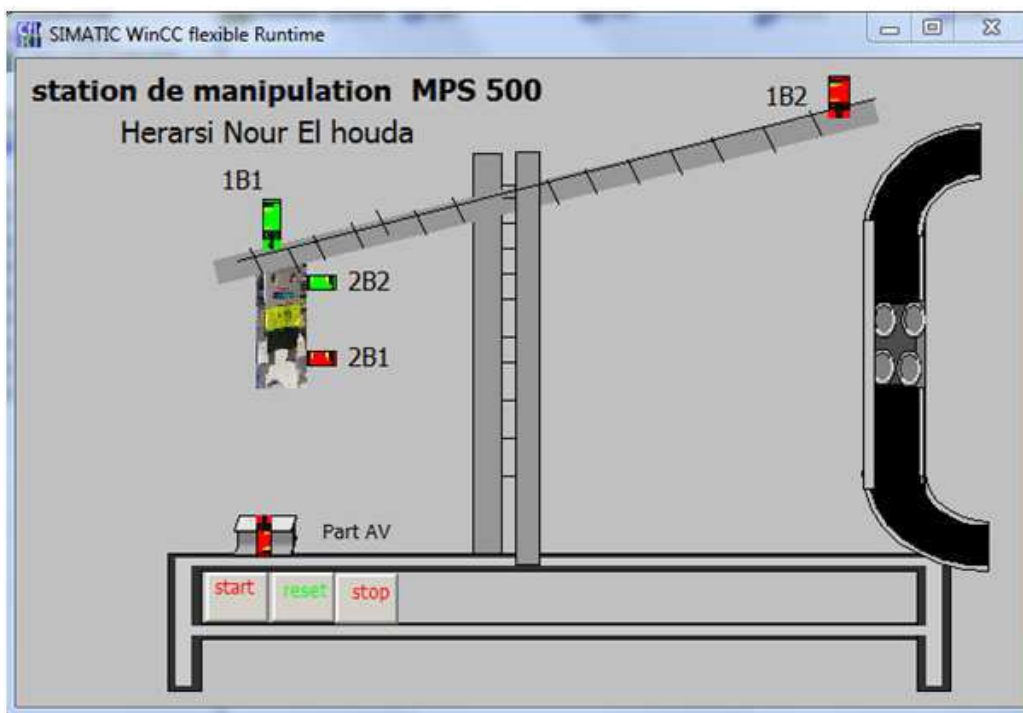


Figure 4.32 : Station de manipulation du MPS 500 en mode Reset.

La figure 4.32 représente la station de manipulation en mode Reset. Le manipulateur est en haut et en amont aussi les capteurs Part Av, 1B2, 2B1 sont désactivés.

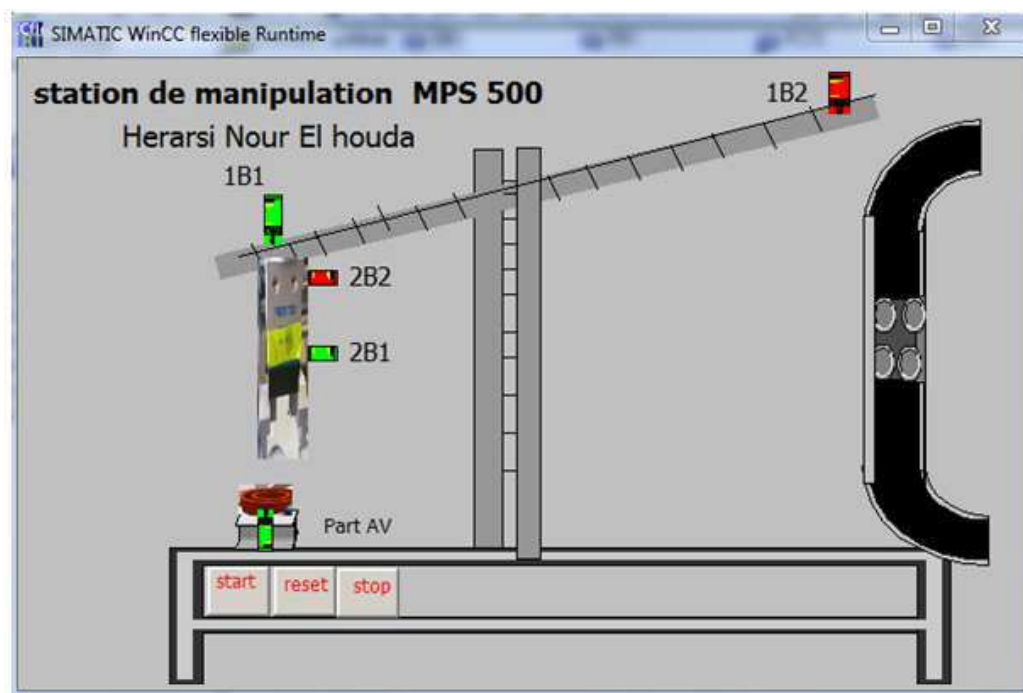
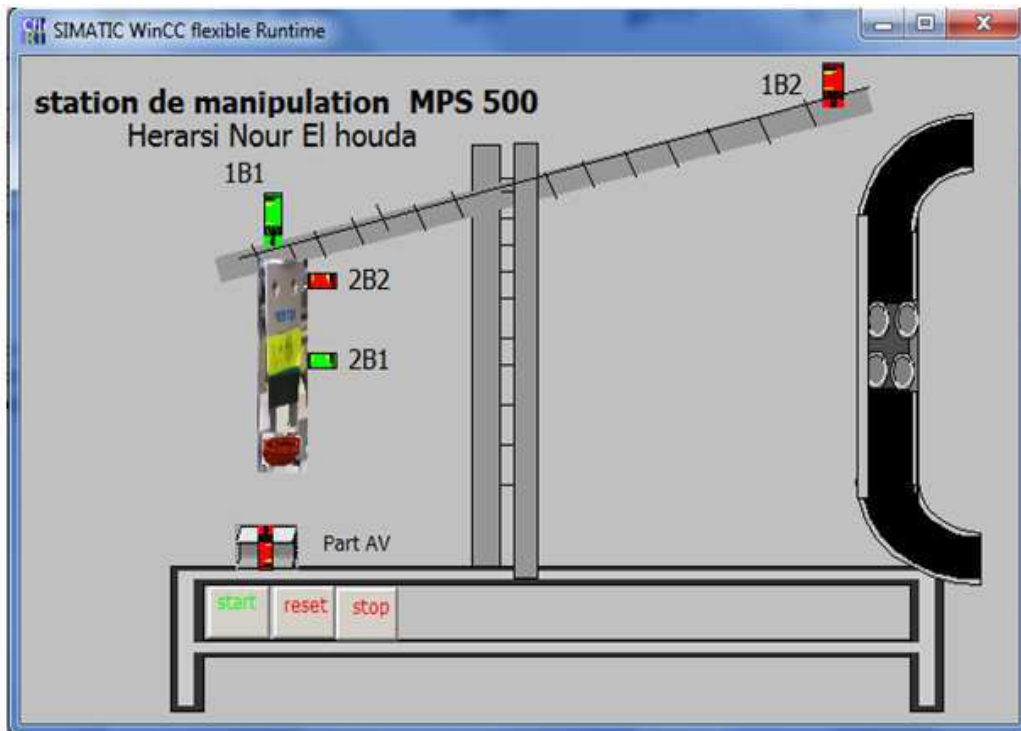


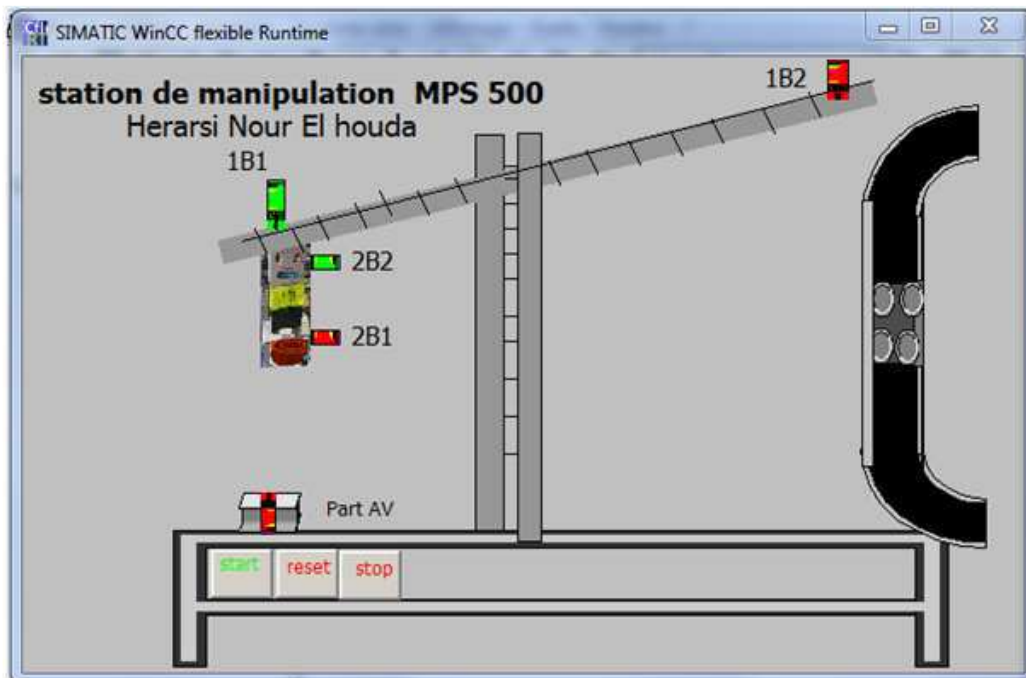
Figure 4.33 : Station de manipulation du MPS 500 en mode Start.

La figure 4.33 représente la station de manipulation en mode de fonctionnement. On remarque très bien que le capteur Part Av activé détecte la présence de la pièce ,1B1 détecte que la position du manipulateur est à gauche Aussi, on remarque que la position basse du manipulateur est détectée par le capteur 2B1 afin de prendre la pièce devant la station avale.



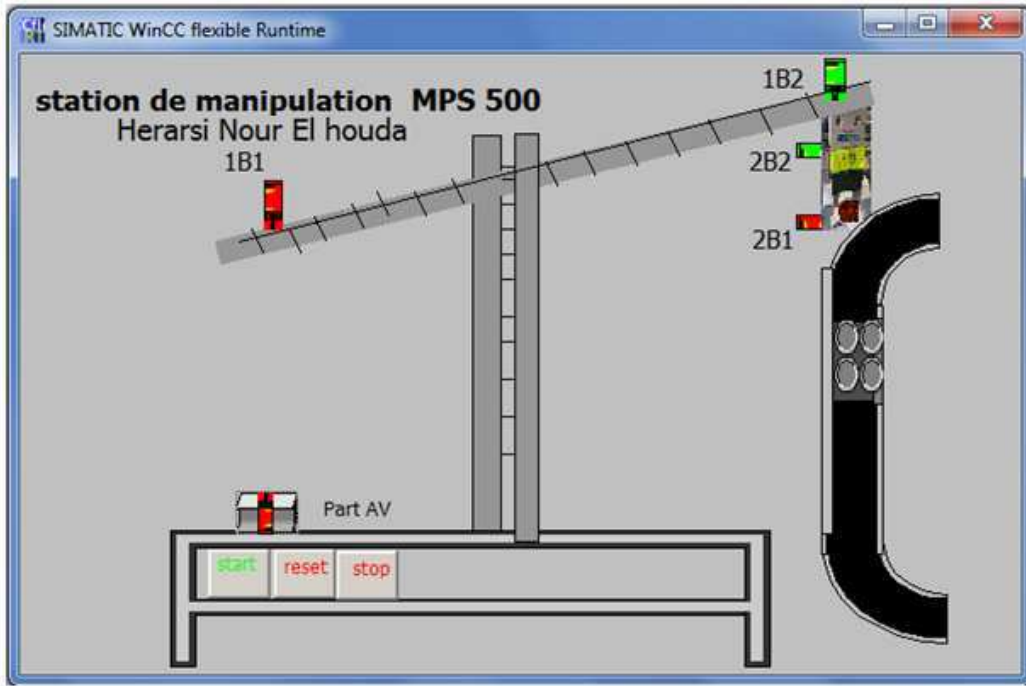
**Figure 4.34 :** Station de manipulation du MPS 500 en mode Start.

