

وزارة البحث العلمي والتعليم العالي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPEREUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

DEPARTEMENT DE GENIE DES ELECTRIQUE

N° d'ordre : M ...../GE/2025

MEMOIRE

MASTER EN AUTOMATIQUE

Option : Automatique et informatique industrielle

Par

- BOUTADJINE Moulette
- AIT OUALI Sophie

➤ Intitulé du sujet :

---

*Conception, automatisation et supervision d'une  
maquette pédagogique d'une chaîne de  
distribution de liquide à l'aide de TIA Portal V13*

---

Soutenu le 30/06/2025 devant le jury composé de :

Présidente : Mme BENCHELLAL Amel

Université de Mostaganem

Examineur : Mr. SOLTANE BENALOU Abdelkader

Université de Mostaganem

Encadreur : Mr. BENAOUALI Mohamed

Université de Mostaganem

Co-Encadreur : Mr. BENOUALI Abdelhak

Université de Mostaganem

# Table des matières

Liste des figures	6
Liste des tableaux	7
Liste d'abréviation	8
Liste des abréviations	8
Remerciement	9
Dédicaces	11
<b>Abstarct</b>	<b>13</b>
<b>Résumé</b>	<b>13</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>16</b>
<b>I Chapitre I :Systèmes automatisés</b>	<b>19</b>
I.1 Introduction . . . . .	20
I.2 Définition d'un système automatisé . . . . .	20
I.3 Structure d'un système automatisé . . . . .	20
I.4 Description des différentes parties . . . . .	21
I.5 Objectifs d'un système automatisé . . . . .	22
I.6 Avantages et inconvénients des systèmes automatisés . . . . .	22
I.7 Conclusion . . . . .	23
<b>II Chapitre II :Automate programmable industriel (API)</b>	<b>25</b>
II.1 Introduction . . . . .	26
II.2 Définition générale . . . . .	26
II.3 Structure générale des API . . . . .	26
II.4 Structure interne de l'automate L'A.P.I . . . . .	28
II.5 Description des éléments d'un API . . . . .	29
II.5.1 La mémoire . . . . .	29
II.5.1.1 Répartition des zones mémoire . . . . .	29
II.5.2 Le processeur . . . . .	29
II.5.3 Les interfaces et les cartes d'Entrées / Sorties . . . . .	29
II.5.4 Cartes d'entrées . . . . .	30
II.5.5 Cartes de sorties . . . . .	31
II.6 Type des automates . . . . .	31

II.6.1	Types d'automates . . . . .	31
II.6.1.1	Automate monobloc . . . . .	31
II.6.1.2	Automate modulaire . . . . .	32
II.7	Domaines d'utilisation des API . . . . .	32
II.8	Description de l'Automate S7-1200 . . . . .	33
II.8.1	Présentation . . . . .	33
II.8.2	Les caractéristiques du S7-1200 . . . . .	33
II.8.3	Conclusion . . . . .	34
<b>III</b>	<b>Chapitre III : Outils de programmation des automates : GRAFCET et Ladder</b>	<b>35</b>
III.1	Introduction . . . . .	36
III.2	GRAFCET . . . . .	36
III.2.1	Définition . . . . .	36
III.2.2	Représentation du GRAFCET . . . . .	37
III.2.2.1	Les étapes . . . . .	37
III.2.2.2	Les transitions et réceptivités . . . . .	37
III.2.2.3	Les liaisons orientées . . . . .	37
III.2.3	Définitions complémentaires . . . . .	38
III.2.4	Niveaux d'un GRAFCET . . . . .	38
III.2.4.1	GRAFCET de niveau 1 . . . . .	38
III.2.4.2	GRAFCET de niveau 2 . . . . .	39
III.2.5	Mise en équation d'un GRAFCET . . . . .	39
III.2.5.1	Equation du grafcet . . . . .	39
III.3	Langages de programmation . . . . .	40
III.4	Conclusion . . . . .	41
<b>IV</b>	<b>Chapitre VI :Supervision industrielle</b>	<b>42</b>
IV.1	Introduction . . . . .	43
IV.2	Concepts fondamentaux de la supervision industrielle . . . . .	43
IV.2.1	Définition de la supervision . . . . .	43
IV.2.2	Enjeux et objectifs dans le contexte industriel . . . . .	44
IV.2.3	Positionnement dans l'architecture d'automatisation . . . . .	45
IV.2.4	Méthodes de supervision . . . . .	46
IV.2.5	Fonctionnalités de la supervision . . . . .	47
IV.3	Communication dans les systèmes de supervision . . . . .	47
IV.3.1	Types de réseaux industriels (Ethernet, bus de terrain) . . . . .	47
IV.3.2	Protocoles de communication (Modbus, OPC, etc.) . . . . .	48
IV.3.3	Synchronisation et transfert d'informations . . . . .	48
IV.4	L'interface Homme-Machine (IHM) . . . . .	49
IV.4.1	Définition et rôle dans la supervision . . . . .	49
IV.4.2	Principaux composants d'une IHM . . . . .	49
IV.4.3	Utilité et avantages pour l'opérateur . . . . .	50
IV.4.4	Critères de conception d'une IHM efficace . . . . .	51
IV.4.5	Fonctions avancées de l'IHM : Alarmes, messages et gestion des recettes, Archivages et historisation . . . . .	51
IV.5	Relation entre la supervision et les systèmes SCADA . . . . .	52
IV.5.1	Composants essentiels d'un système SCADA . . . . .	53
IV.5.2	Les logiciels de supervision (SCADA) . . . . .	54
IV.6	La pyramide CIM et l'intégration de la supervision . . . . .	55

IV.6.1	Structure de la pyramide CIM . . . . .	56
IV.6.2	Niveaux fonctionnels : du terrain à la gestion . . . . .	56
IV.6.3	Position de la supervision dans le modèle CIM . . . . .	57
IV.7	Conclusion . . . . .	57
<b>V</b>	<b>Chapitre VI : Réalisation et Supervision de la Maquette Pédagogique sous TIA Portal et WinCC</b>	<b>59</b>
V.1	Introduction . . . . .	60
V.2	Schéma Général de Réalisation de la Maquette Pédagogique . . . . .	60
V.3	Cahier des charges . . . . .	60
V.3.1	Présentation des besoins . . . . .	60
V.3.2	Liste des fonctions à réaliser . . . . .	61
V.3.3	Déroulement du processus automatisé . . . . .	61
V.4	Réalisation de la maquette . . . . .	62
V.4.1	Présentation de la maquette pédagogique . . . . .	62
V.4.1.1	Description générale de la maquette . . . . .	62
V.4.1.2	Description fonctionnelle des composants de la chaîne automatisée de distribution de liquides . . . . .	63
V.4.1.3	Schéma de câblage . . . . .	65
V.4.2	Description de l'Installation Matérielle et de l'Automate Siemens S7-1200 . . . . .	67
V.5	Présentation du GRAFCET associé à la maquette . . . . .	68
V.5.1	Mode Automatique . . . . .	69
V.5.2	Mode Manuel . . . . .	70
V.6	Programmation du système en langage Ladder (LD) . . . . .	71
V.7	Supervision (IHM WinCC sous TIA Portal) . . . . .	71
V.7.1	Création de l'IHM tactile . . . . .	71
V.7.2	Description des étapes de fonctionnement de la maquette supervisée . . . . .	71
V.8	Création des alarmes EV4 et S1 dans l'IHM . . . . .	78
V.8.1	Affichage individuel de l'alarme S1 sur l'IHM . . . . .	79
V.8.2	Affichage individuel de l'alarme EV4 sur l'IHM . . . . .	80
V.8.3	Affichage textuel de l'alarme S1 dans la fenêtre des alarmes . . . . .	81
V.9	Conclusion . . . . .	82
	<b>Conclusion générale</b>	<b>83</b>
	<b>Annexe</b>	<b>85</b>
	<b>referances</b>	<b>89</b>

# Table des figures

I.1	Structure d'un système automatisé. . . . .	21
II.1	Présentation physique de l'automate S7-200 CPU222[6]. . . . .	27
II.2	Structure interne de l'automate L'A.P.I . . . . .	28
II.3	Les interfaces d'entrées/sorties [7]. . . . .	30
II.4	Exemple d'une carte d'entrées typique d'un API. . . . .	30
II.5	Exemple d'une carte de sortie typique d'un API. . . . .	31
II.6	Différents types d'automates programmable. . . . .	32
II.7	Automate Programmable S7-1200. . . . .	33
III.1	Structure d'un grafcet. . . . .	38
III.2	Exemple d'un grafcet niveau 1 . . . . .	39
III.3	Exemple d'un grafcet de niveau 2. . . . .	39
III.4	Grafcet généralisé . . . . .	40
IV.1	Schémas de supervision : gestion des alertes, rapports et réactions automatisées. . . . .	44
IV.2	Schéma typique d'un système de supervision. . . . .	45
IV.3	Exemple d'un système de supervision. . . . .	46
IV.4	Les trois fonctions essentielles d'un système de supervision : Commande, Surveillance et Archivage . . . . .	47
IV.5	Exemple d'IHM de supervision pour la gestion des recettes, alarmes et processus de production. . . . .	52
IV.6	Principe de fonctionnement d'un système SCADA dans un environnement de contrôle-commande. . . . .	53
IV.7	Architecture distribuée des systèmes SCADA. . . . .	53
IV.8	la pyramide CIM organisation hiérarchique des systèmes de production intégrés. . . . .	56
V.1	Organisation Globale du Projet de Conception et Supervision d'une Maquette Pédagogique Automatisée. . . . .	61
V.2	Réprésentation réelle de la maquette pédagogique d'automatisation et de son panneau de commande. . . . .	63
V.3	Réprésentation réelle du bac initial avec pompe électrique et capteur de niveau. . . . .	63
V.4	Schéma de câblage des commandes opérateur : DCY, STOP, RESET et sélecteur de mode (Manuel/Automatique) vers l'automate. . . . .	65
V.5	Schéma de câblage de la commande d'une pompe et électrovanne via automate S7-1200 et relais. . . . .	66
V.6	Schéma de câblage de l'électrovanne EV1 et des commandes associées (Manuel/Automatique et arrêt d'urgence). . . . .	67
V.7	Modele réelle du câblage et des équipements de l'automate Siemens S7-1200. . . . .	68
V.8	GRAF CET de Commande Fonctionnelle. . . . .	69
V.9	Grafcet de commande automatique. . . . .	70

V.10 Interface de création de l'IHM dans TIA Portal , Vue racine du système de supervision. . . . .	71
V.11 Interface Homme-Machine (IHM) à l'état initial. . . . .	72
V.12 Interface IHM – Étape 1 : Remplissage du bac 1. . . . .	73
V.13 Interface IHM – Étape 2 : Remplissage du bac 2. . . . .	74
V.14 Interface IHM – Étape 3 : Remplissage du bac 3. . . . .	75
V.15 Interface IHM – Étape 4 : Vidange des bacs vers bac mélangeur. . . . .	76
V.16 Interface IHM – Étape 5 : Malaxage. . . . .	77
V.17 Interface IHM – Étape 6 : Vidange du bac de mélange (bac 4). . . . .	78
V.18 Création et intégration des alarmes EV4 et S1 dans l'interface IHM sous TIA Portal V13 . . . . .	79
V.19 Visualisation isolée de l'alarme S1 sur l'IHM en cas de détection de défaut . . .	80
V.20 Affichage de l'alarme EV4 sur l'IHM lors d'un dysfonctionnement détecté . . . .	81
V.21 Message d'alarme du capteur S1 affiché dans la fenêtre des événements sur l'IHM	82

# Liste des tableaux

I.1	Description des différentes parties d'un système automatisé . . . . .	22
I.2	Avantages et inconvénients de l'automatisation industrielle . . . . .	23
II.1	Choix et possibilités d'extension des CPU du système SIMATIC S7-1200 . . . . .	34
III.1	Langages de programmation des API selon la norme CEI 61131-3 . . . . .	40
III.2	Principaux symboles utilisés en langage Ladder (LD) . . . . .	41
IV.1	Enjeux et objectifs dans le contexte industriel. . . . .	44
IV.2	Méthodes de supervision . . . . .	46
IV.3	Caractéristiques techniques du protocole Profinet. . . . .	48
IV.4	Principaux composants d'une IHM . . . . .	50
IV.5	Tableau 4.5 : Composants essentiels d'un système SCADA . . . . .	54
IV.6	Fonctionnalités clés d'un système SCADA . . . . .	55
IV.7	Niveaux d'un système automatisé industriel. . . . .	57
V.1	Liste du matériel utilisé avec caractéristiques techniques et fonctions. . . . .	64

# Liste des abréviations

**API** : Automate Programmable Industriel.  
**CPU** : Central Processing Unit.  
**ERP** : Enterprise Resource Planning.  
**GRAFCET** : Graphe Fonctionnel de Commande par Étapes et Transitions.  
**IL** : Instruction List.  
**IHM** : Interface Homme-Machine.  
**LD** : Ladder Diagram.  
**MEC** : Manufacturing Execution System.  
**MODBUS** : Modbus Protocol.  
**NTP** : Network Time Protocol.  
**OPC** : OLE for Process Control.  
**PC** : Partie commande.  
**PLC** : Programmable Logic Controller.  
**PO** : Partie opérative.  
**PROFINET** : Process Field Net.  
**PTP** : Precision Time Protocol.  
**RAM** : désigne une autre mémoire.  
**ROM** : Read Only Memory ,Random Access Memory est une erreur.  
**RTU** : Remote Terminal Unit.  
**SCADA** : Supervisory Control And Data Acquisition.  
**SQL** : Structured Query Language.  
**ST** : Structured Text.  
**TCP** : Transmission Control Protocol.  
**Tia Portal** : Totally Integrated Automation Portal.

## *Remerciement*

Avant tout, nous souhaitons remercier Dieu Tout-Puissant, qui nous a permis de mener ce travail à bien, en nous donnant la force, la patience et la persévérance nécessaires pour surmonter les obstacles rencontrés.

Nos pensées vont ensuite à nos parents, à qui nous devons tout. Leur amour, leur confiance, leurs encouragements et leur présence ont été pour nous une source constante de motivation. Ce travail est aussi le fruit de leur soutien indéfectible.

Nous remercions vivement Monsieur **Benaouali Mohamed**, notre encadrant, ainsi que Monsieur **Benouali Abdelhak**, pour leur accompagnement tout au long de ce projet. Leur disponibilité, leurs conseils avisés et leur exigence ont joué un rôle central dans la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements respectueux s'adressent également à Madame **Benchel-lal Amel** et Monsieur **Soltane Benalou** Abdelkader, membres du jury, pour avoir accepté d'évaluer notre travail. Leurs remarques pertinentes et leur regard critique nous ont permis d'enrichir et de finaliser ce mémoire avec plus de justesse.

Nous exprimons aussi notre reconnaissance à Monsieur **DJELTI Benbella**, pour ses interventions techniques précieuses, toujours au bon moment, et pour ses conseils pratiques qui nous ont souvent éclairés dans les moments de doute.

Nos sincères remerciements vont également à Monsieur **ABED Mansour**, directeur du Laboratoire de Recherche Signaux et Systèmes (LSS), pour nous avoir accueillis au sein de son équipe et mis à disposition les moyens nécessaires à l'avancement de notre projet. Un grand merci aussi à tous les membres du laboratoire pour leur accueil chaleureux, leur aide et leurs échanges enrichissants.

Une mention toute spéciale va à **Oulhissane Lynda** et **Cheikh Ghizlene**, dont la présence bienveillante, l'écoute et le soutien, parfois même dans les moments les plus stressants, ont été précieux. Elles sont restées à nos côtés jusqu'à la dernière minute, avec générosité et patience, et pour cela, nous leur adressons notre gratitude la plus sincère.

Un grand merci à toutes les personnes, proches ou non, qui ont croisé notre chemin durant cette période et qui, par un geste ou un mot, ont contribué à la réussite de ce travail. Nous adressons également nos plus sincères remerciements

à l'ensemble de nos professeurs du département de Génie Électrique de l'Université de Mostaganem, pour leur disponibilité, et la qualité de l'enseignement qu'ils nous ont transmis tout au long de notre parcours.

Et pour conclure, nous tenons à reconnaître le travail que nous avons accompli ensemble. Ce projet n'a pas été un long fleuve tranquille, mais nous avons su faire preuve de rigueur, de solidarité et de détermination jusqu'au bout. Cette expérience nous a beaucoup appris, bien au-delà de l'aspect technique.

***BOUTADJINE Moullette, AIT OUALI Sophie***

## *Dédicace*

À la mémoire de mon grand-père, **Jediss Aid, Said Kadous** qui reste, malgré son absence, une présence immense dans ma vie.

Ce travail t'est dédié, toi qui m'as élevée avec tendresse, toi qui as été mon refuge, mon modèle de sagesse silencieuse. Tu es parti en 2022, mais tu ne m'as jamais quittée.

À mes parents **Ferhat et El kahina** pour leur amour inconditionnel, leur patience, et tous les sacrifices silencieux. Merci de m'avoir donné des racines solides et des ailes pour voler.

À ma famille maternelle,

**Khwali Kadous**, ma deuxième maison, mon cocon. Vous m'avez élevée, choyée, et aimée comme votre propre enfant. Je vous porte dans mon cœur à chaque pas.

À mes soeurs,

**Djedjiga**, mon idole depuis toujours, celle qui m'a tant appris, ta force, ta douceur, ta lumière me guident encore.

**Mélissa**, mon bras droit, ma complice, c'est avec toi que j'ai traversé les tempêtes, et construit mes victoires.

**Ibtissem**, la chouchoute de la famille, ta sensibilité, tes rires et ta tendresse embellissent tout autour de toi.

À toute ma famille, pour l'amour, le soutien et les prières dans l'ombre. Vous êtes ma force.

Et pour finir en beauté...

À cette petite lumière au fond de mon cœur, Silencieuse, invisible aux yeux du monde, mais si vivante pour moi. Que mes efforts d'aujourd'hui soient les fondations de ton avenir. Je bâtis chaque jour un peu plus pour toi, dans l'ombre, avec foi, avec amour.

**Sophie**

## ***Dédicace***

*Avec fierté et gratitude,  
je dédie ce modeste travail à ceux qui, après Dieu, ont contribué  
à mon parcours académique et personnel :*

*À mes chers parents **Ghali et Fatiha** , symboles de tendresse et  
de dévouement, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices  
et leur précieux soutien qui ont toujours été un appui à chaque  
étape.*

*À mon cher frère **Mohammed**,  
pour sa précieuse présence et ses encouragements bienveillants  
tout au long de ce parcours.*

*À mes chères soeurs : **Amina, Meriem et Mansouria**,  
pour leur tendresse, leurs encouragements, leur présence  
permanente et leur soutien continu à mes côtés.*

*À mon beau-frère,  
pour sa précieuse aide.*

*Et à mes fidèles amis,  
pour leur amitié sincère, leurs nobles attitudes et leur soutien  
constant durant toutes les étapes de ma vie.*

*Que ce travail soit un témoignage de fidélité, de reconnaissance  
et d'affection pour vous tous, en remerciement pour tout ce que  
vous m'avez offert.*

***Moulette***

# Abstract

As part of the development of automated systems, this project focuses on the design and supervision of a pedagogical model representing an automatic liquid distribution chain. The objective is to ensure the automatic management of the process and its supervision using a programmable logic controller (PLC) and an HMI interface designed under TIA Portal V13 and WinCC. The methodology adopted is based on the development of specifications, the realization of electrical wiring, the design of the control GRAFCET, its programming in Ladder language, and the development of the supervision interface. After several tests and validations, the automated system was successfully put into service, fully meeting the requirements set out in the specifications. This work illustrates the effective integration between automation, industrial supervision and modern programming tools.

## **KeyWord**

Automation, Programmable Logic Controller (PLC), Industrial Supervision (WinCC), Programming Ladder, GRAFCET, TIA Portal V13.

# Résumé

Dans le cadre du développement des systèmes automatisés, ce projet porte sur la conception et la supervision d'une maquette pédagogique représentant une chaîne de distribution automatique de liquide. L'objectif est d'assurer la gestion automatique du processus et sa supervision à l'aide d'un automate programmable industriel (API) et d'une interface IHM conçue sous TIA Portal V13 et WinCC. La méthodologie adoptée repose sur l'élaboration d'un cahier des charges, la réalisation du câblage électrique, la conception du GRAFCET de commande, sa programmation en langage Ladder, et le développement de l'interface de supervision. Après plusieurs tests et validations, le système automatisé a été mis en service avec succès, répondant pleinement aux exigences fixées dans le cahier des charges. Ce travail illustre l'intégration efficace entre automatisation, supervision industrielle et outils de programmation modernes.

## Mot Clés

Automatisation, Automate Programmable Industriel (API), Supervision industrielle (WinCC), Programmation Ladder, GRAFCET, TIA Portal V13.

## ملخص

كجزء من تطوير الأنظمة الآلية، يركز هذا المشروع على التصميم والإشراف على نموذج تربوي يمثل سلسلة توزيع السوائل التلقائية. الهدف هو ضمان الإدارة التلقائية للعملية والإشراف عليها باستخدام وحدة تحكم منطقية قابلة للبرمجة (PLC) وواجهة HMI مصممة ضمن TIA Portal V13 و WinCC. تعتمد المنهجية المتبعة على تطوير المواصفات، وتنفيذ الأسلاك الكهربائية، وتصميم جهاز التحكم GRAFCET، وبرمجته بلغة Ladder، وتطوير واجهة الإشراف. وبعد عدة اختبارات وعمليات تحقق، تم وضع النظام الآلي في الخدمة بنجاح، مما يلبي المتطلبات المنصوص عليها في المواصفات بشكل كامل. يوضح هذا العمل التكامل الفعال بين الأتمتة والإشراف الصناعي وأدوات البرمجة الحديثة.

## كلمات مفتاحية

الأتمتة، وحدة التحكم المنطقية القابلة للبرمجة (PLC)، الإشراف الصناعي (WinCC)،

سلم البرمجة، GRAFCET، بوابة TIA V13.

# Introduction Générale

Dans un contexte industriel marqué par le développement constant des technologies de l'automatisation et la digitalisation des processus de production, les systèmes automatisés occupent aujourd'hui une place stratégique. Ils permettent d'améliorer la productivité, la qualité des produits et la sécurité des installations tout en réduisant les coûts d'exploitation. Dans cet environnement, la maîtrise des outils d'automatisation et de supervision devient indispensable, non seulement pour les entreprises industrielles, mais aussi pour les établissements de formation technique.

C'est dans cette perspective que s'inscrit ce projet, qui a pour objectif la conception, l'automatisation et la supervision d'une maquette pédagogique d'une chaîne de distribution de liquides. Cette réalisation permettra de simuler un processus industriel complet comprenant le remplissage, la vidange et le mélange de liquides, sous le contrôle d'un automate programmable industriel (API Siemens S7-1200) et via le logiciel TIA Portal V13. Ce travail se veut à la fois technique et pédagogique, offrant un support concret pour l'apprentissage et l'expérimentation en environnement simulé.

La problématique centrale que ce mémoire se propose de traiter est la suivante : *Comment concevoir et automatiser une maquette pédagogique fiable et didactique, capable de reproduire les différentes étapes d'un processus industriel automatisé et d'en assurer la supervision à l'aide d'une solution logicielle intégrée et accessible ?*

Afin de mener à bien cette étude, le mémoire est structuré en cinq chapitres complémentaires :

- Le premier chapitre est consacré aux systèmes automatisés. Il présente leur définition, leur structure générale ainsi que les objectifs, avantages et inconvénients liés à leur mise en œuvre dans les milieux industriels.
- Le deuxième chapitre traite des automates programmables industriels (API). Il expose leur principe de fonctionnement, leur architecture, les types disponibles et leurs domaines d'application. Un accent particulier est mis sur le Siemens S7-1200, automate utilisé dans la réalisation de notre projet.
- Le troisième chapitre présente les outils de programmation des automates, avec une étude détaillée du GRAFCET et des différents langages normalisés comme le Ladder (LD). Ce chapitre expose également les méthodes de modélisation et de programmation des séquences automatisées.
- Le quatrième chapitre aborde la notion de supervision industrielle. Il en décrit les concepts fondamentaux, les architectures de communication, les interfaces Homme-Machine (IHM) et les fonctionnalités offertes par les logiciels de supervision, notamment WinCC intégré à TIA Portal.
- Enfin, le cinquième chapitre est dédié à la présentation pratique de la maquette pédagogique réalisée dans le cadre de ce projet. Il décrit la conception

matérielle, le câblage, la programmation de l'automate et la configuration de l'IHM. Ce chapitre expose également les résultats obtenus et les tests de validation effectués.

À travers cette démarche, ce mémoire vise à démontrer l'importance de l'automatisation et de la supervision dans les systèmes industriels modernes et à proposer une solution pédagogique efficace et fonctionnelle, facilitant ainsi la formation des futurs techniciens et ingénieurs en automatisation.

# Chapitre I

## Systemes automatisés

## I.1 Introduction

Dans le secteur industriel actuel, caractérisé par une exigence accrue en termes de performance, de qualité et de sécurité, l'automatisation des processus de production s'impose comme un levier stratégique. Elle permet d'optimiser les cycles de fabrication, de réduire les interventions humaines et de garantir un contrôle précis des opérations.

Ce chapitre a pour objectif d'introduire les notions fondamentales de l'automatisation industrielle en définissant ce qu'est un système automatisé, en identifiant ses composantes et sa structure, et en précisant ses finalités. Il s'agira également d'étudier les avantages et les limitations de ces systèmes dans un environnement industriel.

À travers cette démarche, nous chercherons à comprendre l'impact de l'automatisation sur l'organisation et la modernisation des systèmes de production.

## I.2 Définition d'un système automatisé

Un système automatisé se caractérise par l'exécution automatique d'un cycle de travail défini, composé de différentes séquences ou étapes, sans intervention humaine continue. L'humain intervient principalement lors de la programmation, du paramétrage et de la supervision du système. L'automatisation vise à accomplir des tâches complexes, dangereuses, pénibles ou répétitives pour l'humain, tout en augmentant l'efficacité et la précision des processus.

On distingue généralement trois composantes principales dans un système automatisé :

1. La partie opérative : Elle regroupe les éléments qui réalisent les actions physiques (moteurs, vérins, actionneurs, etc.).

2. La partie commande : Elle assure la gestion et la coordination des actions selon les consignes programmées.

La partie relation : Elle assure la communication entre la partie commande et la partie opérative, ainsi qu'avec l'environnement extérieur [1].

## I.3 Structure d'un système automatisé

Un système automatisé se compose généralement de deux éléments principaux : la partie commande (PC) et la partie opérative (PO). Pour que ce système fonctionne, l'opérateur – c'est-à-dire la personne en charge de sa mise en route – transmet des instructions à la PC. Celle-ci interprète ces directives et les transforme en ordres destinés à la PO.

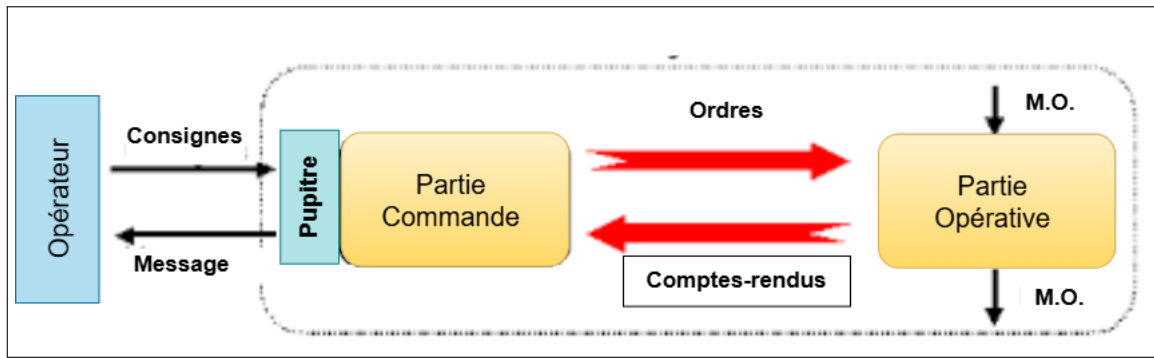


FIGURE I.1 – Structure d'un système automatisé.

La figure I.1 illustre ce principe de fonctionnement. Une fois les actions exécutées, la PO envoie un retour d'information à la PC, qui à son tour informe l'opérateur via un poste de contrôle. Cela permet à l'opérateur de vérifier que les tâches ont bien été effectuées [2].

## I.4 Description des différentes parties

Le tableau ci-dessus détaille la composition et le rôle de chaque partie essentielle d'un système automatisé : la partie opérative, la partie relation et la partie commande [3].

TABLE I.1 – Description des différentes parties d'un système automatisé

Partie	Description	Composants principaux et rôles
<b>Partie Opérative (P.O)</b>	Opère sur la matière d'œuvre et le produit.	<b>Effecteurs</b> : agissent directement sur la matière (outils de coupe, pompes, etc.) <b>Actionneurs</b> : convertissent l'énergie (moteur, vérin, etc.) <b>Pré-actionneurs</b> : adaptent et modulent l'énergie délivrée (contacteur, distributeur, etc.) <b>Capteurs</b> : acquièrent les données (fin de course, détecteur, capteur de température, etc.)
<b>Partie Relation (P.R)</b>	Dialogue homme-machine, commande et signalisation.	<b>Organes de commande</b> : mise en/hors énergie, sélection de modes, commande manuelle, arrêt d'urgence, etc. <b>Signalisations</b> : voyants, afficheurs, écrans, klaxons, sonneries, etc.
<b>Partie Commande (P.C)</b>	Traite les informations et transmet les ordres.	<b>Composants</b> : relais électromagnétique, opérateur logique, etc. <b>Constituants</b> : API, cartes à micro-processeur, micro-ordinateurs, etc.

## I.5 Objectifs d'un système automatisé

- Garantir une production de qualité régulière et homogène.
- Assurer la livraison des quantités requises.
- Accroître la productivité globale du processus.
- Optimiser et sécuriser les conditions de travail des opérateurs [4].

## I.6 Avantages et inconvénients des systèmes automatisés

Le tableau ci-dessous présente de façon synthétique les principaux avantages et inconvénients des systèmes automatisés de production, permettant ainsi une analyse objective de leur impact sur l'organisation industrielle [5].

TABLE I.2 – Avantages et inconvénients de l'automatisation industrielle

Aspect	Avantages	Inconvénients
<b>Productivité</b>	Production accrue, productivité élevée, délais réduits	/
<b>Qualité</b>	Qualité constante, précision, réduction des erreurs humaines	/
<b>Sécurité</b>	Suppression des tâches dangereuses, amélioration de la sécurité des opérateurs	/
<b>Conditions de travail</b>	Réduction du travail pénible et répétitif, semaines de travail plus courtes	/
<b>Flexibilité</b>	Adaptabilité à différents milieux industriels, possibilité de reconfiguration	Parfois moins flexible que les systèmes manuels pour certains produits
<b>Création de métiers</b>	Émergence de nouveaux métiers spécialisés (automaticiens, maintenance)	/
<b>Coûts</b>	Réduction des coûts d'exploitation et de main-d'œuvre à long terme	Coûts initiaux élevés, investissement important
<b>Maintenance</b>	/	Maintenance complexe, nécessitant du personnel qualifié
<b>Risques techniques</b>	/	Vulnérabilité aux pannes techniques, dépendance à la technologie
<b>Impact humain</b>	/	Risque de suppression d'emplois peu qualifiés, stress émotionnel pour certains

## I.7 Conclusion

À l'issue de ce premier chapitre, nous avons clarifié les notions de base relatives aux systèmes automatisés, en identifiant leurs différentes composantes, leur organisation fonctionnelle ainsi que les objectifs qu'ils poursuivent dans un environnement industriel. L'étude des avantages et inconvénients de ces systèmes a permis de mieux cerner leur impact à la fois technique, économique et humain. Ces notions théoriques constituent désormais un cadre de référence indispensable pour comprendre les choix technologiques et les solutions d'auto-

matiation qui seront développés dans la suite de ce mémoire. Dans le chapitre suivant, nous présenterons les automates programmables industriels, en décrivant leurs principales caractéristiques et leur structure

# Chapitre II

## Automate programmable industriel (API)

## II.1 Introduction

L'automatisation industrielle est devenue un élément incontournable dans le fonctionnement des chaînes de production modernes. Parmi les équipements utilisés pour assurer ce rôle, l'Automate Programmable Industriel (API) occupe une place essentielle. Conçu pour répondre aux exigences de robustesse, de fiabilité et de flexibilité en milieu industriel, l'API permet de gérer efficacement les systèmes automatisés en remplaçant les commandes câblées classiques.

Dans ce chapitre, nous allons présenter la définition générale d'un API, sa structure matérielle et logicielle, ses composants, ainsi que ses types et domaines d'utilisation. Nous détaillerons également les caractéristiques techniques de l'automate SIMATIC S7-1200, utilisé dans le cadre de ce projet, ainsi que ses possibilités d'extension et ses performances. Cette étude constitue une base indispensable pour comprendre l'importance et le rôle stratégique de l'API dans un environnement industriel automatisé.

## II.2 Définition générale

L'automate programmable industriel (API) est un système de commande basé sur un microprocesseur. C'est une technologie en constante évolution, de plus en plus demandée sur le marché. De nouveaux modèles apparaissent régulièrement, avec des capacités qui progressent en parallèle des avancées technologiques. Ses applications sont de plus en plus variées et intéressent un large éventail d'utilisateurs.

Trois caractéristiques principales le distinguent des ordinateurs classiques utilisés dans les entreprises :

- Il peut être directement relié aux capteurs et actionneurs grâce à ses entrées/sorties adaptées à l'industrie.
- Il est conçu pour fonctionner dans des environnements industriels difficiles (températures extrêmes, vibrations, coupures de courant, parasites, etc.).
- Il utilise des langages de programmation spécifiques à l'automatisme, ce qui facilite son utilisation et sa mise en service.

Pour étudier cet équipement, utilisé dans des systèmes industriels réels, il est essentiel de considérer ses aspects matériels, logiciels, ainsi que la sûreté de son fonctionnement [6].

## II.3 Structure générale des API

Les automates programmables industriels (API) se distinguent par plusieurs caractéristiques essentielles qui définissent leur configuration et leurs possibilités

d'utilisation. Ces caractéristiques sont les suivantes :

- Format d'intégration : l'API peut se présenter sous forme de coffret, rack, baie ou simplement sous forme de cartes.
- Architecture : il existe des modèles compacts (intégrant l'ensemble des fonctions dans un seul boîtier) ou modulaires (où chaque fonction est assurée par un module spécifique pouvant être ajouté selon les besoins).
- Tension d'alimentation : l'API fonctionne généralement sous des tensions normalisées adaptées aux environnements industriels.
- Capacité mémoire : la mémoire disponible détermine la complexité et la taille du programme que l'API peut gérer.
- Méthode de sauvegarde : les données et programmes peuvent être conservés grâce à différents moyens.
- Nombre d'entrées et de sorties (I/O) : le nombre de signaux numériques ou analogiques pouvant être gérés simultanément est un critère essentiel.
- Modules complémentaires : certains automates peuvent intégrer des modules d'extension pour des fonctionnalités supplémentaires comme l'acquisition de signaux analogiques, la communication série, Ethernet, etc.
- Langage de programmation : les API sont programmés à l'aide de langages normalisés (comme le LAD, FBD, SCL, ou STL) selon la norme IEC 61131-3.

La figure II.1 illustre la structure matérielle d'un automate programmable industriel SIMATIC S7-200 de Siemens [7].

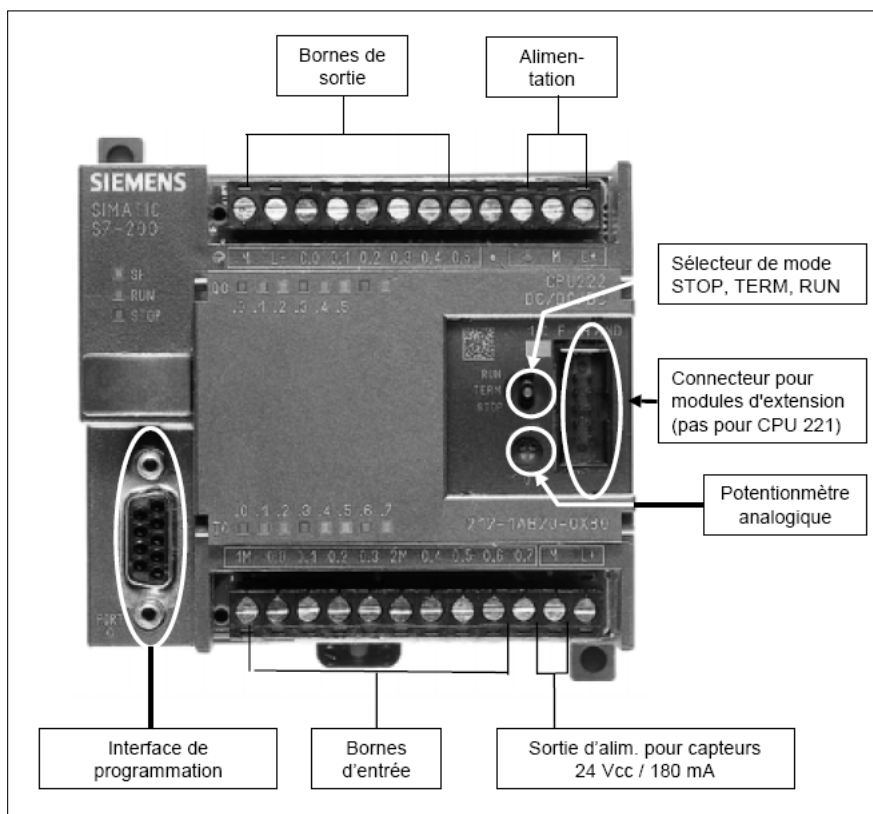


FIGURE II.1 – Présentation physique de l'automate S7-200 CPU222[6].

## II.4 Structure interne de l'automate L'A.P.I

L'automate programmable industriel (API) repose sur une structure interne bien définie, comme représentée sur la figure (2.2) Cette architecture comprend les éléments suivants :

- Bloc d'alimentation : La majorité des API utilisent une alimentation fournissant une tension continue de 24V.

- Unité centrale de traitement (CPU) : Dotée d'un microprocesseur, elle exécute l'ensemble des opérations logiques, arithmétiques et numériques telles que les transferts de données, les comptages ou encore les temporisations. Ces traitements sont réalisés à partir d'un programme stocké en mémoire.

- Mémoire : Elle assure le stockage, la conservation et la restitution des informations nécessaires au fonctionnement du système.

- Modules d'entrées/sorties (E/S) :

- L'interface d'entrée reçoit les signaux provenant des capteurs, chacun étant associé à une adresse d'entrée spécifique.

- L'interface de sortie envoie des ordres vers les pré-actionneurs, chaque commande étant également reliée à une adresse de sortie.

Le nombre et le type d'entrées/sorties disponibles dépendent du modèle d'automate utilisé [8].

Dans le modèle d'automate que nous utilisons (S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY), on dispose de huit (8) entrées TOR et de six (6) sorties TOR

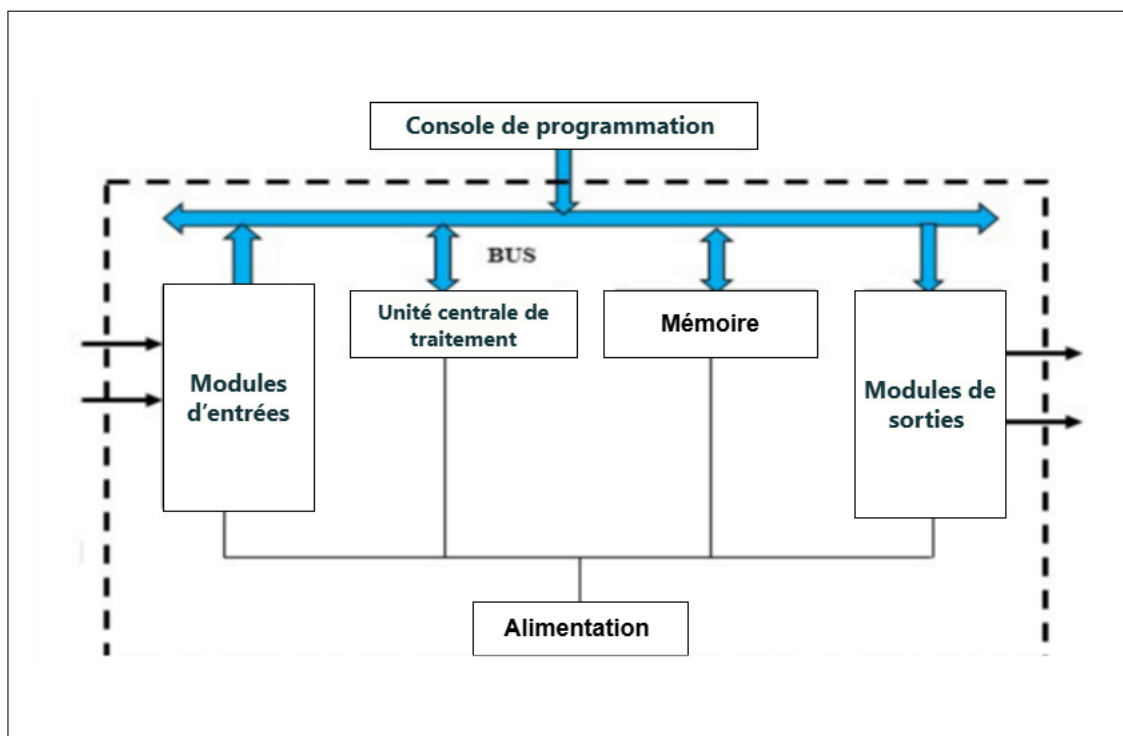


FIGURE II.2 – Structure interne de l'automate L'A.P.I

## II.5 Description des éléments d'un API

### II.5.1 La mémoire

Elle est conçue pour collecter, traiter et mémoriser les informations provenant des différents éléments du système, notamment du terminal de programmation (PC ou console) et du processeur chargé de la gestion et de l'exécution du programme. Elle reçoit également les données issues des capteurs intégrés au processus.

Les automates disposent de deux types de mémoires, chacune assurant des fonctions distinctes :

- La mémoire de langage qui contient le langage de programmation de l'automate. Il s'agit généralement d'une mémoire figée, accessible uniquement en lecture (ROM).
- La mémoire de travail qui correspond à la mémoire vive (RAM), utilisée en lecture et écriture durant le fonctionnement de l'automate. Cette mémoire est volatile et s'efface automatiquement à l'arrêt de l'appareil, nécessitant ainsi une batterie pour conserver les données si besoin.

#### II.5.1.1 Répartition des zones mémoire

- Table image des entrées.
- Table image des sorties.
- Mémoire des bits internes.
- Mémoire contenant le programme d'application.

### II.5.2 Le processeur

Le processeur a pour mission d'une part de gérer les échanges entre la mémoire de l'automate et les interfaces d'entrées/sorties, et d'autre part d'exécuter les instructions contenues dans le programme utilisateur.

### II.5.3 Les interfaces et les cartes d'Entrées / Sorties

Les interfaces et cartes d'entrées/sorties jouent un rôle essentiel dans la communication entre l'automate et le processus. L'interface d'entrée est équipée d'adresses spécifiques auxquelles sont raccordés les capteurs, tandis que l'interface de sortie possède des adresses dédiées aux pré-actionneurs. Le nombre de ces entrées et sorties varie selon le modèle et les caractéristiques de l'automate utilisé. Les cartes d'E/S sont disponibles en modules de 8, 16 ou 32 voies, avec des tensions normalisées pouvant être en courant continu ou alternatif (24V, 48V, 110V ou 230V).

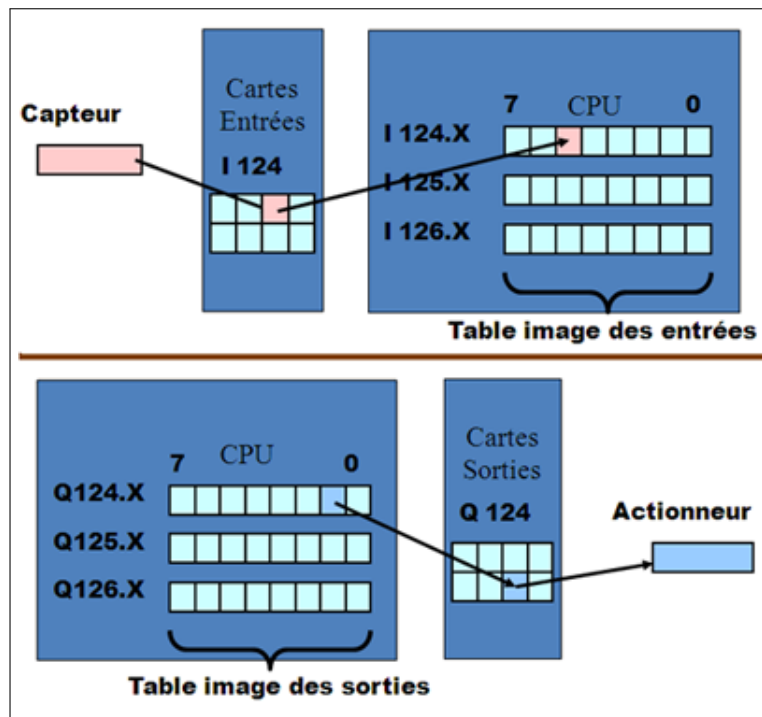


FIGURE II.3 – Les interfaces d’entrées/sorties [7].

### II.5.4 Cartes d’entrées

Elles ont pour fonction de recueillir les informations transmises par les capteurs, de conditionner les signaux en les filtrant pour supprimer les parasites, et d’assurer l’isolation électrique entre l’unité de commande et la partie opérative du système.