La figure 4.34 représente la station de manipulation en mode Start. Elle montre le capteur Part Av désactivé, le manipulateur en bas détecté par le capteur 2B1 et en amont détecté par 1B1. Aussi, la pince s'ouvre pour prendre la pièce.



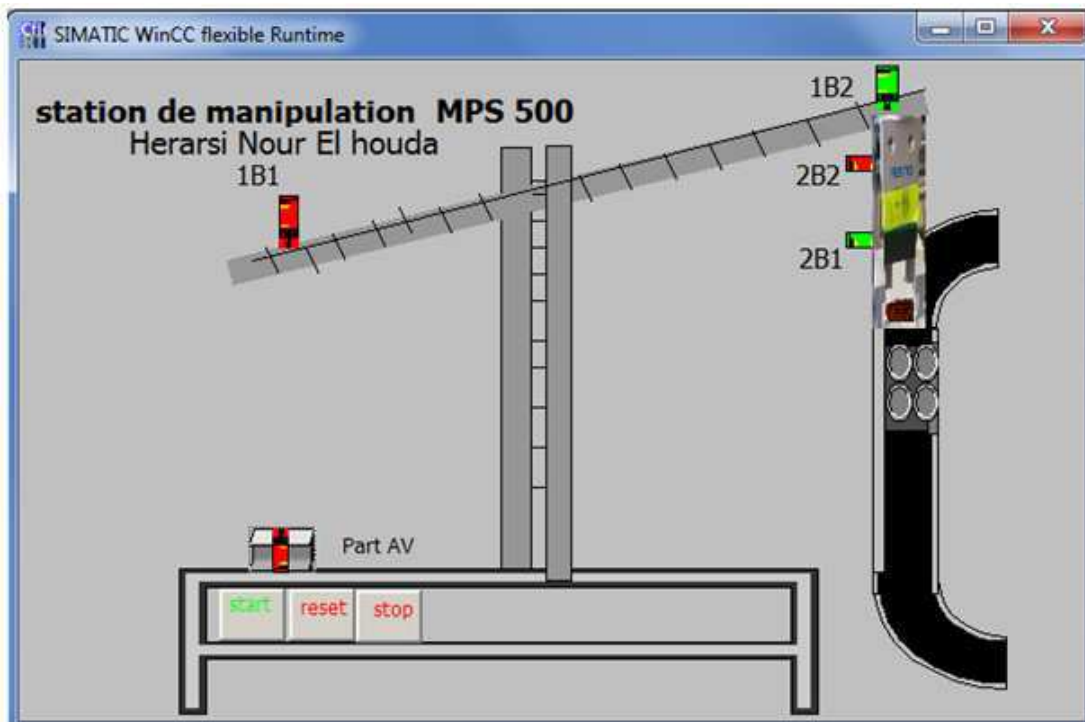
**Figure 4.35 :** Station de manipulation du MPS 500 en mode Start.

La figure 4.35 représente la station de manipulation en mode Start. On remarque très bien le capteur Part Av est désactivé, le manipulateur en haut détecté par le capteur 2B2 et en amont détecté par 1B1. La pince prend la pièce et se ferme.



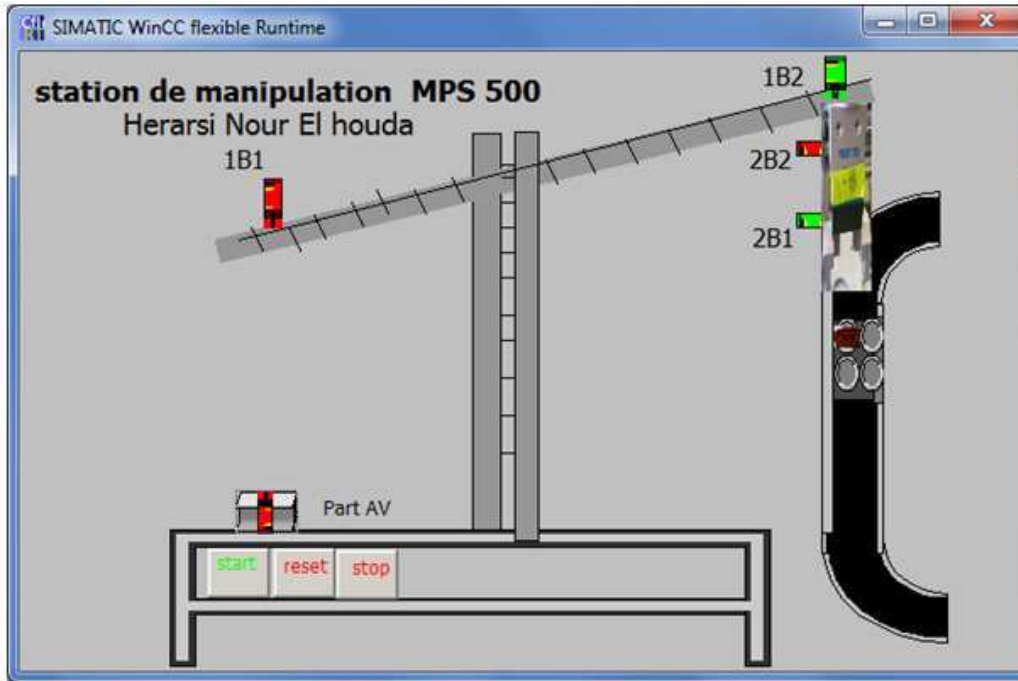
**Figure 4.36 :** Station de manipulation du MPS 500 en mode Start.

La figure 4.36 représente la station de manipulation en mode Start. Le capteur Part Av est désactivé, le manipulateur en haut détecté par le capteur 2B2 et en aval détecté par 1B2. Aussi, la pince prend la pièce et se ferme.



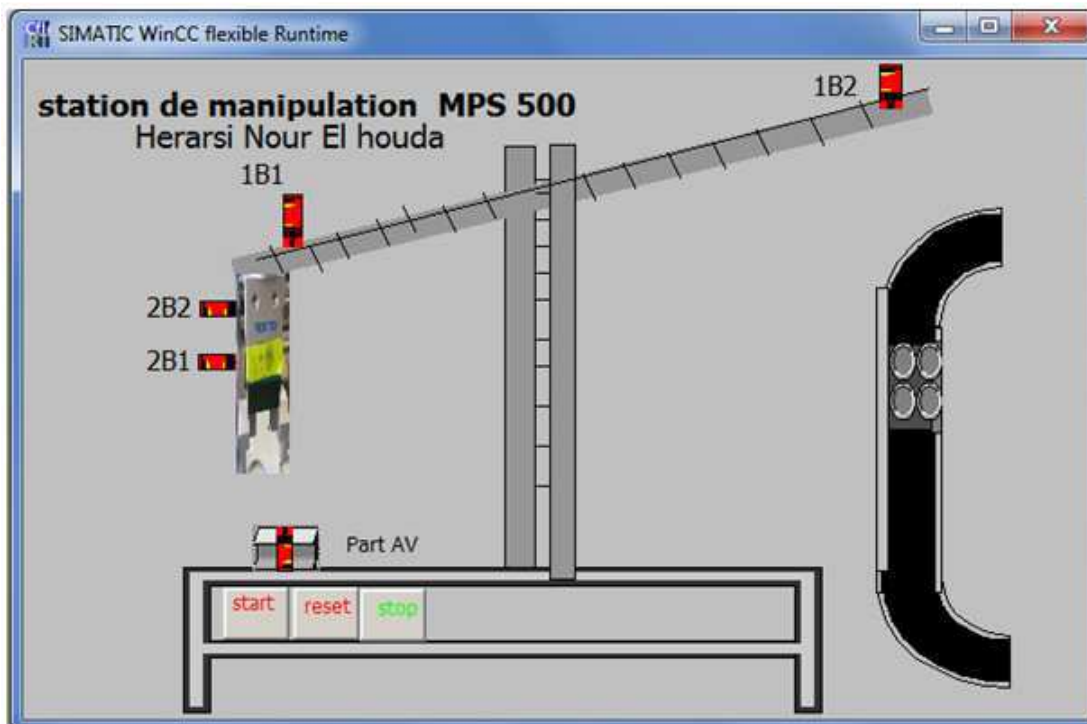
**Figure 4.37 :** Station de manipulation du MPS 500 en mode Start.

La figure 4. 37 représente la station de manipulation en mode Start. On remarque très bien le capteur Part Av est désactivé, le manipulateur descend en bas détecté par le capteur 2B2 et en aval détecté par 2B1. Aussi, la pince s’ouvre et éjecte la pièce.



**Figure 4.38** : Station de manipulation du MPS 500 en mode Start.

La figure 4.38 représente la station de manipulation en mode Start, Le capteur Part Av est désactivé, le manipulateur en bas et détecté par le capteur 2B2 et en aval détecté par 2B1 et que la pièce est posée dans la palette.



**Figure 4.39** : Station de manipulation du MPS 500 en mode Stop.

La figure 4 39 représente la station de manipulation en mode Stop. Tous les capteurs sont désactivés et les actionneurs sont en arrêt.

### 4.5.4. Développement de l’IHM de la station de tri du système MPS 500 de FESTO

Dans l’interface, nous avons utilisé des composants réels de la station de tri comme les capteurs optiques de proximités, les capteurs inductifs, les effecteurs, les pièces, les vérins pneumatiques, des moteurs électriques, les tapis roulants, glissières, etc...

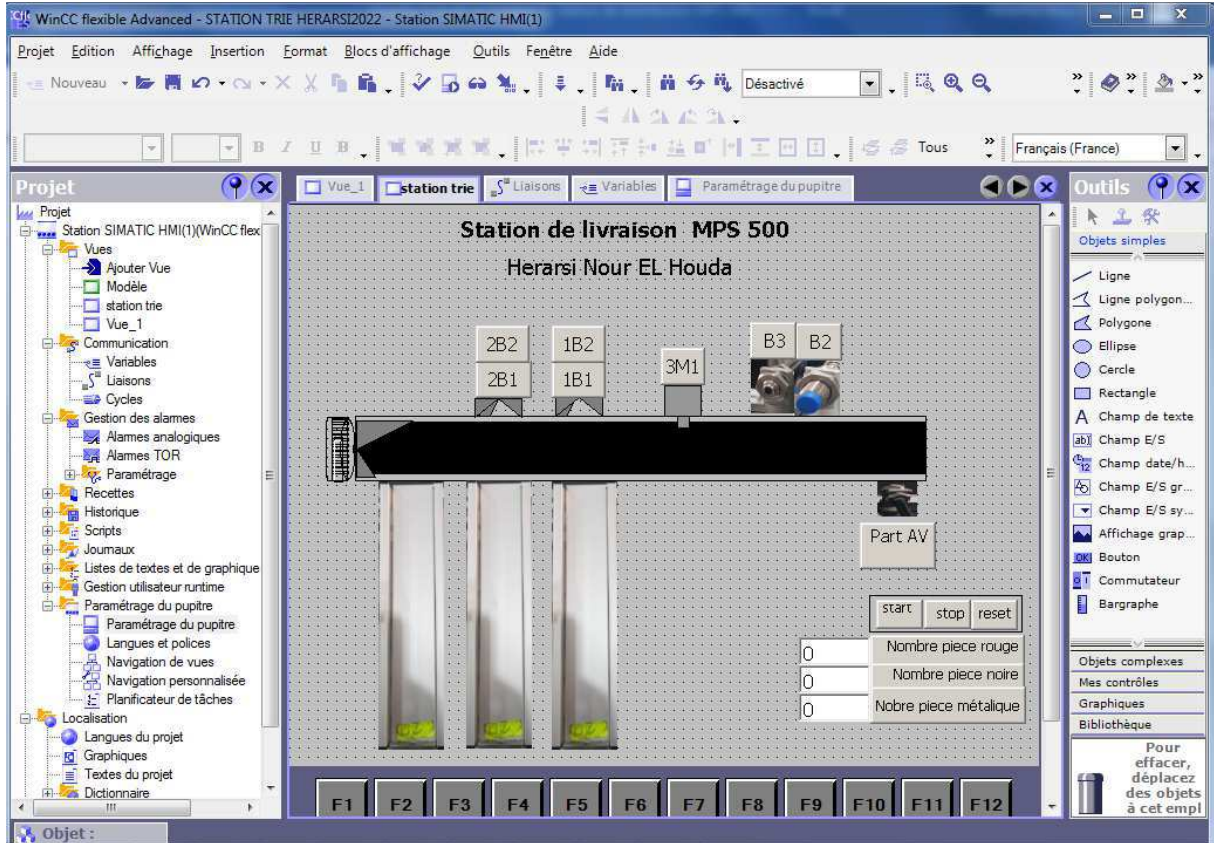


Figure 4.40 : IHM développé de la station de tri (livraison) du MPS 500.

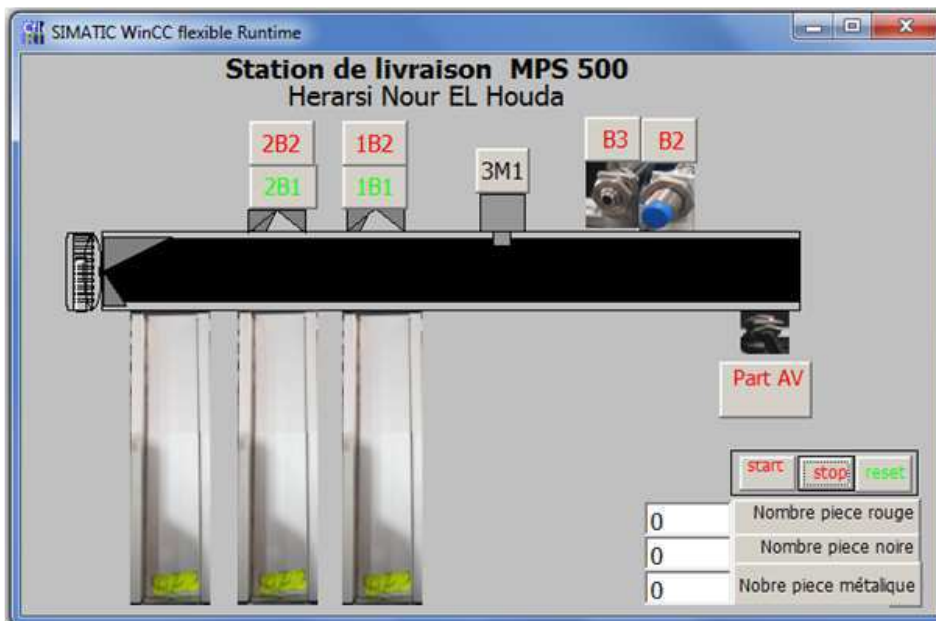


Figure 4.41 : Station de tri du MPS 500 en mode Reset.

La figure 4.41 représente l'IHM de la station de tri en mode simulateur Runtime et PLCsim après un appui sur le bouton Reset. Dans cette figure, on illustre aussi que les capteurs 2B1, 1B1 activés indiquant que l'effecteur 2M1, 1M1 sont en position arrière. Le stoppeur 3M1 en arrière. Le moteur du tapis roulant est en arrêt et les capteurs B2, B3, Part Av désactivés.

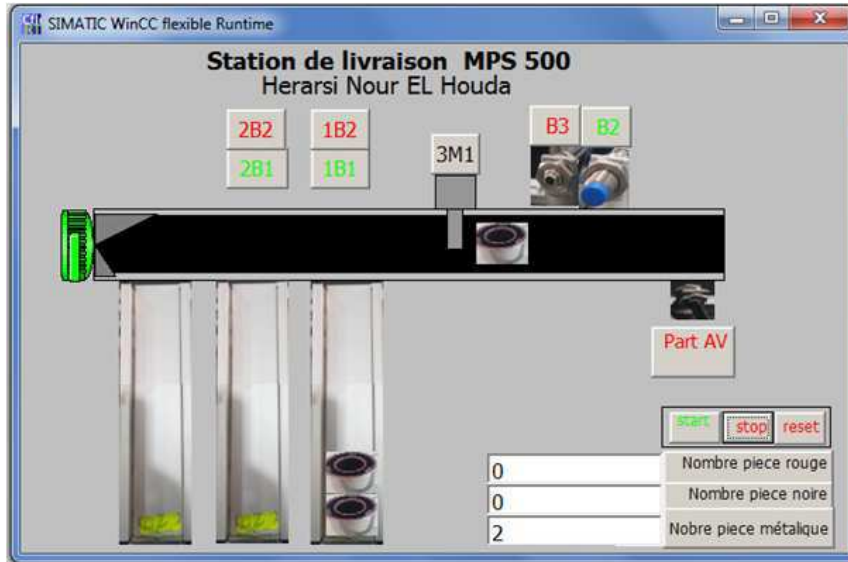


Figure 4.42 : Station de tri du MPS 500 en mode Start.

La figure 4.42 illustre que les capteurs 2B1, 1B1 activés indiquant que les effecteurs 2M1, 1M1 sont en positons arrière, ainsi que le moteur du tapis roulant en marche, le capteur B2 détecte la présence d'une pièce métallique. B3, Part Av désactivés. La glissière C1 présente 2 pièces métalliques, le stoppeur 3M1 est en avance.

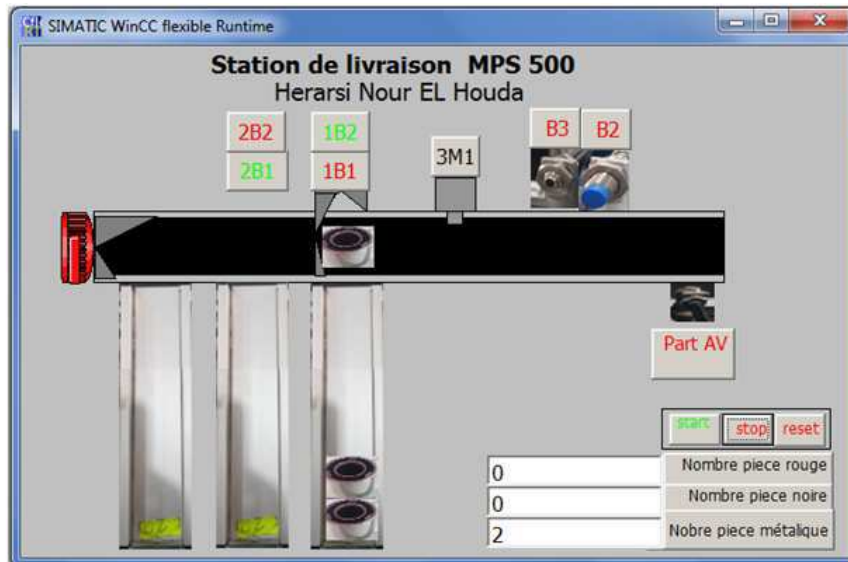
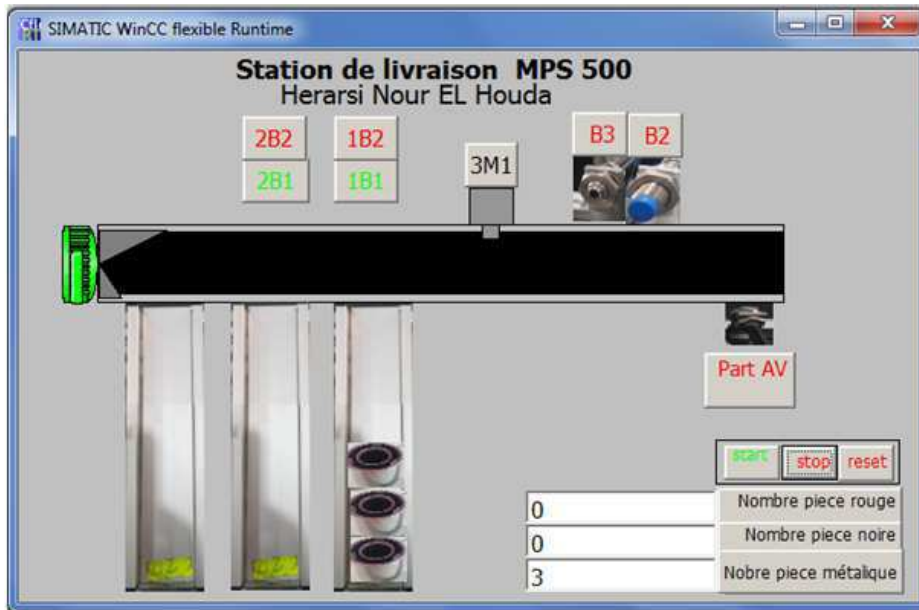


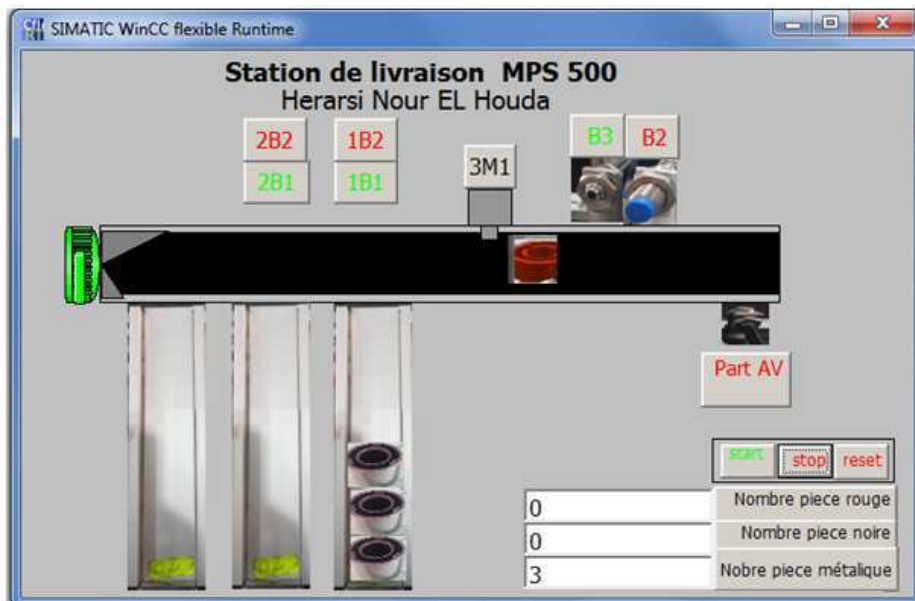
Figure 4.43 : Station de tri du MPS 500 en mode Start.

La figure 4.43 représente le capteur 2B1, 1B1 activés indiquent que les effecteurs 2M1, 1M1 sont en position arrière. Aussi, on remarque que le moteur du tapis roulant est en marche. Les capteurs B2, B3, Part Av désactivés. La glissière C1 présente 2 pièces métalliques. L'effecteur 2M1 est en avance afin de pousser la pièce métallique dans la glissière C1.



**Figure 4.44 :** Station de tri du MPS 500 en mode Start.

La figure 4.44 montre les capteurs 2B1, 1B1 activés indiquant que les effecteurs 2M1, 1M1 sont en position arrière, ainsi que le moteur du tapis roulant en marche. Les capteurs B2, B3, Part Av sont désactivés, la glissière C1 présente 2 pièces métalliques. L'effecteur 2M1 est en avance afin de pousser la pièce métallique dans la glissière C1.



**Figure 4.45 :** Station de tri du MPS 500 en mode Start.

La figure 4.45 illustre aussi que le capteur 2B1, 1B1 activés indiquent que les effecteurs 2M1, 1M1 sont en position arrière. Aussi, on remarque que le moteur du tapis roulant est en marche. Les capteurs B2, Part Av sont désactivés. Le capteurs B3 activé détecte la présence de la pièce rouge. La glissière C1 présente 3 pièces métalliques. Le Stoppeur 3M1 en position arrière afin de laisser la pièce se déplacer.