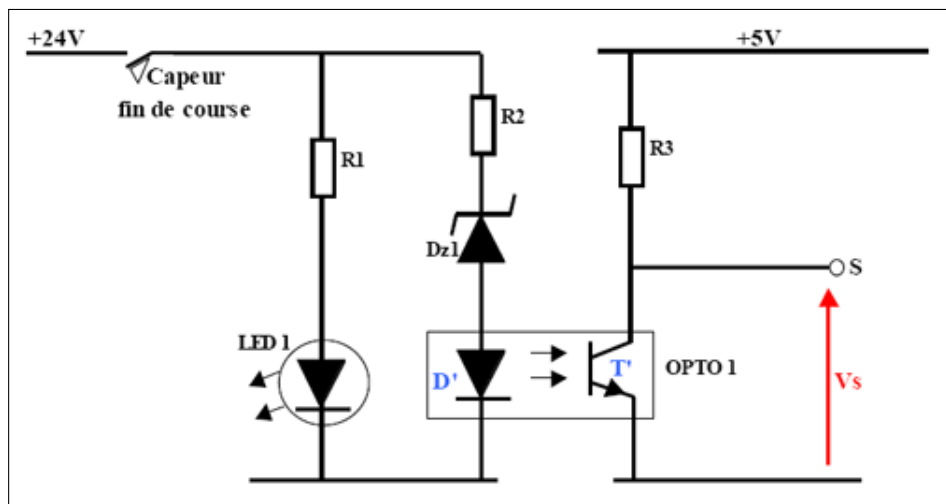


FIGURE II.4 – Exemple d’une carte d’entrées typique d’un API.

### II.5.5 Cartes de sorties

Elles ont pour rôle de piloter les pré-actionneurs ainsi que les dispositifs de signalisation du système, tout en assurant l'adaptation des niveaux de tension entre l'unité de commande et la partie opérative. De plus, elles garantissent une isolation galvanique entre ces deux parties afin de préserver leur intégrité et leur bon fonctionnement [7].

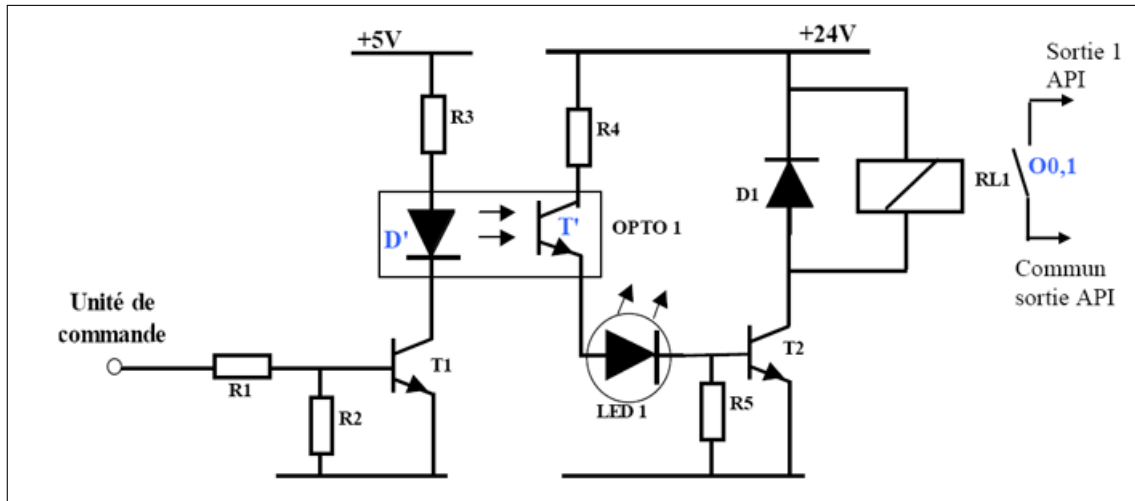


FIGURE II.5 – Exemple d'une carte de sortie typique d'un API.

## II.6 Type des automates

### II.6.1 Types d'automates

On peut regrouper les automates programmables industriels en deux grandes familles, selon leur architecture et leur capacité d'évolution :

- Les automates de type monobloc
- Les automates de type modulaire

#### II.6.1.1 Automate monobloc

Ce type d'automate est conçu sous forme compacte, regroupant dans un même boîtier l'unité centrale ainsi qu'un nombre limité d'entrées et de sorties. Son jeu d'instructions est prédéfini et ne peut généralement pas être modifié. Bien qu'il soit parfois envisageable d'ajouter des modules d'extension pour augmenter le nombre d'entrées/sorties, ce type d'automate reste principalement destiné à des applications simples fonctionnant en logique séquentielle et utilisant des signaux tout-ou-rien.

### II.6.1.2 Automate modulaire

Contrairement au modèle monobloc, l'automate modulaire se distingue par sa souplesse et sa capacité d'adaptation. Il offre la possibilité de configurer le système selon les besoins de l'installation en y ajoutant différents modules : entrées/sorties analogiques, modules de communication, ou encore modules spécialisés (régulation PID, langage BASIC, langage C...). Cette architecture modulaire facilite les interventions de maintenance et permet de faire évoluer facilement le système pour des applications plus complexes[9].

Dans notre projet, nous utilisons un automate de type modulaire de la série S7-1200 de Siemens

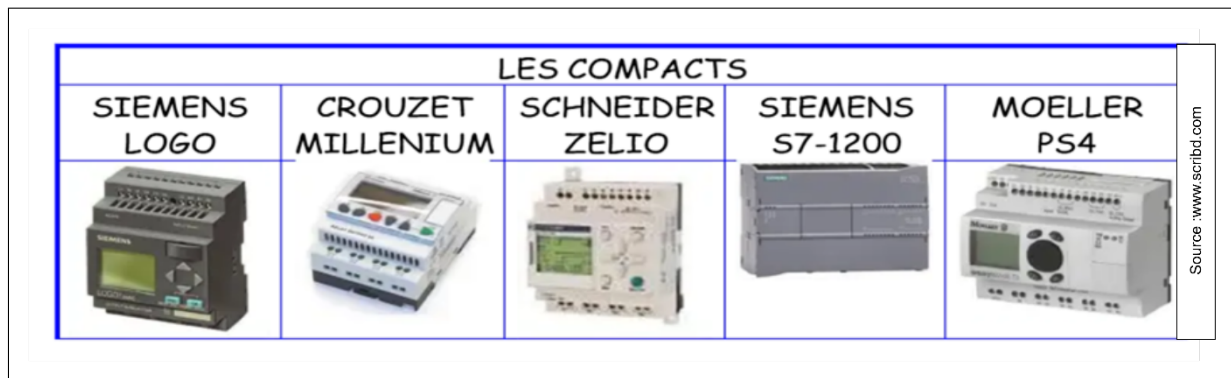


FIGURE II.6 – Différents types d'automates programmables.

## II.7 Domaines d'utilisation des API

Les automates programmables industriels (API) sont utilisés dans de nombreux domaines, notamment :

- La métallurgie et la sidérurgie.
- La mécanique et l'industrie automobile.
- Les industries chimiques et pétrolières.
- L'agriculture et l'agroalimentaire.
- Les transports et la manutention.
- L'industrie textile, la verrerie et la cristallerie.
- Les systèmes de surveillance et de sécurité, en particulier dans le secteur nucléaire.
- L'enseignement technique, où ils occupent une fonction pédagogique essentielle [6].

## II.8 Description de l'Automate S7-1200

### II.8.1 Présentation

L'automate SIMATIC S7-1200, conçu par SIEMENS, se distingue par une architecture modulaire et compacte, offrant une grande polyvalence. Il est spécifiquement destiné à la réalisation de tâches d'automatisation simples, tout en garantissant une précision élevée. De ce fait, il représente un investissement fiable ainsi qu'une solution optimale pour une large gamme d'applications industrielles. Sa conception modulaire et flexible, associée à une interface de communication conforme aux exigences les plus strictes du secteur industriel, ainsi qu'à une vaste palette de fonctionnalités, en font un outil performant et adapté aux besoins variés des utilisateurs [10].



FIGURE II.7 – Automate Programmable S7-1200.

### II.8.2 Les caractéristiques du S7-1200

Les caractéristiques essentielles des automates de la série S7-1200 sont détaillées dans le tableau ci-dessous. Ce tableau fournit une synthèse claire et exhaustive des différentes options de configuration et d'extension des unités centrales de traitement (CPU) SIMATIC S7-1200, facilitant ainsi leur sélection et leur adaptation aux besoins spécifiques des applications industrielles [11].

TABLE II.1 – Choix et possibilités d’extension des CPU du système SIMATIC S7-1200

Aspect	Description
Modèles de CPU	La gamme S7-1200 comprend plusieurs modèles de CPU comme : CPU 1211C, CPU 1212C et CPU 1214C, offrant différentes capacités de traitement et de gestion d’E/S selon les besoins de l’application.
Extensions locales par platine	Possibilité d’ajouter une platine d’extension directement sur la CPU pour augmenter le nombre d’entrées/sorties TOR ou analogiques, sans modifier le format de l’automate.
Modules d’E/S supplémentaires	Des modules d’entrées/sorties peuvent être connectés latéralement à la CPU pour étendre la capacité en E/S numériques et analogiques.
Critères de sélection des modules	Le choix des modules d’E/S dépend de : - La nature et la tension des signaux (entrée ou sortie). - Le nombre de canaux requis. - Le type d’appareillage à connecter (capteur, actionneur, électrovanne, etc.).
Possibilités d’extension	La gamme S7-1200 propose divers modules et cartes enfichables permettant d’accroître les capacités de la CPU, notamment en E/S supplémentaires et protocoles de communication.

### II.8.3 Conclusion

À travers ce chapitre, nous avons pu découvrir l’Automate Programmable Industriel sous ses différents aspects : définition, structure, composants, types et domaines d’application. Nous avons constaté que l’API représente une solution performante et adaptée aux exigences des systèmes industriels modernes. Sa capacité à gérer les entrées et sorties, sa robustesse face aux environnements difficiles et sa flexibilité grâce à des extensions modulaires en font un outil indispensable pour les applications industrielles variées.

Dans la suite, nous aborderons les principaux outils de programmation utilisés pour piloter ces automates, notamment le GRAFCET et le langage Ladder, afin de comprendre leur rôle dans la conception des systèmes automatisés.

# Chapitre III

## Outils de programmation des automates : GRAFCET et Ladder

## III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons aborder les principaux outils de programmation utilisés dans l'automatisation industrielle, à savoir le GRAFCET et le langage Ladder. Ces deux méthodes sont largement utilisées pour concevoir et structurer des programmes destinés aux automates programmables industriels (API).

Le GRAFCET permet de modéliser graphiquement le comportement séquentiel d'un système automatisé en définissant des étapes et des transitions. Il facilite ainsi la compréhension et la structuration logique des enchaînements d'opérations.

Quant au langage Ladder, il est l'un des langages les plus utilisés dans le domaine industriel pour la programmation des automates, notamment grâce à sa simplicité et à sa ressemblance avec les schémas électriques traditionnels. Le Ladder offre une visualisation claire des actions de commande et de contrôle.

L'objectif de ce chapitre est de présenter les principes de base, la méthodologie de conception ainsi que des exemples d'application de ces deux outils au sein de notre projet.

## III.2 GRAFCET

La conception d'une machine automatisée implique une collaboration étroite entre le client, qui établit le cahier des charges en exprimant ses besoins et les conditions de fonctionnement attendues, et le constructeur, chargé de proposer des solutions techniques adaptées.

Cependant, cette communication peut s'avérer complexe : le client ne maîtrise pas toujours les aspects techniques nécessaires pour formuler précisément son besoin, et le langage courant ne suffit pas toujours à lever les ambiguïtés, notamment lorsque le système doit gérer des actions simultanées ou des enchaînements spécifiques.

Pour répondre à cette problématique, l'ADEPA (Agence pour le Développement de la Productique Appliquée à l'Industrie) a mis en place le GRAFCET, un outil graphique standard qui permet de décrire de manière claire et structurée le fonctionnement séquentiel d'un système automatisé.

### III.2.1 Définition

Le GRAFCET (Graphe Fonctionnel de Commande Étapes/Transitions) est un langage graphique conçu pour représenter, analyser et structurer le comportement d'un système automatisé. Il s'avère particulièrement utile pour traduire de manière explicite les exigences fonctionnelles exprimées dans un cahier des charges.

Créé en 1977 par l'AFCEC (Association Française pour la Cybernétique Économique et Technique), le GRAFCET permet de visualiser le déroulement logique d'un automatisme à travers trois éléments fondamentaux :

- Des étapes chacune étant associée à une ou plusieurs actions à exécuter.
- Des transitions qui conditionnent le passage d'une étape à la suivante en fonction D'événements ou de situations.
- Des liaisons orientées, reliant les étapes et les transitions pour représenter le flux de fonctionnement du système [12].

### III.2.2 Représentation du GRAFCET

Le GRAFCET se construit à partir d'éléments graphiques fondamentaux, qui permettent de modéliser le comportement séquentiel d'un système automatisé.

#### III.2.2.1 Les étapes

— **Étape initiale** 0

Représente l'état du système au démarrage du fonctionnement. Elle est unique et marque le point de départ du cycle.

— **Étape** 1

Correspond à un état stable du système dans lequel il reste tant que la transition suivante n'est pas franchie. Les étapes sont numérotées dans un ordre croissant. À chaque étape peuvent être associées une ou plusieurs actions.

#### III.2.2.2 Les transitions et réceptivités

— **Transition**  $+$

Symbolise la possibilité d'évolution du système d'une étape vers une autre. Chaque transition est associée à une condition appelée réceptivité.

— **Réceptivité** :  $+$   
réceptivité

C'est la condition logique qui doit être vraie (égale à 1) pour que la transition puisse être franchie. Elle provient des signaux de commande, des capteurs ou d'informations issues de la partie opérative.

#### III.2.2.3 Les liaisons orientées

— **Liaisons orientées**



Elles relient étapes et transitions et indiquent le sens d'évolution du système. Par convention, la lecture du GRAFCET s'effectue de haut en

bas. Si ce sens est différent, des flèches sont utilisées pour préciser la direction.

### III.2.3 Définitions complémentaires

— **Action** : 1 — action

Associée à une étape, elle est activée dès que le cycle atteint cette étape. Les actions peuvent être conditionnelles, temporisées, etc., et correspondent par exemple à l'activation d'une électrovanne ou d'un contacteur.

— **Étape active** : •

Une étape est dite active lorsque le système s'y trouve actuellement. Cette activation est souvent représentée par un point ou un marquage spécifique sur le diagramme [13].

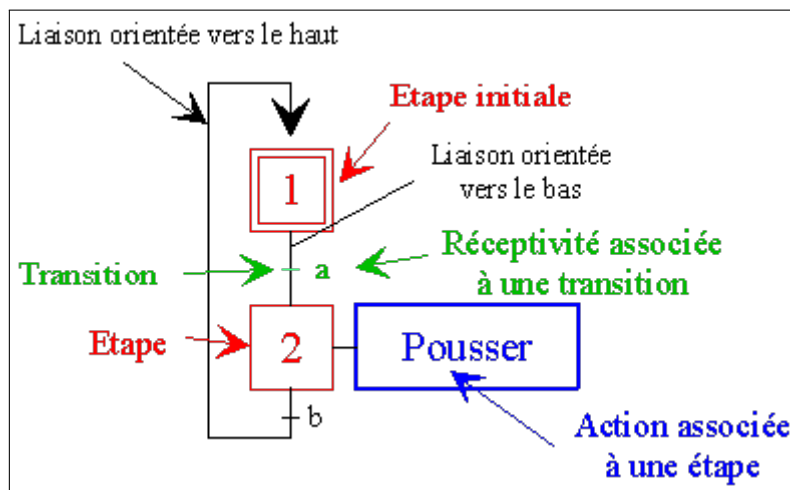


FIGURE III.1 – Structure d'un grafcet.

### III.2.4 Niveaux d'un GRAFCET

#### III.2.4.1 GRAFCET de niveau 1

Le GRAFCET de niveau 1 décrit le système de manière générale et textuelle, sans prendre en compte les spécificités technologiques. Il est souvent utilisé pour présenter ou promouvoir un système, constituant un outil idéal pour expliquer son fonctionnement à des non-experts ou pour élaborer un cahier des charges.

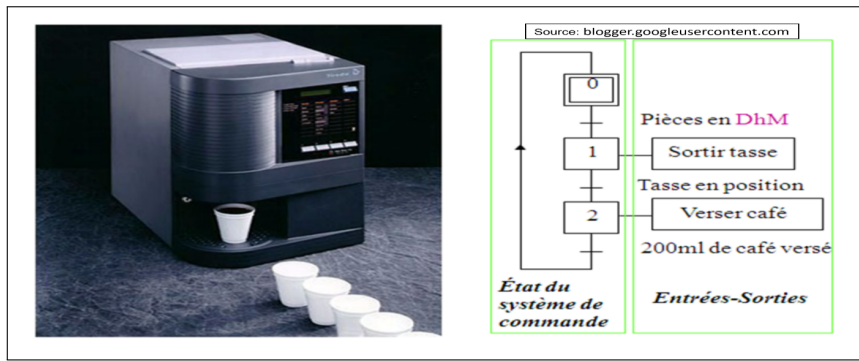


FIGURE III.2 – Exemple d’un grafcet niveau 1

III.2.4.2 GRAFCET de niveau 2

Le GRAFCET de niveau 2 propose une description détaillée et technique du procédé, intégrant les contraintes liées à la technologie et au fonctionnement opérationnel. Ce niveau est destiné aux spécialistes qui interviennent dans la conception, la programmation et la mise en œuvre du système automatisé [14].

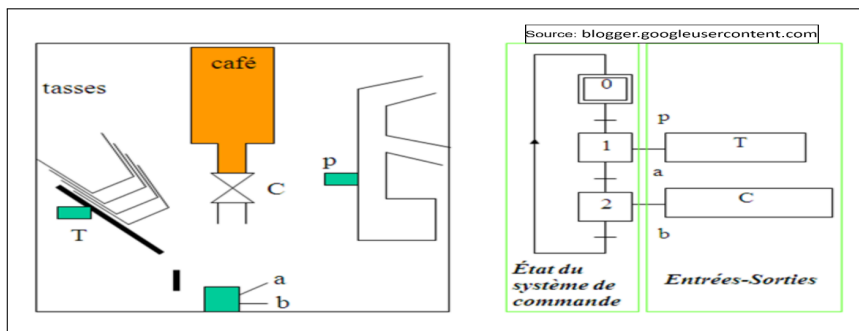


FIGURE III.3 – Exemple d’un grafcet de niveau 2.

III.2.5 Mise en équation d’un GRAFCET

L’activation d’une étape obéit aux conditions suivantes :

- L’étape située immédiatement avant doit être active .
- La réceptivité liée à la transition précédente doit être satisfaite (vraie) .
- L’étape directement suivante doit être inactive .
- Une fois activée, l’étape conserve son état jusqu’à la prochaine évolution du GRAFCET [15].

III.2.5.1 Equation du grafcet

$$X_n = (X_{n-1} \cdot R_n + X_n) \cdot \overline{X_{n+1}} \tag{III.1}$$

$X_{n-1}$  : l’étape ( $n - 1$ ) est active.

$R_n$  : la réceptivité ( $n$ ) est vraie.

$X_n$  : mémorisation de l'étape ( $n$ ).

$\overline{X_{n+1}}$  : l'étape ( $n + 1$ ) est non active.

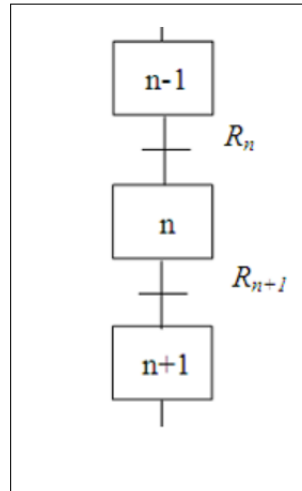


FIGURE III.4 – Grafcet généralisé

### III.3 Langages de programmation

Ce tableau synthétise les cinq langages définis par la norme IEC 1131-3 pour la programmation des automates programmables industriels, en mettant en évidence leur nature et leurs usages principaux [16].

TABLE III.1 – Langages de programmation des API selon la norme CEI 61131-3

Langage	Nom complet	Type	Description
<b>LD</b>	Ladder Diagram (schéma à relais)	Graphique	Programmation d'équations booléennes (vrai/faux).
<b>IL</b>	Instruction List (liste d'instructions)	Textuel bas niveau	Langage ligne-par-ligne, proche de l'assembleur.
<b>FBD</b>	Function Block Diagram (schéma par blocs)	Graphique	Programmation par blocs : variables, fonctions, opérateurs.
<b>SFC</b>	Sequential Function Chart	Graphique de haut niveau	Inspiré du GRAFCET, pour procédés séquentiels.
<b>ST</b>	Structured Text (texte structuré)	Textuel de haut niveau	Pour algorithmes complexes avec structures conditionnelles.

Le langage ladder est le plus utilisé par les automaticiens car il permet une représentation graphique simple et intuitive des schémas de commande électrique sous forme de programme automatisé. En programmation Ladder, chaque élément du programme est représenté par un symbole graphique qui correspond

à une fonction logique ou à une action. Voici les principaux symboles utilisés [17] :

TABLE III.2 – Principaux symboles utilisés en langage Ladder (LD)

Symbole	Description
-   -	<b>Contact normalement ouvert (NO)</b> : représente une variable d'entrée ou un contact à fermeture (ex : I0.2, B12).
- / -	<b>Contact normalement fermé (NC)</b> : variable d'entrée complétementée ou contact à ouverture.
-( )-	Bobine de sortie : active une sortie ou une variable interne (ex : O0.2, B12).
-(S)-	<b>Bobine mémorisée à 1 (Set)</b> : met la sortie à l'état haut de manière persistante.
-(R)-	<b>Bobine mémorisée à 0 (Reset)</b> : remet la sortie à zéro de manière persistante.
—	<b>Connexion horizontale</b> : Représente le chemin logique entre les éléments.
	<b>Connexion verticale</b> : interconnexion entre différentes lignes ou branches du programme.

### III.4 Conclusion

Au terme de ce chapitre, nous avons présenté les deux outils de programmation les plus couramment utilisés dans l'automatisation industrielle : le GRAFCET, qui permet de modéliser le fonctionnement séquentiel d'un système automatisé, et le langage Ladder, qui sert à la programmation des automates à partir d'une logique de contacts et de bobines. La complémentarité entre ces deux outils offre aux automaticiens une méthode structurée et efficace pour concevoir et implémenter des programmes robustes et fiables. Dans la suite de ce mémoire, ces outils seront appliqués à la programmation et au pilotage de notre maquette pédagogique, en assurant à la fois la commande séquentielle et la supervision de ses différents éléments, Ce point sera traité dans le chapitre suivant.

# Chapitre IV

## Supervision industrielle

## IV.1 Introduction

Dans le contexte actuel de l'automatisation des systèmes industriels, la supervision joue un rôle central dans le pilotage, le contrôle et l'optimisation des processus. Ce chapitre vise à introduire les fondements techniques de la supervision industrielle, en mettant en lumière ses fonctions, ses composants, ainsi que les outils qui la rendent opérationnelle. Nous commencerons par définir les concepts clés liés à la supervision et à son intégration dans les architectures industrielles. Ensuite, une attention particulière sera portée à l'Interface Homme-Machine (IHM), en détaillant ses éléments constitutifs, son utilité et les critères de sa conception. Les logiciels de supervision, tels que WinCC, seront ensuite étudiés à travers leurs fonctionnalités et leur place dans les systèmes SCADA. Les modes de communication industrielle, les protocoles utilisés et la gestion des données via le becquet d'information feront également l'objet d'une analyse approfondie. Enfin, nous aborderons la pyramide CIM pour situer la supervision dans l'organisation globale de l'entreprise industrielle, tout en évoquant son rôle dans les dynamiques d'intégration numérique.

## IV.2 Concepts fondamentaux de la supervision industrielle

### IV.2.1 Définition de la supervision

Un système de supervision a pour mission de contrôler et de surveiller l'exécution d'un processus ou d'une tâche, sans pour autant intervenir dans les détails de sa mise en œuvre. En situation de fonctionnement normal, son rôle principal consiste à prendre, en temps réel, les décisions nécessaires en fonction des degrés de liberté laissés par la structure décisionnelle du système.

Dans ce cadre, il peut être amené à réaliser des tâches telles que l'ordonnancement en temps réel, l'optimisation des ressources, l'ajustement dynamique des commandes, ou encore la gestion de la transition entre différents algorithmes de surveillance.

En cas d'anomalie ou de dysfonctionnement, la supervision intervient pour rétablir le bon déroulement du processus. Elle peut alors :

- Identifier et appliquer une solution corrective adaptée.
- Réorganiser temporairement certaines séquences de production.
- Intégrer les politiques de surveillance spécifiques à l'entreprise.
- Déclencher des protocoles d'urgence si nécessaire [18].



FIGURE IV.1 – Schémas de supervision : gestion des alertes, rapports et réactions automatisées.

### IV.2.2 Enjeux et objectifs dans le contexte industriel

Ce tableau présente les principaux enjeux et objectifs de la supervision industrielle, en soulignant leur utilité technique. Il met en évidence l'impact concret de chaque fonction sur la performance et la fiabilité des systèmes de production.

je veux deviser ce table en deux partie sur une page et l'autre de la page

TABLE IV.1 – Enjeux et objectifs dans le contexte industriel.

Enjeu/Objectif	Description technique	Impact industriel
Surveillance en temps réel	Permet la visualisation instantanée des états de fonctionnement, alarmes, et paramètres de production.	Améliore la réactivité face aux anomalies, réduit les temps d'arrêt et sécurise le processus.
Centralisation des données	Regroupe les informations provenant de capteurs, automates et machines sur une plateforme unique.	Facilite la prise de décision rapide et le suivi global des installations.
Optimisation des performances	Analyse des données collectées pour ajuster les paramètres de production en continu.	Réduction des pertes, amélioration du rendement énergétique et de la qualité produit.
Traçabilité et historique	Enregistre les événements, actions opérateur et données de production pour des consultations ultérieures.	Utile pour la maintenance préventive, la qualité, la conformité réglementaire et les audits.

Enjeu/Objectif	Description technique	Impact industriel
Interface homme-machine intuitive	Mise à disposition d'IHM ergonomiques facilitant l'interaction entre opérateurs et machines.	Diminue les erreurs humaines et accélère la formation des opérateurs.
Interopérabilité avec d'autres systèmes	Intégration facile avec MES, ERP ou autres outils informatiques de l'entreprise via protocoles standards.	Renforce la cohérence des données entre la production et la gestion, dans une logique d'usine connectée.
Conformité aux normes industrielles	Assure le respect des standards de cybersécurité, de qualité et de communication industrielle.	Évite les sanctions, garantit la fiabilité et l'acceptabilité du système à long terme.

### IV.2.3 Positionnement dans l'architecture d'automatisation

La supervision industrielle s'inscrit au cœur de l'architecture d'automatisation, en tant que niveau intermédiaire entre le terrain (capteurs, actionneurs, automates) et les couches de gestion (MES, ERP). Elle agit comme une interface stratégique permettant de collecter, visualiser et exploiter les données issues des processus industriels en temps réel.

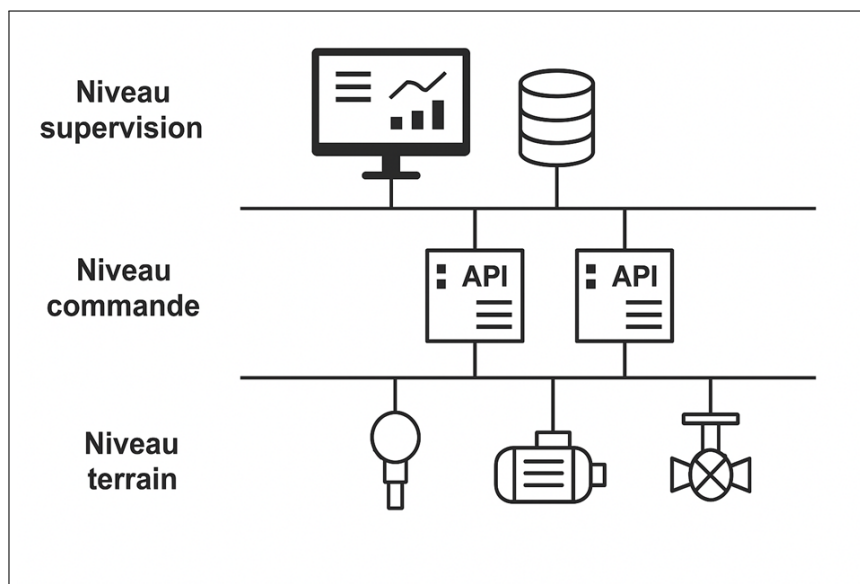


FIGURE IV.2 – Schéma typique d'un système de supervision.

Dans une architecture hiérarchisée typique, la supervision se situe généralement au niveau de contrôle-commande, où elle reçoit les informations des automates programmables (PLC) et renvoie les consignes d'exploitation via une

interface homme-machine (IHM). Elle permet ainsi de superviser l'ensemble des équipements, de gérer les alarmes, d'assurer la traçabilité et de communiquer avec les systèmes supérieurs via des protocoles standardisés (OPC, Modbus TCP, etc.). Cette position centrale lui confère un rôle de coordination, en garantissant à la fois la continuité de la production et l'intégration des données dans une logique d'amélioration continue et de pilotage global.

#### IV.2.4 Méthodes de supervision

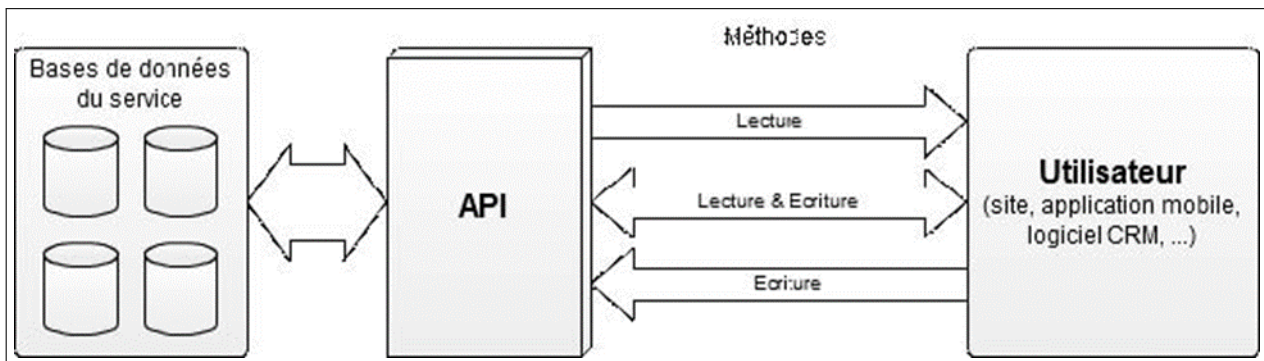


FIGURE IV.3 – Exemple d'un système de supervision.

Ce tableau présente les principales méthodes de supervision industrielle en comparant leur mode de fonctionnement, leurs avantages techniques et leurs limites, selon la complexité des installations. Il permet d'orienter le choix d'une architecture adaptée aux besoins spécifiques d'un site ou d'un groupe industriel.

TABLE IV.2 – Méthodes de supervision

Méthode	Principe	Avantages	Contraintes
Supervision centralisée	Données regroupées et affichées depuis un centre unique.	Vision globale, administration simplifiée, accès sécurisés.	Dépendance au poste central, difficulté en cas de panne ou d'expansion.
Supervision décentralisée	Chaque zone a son système (connecté ou autonome).	Réactivité locale, tolérance aux pannes, évolutif.	Coordination plus complexe, synchronisation nécessaire.
Hypervision	Regroupe plusieurs SCADA/IHMs dans une interface unifiée.	Vue multi-sites, données consolidées, pilotage central.	Intégration complexe, besoins de compatibilité inter-systèmes.

## IV.2.5 Fonctionnalités de la supervision

Un système de supervision repose sur trois fonctions fondamentales, indispensables à la gestion efficace d'un processus automatisé : la commande, la surveillance et l'archivage (voir figure IV.4).

- La commande permet d'agir directement sur le processus contrôlé, que ce soit en envoyant des consignes aux automates ou en déclenchant manuellement certaines actions à partir de l'interface opérateur.
- La surveillance consiste à suivre en temps réel l'état du système, en affichant des données instantanées comme les mesures, les alarmes ou les états des équipements, afin de réagir rapidement en cas d'anomalie.
- L'archivage, quant à lui, assure la conservation des données historiques (mesures, événements, alarmes, etc.), ce qui permet d'effectuer des analyses a posteriori, d'optimiser le fonctionnement du système et de répondre à des exigences réglementaires ou de traçabilité.



FIGURE IV.4 – Les trois fonctions essentielles d'un système de supervision : Commande, Surveillance et Archivage

## IV.3 Communication dans les systèmes de supervision

### IV.3.1 Types de réseaux industriels (Ethernet, bus de terrain)

Dans l'industrie, les systèmes automatisés utilisent différents types de réseaux pour assurer la communication entre les équipements. Deux grandes familles de réseaux se distinguent :

- Bus de terrain : Ces réseaux sont conçus pour relier directement les capteurs, actionneurs et automates. Ils offrent une communication stable, adaptée aux environnements industriels difficiles, avec un bon contrôle du temps réel. Parmi eux, on retrouve des protocoles comme Modbus ou Profibus.
- Ethernet industriel : Il s'appuie sur la technologie Ethernet classique, mais adaptée aux contraintes industrielles, notamment en termes de robustesse et de gestion du temps réel. Ce type de réseau permet des échanges rapides et une intégration aisée avec les systèmes informatiques existants.

Le choix entre bus de terrain et Ethernet industriel dépend des besoins spécifiques du système, comme la rapidité, la fiabilité ou la complexité du réseau.

### IV.3.2 Protocoles de communication (Modbus, OPC, etc.)

Les protocoles de communication jouent un rôle fondamental dans les systèmes industriels en définissant les règles d'échange des données entre équipements. Ils garantissent la compatibilité, la rapidité et la fiabilité des transmissions au sein des réseaux. Parmi les protocoles les plus courants, on trouve Modbus, OPC, Profibus, Ethernet/IP, et d'autres, chacun répondant à des besoins spécifiques en termes de vitesse, de complexité et de sécurité.

Dans le cadre de notre projet, l'automate S7-1200 CPU 1212C communique principalement à travers le réseau Profinet grâce à son port Ethernet intégré. Il prend en charge les protocoles PROFINET IO et S7 Communication, et peut également être configuré pour utiliser Modbus TCP via des blocs de fonctions spécifiques.

Ce tableau présente les principales spécificités de Profinet, un protocole Ethernet industriel performant, adapté aux besoins de communication en temps réel dans les environnements automatisés.

TABLE IV.3 – Caractéristiques techniques du protocole Profinet.

Aspect	Description
<b>Type de protocole</b>	Protocole de communication industriel basé sur Ethernet avec support temps réel (Real-Time).
<b>Débit</b>	Jusqu'à 100 Mbit/s standard, adapté aux applications industrielles exigeantes.
<b>Temps de cycle</b>	Inférieur à 1 ms en mode Isochronous Real-Time (IRT).
<b>Topologies supportées</b>	Étoile, ligne, anneau redondant.
<b>Interopérabilité</b>	Standard ouvert, compatible avec équipements multi-fabricants.
<b>Applications courantes</b>	Automatisation de processus, robotique, supervision, contrôle de mouvement.
<b>Avantages</b>	Haute performance, communication déterministe, diagnostic avancé, intégration IT/OT.
<b>Sécurité</b>	Gestion des accès, surveillance réseau, détection et isolation des pannes.
<b>Outils de configuration</b>	Logiciels comme TIA Portal, fichiers GSDML pour une configuration simplifiée.

### IV.3.3 Synchronisation et transfert d'informations

Dans une architecture de supervision industrielle, la synchronisation temporelle et le transfert de données assurent la cohérence des opérations. La synchro-

nisation aligne les horodatages des équipements via des protocoles comme NTP ou PTP, selon le niveau de précision requis. Le transfert de données, quant à lui, garantit la circulation fiable des informations entre les niveaux terrain et supervision à l'aide de protocoles comme OPC UA ou MQTT. Leur coordination permet une supervision en temps réel, précise et fiable [19].

## **IV.4 L'interface Homme-Machine (IHM)**

L'Interface Homme-Machine constitue le point de contact essentiel entre l'opérateur et le système automatisé. Elle permet de visualiser les données en temps réel, de surveiller les processus, et d'interagir efficacement avec les équipements. Dans les sections suivantes, nous analyserons ses composants, ses fonctions, et son rôle central dans la supervision industrielle.

### **IV.4.1 Définition et rôle dans la supervision**

L'Interface Homme-Machine (IHM) est l'élément logiciel et matériel qui permet à l'opérateur d'interagir avec le système automatisé. Elle fournit une visualisation en temps réel des états du processus, permet la commande manuelle de certains équipements, et affiche les alertes, données, tendances et historiques nécessaires à la prise de décision [20].

### **IV.4.2 Principaux composants d'une IHM**

Ce tableau présente les principaux composants matériels et logiciels d'une IHM, en détaillant leur rôle fonctionnel dans un environnement de supervision industrielle. Il met en évidence l'interaction entre interface physique et architecture logicielle [21] [22].

TABLE IV.4 – Principaux composants d’une IHM

Catégorie	Composant	Description technique
Matériel (Hardware)	Écran industriel	Affiche les interfaces de supervision ; souvent tactile, robuste et adapté aux environnements hostiles.
	Panel PC	Ordinateur industriel tout-en-un utilisé pour l’exécution des logiciels IHM en temps réel.
	Interfaces de communication	Ports Ethernet, RS232/485, USB, etc., pour l’échange de données avec les automates ou serveurs SCADA.
	Modules d’entrée utilisateur	Boutons, claviers industriels ou panneaux tactiles permettant l’interaction directe avec le système.
	Alimentation sécurisée	Bloc d’alimentation adapté aux normes industrielles pour garantir la continuité du service.
Logiciel (Software)	Logiciel de conception HMI	Environnement de développement graphique (ex : WinCC, Ignition) pour créer les écrans et alarmes.
	Bibliothèques d’objets	Ensemble d’icônes, jauges, graphiques, symboles normalisés facilitant l’affichage des processus.
	Gestion des utilisateurs	Contrôle des accès, authentification et journalisation des actions par niveau d’autorisation.
	Moteur de communication	Modules assurant l’échange de données avec les PLC via des protocoles tels que Modbus, OPC UA, Profinet.
	Outils de diagnostic	Fonctions intégrées permettant le suivi des erreurs système, la supervision de réseau et le dépannage.

### IV.4.3 Utilité et avantages pour l’opérateur

L’IHM joue un rôle clé dans la réduction de la complexité des opérations. Elle :

- Améliore la réactivité en cas d’anomalie grâce à des alarmes visuelles et sonores.
- Permet une surveillance centralisée de l’installation .
- Facilite la traçabilité des événements via des historiques et courbes .
- Réduit les erreurs humaines grâce à des interfaces intuitives et des sécurités intégrées [23].

#### IV.4.4 Critères de conception d'une IHM efficace

Pour être performante, une IHM doit respecter plusieurs critères :

- Clarté visuelle : une bonne hiérarchie de l'information, des codes couleurs cohérents et une lisibilité optimale .
- Simplicité de navigation : une organisation logique des écrans et des menus .
- Temps de réponse rapide : minimisation des délais d'affichage et de commande .
- Sécurité d'utilisation : contrôle d'accès, journalisation des actions, confirmations avant exécution de commandes critiques .
- Adaptabilité : compatibilité avec différents supports (PC, tablettes industrielles, écrans tactiles) et évolutivité fonctionnelle [24].

#### IV.4.5 Fonctions avancées de l'IHM : Alarmes, messages et gestion des recettes, Archivages et historisation

##### A- Gestion des alarmes :

Les alarmes sont essentielles pour avertir les opérateurs en cas d'anomalies.

Les bonnes pratiques incluent :

- Classification des alarmes en fonction de leur criticité.
- Établissement de seuils et de priorités.
- Affichage clair et distinct des alarmes actives.
- Possibilité de reconnaissance et d'acquiescement pour confirmer leur prise en charge.

##### B- Messages et gestion des recettes :

Les messages de l'IHM incluent divers types d'informations destinées aux opérateurs :

- Messages d'erreur : Pour signaler les problèmes nécessitant une intervention immédiate.
- Messages de confirmation : Pour valider les actions (démarrage, arrêt, changement de paramètres).
- Messages informatifs : Pour communiquer des informations sur l'état du système sans nécessiter d'action.
- Nécessiter d'action.
- Gestion des gammes de production et recettes :

La gestion des gammes Production-Recettes concerne la manière dont les instructions de production ou de préparation sont présentées à l'utilisateur. Cela peut inclure la visualisation des étapes, des quantités, des temps et d'autres paramètres pertinents.

Les IHMs modernes permettent la gestion de recettes, essentielle dans les processus industriels complexes où différents paramètres sont nécessaires selon les produits fabriqués. Cela inclut :

- Chargement et sauvegarde des paramètres spécifiques de production.
- Configuration de séquences pour adapter le processus à chaque gamme de production.

Enregistrement des recettes dans des bases de données pour un accès rapide.

### C- Archivages et historisation :

L'archivage des données permet de suivre l'évolution des processus et de diagnostiquer les anomalies :

- Historisation des données : Stockage de données de production (température, pression, etc.) pour une analyse ultérieure.
- Archivage des alarmes : Conservation des historiques d'alarmes pour vérifier la récurrence des incidents.
- Archivage des recettes : Conservation des configurations de production pour reproduire les paramètres optimaux.

La figure ci-dessous illustre un exemple d'IHM de supervision pour la gestion des recettes, alarmes et processus de production.

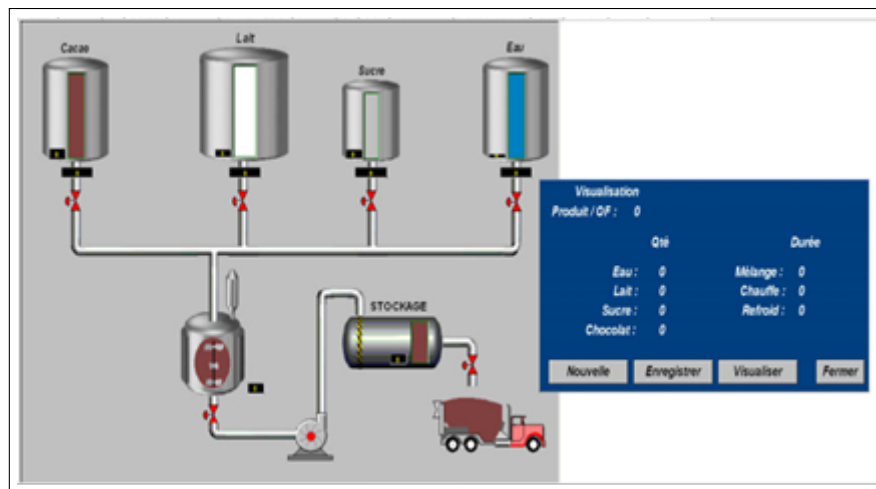


FIGURE IV.5 – Exemple d'IHM de supervision pour la gestion des recettes, alarmes et processus de production.

## IV.5 Relation entre la supervision et les systèmes SCADA

La supervision regroupe l'ensemble des fonctions permettant de surveiller, contrôler et gérer à distance un processus industriel via une interface homme-machine, incluant la visualisation en temps réel des données, le pilotage des équipements, la gestion des alarmes et l'archivage des informations. Le SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) est un système informatique complet qui implémente cette fonction de supervision à grande échelle, combinant

logiciels, matériel, réseaux de communication et interfaces pour collecter, traiter et afficher les données provenant de nombreux automates ou capteurs. Ainsi, la supervision désigne la fonction elle-même, tandis que le SCADA représente la solution technologique qui la met en œuvre dans les environnements industriels ou infrastructurels.

La figure ci-dessous présente le Principe de fonctionnement d'un système SCADA dans un environnement de contrôle-commande.

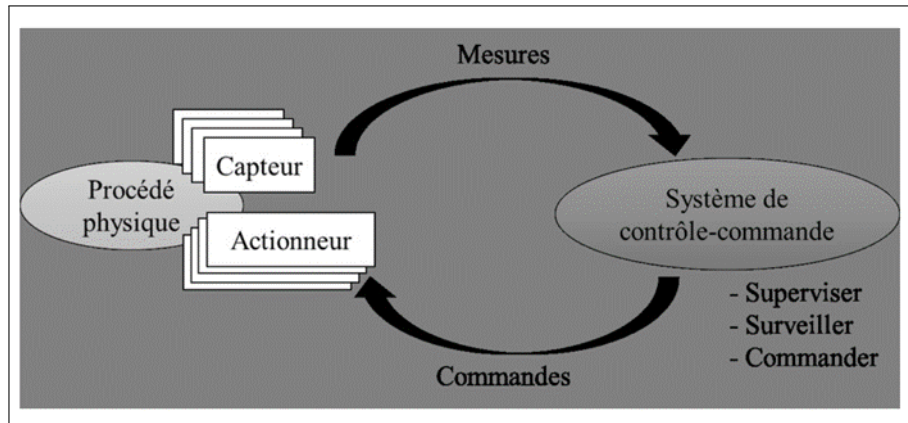


FIGURE IV.6 – Principe de fonctionnement d'un système SCADA dans un environnement de contrôle-commande.

#### IV.5.1 Composants essentiels d'un système SCADA

Ce tableau résume les principaux composants d'un système SCADA, en précisant leur fonction, leurs caractéristiques techniques et leur rôle dans la chaîne de supervision industrielle.

**NB :** Les PLC et les RTU ont des rôles similaires dans le contrôle local, mais les RTU sont mieux adaptées aux environnements distants ou décentralisés, tandis que les PLC sont

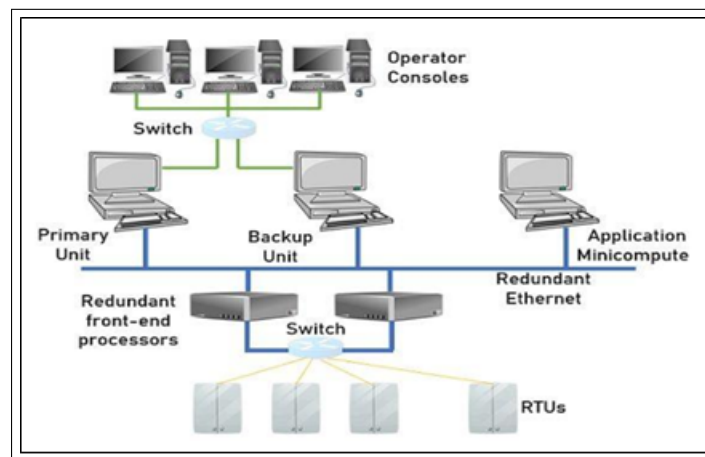


FIGURE IV.7 – Architecture distribuée des systèmes SCADA.