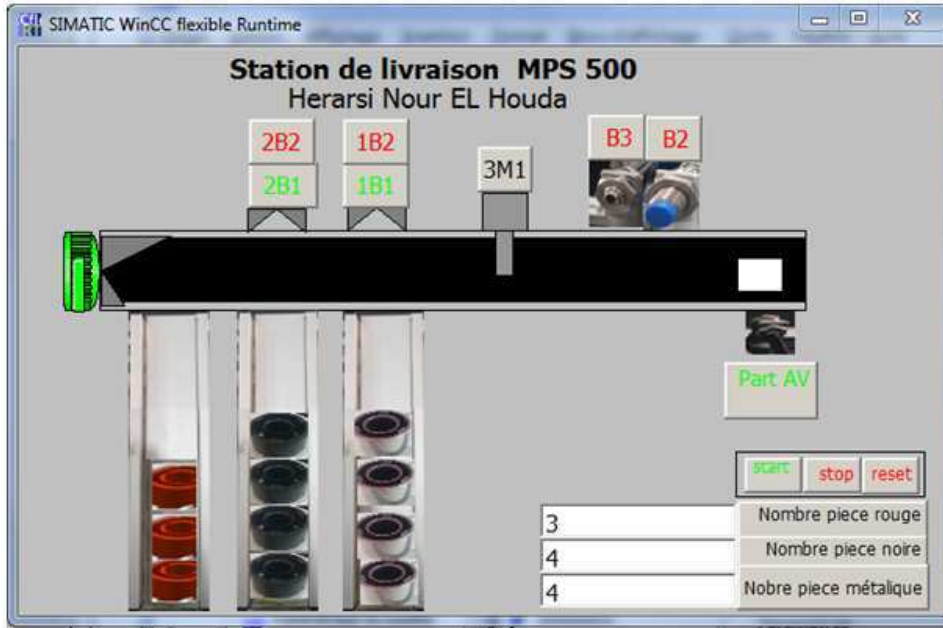


Figure 4.46 : Station de tri du MPS 500 en mode Start.

La figure 4.46 représente le capteur 2B1,1B1 activés indiquent que l’effecteur 2M1,1M1 sont en position arrière, ainsi que le moteur du tapis roulant en état marche. Les capteurs B2, B3 désactivés. La glissière C1 présente 4 pièces métalliques. Par contre, la glissière C2 présente 4 pièces noires, la glissière C3 présente 3 pièces rouges. L’effecteur 3M1 est en avance. Le capteur Part Av activé détecte la présence de la pièce sur le tapis roulant.

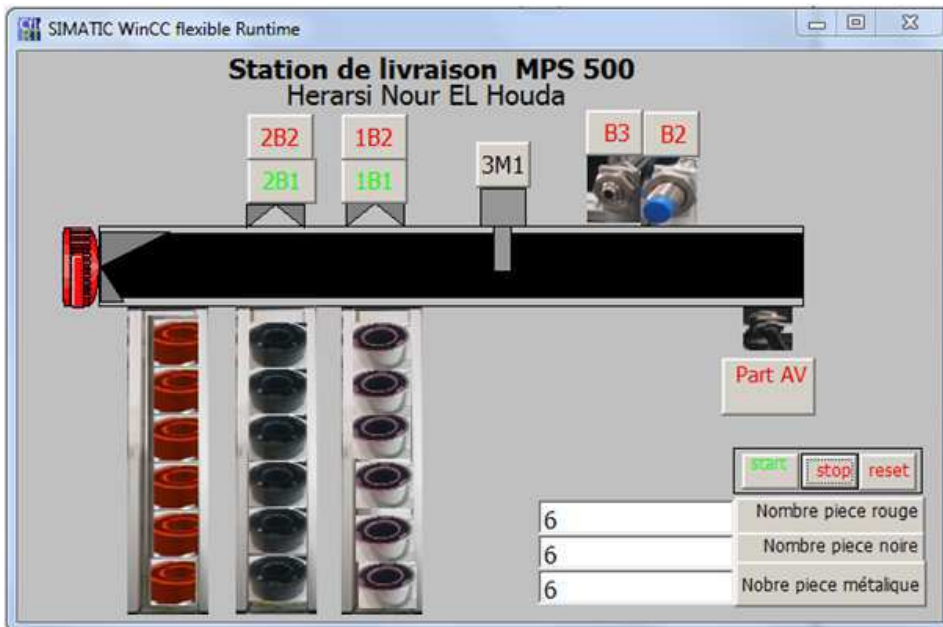


Figure 4.47 : Station de tri du MPS 500 en mode Start.

La figure 4.47 illustre le capteur 2B1,1B1 activés indiquant que les effecteurs 2M1,1M1 sont en position arrière. Elle montre aussi que le moteur du tapis roulant est en arrêt. Les capteurs Part Av, B2, B3 sont désactivés. Les glissières C1, C2, C3 sont saturées, pour cela, l’effecteur 3M1 est en avance.

## 4.6. Discussion/interprétation

L'interface homme-machine des stations de distribution/contrôle, d'usinage, manipulation et de tri du système MPS 500 de FESTO a été réalisé avec le logiciel SIMATIC WinCC Flexible, allant de l'étude à la modification de l'ensemble des programmes qui se trouvent dans chaque sous station en passant par la simulation au niveau des deux simulateurs PLC Sim pour les programmes en STEP7 et Runtime pour la partie supervision afin de visualiser les modèles obtenus en mode simulation permettant à l'opérateur d'avoir une vision immédiate de l'évolution du processus MPS 500 dans le temps en analysant la séquence des états de fonctionnement.

Les résultats obtenus sont implémentés dans un environnement SCADA. Nous avons procédé, après à la phase de validation des résultats obtenus à partir de la simulation, à la phase d'expérimentation sur le modèle obtenu en temps réel.

D'après les simulations effectuées pour chaque station, nous avons constaté que le système de supervision sous logiciel WinCC flexible suit exactement le fonctionnement réel de chaque station du système MPS 500. Aussi, les IHM effectuées simplifient énormément la compréhension du fonctionnement et permet de conclure le rôle principal de chaque station.

## 4.7. Comparaison et performance d'IHM développé

Il faut noter que le système fourni initialement par FESTO ne comportait aucun IHM de supervision. Il avait uniquement un pupitre de commande. Il faut savoir aussi :

- La station est commandée au moyen du pupitre de commande.
- La simulation et le programme API doivent être lancés avant la mise en référence,
- Le retrait des pièces à usiner au niveau des points de transfert des modules ou des stations était manuel.
- La mise en référence est demandée lorsque la touche RESET est allumée et exécutée après actionnement de la touche.
- L'activation est demandée lorsque la touche START est allumée et exécutée après actionnement de la touche.
- Le programme API peut être arrêté à tout moment en appuyant sur la touche STOP (touche rouge à droite)

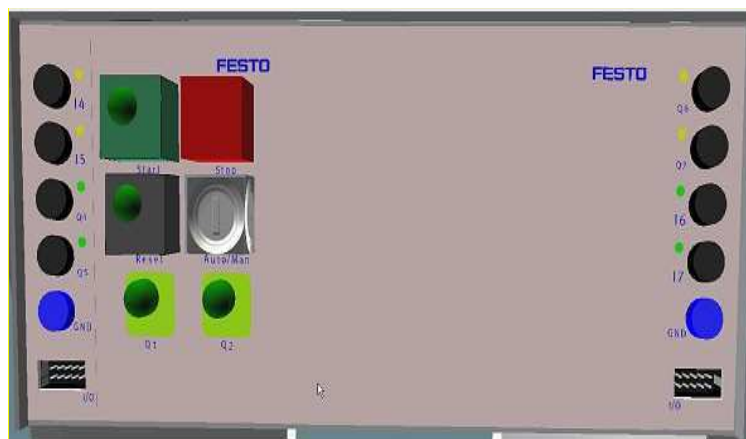


Figure 4.48: Pupitre de commande du système MPS 500.

Le présent système avec les IHM de supervisions développées sous logiciel WinCC flexible suit exactement le fonctionnement réel de chaque station du système MPS 500.

- Les IHM effectuées simplifient énormément la compréhension du fonctionnement et permet de conclure le rôle principal de chaque station.
- L'IHM développé permet de visualiser les modèles obtenus en mode simulation et permet aussi à l'opérateur d'avoir une vision immédiate de l'évolution du processus MPS 500 dans le temps en analysant la séquence des états de fonctionnement.
- La commande de la station se fait directement sous IHM développé (boutons start, stop, Reset)

Il reste comme perspective

- La sécurisation du réseau de la partie SCADA,
- La supervision et la visualisation du système MPS 500 en temps réel et à distance,
- Le développement d'une seule IHM pour commander et superviser tous le système MPS.

## 4.8. Conclusion

Le Système de Contrôle et d'Acquisition des Données en temps réel est un système de télégestion à grande échelle permettant de traiter en temps réel un grand nombre de télémessures et de contrôler à distance des installations techniques. Le SCADA est un point d'interaction entre l'opérateur et les algorithmes d'aides à la décision.

Parmi les tâches principales de la supervision est de réaliser l'interface homme-machine. Pour être efficace, l'IHM doit fournir à l'opérateur une image rapide et complète de l'ensemble du processus mettant en évidence l'état de l'évolution et les écarts inattendus (alarmes).

Dans ce chapitre, nous avons exposé une méthode complète pour construire une IHM de supervision des stations : de distribution/contrôle, d'usinage, de manipulation et de tri du système MPS 500 de FESTO. Cette IHM a été développée via le logiciel WinCC Flexible. Pour cela, nous avons étudié le programme GRAPH7 de la station programmée avec STEP7 afin de déterminer toutes les variables du programme. Pour tester notre IHM, nous avons exécuté le programme GRAPH7 via le PLCsim. En changeant les états des bits d'entrée de la station, nous avons remarqué que notre IHM suivait exactement le comportement du programme exécuté par PLCsim. L'IHM développée peut aussi contrôler les stations : de distribution/contrôle, d'usinage, de manipulation et de tri par les boutons Start qui lance la station. Le bouton Stop qui arrête la station en cas de problème et le bouton Reset qui prépare la station à redémarrer pour une nouvelle exécution après un arrêt.

Enfin, on peut dire que l'IHM développée peut commander les stations de distribution/contrôle, d'usinage, de manipulation et de tri et peut superviser les états en temps réel des différents capteurs et actionneurs des stations étudiées.

# **Conclusion Générale**

L'environnement industriel considère que la sécurité industrielle est une partie très importante avec une intégrité indissociable du contrôle des systèmes industriels, de sorte qu'il n'est pas possible d'envisager une mise en œuvre d'un équipement industriel sans aucune preuve qui assure le fonctionnement souhaité. Par conséquent, la sécurité permet non seulement de prévenir les défaillances causant des dommages matériels et humains, mais aussi de garantir la poursuite et la stabilité de la production, ainsi que la survie de l'installation industrielle. Aujourd'hui, un autre défi est relevé lorsqu'il s'agit d'automatiser la supervision des processus à l'aide d'interfaces homme-machine (IHM) en tant que systèmes intelligents, qui offrent la possibilité de contrôler et de surveiller à distance les systèmes industriels automatisés. Elles fournissent aux opérateurs une assistance spéciale pour le traitement des alarmes urgentes, dans le but d'accroître la sécurité et la fiabilité du processus. De nos jours, l'automatisation est utilisée dans le monde entier dans divers domaines tels que l'industrie du gaz, l'industrie pétrolière, la production d'énergie, les unités de fabrication, etc. Pour cela, les systèmes SCADA de supervision et d'acquisition de données sont essentiels pour la supervision et le contrôle en temps réel de ces systèmes de processus automatisés. Les systèmes SCADA présentent de nombreuses caractéristiques avancées, telles qu'une architecture distribuée, des bases de données distribuées, des interfaces graphiques modernes et faciles à utiliser, des RTU (Remote Terminal Units) intelligentes pour la supervision automatique et le contrôle autonome à distance, etc. Ils consistent à collecter des informations, à les transférer vers un site central, à effectuer les contrôles et les analyses nécessaires, puis à afficher ces données sur les écrans des opérateurs. Ils utilisent différentes topologies de réseaux de communication tels que les réseaux locaux LAN, les réseaux sans fil Wi-Fi et même le WAN (Internet), ils sont intégrés dans la gestion de l'information des entreprises afin de maximiser l'efficacité envers le service public et de répondre rapidement aux nouvelles exigences commerciales du marché.

Afin d'effectuer l'acquisition de données, la supervision, la surveillance et le contrôle en temps réel des systèmes de production modernes, les systèmes SCADA sont devenus une nécessité, on les trouve dans divers secteurs de production stratégiques tels que le secteur de l'énergie comme l'industrie du pétrole, du gaz et l'électricité, le secteur de l'eau comme les usines de dessalement et de purification, le secteur des transports, le secteur des industries manufacturières entre autres.

Les systèmes de supervision, de contrôle et de commande SCADA et HMI sont également omniprésents dans l'industrie manufacturière moderne et intelligente, qui fait partie intégrante du secteur industriel et consiste en la transformation de matières premières et de marchandises, la fabrication de produits finis ou semi-finis, la fabrication, la maintenance et l'installation d'outils industriels, notamment l'industrie alimentaire, l'électronique et les technologies de l'information, le textile et l'habillement, l'automobile, le bois, le papier, les meubles, entre autres. Ce type d'industrie désormais appelé Industrie 4.0 est entièrement automatisé, robotisé et informatisé fait de l'utilisation de systèmes de supervision tels que les SCADA une nécessité pour le bon fonctionnement de ces systèmes complexes.

Les systèmes SCADA utilisent plusieurs types de logiciels, parmi lesquels on peut citer le logiciel SIMATIC WinCC de Siemens, qui est considéré comme l'un des logiciels les plus

puissants pour la conception de systèmes SCADA et d'IHM, permettant de concevoir plus facilement plusieurs types d'éléments de système industriel (capteurs, actionneurs, panneaux de contrôle, etc.), il est utilisé dans divers domaines de production industriel et autres.

On a divisé notre travail en deux grandes parties, dans la première théorique où on a commencé par donner une vision globale sur les systèmes de supervision et SCADA, puis on a présenté une description des deux systèmes modernes AFB et MPS 500 de FESTO sur lesquelles on a travaillé.

La seconde partie est pratique, elle représente notre contribution, elle est répartie en deux chapitres, dans le premier chapitre de cette partie on a étudié et modélisé les stations remplissage et réacteur du système MPS PA 204 qui fait partie du système de production automatisé moderne AFB de la marque FESTO. On a commencé par la station de remplissage qui intègre un objet technologique PID pour le contrôle du niveau. Une nouvelle approche est présentée pour développer un système SCADA basé sur une base de données avec des variables optimales spécifiées. Dans ce but, nous avons présenté une méthode complète de développement de l'IHM pour la supervision de la station de remplissage du système AFB avec le logiciel WinCC de Siemens. En utilisant les deux simulateurs S7-PLCSIM de SIMATIC STEP7 et RUNTIME de SIMATIC WinCC Flexible afin de visualiser les modèles obtenus en mode simulation et en temps réel. Après nous avons étudié la station réacteur où nous avons utilisé la modélisation par graphe de liaison pour optimiser les paramètres d'un système hydraulique réel, afin de créer une base de données optimale pour ce système, dans lequel la modélisation mathématique est très compliquée à réaliser. Par la suite on a utilisé les outils de programmation et de supervision respectivement STEP7 et WinCC pour réaliser le programme d'automatisation et l'interface de supervision. Le deuxième chapitre de la partie pratique se résume dans le développement de plusieurs IHM qui correspondent aux stations du système MPS 500 de FESTO. Dans ce chapitre nous avons suivi le même plan de travail qui est l'étude du système, la détermination des variables et paramètres, puis la modélisation et enfin le développement des IHM. Les outils utilisés dans ce chapitre sont les mêmes utilisés dans le chapitre précédant. En fin nous pouvons terminer par dire que les IHM développées suivent exactement le fonctionnement des stations des deux systèmes en temps réel.

**Références  
Bibliographiques**

## Références Bibliographiques

- [1] MS. Thomas, JD. Mcdonald . « Power system SCADA and smart grids-CRC ». International Standard Book Number-13: 978-1-4822-2675-1 (eBook – PDF) ,Press (2015).
- [2] T. Agarwal, Z. Fatima. «Master Station Architecture of a SCADA system ». (*IETE Journal of Education* 43 (3)),121-126,2002.
- [3] M. Sagi, E.Varga. « DHT based SCADA Architecture». (*2017 25th Telecommunication Forum (TELFOR)*), 1-4,2017.
- [4] SC .Sciacca, WR. Block. « advanced SCADA concepts». ( *IEEE Computer Applications in Power* 8(1)),23-28, 1995.
- [5] SK.Ghosh . «changing role of SCADA in manufacturing plant». (*conference record of the 1996 IEEE Industry applications conference Thirty- First IAS Annual Meeting 3*),1565-1566,1996.
- [6] CH. Neeley, PW. Abshire. « Programmable controllers integrate oil SCADA and automation». (37 th Annual Conférence on petroleum and chemical Industry), 235-241,1990.
- [7] TJ. Prati, JM. Farines, MH. De. Queiroz. «automatic test safety specifications for PLC programs in the oil and gas industry». (*IFAC-Papers Online* 48(6)),27-32,2015.
- [8] D. Trung. « Modern SCADA systems for oil pipelines ». (*industry applications society 42nd Annual petroleum and chemical industry conference*),299-305,1995.
- [9] I. Morsi, LM. El-Din. «SCADA system for oil refinery control». (*Measurement* (47)),5-13,,2014.
- [10] CD. Dumitru, A. Gligor. « SCADA based software for renewable energy management system». (*Procedia Economics and Finance* 3),262-267,2012.
- [11] MN. Lakhoua. « SCADA application of a water steam cycle of a thermal power plant». (2013 5th International Conference on Modeling,Simulation and Applied Optimization (ICMSAO) ),1-5,2013.
- [12] BM..Robalo,MG. Figueiredo. « supervisory control developed for a solar tracking prototype based on PV-Technology Bruno». ( *IFAC Proceedings Volumes*43(1)),291-296, 2010.
- [13] AT. Eseye, J.Zhang, D.Zheng .« Short-term photovoltaic solar power forecasting using a hybrid Wavelet-PSO-SVM model based on SCADA and Meteorological information». *Renewable Energy* 118 (2018) 357-367.
- [14] R. Korgaonkar, S. Mondal, HK. Singh, A. Kottantharayil, J. Vasi, N. Shiradkar. « Role of Cloud Movement in Generation of Anomalous Data in SCADA Systems of PV Power Plants». 978-1-7281-6115-0/20/ ©2020 IEEE.
- [15] Y. Qiu, Y. Feng, D. Infield. «fault diagnosis of wind turbine with SCADA alarms based multidimensional information processing method». (*Renewable Energy* 145),1923-1931,2020.
- [16] Z. Kong, B. Tang, L. Deng, W. Liu, Y. Han. «condition monitoring of wind turbines based on spatio temporal fusion of SCADA data by convolutional neural networks and gated recurrent units». *Renewable Energy* 146, 760-768,2020.
- [17] Z. Lina, X. Liu, M. Collua. « Wind power prediction based on high-frequency SCADA data along with Wind power prediction». *Electrical Power and Energy Systems* 118 (2020) 105835.
- [18] EJ. Alvarez, AP. Ribaric. « An improved accuracy method for fatigue load analysis of wind turbine gearbox 2 based on SCADA». (*Renewable Energy* 115),391-399,2018.
- [19] J. Figueiredo, JS. Da. Costa . «A SCADA system for energy management in intelligent building». ( *Energy and Buildings* 49),85-98, 2012.

## Références Bibliographiques

- [20] Z. Bocheng. «Design of building energy monitoring and management system ». (2012 Second International Conference on Business Computing and Global Informatization),645-648,2012.
- [21] A. Firoozshahi, S. Kim. « intelligent and innovative monitoring of water treatment plant in large gas refinery Amir». (2010 IEEE International Conference on control Applications ),269-273, 2010.
- [22] B.Qin, D.Yan. « Remote SCADA system based on 3G VPN services for secondary pressurization pump station ». ( 2010 international confereance on intelligent system design and enginneering application 2),132-135,2010.
- [23] A.Bobat, T. Gezgin, H. Aslan. « The SCADA system application in management of Yuvacik Dam and Reservoir». ( Desalination and Water Treatment 54(8)),2108-2119, 2014.
- [24] ADL. Gray, I. Pisica, GA. Taylor, L.Whitehurst. «A Standardised Modular Approach for Site SCADA Applications within a Water Utility ». (IEEE Access 5),17177-17187,2017.
- [25] F. Belmonte, JL. Boulanger, W. Schön & K. Berkani. «Role of supervision systems in railway safety». WIT Transactions on The Built Environment, Vol 88, © 2006 WIT Press, ISSN 1743-3509.
- [26] P. Noury. «ICONIS: the window for URBALIS controlled automatic METRO».WIT Transactions on The Built Environment, Vol 88, © 2006 WIT Press, ISSN 1743-3509.
- [27] C. Giannopoulou , M. Papoutsidakis , D. Tseles. «Parameters Optimization Of SCADA Operation Of Athens Tram Line». International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology, 2017, Vol. 2, Issue 8, ISSN No. 2455-2143, Pages 9-14.
- [28] B. Sindhu Bharathi, R. Nivedha, S. Swedha. «Enhancing Safety Measures In Metro Rail By Using PLC», International Journal of Computing Communication and Information System (IJCCIS) Vol 6. No.1 – Jan-March 2014 Pp. 47-54.
- [29] K. Hoffmann , R. Liehl. «Cable-drawn urban transport systems», WIT Transactions on The Built Environment, Vol 77, © 2005 WIT Press, ISSN 1743-3509.
- [30] G. Garsous, A. Suárez-Alemán, T. Serebrisky. «Cable cars in urban transport : Travel time savings from La Paz-El Alto (Bolivia) », Transport Policy 75 (2019) 171–182.
- [31] S. SehgaJ, V. Acharya. «Effect of PLC and SCADA in Boosting the Working of Elevator System», IEEE Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science, 2014.
- [32] S. Kantawong, R. Kanchanawiboon. «Multipath tall building elevator module for flexible transport system with PLC based on cloud control», 5th International Electrical Engineering Congress, Pattaya, Thailand, 8-10 March 2017.
- [33] F. ShuangChang, C Jie, Z. Yanbin, L. Zheyi. «Discussion on Improving Safety in Elevator Management», 2020 2nd International Conference on Machine Learning, Big Data and Business Intelligence (MLBDBI).
- [34] F. Rodríguez, JL .Guzmán, M. Castilla . «A proplsal for teaching SCADA systems using virtual industrial plants in engeneering education»,( IFAC-Papers On Line 49(6)), 138-143,2016.
- [35] A. Tesfahun, D.L Bhaskari. «A SCADA test bed for investigating Cyber Security Vulnerabilities in Critical Infrastructures», (Automatic Control and Computer Science 50(1)),54-62,2016.
- [36] J. Vávra, M. Hromada. « Comparison of the intrusion detection system rules in relation with the SCADA Systems»,( Computer Science On-line Conference),159-169,2016.