TABLE IV.5 – Tableau 4.5 : Composants essentiels d'un système SCADA

Composant	Fonction principale	Caractéristiques techniques	Remarques
<b>Capteurs</b>	Mesurent des grandeurs physiques du procédé industriel.	Température, pression, débit, niveau, position; convertissent les données en signaux électriques exploitables.	Sources d'information en temps réel pour la supervision.
<b>Actionneurs</b>	Exécutent des actions de commande sur le processus.	Vannes, moteurs, vérins, relais reçoivent les signaux de sortie des automates.	Permettent l'interaction physique avec le système.
<b>PLC (Automates Programmables)</b>	Contrôlent le processus via un programme logique; communiquent avec les capteurs/actionneurs et le SCADA.	Unité centrale (CPU), mémoire, modules I/O, alimentation industrielle (230V AC / 24V DC).	Robustes, sans écran ni clavier utilisés en milieu industriel et civil (ascenseurs, feux...).
<b>RTU (Remote Terminal Units)</b>	Collectent les données à distance et assurent des contrôles locaux.	Placées sur des sites éloignés, elles envoient les informations au SCADA via communication longue distance.	Idéales pour les réseaux étendus (énergie, eau, pipelines...).

### IV.5.2 Les logiciels de supervision (SCADA)

Les logiciels de supervision SCADA permettent de surveiller, contrôler et analyser à distance les processus industriels en temps réel. Ils constituent le cœur du système de supervision grâce à leurs fonctions d'acquisition, de traitement et d'affichage des données [25]. Il existe plusieurs solutions SCADA sur le marché, chacune adaptée à des besoins spécifiques selon l'échelle, la connectivité ou l'intégration avec les automates. Parmi les plus répandues : WinCC (Siemens), Ignition (Inductive Automation), Wonderware (AVEVA), Citect SCADA (Schneider), FactoryTalk (Rockwell), et iFIX (GE). Ces outils diffèrent par leur ouverture, leur compatibilité réseau, leur interface et leur flexibilité [26].

#### A- Focus sur WinCC (Siemens)

SIMATIC WinCC est une solution SCADA développée par Siemens. Elle est conçue pour s'intégrer nativement aux automates Siemens (S7-300/400/1200/1500) et permet une visualisation complète, un archivage des données, une gestion des alarmes et une interface flexible avec des protocoles industriels standards [27].

Le tableau IV.6 ci-dessous présente les principales fonctionnalités techniques du logiciel SCADA SIMATIC WinCC de Siemens, utilisées pour la surveillance, l'analyse et la gestion des processus industriels en temps réel [?].

TABLE IV.6 – Fonctionnalités clés d'un système SCADA

Fonctionnalité	Description technique
Supervision temps réel	Affichage dynamique de l'état des installations, variables et alarmes via des synoptiques graphiques.
Archivage des données	Stockage structuré des données de production (courbes, historiques) sur bases de données SQL.
Gestion des alarmes	Détection, journalisation et hiérarchisation des événements critiques avec notifications visuelles et sonores.
Multi-utilisateur	Prise en charge des connexions simultanées pour plusieurs opérateurs avec gestion des droits d'accès.
Connectivité	Compatibilité avec les protocoles industriels (Profinet, OPC UA, Modbus TCP, etc.) pour communication automatisée.
Portabilité	Interfaces accessibles depuis différents périphériques (PC, Panel PC, Web) grâce au runtime WebNavigator.
Sécurité intégrée	Authentification, gestion des rôles et journal d'audit pour assurer la traçabilité et la cybersécurité.

## B- Architecture du système WinCC

Le système WinCC est conçu selon une architecture modulaire et évolutive, pouvant aller d'un poste mono utilisateur à un réseau distribué multi -serveurs. Il se compose généralement de :

- Serveurs SCADA : gèrent la collecte, le traitement et l'archivage des données.
- Clients opérateurs : permettent la visualisation et l'interaction avec les processus via l'IHM.
- Serveurs de communication : assurent la liaison avec les automates via des protocoles standards.
- Base de données : SQL Server est souvent utilisé pour le stockage structuré des historiques et alarmes.

L'architecture supporte également des extensions comme WebNavigator (accès web), Data Monitor (rapports), et des connexions sécurisées pour la redondance et la haute disponibilité [?].

## IV.6 La pyramide CIM et l'intégration de la supervision

Dans ce chapitre, nous avons étudié les fondements de la supervision industrielle en mettant en lumière ses fonctions essentielles telles que le contrôle, la surveillance en temps réel, la gestion des alarmes et l'archivage des données. Nous avons également décrit les composants techniques qui la composent, notamment les interfaces homme-machine, les automates programmables et les

serveurs de données, ainsi que les principaux protocoles de communication utilisés pour assurer l'échange d'informations au sein du système. Par ailleurs, nous avons souligné l'importance de la supervision dans l'architecture globale des systèmes automatisés, en insistant sur son intégration au sein de la pyramide CIM (Computer Integrated Manufacturing), qui modélise les différents niveaux d'un système de production informatisé. Dans la suite de ce travail, nous allons examiner plus en détail la structure de cette pyramide, en expliquant le rôle de chaque niveau et la manière dont la supervision s'y insère pour assurer la coordination efficace entre les couches opérationnelles et décisionnelles du système industriel.

### IV.6.1 Structure de la pyramide CIM

La pyramide CIM (Computer Integrated Manufacturing) illustre l'organisation hiérarchique des systèmes industriels en plusieurs niveaux, allant des capteurs sur le terrain jusqu'à la gestion stratégique de l'entreprise. Chaque niveau représente un degré d'abstraction et de décision, facilitant l'intégration et la coordination des processus de production [28]. La figure ci-dessous illustre la pyramide CIM\_organisation hiérarchique des systèmes de production intégrés.

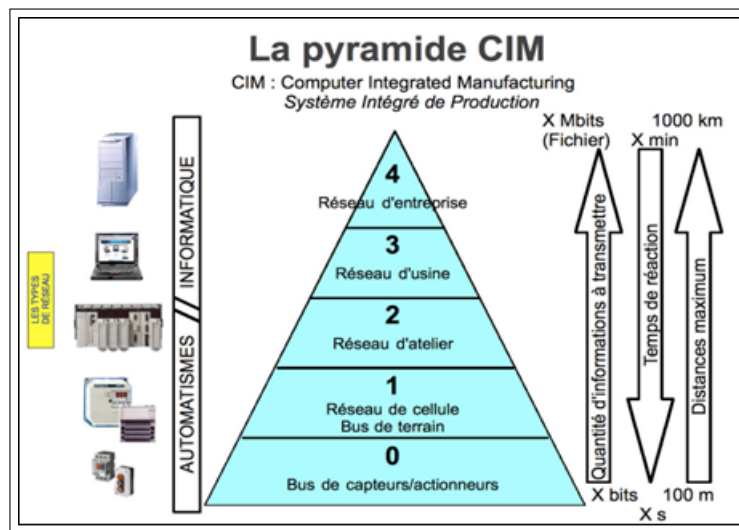


FIGURE IV.8 – la pyramide CIM organisation hiérarchique des systèmes de production intégrés.

### IV.6.2 Niveaux fonctionnels : du terrain à la gestion

Ce tableau IV.7 décrit les différents niveaux fonctionnels de la pyramide CIM, de la base (capteurs et actionneurs) au sommet (gestion stratégique), en précisant les systèmes associés et leurs fonctions principales [28].

TABLE IV.7 – Niveaux d'un système automatisé industriel.

Niveau	Désignation	Systèmes associés	Fonctions principales
0	Désignation	Capteurs, actionneurs	Acquisition de données, exécution des actions physiques
1	Contrôle	Automates programmables (PLC)	Commande en temps réel, régulation des processus
2	Supervision	SCADA, IHM	Surveillance, collecte de données, gestion des alarmes
3	Gestion de production	MES (Manufacturing Execution System)	Planification, suivi de production, gestion des ressources
4	Gestion stratégique	ERP (Enterprise Resource Planning)	Décision stratégique, gestion financière et logistique

### IV.6.3 Position de la supervision dans le modèle CIM

La supervision, souvent représentée par les systèmes SCADA, se situe au niveau 2 de la pyramide CIM. Elle joue un rôle crucial en assurant la surveillance en temps réel des processus industriels, en collectant et en traitant les données opérationnelles, et en facilitant la prise de décision rapide pour maintenir l'efficacité et la sécurité des opérations [29].

## IV.7 Conclusion

La supervision industrielle s'impose comme un maillon essentiel dans l'organisation des systèmes automatisés. Elle permet non seulement de suivre en temps réel les opérations, mais aussi d'assurer une interaction efficace entre les machines et les opérateurs via les IHM. En combinant collecte de données, gestion des alarmes, visualisation et archivage, elle soutient la prise de décision rapide et fiable. Intégrée dans la structure hiérarchique de la pyramide CIM, elle relie le monde physique des capteurs et automates aux niveaux supérieurs de gestion, garantissant ainsi une production cohérente, sécurisée et optimisée. Ce socle technique constitue un préalable indispensable à toute démarche d'automatisation avancée.

Le chapitre suivant est entièrement dédié à l'aspect pratique de notre projet, en mettant en évidence aussi bien la composante matérielle que logicielle. Il détaille les équipements utilisés (automate, capteurs, interfaces, etc.), leur configuration ainsi que leur rôle dans l'architecture du système. Parallèlement, il présente les outils logiciels mis en œuvre, tels que les environnements de pro-

grammation, les interfaces de supervision et les protocoles de communication. Ce chapitre vise à illustrer concrètement l'application des concepts théoriques abordés précédemment à travers la mise en place, le développement et le fonctionnement du système automatisé étudié.

# Chapitre V

## Réalisation et Supervision de la Maquette Pédagogique sous TIA Portal et WinCC

## V.1 Introduction

Dans ce dernier chapitre, il est présenté l'ensemble des étapes ayant permis de concrétiser la réalisation de la maquette pédagogique dédiée à l'automatisation d'un processus industriel. Le travail a consisté à concevoir, assembler et configurer les éléments matériels et logiciels nécessaires pour assurer le pilotage et la supervision d'un système de distribution de liquides.

Le système est commandé par un automate Siemens S7-1200, et la supervision est assurée à l'aide de la plateforme WinCC intégrée dans TIA Portal V13. Cette solution permet un suivi en temps réel de l'état des équipements, ainsi qu'une visualisation claire des différentes variables du procédé. Ce chapitre présente le schéma global de la solution, les exigences fonctionnelles définies dans le cahier des charges, la mise en place des composants matériels, le câblage, la programmation de la logique de commande, ainsi que le développement de l'interface de supervision.

Une attention particulière a également été portée à la gestion des alarmes, intégrées dans l'IHM afin de détecter et signaler automatiquement toute anomalie de fonctionnement. Des alarmes ont été configurées, notamment pour le capteur S1 et l'électrovanne EV4, permettant une identification rapide des défauts et une meilleure réactivité en cas de problème.

Enfin, les différents tests et ajustements réalisés ont permis de valider le bon fonctionnement de l'ensemble, conformément aux objectifs pédagogiques et techniques du projet.

## V.2 Schéma Général de Réalisation de la Maquette Pédagogique

Ce schéma montre les principales étapes de réalisation de la maquette pédagogique d'automatisation. Il commence par l'étude des besoins et la définition du cahier des charges, puis passe au câblage de la maquette et à la configuration de l'automate. Ensuite, le programme est conçu en Ladder et GRAFCET, suivi par la création de l'IHM pour le contrôle et la supervision. Enfin, des tests et validations sont réalisés pour vérifier le bon fonctionnement du système.

## V.3 Cahier des charges

### V.3.1 Présentation des besoins

Le système automatisé est composé :

- D'un bac initial contenant de l'eau.
- De trois bacs intermédiaires.

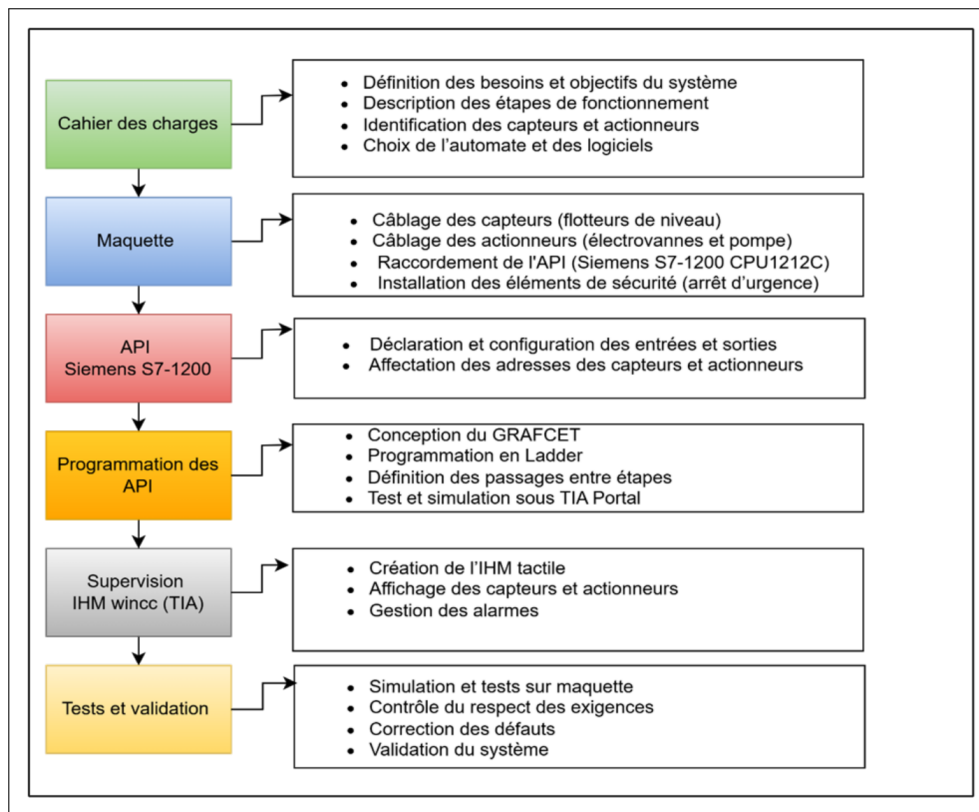


FIGURE V.1 – Organisation Globale du Projet de Conception et Supervision d'une Maquette Pédagogique Automatisée.

- D'un bac de mélange.

Le processus comprend les phases de remplissage, vidange, mélange et supervision via une IHM.

### V.3.2 Liste des fonctions à réaliser

### V.3.3 Déroulement du processus automatisé

#### ✓ Conditions Initiales :

Avant le démarrage du cycle automatique, le système doit se trouver dans l'état suivant : •Bac initial plein. •Autres bacs vides.

#### ✓ Séquence :

- Remplissage successif des bacs 1, 2 et 3.
- Vidange simultanée vers le bac de mélange.
- Malaxage.
- Vidange finale.
- Retour à l'état de départ.

Supervision assurée par l'IHM avec alarmes et commandes.

## V.4 Réalisation de la maquette

### V.4.1 Présentation de la maquette pédagogique

#### V.4.1.1 Description générale de la maquette

La maquette pédagogique réalisée dans le cadre de ce projet se compose de plusieurs bacs interconnectés, chacun équipé de capteurs de niveau et de dispositifs de commande permettant d'assurer les opérations de remplissage, de vidange et de mélange. Elle comprend :

- Un bac initial servant de réservoir principal, équipé d'un capteur de niveau (S8).

- Trois bacs de distribution (Bac 1, Bac 2 et Bac 3), chacun muni de deux capteurs à flotteur pour la détection des niveaux bas et haut :

- Bac 1 : S1 (bas) et S2 (haut) • Bac 2 : S3 (bas) et S4 (haut) • Bac 3 : S5 (bas) et S6 (haut)

Le remplissage des bacs de distribution s'effectue à l'aide d'une pompe unique, associée à une électrovanne dédiée à chaque bac :

- EV1 pour Bac 1
- EV3 pour Bac 2
- EV5 pour Bac 3

De même, la vidange de chaque bac est assurée par une électrovanne spécifique :

- EV2 pour Bac 1
- EV4 pour Bac 2
- EV6 pour Bac 3

L'installation est complétée par un bac de mélange, recevant les liquides issus des bacs de distribution. Ce dernier est équipé d'un capteur de niveau (S7) et d'un système de vidange commandé par l'électrovanne EV8. Cette configuration permet d'enchaîner les différentes phases de fonctionnement du procédé automatisé, selon les séquences programmées dans l'automate.

La figure V.2 suivante montre la maquette pédagogique d'automatisation avec ses bacs, capteurs de niveau, électrovannes, malaxeur et pupitre de commande.

La Figure V.3 montre le bac initial de la maquette contenant une pompe électrique immergée et un capteur de niveau bas (S1) permettant de contrôler le niveau de liquide avant le remplissage des bacs de distribution.

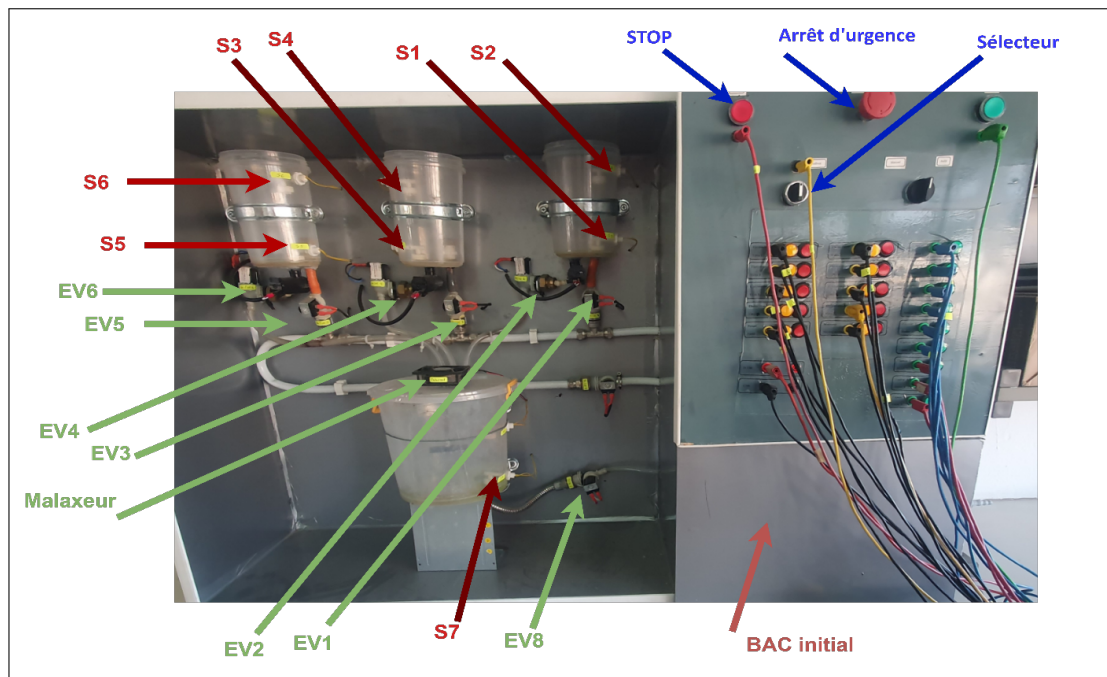


FIGURE V.2 – Représentation réelle de la maquette pédagogique d'automatisation et de son panneau de commande.

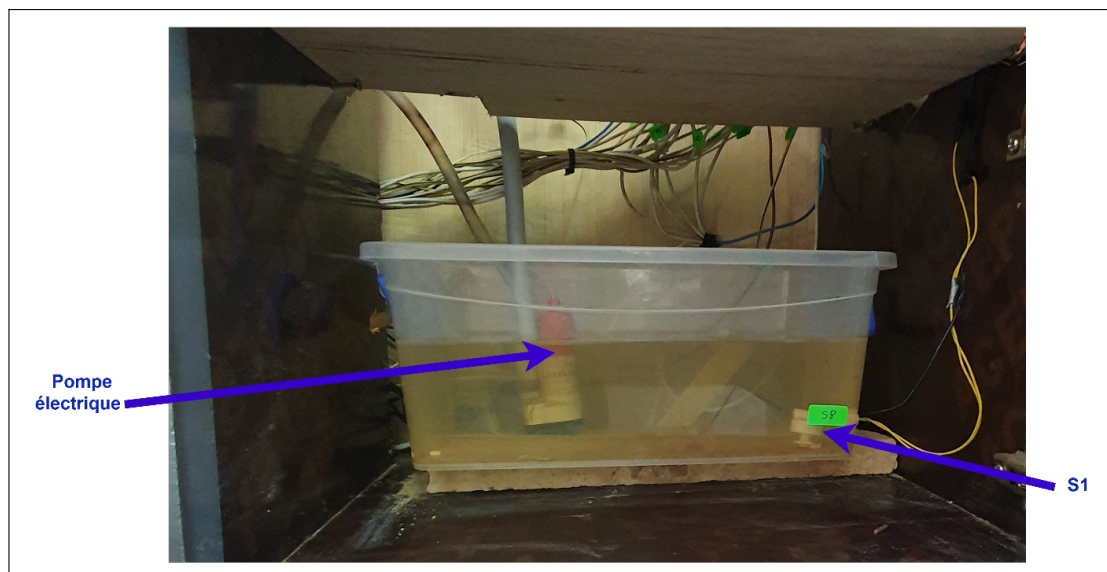


FIGURE V.3 – Représentation réelle du bac initial avec pompe électrique et capteur de niveau.

#### V.4.1.2 Description fonctionnelle des composants de la chaîne automatisée de distribution de liquides

Le tableau V.4.1.2ci-dessous récapitule l'ensemble des composants utilisés dans la chaîne de production automatisée, en précisant pour chacun leur référence, caractéristiques techniques, quantité ainsi que leur fonction au sein du processus.

TABLE V.1 – Liste du matériel utilisé avec caractéristiques techniques et fonctions.