## Références Bibliographiques

- [37] MA. Ferrag, M. Babaghayou, MA. Yazici. « Cyber security for fog based smart grid SCADA systems Solutions and challenges»,( Journal of Information Security and applications 52),102500,2020.
- [38] D. Peharda, I. Ivanković, N. Jaman. «Using Data from SCADA for centralized Transtormer Monitoring Applications»,( Procedia Engineering 202),65-75,2017.
- [39] AH. Mahjoub, NH. Dandachi. « Power systems Monitoring & control centers sharing SCADA/EMS information in the Age of Entreprise Mobility», (2007 Innovations in Information Technologies (IIT)),312-316, 2007.
- [40] K. Medrano, D. Altuve, K. Belloso, C. Bran .«Development of SCADA using a RTU based on IoT controller», ICA-ACCA 2018, October 17-19, 2018, Greater Concepcion, Chile.
- [41] N.Tuptuk, S. Hailes.«Security of smart manufacturing systems», Journal of Manufacturing Systems 47 (2018) 93-106.
- [42] YJ. Lin, SH. Wei, CY. Huang. «Intelligent Manufacturing Control Systems: The Core of Smart Factory».25th International Conference on Production Research Manufacturing Innovation: Cyber Physical Manufacturing August 9-14, 2019 | Chicago, Illinois (USA), Volume 39, 2019, Pages 389-397.
- [43] R. Bonnard, MDS. Arantes, R. Lorbieski, KMM.Vieira, MC. Nunes.«Big data/analytics platform for Industry 4.0 implementation in advanced manufacturing context». The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2021, <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07834-5>.
- [44] X. Wu, H. Zhou, Y. Huang, Y. Zhao. «PU-ER TEA automated fermentation system based on PLC and WINCC». (2010 the 2nd International conference on computer and automation Engineering (ICCAE)),4,406-409,2010.
- [45] Z .Sheng, C. Ji, S. Hua . « Application Of Siemens PLC and WINCC in the Monitoring Control system of bulk grain silo». ( 2018 Chinese Control And Decision conference (CCDC)),4689-4693,2018.
- [46] Z. Wei, H. Zhenglian, «HOST Computer Software Design of MAA Hydrolysis Reaction Based on WINCC Configuration Software». (2016 Chinese Control and Decision Conference (CCDC)),1185-1189,2016.
- [47] Sh. Khuzyatov and R. Valiev. «The Method of Automated Configuration Objects of the WinCC Project for the Oil and Gas Industry».International Russian Automation Conference RusAutoCon 2019: Advances in Automation pp 986-993, Springer Nature Switzerland AG 2020.
- [48] IV. Sita, AC. Fărcaș. « interfacing city resources management system with SIMATIC WINCC». (IFAC Proceedings Volumes 46 (6)), 113-118,2013.
- [49] I. Morsi, M. El Deeb, A. El Zawawi. «SCADA/HMI Development for a Multi Stage Desalination Plant». 978-0-7695-3862-4/09 \$26.00 © 2009 IEEE, DOI 10.1109/ComputationWorld.2009.114.
- [50] B.Qin, D.Yan. « Remote SCADA System Based on 3G VPN services for Secondary Presurization Pump Station ». 2010 international conference on intelligent system design and enginneering application 2,132-135,2010.
- [51] Z. Wei, M. Tao. «Design of Continuous Hydrogenation Control System Based on WINCC Configuration Software». (Chinese Control And Decision Conference (CCDC)),565-570,2019.

## Références Bibliographiques

- [52] I. Boualem. « Contribution a l'étude de Supervision Industrielle Automatique dans un Environnement SCADA ». Mémoire magistère université M'HAMED BOUGARA de BOUMERDES 2009.
- [53] NCS. Tib. « Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systems». National Communications System, Technical Information Buletin 04-1 October 2004.
- [54] K. Stouffer, J. Falco, and K. Scarfone. «Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security». Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2015, doi: 10.6028/NIST.SP.800-82r2.
- [55] SA. Boyer. « Scada\_ Supervisory Control And Data Acquisition». ISA (2004).
- [57] D. Bailey , E. Wright .« Practical SCADA for industry». Newnes. 2003. Integration of IEDs using Legacy and IEC 61850 protocol, IEEE International Conference: PEDES, New Delhi, India, December 2006.
- [59] CD. Garcia-Beltran. « Outils Pour L'aide A La Supervision De Procédés Dans Une Architecture Multi agent ». GAR 04, thèse doctorat, Laboratoire d'Automatique de Grenoble 2004.
- [60] AA. Alade, OB. Ajayi, SO. Okolie, DO. Alao. « Overview of the Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) System», International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 8, Issue 10, October-2017, 478 ISSN 2229-5518 IJSER © 2017.
- [61] J. D. McDonald.«IED integration and availability of information». Substation automation, IEEE Power & Energy Magazine, vol. 1, no. 2, pp. 22–31, March/April 2003.
- [62] T. Sezi , B. K. Duncan. «New intelligent electronic devices change the structure of power distribution systems». Industry Application Conference, 1999, 34th IAS Annual Meeting, vol. 2, pp. 944–952, October 3–7, 1999.
- [63] Mini S. Thomas, D. P. Kothari, and P.Anupama . «IED models for data generation in a transmission substation». Proceedings of the IEEE Conference: PEDES-2010, New Delhi, India. DOI: 10.1109/PEDES.2010.5712415.
- [64] Z.Bounab.« Etude d'un système de supervision et de contrôle SCADA de la région de transport est RTE Skikda ». Mémoire master université Mohamed Khider Biskra 2014.
- [65] C. Gordon, R.Deon, W.Edwin .« Practical Modern SCADA Protocols ». Edition Newnes 2004.
- [66] S. Mackay, E. Wright, J. Park. « Practical Data CommunicationsFor Instrumentation and Control ». Edition Newnes 2003.
- [68] B.David, W.Edwin . « Practical SCADA for Industry ». Elsevier, pages 47-55, 2003
- [69] S. Mackay, E. Wright, D. Reynders, J. Park . « Practical Industrial Data Networks ». Edition Newnes 2004.
- [74] S.I. Tay, N.A. A. Hamid. « Un aperçu de l'industrie 4.0 : définition, composants et initiatives gouvernementales », Département de la gestion de la production et des opérations, Faculté de gestion de la technologie et des affaires, Université Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM).
- [75] J. Giri, M. Parashar, J. Trehern, and V. Madani. «The situation room: Control center analytics for enhanced situational awareness », Power and Energy Magazine, IEEE, vol. 10, no. 5, pp. 24–39, 2012.
- [76] John D. McDonald. « Overwhelmed by alarms, blackout puts filtering and suppression technologies in the spotlight ». Electricity Today, no. 8, 2003.

## Références Bibliographiques

- [77] P. Kumar, VK. Chandna, Mini S. Thomas. «Ergonomics in content center design for power systems». IEEE Power India Conference 2006, New Delhi, India. DOI: 10.1109/POWERI.2006.1632584.
- [78] H.Rezigue. « modelisation, surveillance d'une centrale a béton par l'outil bond graph et validation en ligne par un système scada ».Mémoire magister université Sétif 1 2014.
- [79] MR. Endsley.« Toward a theory of situation awareness in dynamic systems». Human Factors,vol. 37, no. 1, pp. 32–64, 1995.
- [81] T. Sezi and B. K. Duncan. «New intelligent electronic devices change the structure of power distribution systems». Industry Application Conference, 1999, 34th IAS Annual Meeting, vol. 2, pp. 944–952, October 3–7, 1999.
- [82] P. G. McLaren, G. W. Swift, A. Neufeld, Z. Zhang, E. Dirks, and M. Haywood. «Open system relaying». IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 9, no. 3, July 1994.
- [83] CL. Hor , PA. Crossley. «Extracting knowledge from substations for decision support ».IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 2, no. 2, part I, 2005, pp. 595–600.
- [84] S.Cobus. «Practical Electric Network Automation and Communication Systems». Newnes, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 2003.
- [85] P. Anupama, Mini S. Thomas, G. Ashutosh. «Integration of IEDs using Legacy and IEC 61850 protocol ». IEEE International Conference: PEDES, New Delhi, India, December 2006.
- [86] Mini S. Thomas, Pramod Kumar, and V. K. Chandna. «Design, development and commissioning of a supervisory control and data acquisition (SCADA) laboratory for research and training ». IEEE Transactions on Power Systems, vol. 20, pp. 1582–1588, August 2004.
- [87] John D. McDonald. « Electric Power Substation Engineering ».3rd ed., CRC Press, Boca Raton, FL, 2012.
- [88] Mini S. Thomas, D. P. Kothari, and P. Anupama. « Design development and commissioning of a substation automation laboratory to enhance learning ». IEEE Transactions on Education, vol. 54, no. 2, pp. 286–293, May 2011.
- [90] W. Daneels. « What is SCADA», international conference on accelerator and large experimental physics control systems, 199.
- [91] S. M. E. W. John Park. « Practical Data Communications For instrumentation and contro». Newnes , 2003.
- [92] S. Auder. « Automate Programmable Industriel ». l'ELAN, liège, 1991.
- [93] A.Rassam, A.Chaouch, B.Bourkhiss, M.Bourkhiss. « Performances de la dégradation de la matière organique par lagunage aéré dans la station d'épuration des eaux usées de la ville d'Oujda (Maroc oriental ».
- [94] JM. Choubert , S. Martin Ruel , H. Budzinski, C. Miège, M. Esperanza, C. Soulier, C. Lagarrigue, M. Coquery.« Évaluer les rendements des stations d'épuration Apports méthodologiques et résultats pour les micropolluants en filières conventionnelles et avancées».
- [95] YM. Dalmat. « Suivre la circulation du Sars-CoV-2 dans les eaux usées » ,Option/Bio, 2021 - ncbi.nlm.nih.gov.

## Références Bibliographiques

- [96] A. Soumbougma, A. Kadeba, F. Nestor Fiacre . « Caractérisation des Effluents Industriels Et Effets De Leur Utilisation Agricole Sur La Santé Des Populations: Cas de la Santé des Populations : Cas de la Commune de Bobo-Dioulasso ».
- [97] N. Karbout , Z. Zribe ,H. Lamourou ,M.Moussa . « Effet des boues des stations d'épuration sur les éléments majeurs et les composés organiques du sol sableux des régions arides : Cas de Sol sableux de Médénine ». Institute des Régions Arides, Route du Djorf Km 22.5 Médénine, Tunisie, Volume 81(1). Published March 01, 2021 [www.jnsciences.org](http://www.jnsciences.org) E-ISSN 2286-5314.
- [98] fluid lap
- [99] GmbH & Co. KG. « Qualification solutions for process automation». Festo Didactic.
- [100] GmbH & CoKG. «Manual MPS 500». Festo Didactic. October 2013.
- [101] Ciros Advanced Mechatronics.
- [103] K. Amieur. « Etude et réalisation d'un système de guidage d'une nappe à l'aide d'un automate omron », Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2014.
- [106] A. Khenine; A. Seddiki. «Contribution à la modélisation et la simulation d'un système automatisé de production. Cas système MPS PA du laboratoire productique MELT», (mémoire master), (Univ Tlemcen), (2016– 2017).
- [110] M. Maatou , A. Bellach .« Automatisation et réalisation à petite échelle (maquette) d'une chaine transporteuse de briques ». Université Hassiba Ben-bouali de Chlef, Juin2016.
- [111] G. Boujat, J.P. Pesty. « Automatismes, Reproduction Interdite Association Ouvrière Des Compagnons du Devoir du Tour de France». FÉVRIER2004.
- [113] A. Merabtine HAL. « Modélisation Bond Graphs en vue de l'efficacité énergétique du bâtiment ». Id: tel-00789679 <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00789679> .[Submitted on 18 Feb 2013].
- [116] EO. Yeboah-boateng .« Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences». Articl, ,(2 février 2014).
- [117] W. Benying, T. Shuntao, Y. Rongxiang. « A Study on The Active Real-Time DATABASE and its Application to the SCADA System ». Automation of Electric Power ..., 2004 - en.cnki.com.cn.
- [118] J. Wu, Y. Cheng, NN. Schulz. « Overview of real-time database management system design for power system scada system». Proceedings of the IEEE ..., 2006 - ieeexplore.ieee.org.
- [119] H. Paynter. « Analysis and Design of engineering system MIT». [pay,1961]. press 1961.
- [120] D. Karnopp, R. Rosenberg, John Wiley et sons. «System dynamic Unified Approach ». [kap 7501] ,1975.
- [121] R. Rosenberg, D. Karnopp. «Introduction to physical system dynamic». serie in mechanical engineering. [Ros,1983], MacGrow,1983.
- [122] J. Thoma . « Introduction to bond graphs and Thiere applications ». Pergo mon press,[THO 75] , 1975.
- [123] M. Vergé, D. Jaume. « Modélisation structurée des systèmes avec les Bond Graphs» . Editions Technip, Paris 2004.
- [124] BO.Bouamama, K. Medjaher, AK. Samantaray. « Supervision of an industrial steam generator. Part I : Bond graph modelling ». Control Engineering ..., 2006 - Elsevier.

## Références Bibliographiques

- [125] J. Rodríguez-Guillén, R. Salas-Cabrera, P. Martín-García . «Bond Graph as a formal methodology for obtaining a wind turbine drive train model in the per-unit system ». Author links open overlay -Vite
- [126] M. Mirsaidov, O. Dusmatov , M.Khodjabekov. «Le problème de la modélisation mathématique d'une tige protégée contre les vibrations sous des sorties cinématiques».Publié sous licence par IOP Publishing Ltd IOP Conference Series : Materials Science and Engineering , Volume 1030 , VII International Scientific Conference "Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education" (IPICSE 2020) 11-14 novembre 2020, Tachkent, Ouzbékistan,Citation Mirziyod Mirsaidov et al 2021 IOP Conf. Ser. : Mater. Sci. Ing. 1030 012069
- [127] VB. Yakovenko, K .Nauk. Dumka. « Elements of applied theories of vibrational systems». (1992).
- [128] DC. Karnopp, DL. Margolis , RC. Rosenberg. « System Dynamics». System dynamics, Inc. (2012).
- [129] TM. Robert. «System analysis through bond graph modeling». In A dissertation for the degree of doctor of philosophy. The University Of Arizona (2005).
- [130] AK. Samantaray, OB. Belkacem. « Model-based Process Supervision». (2008).
- [131] LSPS.Smith. « Bond Graph: Modelling Of Physical Systems». A Dissertation (degree of Doctor of Philosophy) submitted to the Faculty of Engineering of Glasgow University degree of Doctor of Philosophy.Published by ProQuest LLC (2018).
- [132] W. Borutzky. « Development and Analysis of Multidisciplinary Dynamic System Models». Springer (2010).
- [133] R. Børge. « A Bond Graph Approach for Modelling Systems of Rigid Bodies in Spatial Motion». Norwegian University of Science and Technology (2014).
- [134] CS. Kam, G . Dauphin-Tanguy. « Bond graph models of structured parameter uncertainties». Inst. (2005). <https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2005.01.005>.
- [135] MA. Mellal, S. Adjerid, D. Benazzouz. « modeling and simulation of mechatronic system to integrated design of supervision: using a bond graph approach ». Applied Mechanics and ..., 2011 - Trans Tech Publ.
- [136] G. Srinivasarao, AK. Samantaray, Sanjoy K Ghoshal. « Bond graph modeling and multi-body dynamics of a twin rotor system ». Proceedings of the ..., 2021 - journals.sagepub.com.
- [137] N. Tari, L. Sekhri, H. Haffaf. «A Functional and Bond Graph Model for Robust Supervision». Electrotehnica, Electronica ..., 2018 - search.proquest.com.
- [138] A. Samantaray , S Ghoshal , S.Chakraborty . «\_Bond graph model based design of supervision algorithm for distributed fault tolerant control systems ». <https://doi.org/10.1504/IJAAC.2007.013296>,Published online 20 April 2007.
- [139] ZU. Abdin, A. Rachid. « Bond graph modeling of a water-based photovoltaic thermal (PV/T) collector ». Solar Energy, 2021 - Elsevier.
- [140] G. Dauphin-Tanguy. « Les bond graphs et leur application en mécatronique ». Techniques de l'Ingénieur, S 7 222-1 à 24, 1999.

## Références Bibliographiques

- [141] D. K. Karnopp. «State Variables and Pseudo-Bond graphs for Compressible Thermo fluid Systems ». *Journal of Measurement and Control*, pp. 185-196, vol. 313, n° 4., 1976.
- [142] A. H. Mahjoub and N. H. Dandachi. «Power Systems Monitoring & Control Centers Sharing SCADA/EMS Information in the Age of Enterprise Mobility». *IEEE Innovations in Information Technologies (IIT)*, Dubai 18-20 Nov 2017.
- [143] R. Faranda, L. Gozzi, A. Bosisio and K. Akkala.«SCADA system for optimization of energy exchange with the BESS in a residential case». *IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and IEEE Industrial and Commercial Power Systems*, Genova, Italy, 11-14 June 2019.
- [144] E. A. Z. Hamidi, M. R. Effendi and H. A. Shiddiq.« Design And Implementation Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) of Sedimentation Process of Water Treatment Plant (WTP) By Using Raspberry Pi 3 B». *IEEE 4th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*, Nusa Dua, Indonesia, 12-13 July 2018.
- [145] D. Babunski, E. Zaev, A. Tuneski and D. Bozovic. «Optimization Methods for Water Supply SCADA System». *IEEE 7th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*, Budva, Montenegro, 10-14 June 2018.
- [146] C. H. Neely, P. W. Abshire and D. J. Hoge. «Programmable controllers integrate oil field SCADA and automation». *IEEE 37th Annual Conference on Petroleum and Chemical Industry*, Houston, TX, USA, 10-12 Sept 1990.
- [147] D. Trung.« Modern SCADA systems for oil pipelines ». *IEEE Industry Applications Society 42nd Annual Petroleum and Chemical Industry Conference*, Denver, CO, USA, 11-13 Sept 1995.
- [148] H. Huang, W. Zhang, G. Qi, S. Ma, Y. Yang, F. Yan and P. Chen. « Research on Accident Inversion and Analysis Method of the Oil and Gas Pipeline SCADA System ». *IEEE Sixth International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, Zhangjiajie, China, 10-11 Jan 2014.
- [149] SC .Sciacca, WR. Block. « Advanced SCADA Concepts», (*IEEE Computer Applications in Power* 8(1)),23-28, 1995.
- [150] T. Agarwal, Z. Fatima. «Master Station Architecture of a SCADA system ». (*IETE Journal of Education* 43 (3)),121-126,2002.
- [151] M. Sagi, E.Varga. « DHT based SCADA Architecture». (*2017 25th Telecommunication Forum (TELFOR)*), 1-4,2017.
- [152] S.K. Ghosh. «Changing role of SCADA in manufacturing plant ». *IEEE Industry Applications Conference Thirty-First IAS Annual Meeting*, San Diego, CA, USA, 6-10 Oct 1996.
- [153] D. Bailey and E. Wright. « Practical SCADA for Industry». Newnes An imprint of Elsevier, ISBN 07506 58053, 2003
- [154] BMB.Robalo,jMG. Figueiredo. « Supervisory Control Developed for a Solar Tracking Prototype based on PV-Technology Bruno». (*IFAC Proceedings Volumes*43(1)),291-296, 2010.
- [155] CD. Dumitru, A. Gligor. « SCADA based software for renewable energy management system»,(*Procedia Economics and Finance* 3),262-267,2012.
- [156] J. Figueiredo, JS. Da. Costa . «A SCADA system for energy management in intelligent building»,(*Energy and Buildings* 49),85-98, 2012.

## Références Bibliographiques

- [157] Z. Bocheng. « Design of building energy monitoring and management system ». (*2012 Second International Conference on Business Computing and Global Informatization*),645-648,2012.
- [158] EJ. Alvarez, AP. Ribaric. « An improved accuracy method for fatigue load analysis of wind turbine gearbox 2 based on SCADA». ( *Renewable Energy 115*),391-399,2018.
- [159] Y. Qiu, Y. Feng, D. Infield. «fault diagnosis of wind turbine with SCADA alarms based multidimensional information processing method». (*Renewable Energy 145*),1923-1931,2020.
- [160] Z Kong, B Tang, L Deng, W Liu, Y Han. «Condition monitoring of wind turbines based on spatio temporal fusion of SCADA data by convolutional neural networks and gated recurrent units». ( *Renewable Energy 146*), 760-768,2020.
- [161] AH. Mahjoub, NH. Dandachi. « Power systems Monitoring & control centers sharing SCADA/EMS information in the Age of Enterprise Mobility». (*2007 Innovations in Information Technologies (IIT)*),312-316, 2007.
- [162] D. Peharda, I. Ivanković, N. Jaman. «Using Data from SCADA for centralized Transtormer Monitoring Applications». (*Procedia Engineering 202*),65-75,2017.
- [163] GmbH & CoKG. «Manual MPS 500». Festo Didactic October 2013.

## Webographie

- [56] : [https://www.cours-exercices-pdf.com/technologie/industrie/303-interface-homme-machine : Chapitre 1 Supervision industrielle
- [58] <https://www.lebigdata.fr/interface-homme-machine-tout-savoir-sur-les-ihm>
- [67] Cour de Mr. HASSAM. A pour la formation National Licence en Génie industriel Tlemcen Algérie pour L3 année 2013-2016
- [70] <https://www.maderelectricinc.com/blog/industrial-control-systems-the-four-generations-of-scada-architectures>.
- [71] <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/1610706/pdf/MAD-%20SCADA%20Guide.pdf>
- [72] <https://fr.yeeply.com/blog/industrie-4-0-definition/> [Consulté le 29/5/2021]
- [73] <https://www.spotlightmetal.com/iot-basics-what-does-industry-40-mean-a-842216> [Consulté le 30/5/2021]
- [80] IEEE Tutorial course on Fundamentals of Supervisory Systems, Course 94, EH0392-1PWR
- [89] IEEE Tutorial course on Fundamentals of Supervisory Systems, Course 94, EH0392-1PWR Chapitre 2.
- [102] « [electronicshub-org-introduction-to-industrial-automation-Introduction](https://www.electronicshub.org/introduction-to-industrial-automation/) » Disponible : <https://www.electronicshub.org/introduction-to-industrial-automation/Introduction> [Consulté le 14/04/2021]
- [104] Belhadj Mohammed. « Capteurs et Instrumentation », Université Tahri Mohammed Béchar, April 2017
- [105] Cour Mr. Sari.Z CIMII master I en filière à recrutement national génie industriel Tlemcen Algérie Année 2016-2017.
- [107] [https://www.hec.ca/cams/rubriques/modelisation\\_mathematique.pdf](https://www.hec.ca/cams/rubriques/modelisation_mathematique.pdf)
- [108] [https://books.google.dz/books?hl=fr&lr=&id=vReEuE4margC&oi=fnd&pg=PA1&dq=d%C3%A9finition+mod%C3%A9lisation+math%C3%A9matique&ots=FFppKNF4n1&sig=aCRvNTYXrrD\\_1A8OhpCteFaJ0A&redir\\_esc=y#v=onepage&q=d%C3%A9finition%20mod%C3%A9lisation%20math%C3%A9matique&f=false](https://books.google.dz/books?hl=fr&lr=&id=vReEuE4margC&oi=fnd&pg=PA1&dq=d%C3%A9finition+mod%C3%A9lisation+math%C3%A9matique&ots=FFppKNF4n1&sig=aCRvNTYXrrD_1A8OhpCteFaJ0A&redir_esc=y#v=onepage&q=d%C3%A9finition%20mod%C3%A9lisation%20math%C3%A9matique&f=false).
- [109] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Langage\\_graphique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Langage_graphique)
- [112] mpeck rousset.« Cours Complet sur le Grafcet Exercices Corrigés », Centre Universitaire de Technologie Franco-Libanais - CUT Automates et Informatique industrielle].
- [114] [https://www.memoireonline.com/05/17/9936/m\\_Simulation-d-une-chaine-de-production-au-niveau-de-l-unite-de-production-moulin-Ouled-Mimoun18.html](https://www.memoireonline.com/05/17/9936/m_Simulation-d-une-chaine-de-production-au-niveau-de-l-unite-de-production-moulin-Ouled-Mimoun18.html)
- [115][[http://cpgeptl.jg.free.fr/scenari/TP\\_INFO/tp\\_info\\_modelisation/modelisation\\_web\\_gen\\_web/co/module\\_modelisation\\_3.html](http://cpgeptl.jg.free.fr/scenari/TP_INFO/tp_info_modelisation/modelisation_web_gen_web/co/module_modelisation_3.html)]

Macros de la station d'usinage MPS 500.

Voici les diagrammes fonctionnels théoriques des différentes branches parallèles de la station d'usinage sachant que M20, M30 et M40 sont des macros.

M20 : Branche parallèle pour le contrôle du perçage,

M30 : Branche parallèle pour le perçage,

M40 : Branche parallèle pour la remise de pièce.