Désignation	Référence/Modèle	Caractéristiques techniques	Quantité	Fonction
Automate programmable industriel (API)	Siemens S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY	Alimentation 220V AC / Sorties relais	1	Commande et gestion du processus
Électrovannes	220V AC / 32mA	Tension d'alimentation : 220V AC — Courant : 32mA	7	Contrôle du remplissage et de la vidange des bacs
Pompe	POMPE-12V	12V	4	Transfert de liquide dans chaque bac via électrovanne associée
Capteurs de niveau à flotteur	TR13	Contact NO/NC — Tension 24V DC	8	Détection des niveaux haut et bas dans les bacs
Pompe électrique	POMPE-12V	Alimentation : 12V DC	1	Assure le transfert de liquide entre les bacs
Relais	2 contacteurs - 24V	Tension de commande : 24V DC — 2 contacts NO/NC — Capacité : 10A	9	Assurent la commutation et la commande des électrovannes et de la pompe via l'automate
IHM (Interface Homme-Machine)	Siemens KTP400 Basic WinCC flexible	Écran tactile 15" — Communication Profinet	1	Supervision et contrôle du processus par l'opérateur
Bloc d'alimentation	24V DC / 5A	Sortie stabilisée pour API, capteurs et relais	1	Alimentation des capteurs, relais et automate
Bloc d'alimentation 220V	220V AC secteur	Alimentation secteur standard	1	Alimentation des électrovannes via relais
PC avec TIA Portal V13	-	Logiciel TIA Portal V13 installé	1	Développement du programme automate et supervision IHM
Câblage et accessoires	Divers	Fils de commande, borniers, gaines...	-	Connexion électrique entre les éléments
Sélecteur	LA38-203 209 B NP2-BE102	Sélecteur 3 positions	1	Sélection du mode de fonctionnement
Bouton d'arrêt d'urgence	CHINT NP2-EB + NP2-BE102	Bouton-poussoir	1	Arrêt immédiat du système en cas d'urgence

Désignation	Référence/Modèle	Caractéristiques techniques	Quantité	Fonction
Malaxeur électrique	MALAXEUR-12V	Alimentation 12V DC — Moteur continu	1	Mélange des liquides dans un bac spécifique

V.4.1.3 Schéma de câblage

• Exemple de câblage de l’automate avec les boutons de commande DCY, STOP, RESET et MANUEL/AUTOMATIQUE

Ce schéma montre le raccordement des boutons de commande principaux au module d’entrée de l’automate : bouton DCY (déclenchement de cycle), bouton STOP, bouton RESET et mode Manuel/Automatique.

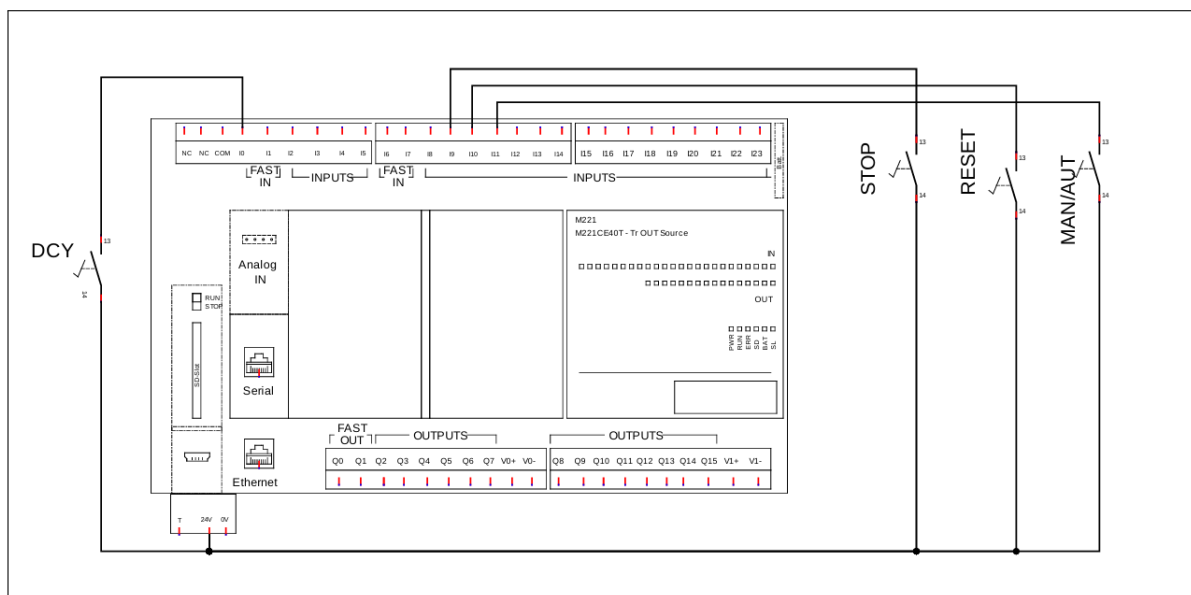


FIGURE V.4 – Schéma de câblage des commandes opérateur : DCY, STOP, RESET et sélecteur de mode (Manuel/Automatique) vers l’automate.

• **Exemple de câblage de la pompe et de l'électrovanne avec l'automate S7-1200 et le relais**

Ce schéma(Figure V.5) représente le câblage de l'électrovanne 2 avec sa pompe (Pompe 2). Le même câblage est appliqué pour les ensembles (ÉV4 + Pompe 4), (ÉV6 + Pompe 6) et (ÉV8 + Pompe 8), à l'exception des sorties de l'automate qui sont respectivement Q0.4, Q12.0 et Q12.1.

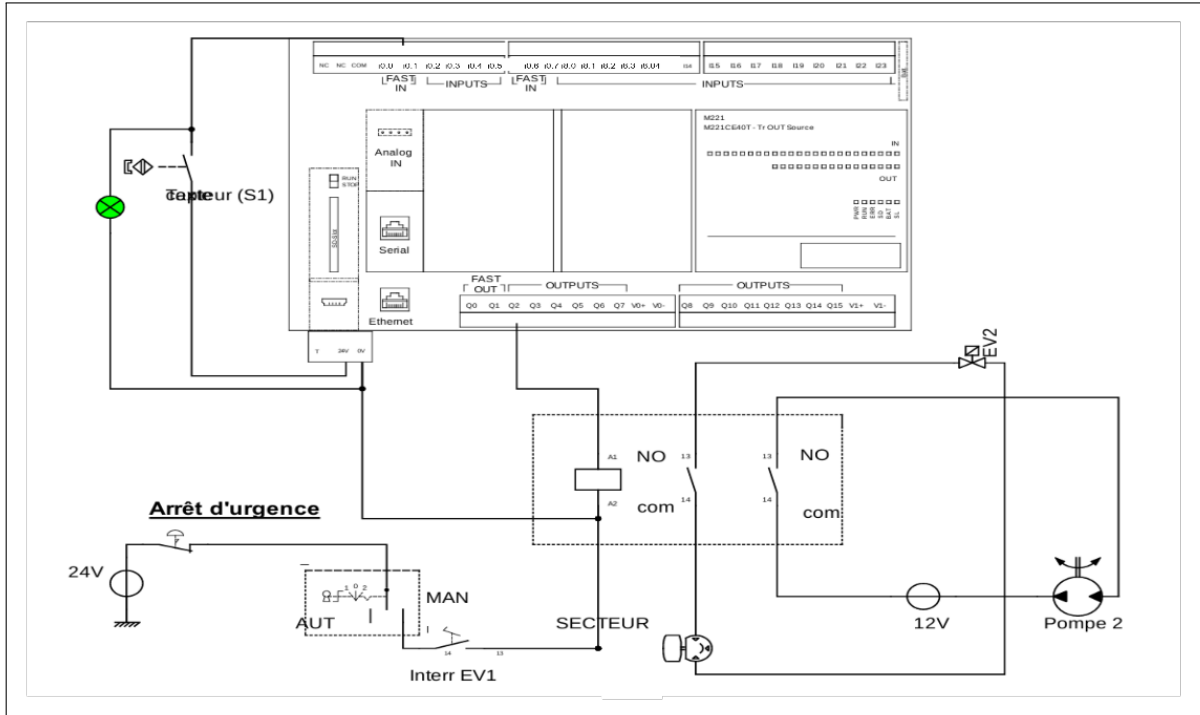


FIGURE V.5 – Schéma de câblage de la commande d'une pompe et électrovanne via automate S7-1200 et relais.

• **Exemple de câblage de l'électrovanne EV1 et des commandes associées (Manuel/Automatique et arrêt d'urgence)**

Ce schéma(Figure V.6) montre le câblage de l'électrovanne EV1. Les électrovannes EV3, EV5 ainsi que le malaxeur sont câblés de manière identique, à l'exception des sorties de l'automate utilisées : EV3 est raccordée à Q0.3, EV5 à Q0.5 et le malaxeur à Q12.2. Le schéma intègre également le câblage du sélecteur de mode Manuel/Automatique et celui de l'arrêt d'urgence.

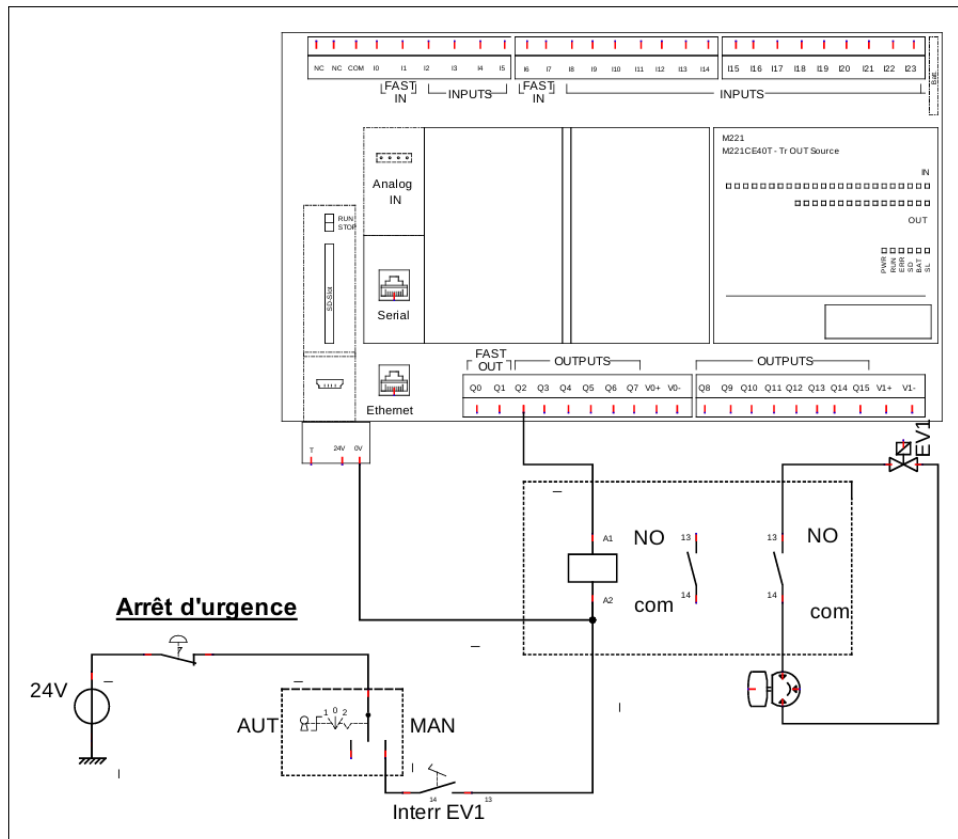


FIGURE V.6 – Schéma de câblage de l'électrovanne EV1 et des commandes associées (Manuel/Automatique et arrêt d'urgence).

#### V.4.2 Description de l'Installation Matérielle et de l'Automate Siemens S7-1200

Cette figure V.7 présente l'architecture matérielle de la maquette pédagogique utilisée pour l'automatisation. Elle comprend une CPU Siemens S7-1200 (référence 1212C AC/DC/RLY), deux modules d'extension SM 1222 RLY pour la gestion des entrées/sorties supplémentaires, une alimentation 24 V pour les composants de commande, ainsi qu'un disjoncteur et un contacteur assurant la protection et la commande de la puissance. Les borniers de connexion facilitent l'interfaçage des capteurs et actionneurs du système.



FIGURE V.7 – Modèle réelle du câblage et des équipements de l'automate Siemens S7-1200.

## V.5 Présentation du GRAFCET associé à la maquette

Ce GRAFCET permet de gérer le choix entre deux modes de fonctionnement du système : le mode manuel et le mode automatique.

- Le système démarre à l'étape 10, qui représente l'attente du choix de l'opérateur.
- Lorsque l'opérateur actionne l'interrupteur de sélection :
  - Si le Mode manuel est activé, la transition T11 est validée et le système passe à l'étape 12 où le fonctionnement manuel est autorisé. L'opérateur pourra ensuite piloter les actionneurs directement via des interrupteurs ON/OFF.
  - Si le Mode automatique est choisi, la transition T12 est franchie et le système passe à l'étape 11, où il exécutera automatiquement la séquence définie dans le GRAFCET de commande automatique.

Ce GRAFCET agit donc comme une interface de décision entre les deux modes de commande disponibles dans l'installation.

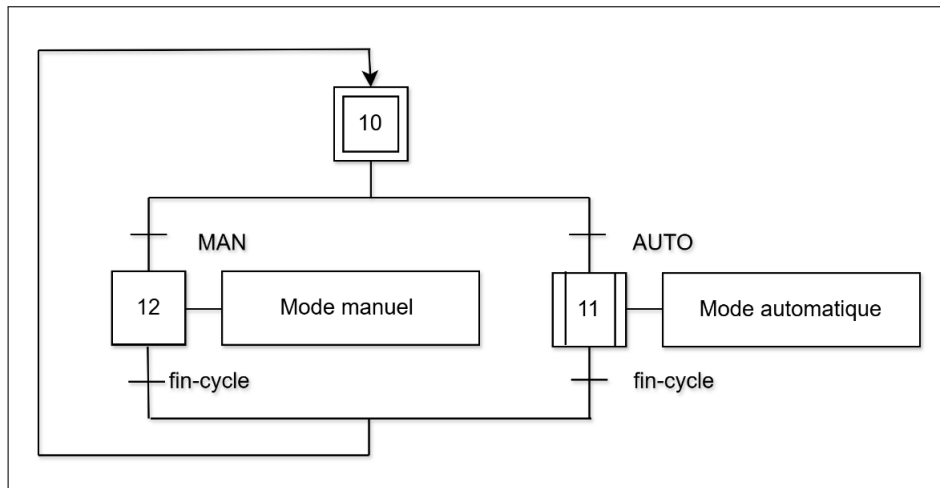


FIGURE V.8 – GRAFCET de Commande Fonctionnelle.

### V.5.1 Mode Automatique

En mode automatique, l'ensemble du processus de distribution, de mélange et de vidange est géré automatiquement selon un enchaînement logique défini par le GRAFCET de commande représenté dans la figure. Dès le démarrage, le système suit une séquence préétablie où chaque étape se déclenche lorsque les conditions de passage sont réunies (par exemple : niveau atteint, temps écoulé, action terminée).

Le processus commence par le remplissage des bacs à l'aide de la pompe et des électrovannes correspondantes, suivi du transfert des liquides vers le bac de mélange. Ensuite, le malaxeur est activé pour homogénéiser le contenu, avant d'ouvrir l'électrovanne de vidange pour évacuer le mélange final. Le mode automatique garantit ainsi la réalisation de l'expérience complète sans intervention humaine directe sur les actionneurs, assurant sécurité, précision et reproductibilité des opérations.

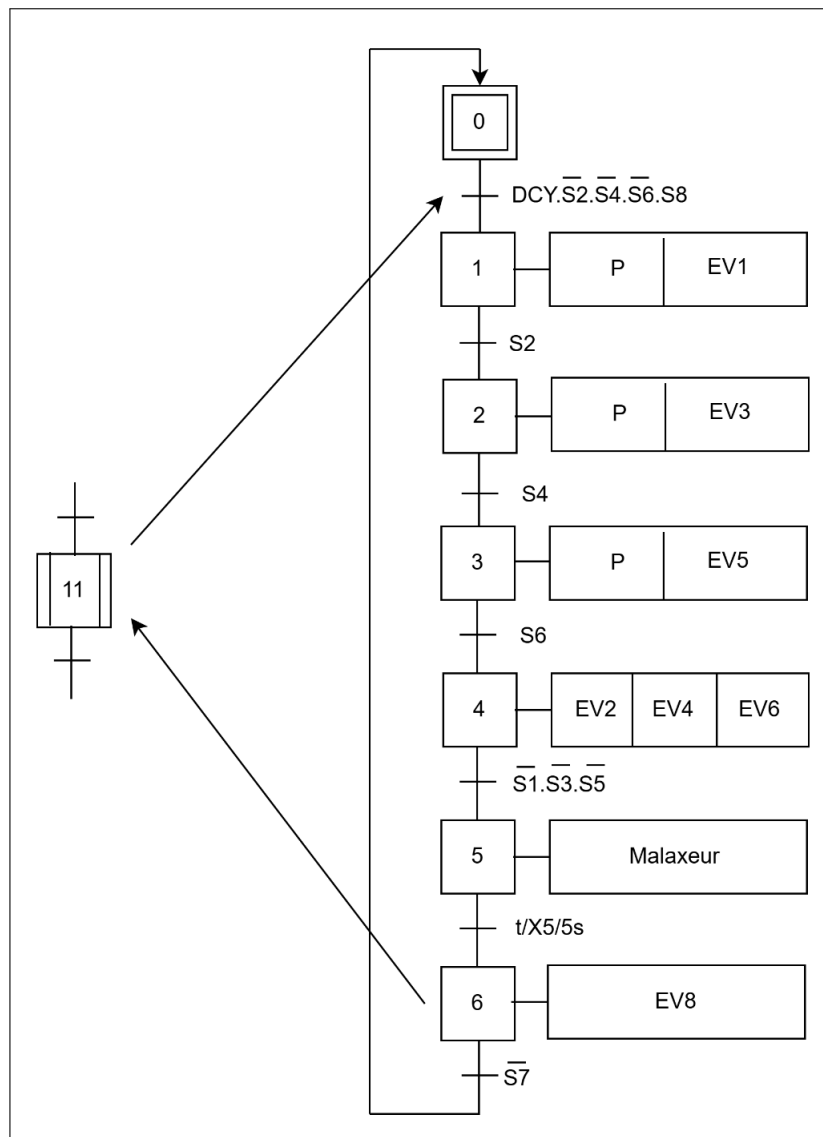


FIGURE V.9 – Grafcet de commande automatique.

### V.5.2 Mode Manuel

En mode manuel, l'opérateur commande directement les actionneurs (pompe, électrovannes, malaxeur) à l'aide d'interrupteurs ON/OFF installés sur le tableau de commande. Contrairement au mode automatique où la séquence est gérée par le GRAFCET, le mode manuel permet de choisir librement l'expérience ou l'action à réaliser en activant ou désactivant les équipements selon la demande. Par exemple, il est possible de remplir uniquement un bac, de faire fonctionner le malaxeur ou d'ouvrir une électrovanne sans exécuter l'ensemble du cycle. Ce mode est utile pour les essais, les réglages, ou l'apprentissage pratique du fonctionnement de chaque actionneur de manière indépendante.

## V.6 Programmation du système en langage Ladder (LD)

Dans ce projet, la logique de fonctionnement a été définie à partir d'un GRAFCET, puis programmée en langage Ladder à l'aide de TIA Portal V13 afin de piloter le système selon la séquence souhaitée. La programmation a été réalisée et validée après plusieurs essais pratiques sur la maquette. La programmation du système est effectuée en langage Ladder (LD) via TIA Portal. Ce langage graphique, basé sur des contacts et des bobines, permet de traduire le fonctionnement logique du processus en schéma électrique, assurant ainsi la commande séquentielle des actionneurs et la lecture des capteurs. Chaque étape du processus automatisé est implémentée sous forme de réseaux logiques pour garantir la sécurité et l'efficacité du système.

## V.7 Supervision (IHM WinCC sous TIA Portal)

### V.7.1 Création de l'IHM tactile

La création de l'IHM a été réalisée sous TIA Portal à l'aide de WinCC, afin de permettre le pilotage et la supervision du système en temps réel via une interface graphique intuitive.

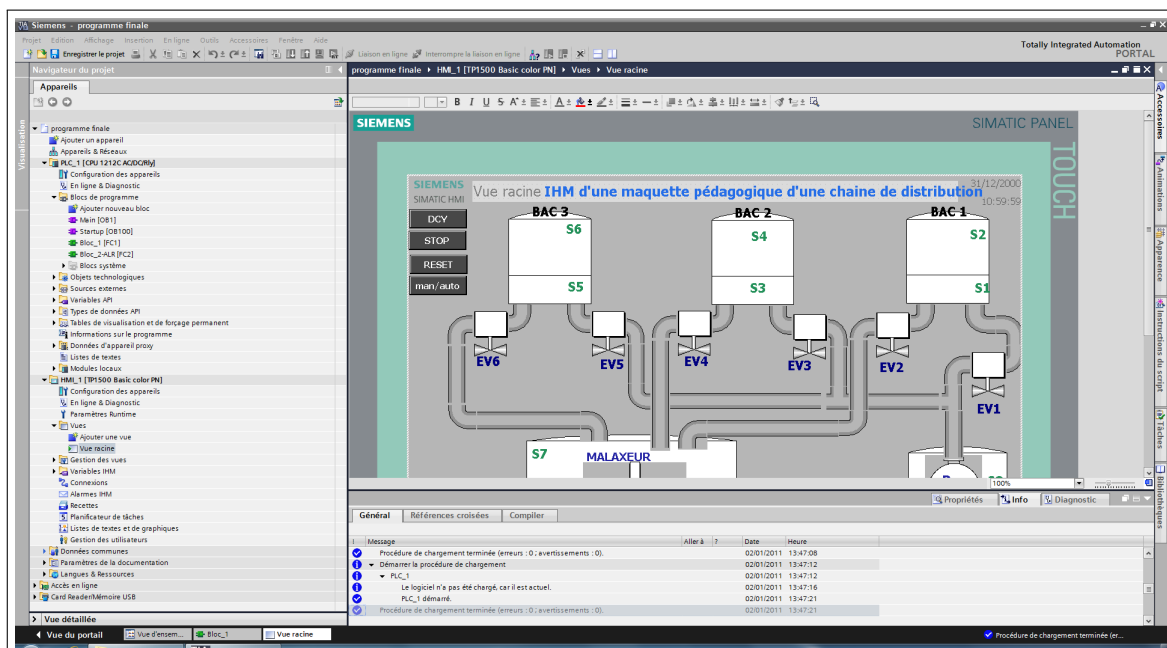


FIGURE V.10 – Interface de création de l'IHM dans TIA Portal , Vue racine du système de supervision.

### V.7.2 Description des étapes de fonctionnement de la maquette supervisée

#### État 0 – Situation initiale du système

- Les trois bacs (1, 2 et 3) sont entièrement vides.
- Les capteurs S1 à S6 sont inactifs (aucun niveau détecté).
- Le capteur S8 est actif, signalant que le bac n'est pas vide.
- Aucun actionneur (pompe, électrovannes, malaxeur) n'est activé.
- Le système est en attente du choix de mode (manuel ou automatique).