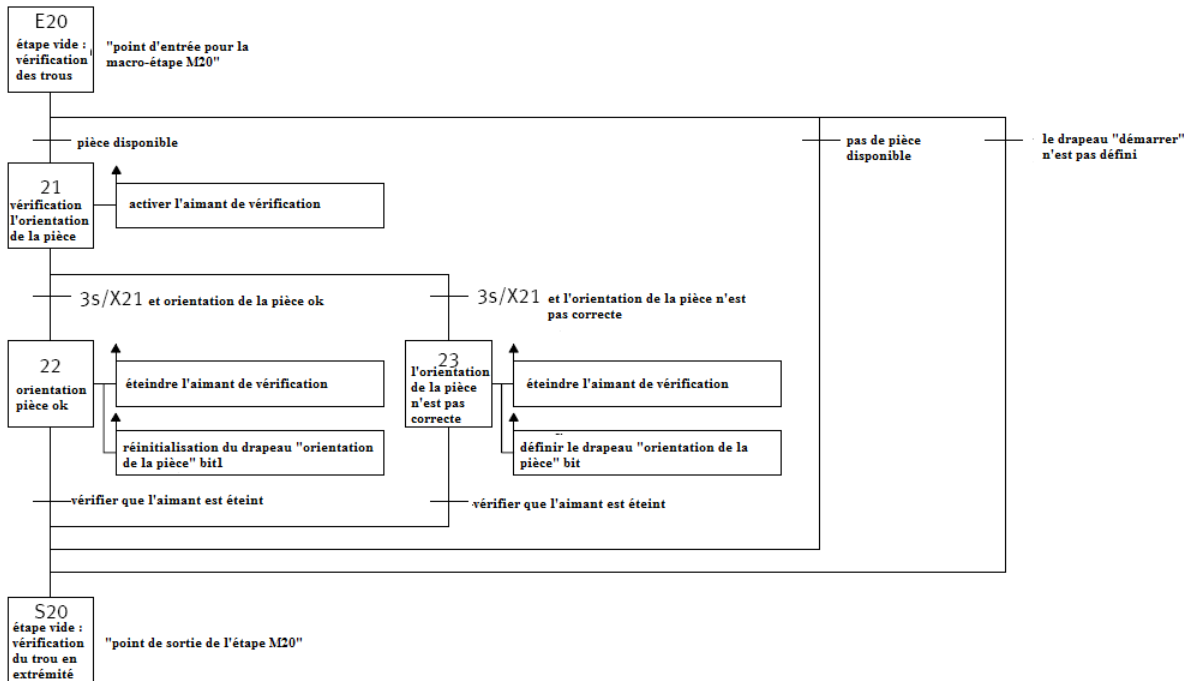


Figure : Diagramme fonctionnel séquentiel de la branche M20 de la station d'usinage MPS 500.

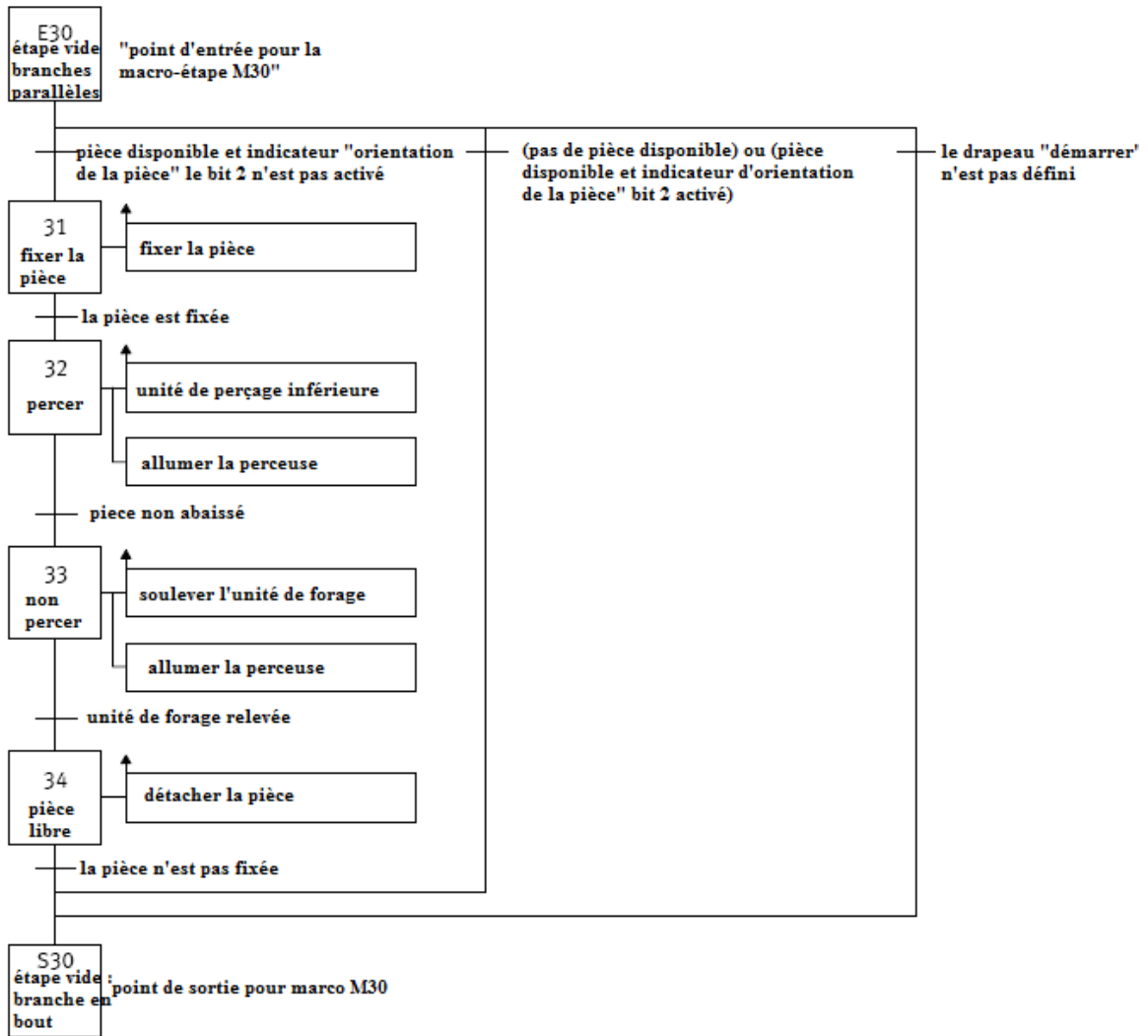
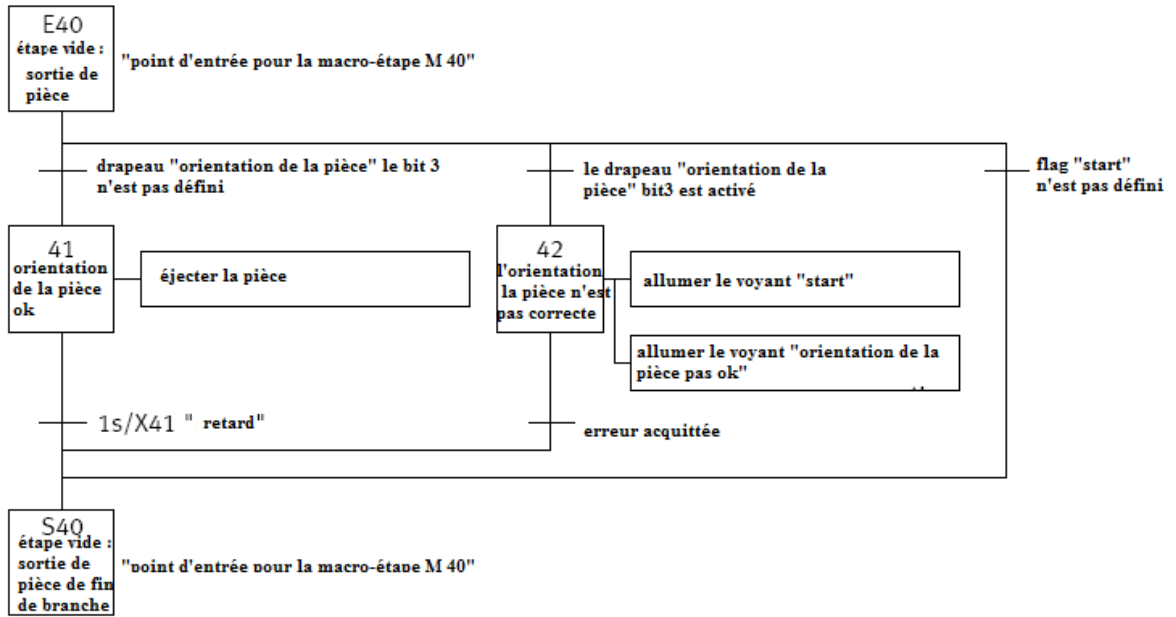


Figure : Diagramme fonctionnel séquentiel de la branche M30 de la station d'usinage MPS 500.

## Annexe



**Figure :** Diagramme fonctionnel séquentiel de la branche M40 de la station d'usinage MPS 500.

## ملخص

الأنظمة الصناعية الحديثة معقدة للغاية وتحتوي على ملايين من المعطيات التي يجب الحصول عليها ومراقبتها والتحكم فيها وإدارتها في الوقت الفعلي. لهذا ، تعد أنظمة SCADA للإشراف والتحكم والحصول على البيانات ضرورية للغاية. تتكون أطروحتنا من دراسة ونمذجة وبرمجة وتطوير واجهات الإنسان والآلة (HMI) من أجل الإشراف في الوقت الفعلي ، على نظام 204 PA MPS الذي هو جزء من نظام AFB الهجين ونظام 500 MPS كلاهما من شركة FESTO. لهذا الغرض ، قمنا بتطوير وتقديم نماذج رياضية و Bond Graph للمحطات الرئيسية لهذه الأنظمة ثم قمنا بتطوير HMIs لكل محطة تمت دراستها. في بحثنا ، استخدمنا العديد من أدوات الكمبيوتر بما في ذلك برنامج النمذجة والمحاكاة 20-SIM لتطوير نمذجة Bond Graphs ، وبرنامج SIMATIC STEP7 لبرمجة وحدات التحكم المنطقية القابلة للبرمجة (PLC) لشركة Siemens وبرنامج WinCC Flexible لتطوير واجهات الإنسان والآلة. يتم عرض جميع النتائج في شكل صور ، جداول ورسوم بيانية مع التفسيرات.

كلمات مفتاحية: النمذجة، الإشراف، Bond Graph ، HMI ، SCADA ، WinCC Flexible ، STEP7 ، 20-SIM

## Résumé

Les systèmes industriels modernes actuel et ceux future, sont très complexe et contient des millions de paramètres qu'il faut acquérir, surveiller, superviser, contrôler et gérer en temps réel. Pour cela les systèmes SCADA de supervision, de commande et d'acquisition de données sont primordiaux. Notre thèse consiste à étudier, modéliser, programmer et développer des interfaces homme-machine (IHM) afin de superviser en temps réel la partie MPS PA 204 du système AFB hybride et du système MPS 500 tous les deux du constructeur FESTO. Pour cela nous avons développé et présenté des modèles mathématiques et Bond Graph des principales stations de ces systèmes et par la suite développé des IHM pour chaque station étudiée. Dans notre recherche nous avons utilisé plusieurs outils informatiques dont le logiciel de modélisation et de simulation 20-SIM pour développer la modélisation des Bond Graphs, le logiciel SIMATIC STEP7 pour la programmation des automates programmables industriels (API) de Siemens et le logiciel SIMATIC WinCC Flexible pour le développement des interfaces homme-machine. Tous les résultats sont présentés sous forme de figures, tableaux et courbes avec interprétations.

**Mots clés :** Modélisation, Supervision, Bond Graph, IHM, SCADA, WinCC Flexible, STEP7, 20-SIM

## Abstract

Modern industrial systems are very complex and contain millions of parameters that must be acquired, monitored, controlled and managed in real time. For this, SCADA systems for supervision, control and data acquisition are essential. Our thesis consists in studying, modeling, programming and developing human-machine interfaces (HMI) in order to supervise in real time, the MPS PA 204 part of the hybrid AFB system and the MPS 500 system both from FESTO. For this purpose, we have developed and presented mathematical and Bond Graph models of the main stations of these systems and then developed HMIs for each station studied. In our research we used several computer tools including the modeling and simulation software 20-SIM to develop the modeling of the Bond Graphs, the SIMATIC STEP7 software for the programming of the Siemens programmable logic controllers (PLC) and the SIMATIC WinCC Flexible software for the development of the human-machine interfaces. All results are presented in figures, tables and charts with interpretations.

**Keywords:** Modeling, Supervision, Bond Graph, HMI, SCADA, WinCC Flexible, STEP7, 20-SIM