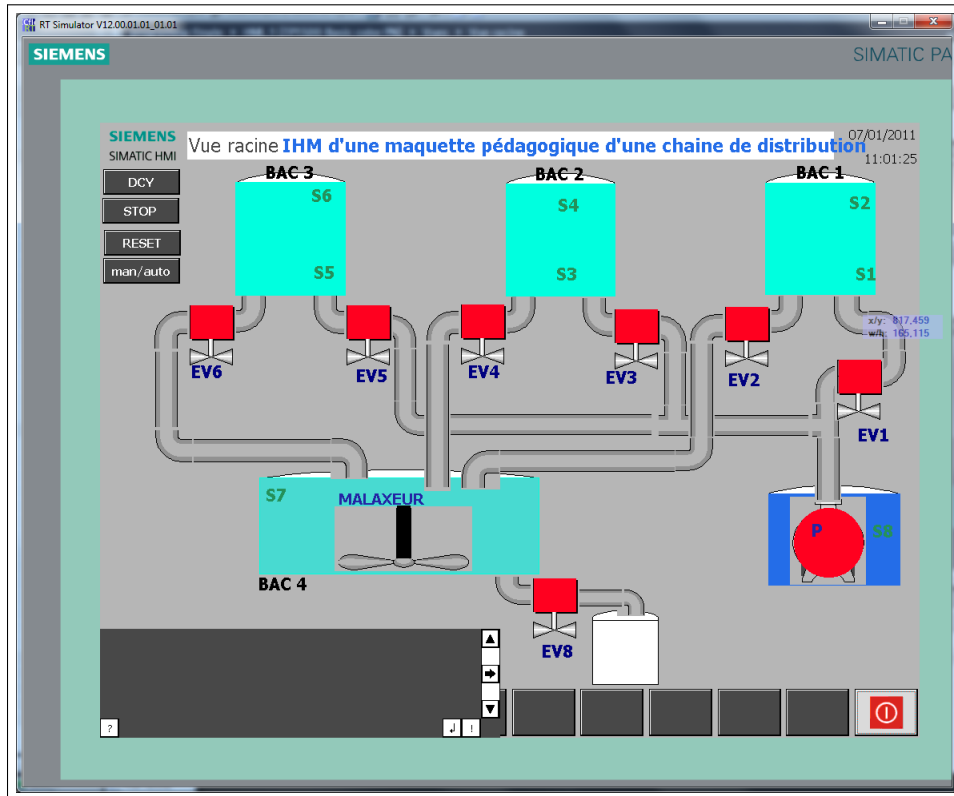


FIGURE V.11 – Interface Homme-Machine (IHM) à l'état initial.

### Étape 1 – Remplissage du bac 1

- La pompe et l'électrovanne EV1 sont mises en marche pour commencer le remplissage.
- Le liquide est dirigé vers le bac 1 par l'ouverture de EV1.
- Deux capteurs contrôlent le niveau :
  - S1 détecte le niveau bas (présence de liquide).
  - S2 détecte le niveau haut (bac plein).
- Tant que S2 n'est pas activé, le remplissage continue.
- Dès que S2 détecte le niveau maximal :
  - La pompe s'arrête.
  - L'électrovanne EV1 se ferme.
- Le passage à l'étape suivante est alors autorisé.

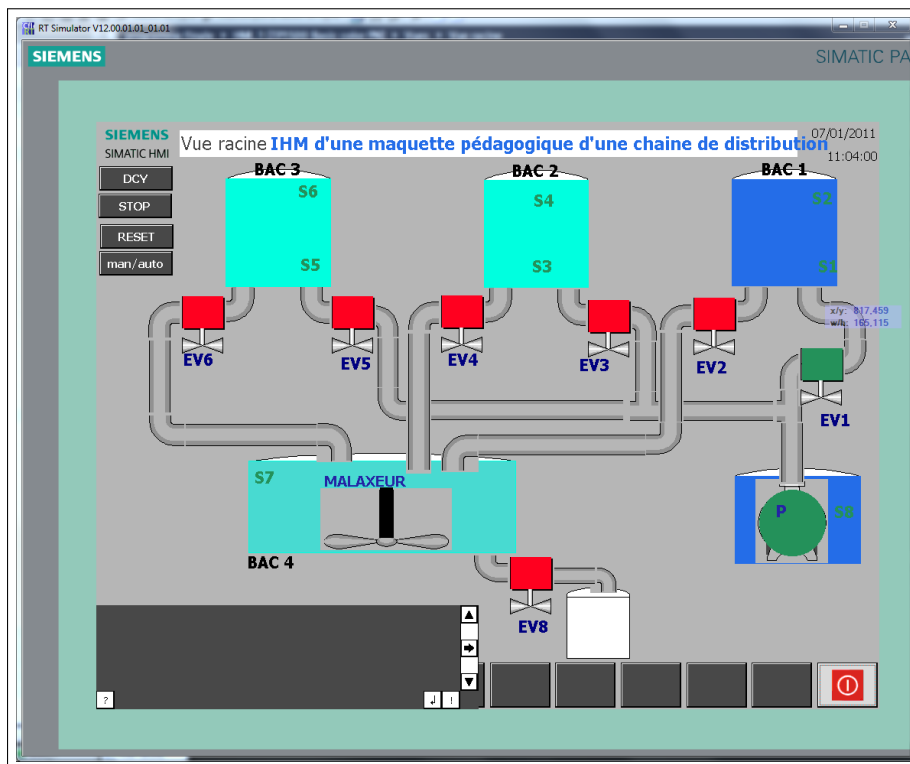


FIGURE V.12 – Interface IHM – Étape 1 : Remplissage du bac 1.

### Étape 2 – Remplissage du bac 2

- La pompe reste active et l'électrovanne EV3 s'ouvre pour diriger le liquide vers le bac 2.
- Le remplissage commence dans le bac 2.
- Deux capteurs surveillent le niveau dans le bac :
  - A- S3 détecte le niveau bas.
  - B- S4 détecte le niveau haut.
- Tant que le capteur S4 n'est pas activé, la pompe continue à fonctionner.
- Lorsque S4 détecte que le bac est plein :
  - A- La pompe s'arrête automatiquement.
  - B- L'électrovanne EV3 se referme.
- La séquence peut ensuite passer à l'étape de remplissage du bac 3.

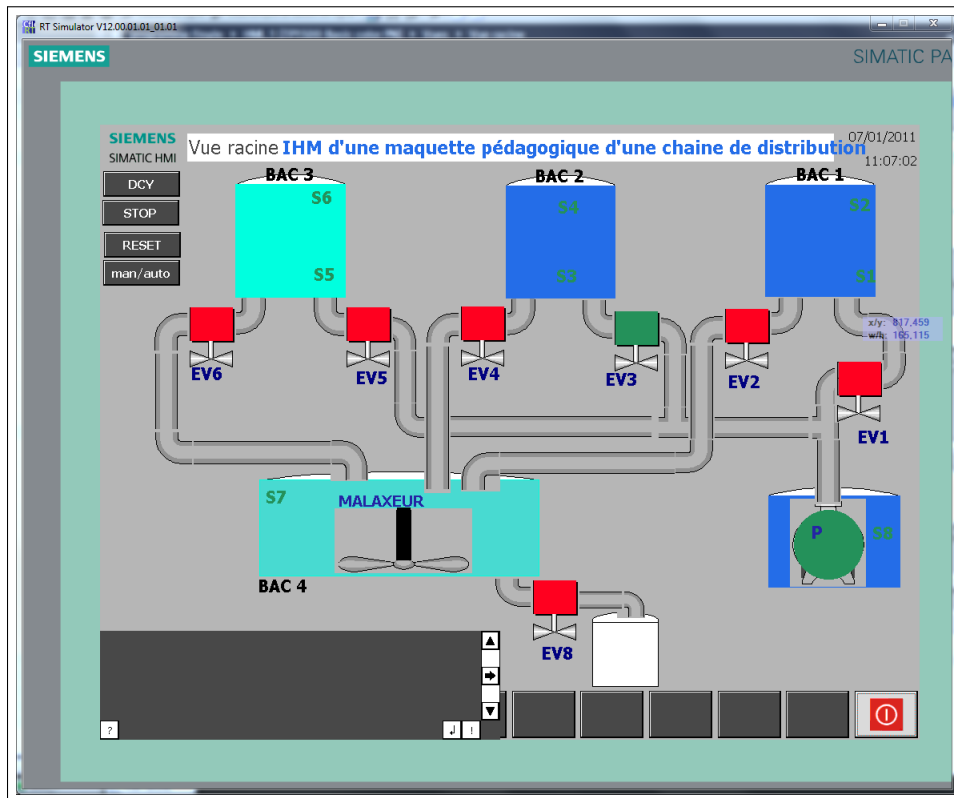


FIGURE V.13 – Interface IHM – Étape 2 : Remplissage du bac 2.

### Étape 3 – Remplissage du bac 3

- La pompe est mise en marche et l'électrovanne EV5 est ouverte.
- Le liquide est dirigé vers le bac 3.
- Le niveau du bac est contrôlé par deux capteurs :
  - A- S5 signale que le liquide est présent (niveau bas atteint).
  - B- S6 indique que le niveau haut est atteint.
- Tant que S6 n'est pas activé, le remplissage continue.
- Lorsque S6 détecte le niveau maximal :
  - A- La pompe s'arrête.
  - B- L'électrovanne EV5 se ferme.
- Le système est prêt à passer à l'étape de transfert vers le bac de mélange.

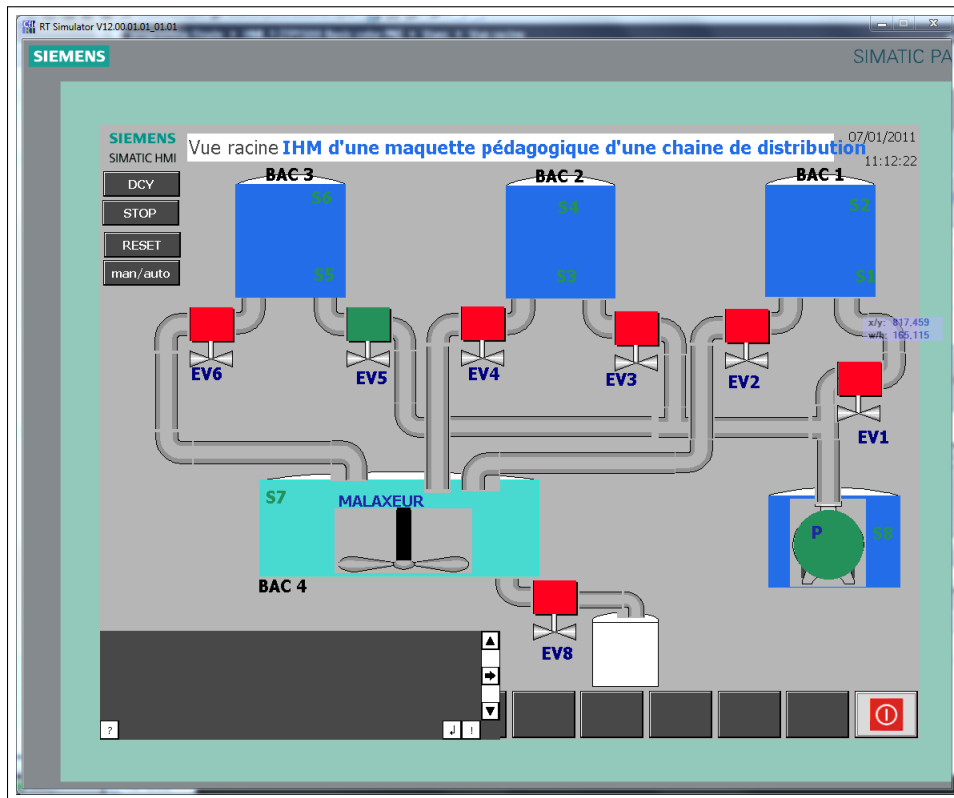


FIGURE V.14 – Interface IHM – Étape 3 : Remplissage du bac 3.

#### Étape 4 – Vidange des trois bacs

- Les électrovannes EV2, EV4 et EV6 sont ouvertes simultanément.
- Cela permet la vidange des bacs 1, 2 et 3 vers le bac de mélange.
- Le contrôle de cette étape repose sur une détection de niveau dans le bac de mélange.
- Une fois la vidange terminée :
  - A- Les électrovannes EV2, EV4 et EV6 se ferment automatiquement.

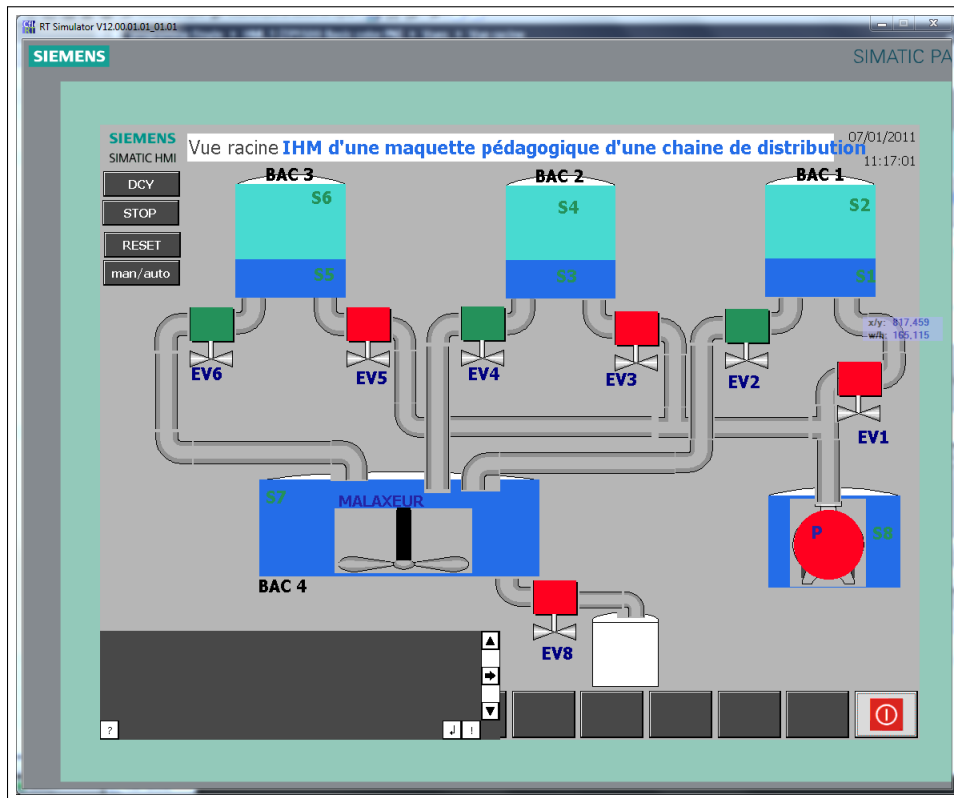


FIGURE V.15 – Interface IHM – Étape 4 : Vidange des bacs vers bac mélangeur.

### Étape 5 – Malaxage

- Le malaxeur est mis en marche.
- Le fonctionnement est commandé par une temporisation.
- Aucun autre actionneur n'est actif durant cette phase.
- À la fin du temps de malaxage, le malaxeur est automatiquement arrêté.
- Le système est alors prêt pour la vidange finale.

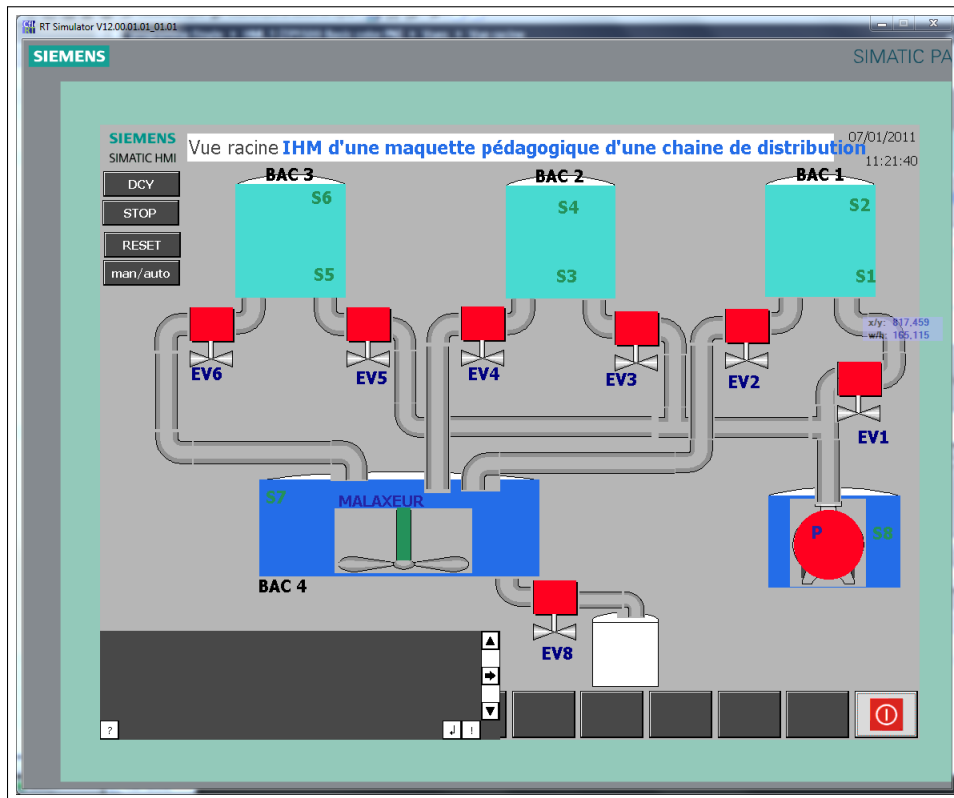


FIGURE V.16 – Interface IHM – Étape 5 : Malaxage.

### Étape 6 – Vidange du bac 4

- L'électrovanne de vidange finale EV8 est activée pour évacuer le contenu du bac de mélange (bac 4).
- Cette action permet de transférer le mélange final vers un contenant ou une sortie prévue.
- La vidange est généralement limitée dans le temps ou contrôlée par un capteur de niveau bas.
- Une fois le bac vidé :
  - L'électrovanne se referme automatiquement.
  - Le cycle est terminé et le système revient à son état initial (attente de nouveau cycle).
- Le processus complet est ainsi exécuté sans intervention manuelle.

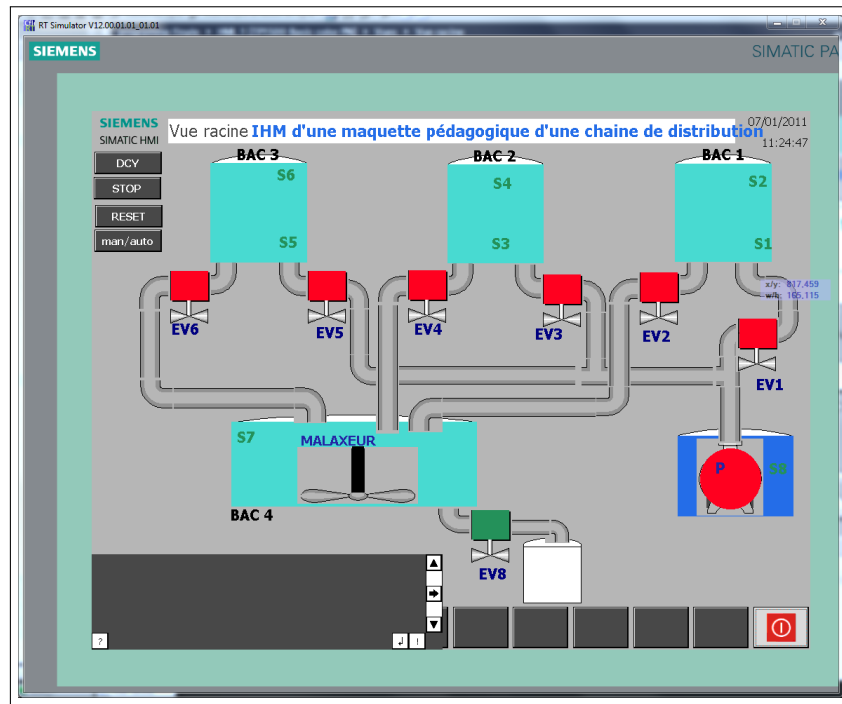


FIGURE V.17 – Interface IHM – Étape 6 : Vidange du bac de mélange (bac 4).

## V.8 Création des alarmes EV4 et S1 dans l'IHM

Les alarmes associées à l'électrovanne EV4 et au capteur S1 ont été configurées dans le logiciel TIA Portal V13. Elles permettent de signaler visuellement tout dysfonctionnement détecté au niveau de ces éléments.

Chaque alarme a été définie avec un message spécifique et intégré à l'écran de supervision. Lorsqu'une anomalie survient, l'information est immédiatement affichée sur l'IHM, ce qui facilite l'intervention rapide de l'opérateur.

La figure suivante montre la mise en place de ces alarmes sur l'interface principale.

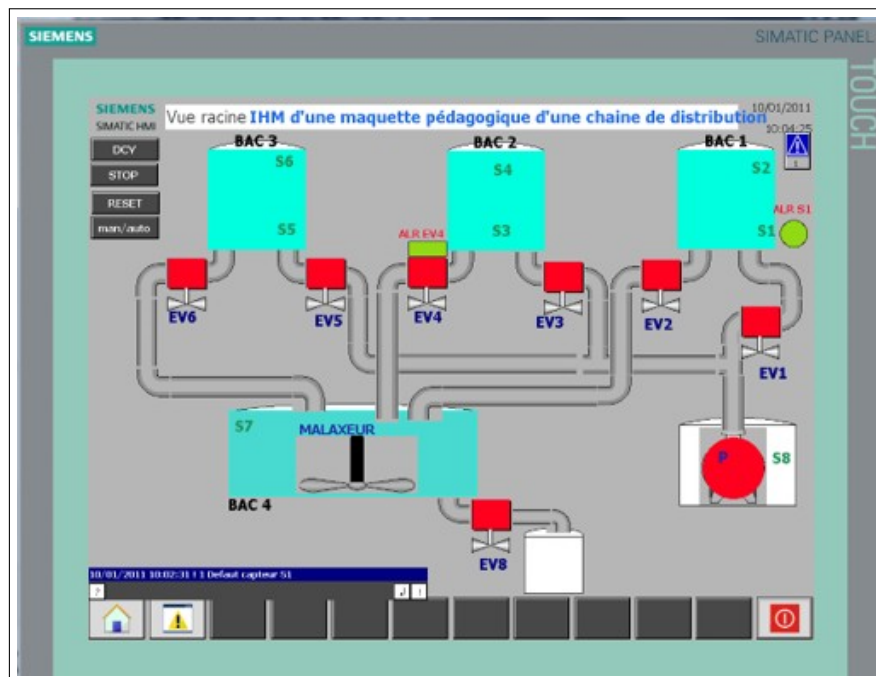


FIGURE V.18 – Création et intégration des alarmes EV4 et S1 dans l’interface IHM sous TIA Portal V13

### V.8.1 Affichage individuel de l’alarme S1 sur l’IHM

Dans cette étape, seule l’alarme liée au capteur S1 est activée. Le système de supervision détecte une anomalie et la signale automatiquement sur l’interface.

L’alarme est visible sous forme d’un voyant rouge à droite du bac 1, à côté de l’étiquette ALR S1, et un message correspondant s’affiche en bas de l’écran. Cet affichage permet à l’opérateur d’identifier rapidement le défaut et de localiser l’élément concerné. Ce fonctionnement renforce la réactivité en cas de problème sur le terrain.

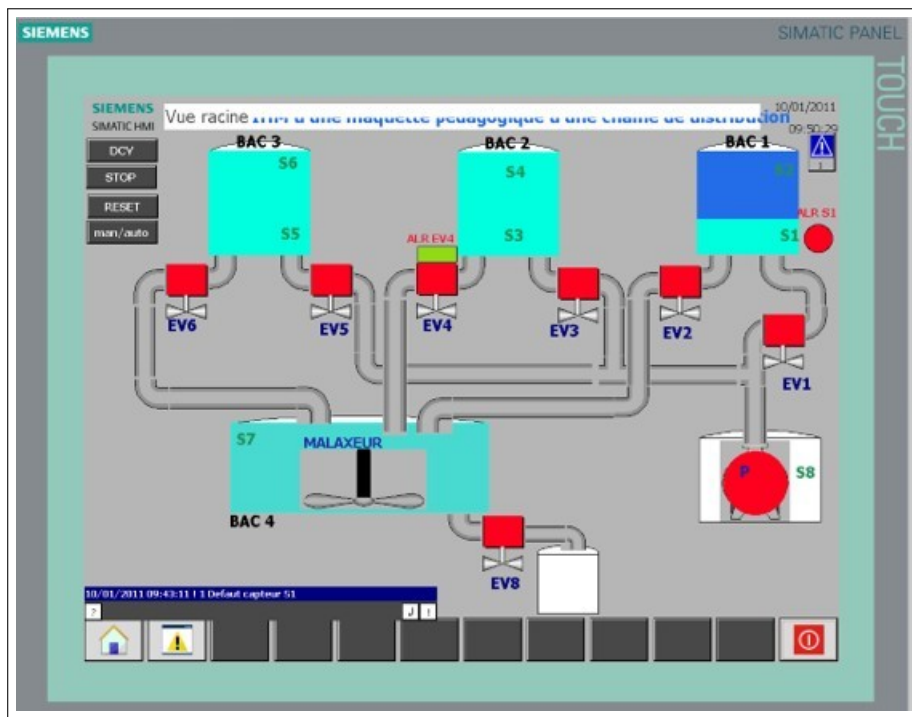


FIGURE V.19 – Visualisation isolée de l’alarme S1 sur l’IHM en cas de détection de défaut

### V.8.2 Affichage individuel de l’alarme EV4 sur l’IHM

Lorsque l’électrovanne EV4 présente un dysfonctionnement, l’IHM déclenche automatiquement une alerte visuelle pour informer l’opérateur. Un voyant rouge s’affiche à proximité immédiate de l’étiquette ALR EV4, située entre les réservoirs BAC 2 et BAC 3.

Cette signalisation permet d’identifier précisément la vanne concernée. Un message s’affiche également dans la barre d’information en bas de l’écran, précisant la nature du défaut. L’objectif est de garantir une intervention rapide et ciblée sur la zone affectée.

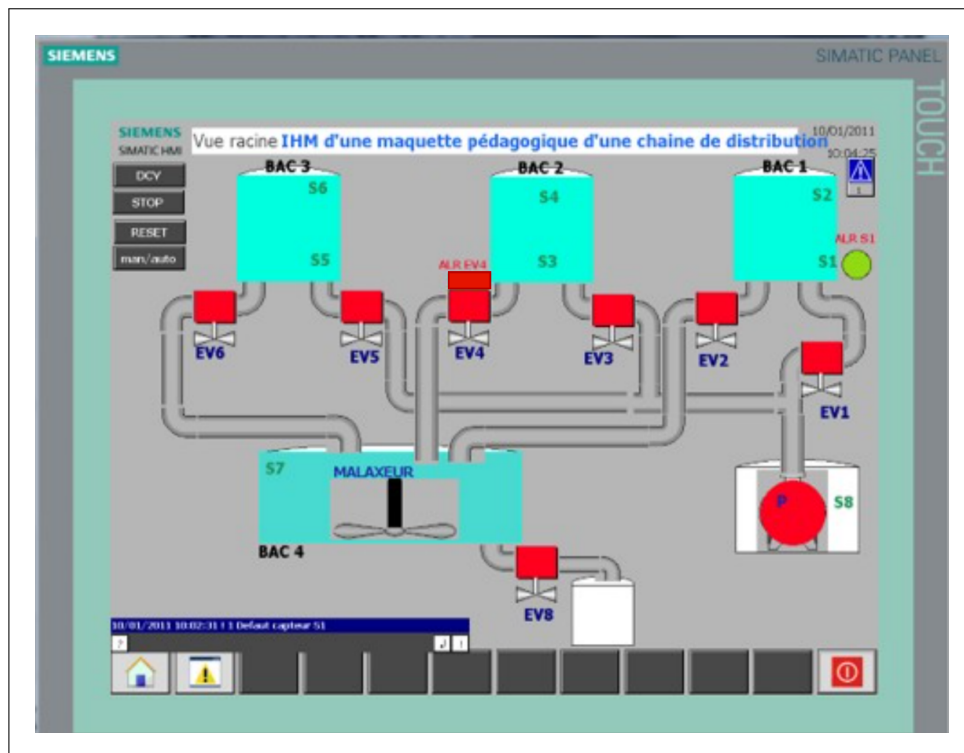


FIGURE V.20 – Affichage de l’alarme EV4 sur l’IHM lors d’un dysfonctionnement détecté

### V.8.3 Affichage textuel de l’alarme S1 dans la fenêtre des alarmes

L’interface IHM comprend une fenêtre dédiée à l’affichage textuel des alarmes actives. Lorsqu’un défaut est détecté sur le capteur S1, un message est automatiquement généré dans cette fenêtre.

Le message contient la date, l’heure exacte de l’événement, ainsi qu’un descriptif clair de la nature du défaut. Ce journal permet à l’opérateur de suivre en temps réel les événements critiques et de consulter l’historique des anomalies, même après leur disparition de l’écran principal.

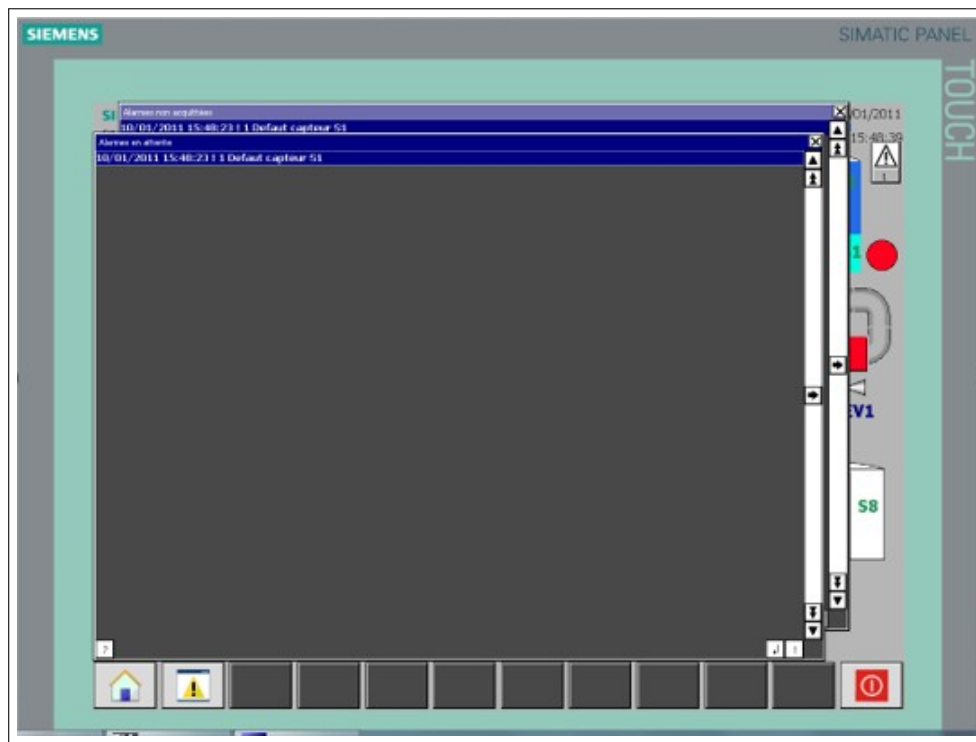


FIGURE V.21 – Message d’alarme du capteur S1 affiché dans la fenêtre des événements sur l’IHM

## V.9 Conclusion

Ce chapitre a permis de retracer l’ensemble des étapes mises en œuvre pour concevoir, configurer et exploiter la maquette pédagogique automatisée. L’installation du matériel, la définition des fonctions à assurer, ainsi que la programmation de l’automate ont été réalisées de manière structurée.

Une interface opérateur a également été développée sous WinCC, permettant une surveillance en temps réel et un contrôle efficace du processus. Cette interface a été enrichie par l’intégration d’un système d’alarmes visuelles et textuelles. Des alarmes ont été configurées pour signaler les défaillances détectées, notamment au niveau du capteur S1 et de l’électrovanne EV4. Celles-ci permettent une localisation rapide des anomalies, facilitant les interventions de maintenance et améliorant la sécurité du système.

Les essais effectués ont confirmé la conformité de l’ensemble aux exigences du cahier des charges. Ce projet a permis de mettre en application concrète les principes de l’automatisation et de la supervision industrielle, en combinant du matériel réel avec des outils logiciels professionnels tels que TIA Portal et WinCC.

# Conclusion générale

## Conclusion générale

Le développement des systèmes automatisés et de la supervision industrielle s'impose aujourd'hui comme un levier incontournable pour l'amélioration de la productivité et de la qualité dans les processus industriels. Ce projet s'inscrit pleinement dans cette dynamique en proposant la conception et la réalisation d'une maquette pédagogique permettant de simuler un processus de distribution de liquides sous contrôle automatisé.






















À travers ce mémoire, nous avons défini et mis en œuvre une architecture complète combinant un automate programmable industriel Siemens S7-1200, le logiciel de programmation TIA Portal V13 et une interface Homme-Machine pour la supervision. Les différentes étapes, allant de l'analyse du besoin à la conception matérielle, du développement logiciel à la supervision, ont été abordées méthodiquement, en s'appuyant sur des outils normalisés et des techniques largement utilisées dans l'industrie.

La réalisation de la maquette a permis non seulement de valider le processus automatisé prévu, mais également de mettre en pratique les notions théoriques étudiées dans les chapitres précédents. Elle offre ainsi un support concret et évolutif pour la formation et l'apprentissage des procédés d'automatisation et de supervision industrielle.

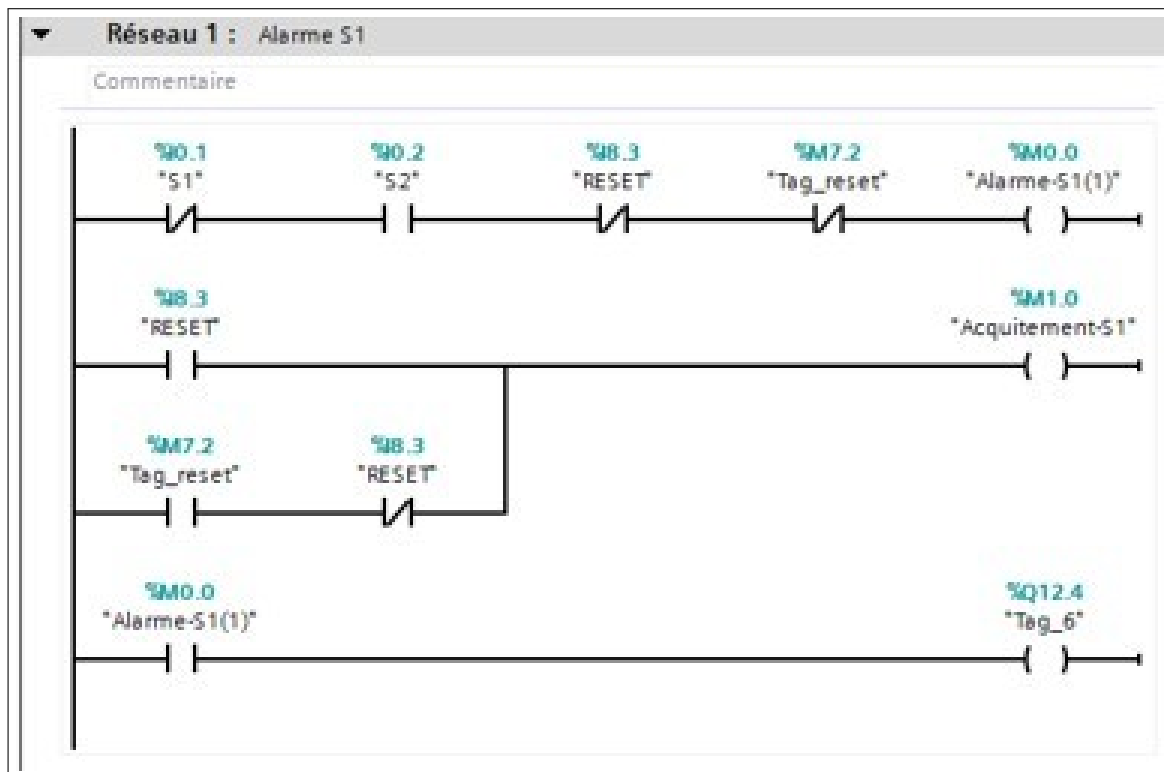
En conclusion, ce travail a démontré l'intérêt et la faisabilité de développer des solutions pédagogiques performantes et accessibles, basées sur des équipements industriels réels. Il constitue un exemple pertinent d'intégration entre théorie et pratique et ouvre des perspectives d'amélioration, notamment par l'ajout de fonctionnalités avancées telles que la gestion des alarmes évoluées, la traçabilité des données ou encore la supervision à distance.

# Annexe

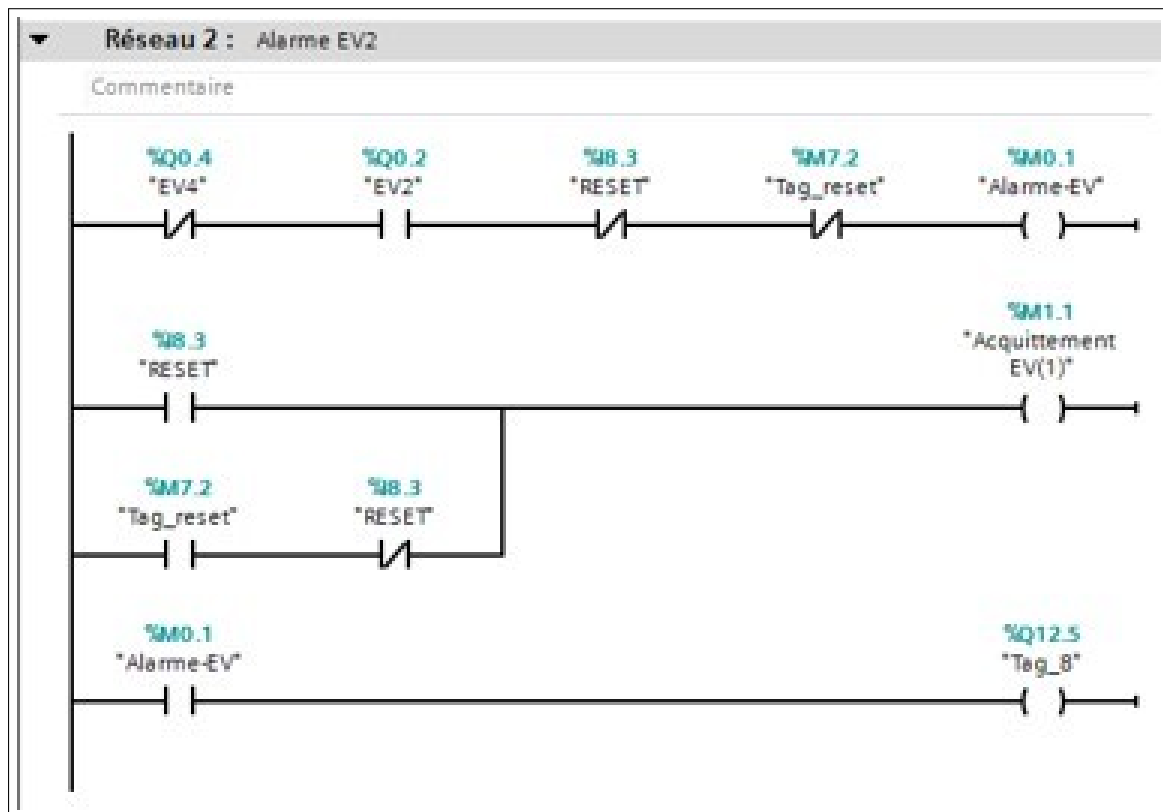
Tableau des variables API

	Nom	Type de données	Adresse	Commentaires
	DCY	Bool	%I0.0	Entrée
	S1	Bool	%I0.1	Entrée
	S2	Bool	%I0.2	Entrée
	S3	Bool	%I0.3	Entrée
	S4	Bool	%I0.4	Entrée
	S5	Bool	%I0.5	Entrée
	S6	Bool	%I0.6	Entrée
	S7	Bool	%I8.0	Entrée
	S8	Bool	%I8.1	Entrée
	STOP	Bool	%I8.2	Entrée
	RESET	Bool	%I8.3	Entrée
	P	Bool	%Q0.0	Sortie
	EV1	Bool	%Q0.1	Sortie
	EV2	Bool	%Q0.2	Sortie
	EV3	Bool	%Q0.3	Sortie
	EV4	Bool	%Q0.4	Sortie
	EV5	Bool	%Q0.5	Sortie
	EV6	Bool	%Q12.0	Sortie
	EV8	Bool	%Q12.1	Sortie
	MALAXEUR	Bool	%Q12.2	Sortie
	man/auto	Bool	%I8.4	Entrée

# Programme LADDER alarme capteur



## Programme LADDER alarme actionneur



# Bibliographie

- [1] Kechir, S., & Meziani, N. (2014). *Étude et automatisation d'une chaîne de production de parois de cuisinière à l'aide d'un automate S7-300 et la supervision WinCC* [Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou]. DSpace UMMTO.  
<https://dspace.ummtto.dz/server/api/core/bitstreams/fd1f67dd-bfc3-4529-bb92-64406e848232/content>
- [2] Aouria, I., & Helilou, R. (2019). *Étude et automatisation d'un système de remplissage et bouchage de bouteilles par l'API Modicon* [Mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra].  
<http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/21886/1/Aouria>
- [3] Elec-13. (2016, mai 3). *Les systèmes automatisés de production (S.A.P)*.  
<https://elec13.wordpress.com/2016/05/03/les-systemes-automatisees-de-production-s-a-p/>
- [4] Boualag, A. (2019). *Etude et simulation d'un système automatisé sur le réseau informatique*. Université Mohamed Khider de Biskra.  
<https://fr.scribd.com/document/637843026/Untitled>
- [5] Amimer, L., & Arezki, A. (2009). *Automatisation d'une station de traitement de surface*. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.  
<https://dspace.ummtto.dz/server/api/core/bitstreams/db3d3d52-f4c4-417b-a435-a66719fc17e0/content>
- [6] Université de Djelfa. (n.d.). *API.pdf*.  
[https://elearning.univ-djelfa.dz/pluginfile.php/13436/mod\\_resource/content/2/API.pdf](https://elearning.univ-djelfa.dz/pluginfile.php/13436/mod_resource/content/2/API.pdf)
- [7] Technologue Pro. (n.d.). *Les automates programmables industriels (API)*.  
<https://www.technologuepro.com/cours-automate-programmable-industriel/Les-automates-programmables-industriels-API.htm>
- [8] Megueddem, M. Y. (2020). *Étude et automatisation de la station d'huile de la cimenterie SPA Biskria* [Mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra].  
[http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/17972/1/Megueddem\\_Mohammed\\_Yazid.pdf](http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/17972/1/Megueddem_Mohammed_Yazid.pdf)
- [9] Scribd. (n.d.). *API – Cours résumé*.  
<https://fr.scribd.com/document/704659380/API-Cours-Resume>
- [10] Cheraka, R. (2022). *Réalisation d'une maquette de supervision d'un système automatisé à base d'un API Siemens et WinCC* [Projet de fin d'études, Université Belhadj Bouchaib d'Aïn Té-mouchent].  
<https://dspace.univ-temouchent.edu.dz/bitstream/123456789/4981/1/CHERAKA>
- [11] Chetti, W. (2019). *Automatisation de système de traitement de l'eau usée (CILAS)* [Mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra, Algérie].  
<https://www.scribd.com/document/514800867/chetti-walid>
- [12] El-Houiti, M. K., & Chikhi, W. (n.d.). *Automatisation d'un système de stockage/déstockage d'un magasin par PLC SIEMENS S7-1214* [Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou].  
<https://dspace.ummtto.dz/server/api/core/bitstreams/278e89aa-5ec1-4ada-bbc2-32cf7b1b199a/content>

- 
- [13] Jackadit. (n.d.). *Système de production 2*.  
<https://jackadit.com/index.php?p=sysprod2>
- [14] ASSABAA, M. (2020). *Chapitre 5 : GRAFCET* [Support de cours, ISTA]. Université Frères Mentouri Constantine 1.  
<https://fac.umc.edu.dz/ista/pdf/cours/2024/Chapitre>
- [15] Technologue Pro. (n.d.). *Cours : Le GRAFCET – Notions de base*.  
<https://www.technologuepro.com/cours-automate-programmable-industriel/Cours-Grafcet-notions-de-base.htm>
- [16] Abdou. (2021). *Support de cours API : Chapitre 2, Langages de programmation (M2, S3)*. Université de M’sila.  
[https://elearning.univ-msila.dz/moodle/pluginfile.php/203957/mod\\_resource/content/1/ABDOU](https://elearning.univ-msila.dz/moodle/pluginfile.php/203957/mod_resource/content/1/ABDOU).
- [17] Berger, P. (s.d.). *Programmation Ladder*.  
[http://philippe.berger2.free.fr/automatique/tp/2TP16Ladder/programmation\\_ladder.htm](http://philippe.berger2.free.fr/automatique/tp/2TP16Ladder/programmation_ladder.htm)
- [18] ISSAT Sousse. (s.d.). *Cours d’automatisme et supervision*. Institut Supérieur des Sciences Appliquées et de Technologie de Sousse.  
<https://issatso.rnu.tn/bo/storage/app/public/courses/cgPTUrf7JuFowKXwtlxlknm1jh8Qr9xFs1jofT6.pdf>
- [19] Felser, M. (2015). *Real-time Ethernet – Industry Prospective*. IEEE, 107(6), 1028–1042.  
<https://doi.org/10.1109/JPROC.2015.2414212>
- [20] Boyle, C. (2019). *Human-Machine Interface Design for Process Control Applications*. Elsevier.  
<https://books.google.com/books?id=Jc2cDwAAQBA>
- [21] Parr, E. A. (2013). *Industrial Control Handbook* (4th ed.). Newnes.  
<https://books.google.com/books?id=FX1tAAAAQBAJ>
- [22] Colombo, A. W., Karnouskos, S., & Bangemann, T. (2014). *Industrial Cloud-Based Cyber-Physical Systems*. Springer.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-05624-1>
- [23] Rossi, M., & Leva, A. (2017). *Human-Centered Design of Supervisory Control Systems*. Springer.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-41959-6>
- [24] Hollnagel, E. (2016). *Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)*. Elsevier.  
<https://books.google.com/books?id=ZBxLDwAAQBAJ>
- [25] Stouffer, K., Falco, J., & Scarfone, K. (2015). *Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security (NIST SP 800-82 Rev. 2)*. NIST.  
<https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-82r2>
- [26] Gungor, V. C., & Hancke, G. P. (2009). *Industrial Wireless Sensor Networks : Applications, Protocols, and Standards*. CRC Press.  
<https://books.google.com/books?id=lQyuDwAAQBAJ>
- [27] Siemens AG. (2022). *SIMATIC WinCC : Process Visualization System*. Siemens Documentation.  
<https://support.industry.siemens.com>
- [28] FAQ Logistique. (n.d.). *Pyramide du CIM (Computer Integrated Manufacturing)*.  
<https://www.faq-logistique.com/Definition-Pyramide-CIM.htm>
- [29] Ordinal Software. (n.d.). *SCADA et MES : le secret des pyramides*.  
<https://www.ordinal.fr/fr/sujets/scada-et-mes-le-secret-des-pyramides>