



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيات المتقدمة  
Ecole Nationale Supérieure des Technologies Avancées



Département Génie Électrique et Informatique Industrielle

## Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme D'INGENIEUR d'État

Filière :

Automatique

Spécialité :

Automatique et Informatique Industrielle

Thème :

### Étude et réalisation d'un système de peinture automatique

Réalisé par :

NEDJAR Ahmed Amine & GHERAB Aimen

Soutenu le 23 / 06 / 2025

Membres du jury :

Nom et Prénom	Établissement	Grade	Qualité
Mme. BOUTARFA Souhila	ENSTA	M.C.B	Président
M. DERMOUCHE Reda	ENSTA	M.C.A	Promoteur
M. BAMMOUNE Fayçal	FB Solution	Expert métier	Co-Promoteur
M. GUELLAL Amar	ENSTA	M.C.B	Examinateur
M. BEGHAMI Sami	ENSTA	M.A.A	Examinateur

Année universitaire : 2024/2025

---

# Dédicace

*Tout d'abord, je rends grâce à Dieu, le Tout-Puissant, pour m'avoir permis d'accomplir cet objectif. Je prie et salue notre Prophète Muhammad . C'est par la volonté divine, Sa puissance et Son aide que j'ai pu atteindre cette étape. Je Lui demande de me guider sur le chemin du succès, de me fortifier face aux épreuves, de m'accorder d'autres accomplissements et de me faire mourir en état d'islam.*

*Je dédie ce mémoire à celles et ceux qui occupent une place unique dans mon cœur.*

**À ma chère mère, Amina, et à mon cher père, Mohammed,**

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à ma mère pour son amour inconditionnel, sa bienveillance, sa confiance indéfectible et les immenses sacrifices qu'elle a consentis pour mon éducation et ma réussite. Je lui dédie cette étape importante de mon parcours, en priant Dieu de la préserver et de la combler de Ses bienfaits. À mon père, pour son soutien, sa patience et sa présence bienveillante, je lui exprime toute ma gratitude.*

*Ce mémoire est le reflet de votre dévouement et de votre foi en moi.*

*Qu'Allah vous protège et vous bénisse.*

**À mon frère Salah, et à mes sœurs Noussaïba, Ferdous, Aïcha et Bouchra,**

*Merci pour votre tendresse, votre soutien constant et votre présence affectueuse tout au long de mon parcours. Je vous dédie cette réussite en témoignage de mon affection et de ma gratitude pour les liens solides qui nous unissent. Une pensée particulière à ma sœur Bouchra, la benjamine de la famille, à qui j'adresse un salut spécial avec tout mon amour.*

**À mes grands-parents,**

*En mémoire de Baba Salah, Baba Ouahdi (Omar) et Mama Taouhdit (Aïcha), qu'Allah leur fasse miséricorde et les accueille dans Son vaste Paradis. Un hommage particulier à Mamma Lalla, pour son amour infini.*

*Qu'Allah la protège et lui accorde longue vie.*

*Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à **mon oncle paternel Aoumeur** et à son épouse, **ma tante Naïma**, pour leur accompagnement indéfectible au fil des années. Leur bienveillance, leur soutien moral et matériel ont grandement contribué à la poursuite de mes études et à la réussite de ce parcours. En hommage à mon oncle Aoumeur, je souhaite*

---

conclure par cette citation qui m'a toujours inspiré, et qu'il m'a lui-même transmise : « **Azam, puis Azam, puis Azam** ».

**À mes oncles maternels Slimane, Bakir et Kamal,**

*En mémoire de mes oncles Kamal et Slimane, que Dieu leur fasse miséricorde et les accueille dans Son vaste Paradis. Que Dieu protège mon oncle Bakir et lui accorde santé, bonheur et longévité. Je vous remercie sincèrement pour votre affection, vos conseils et votre soutien constant. Cette réussite vous est dédiée. Je rends également un hommage spécial, en guise de rappel affectueux, à mes tantes maternelles Aïcha, Meryem et Hafsa, pour leur affection sincère et leur soutien constant.*

**À mes tantes paternelles Shasha, Marwa, Messaouda, Khadija et Fatiha,**

*Je leur dédie ce succès avec gratitude pour leur affection et leur présence bienveillante. Une reconnaissance particulière à ma tante Marwa pour son amour inconditionnel et son soutien constant tout au long de mon parcours scolaire. Ce travail est aussi le fruit de son engagement. Je rends également hommage à ma tante Shasha, aujourd'hui disparue. Que Dieu lui fasse miséricorde et l'accueille dans Son vaste Paradis.*

*Je rends hommage à mon oncle Aïssa Chikh, que Dieu lui accorde Sa miséricorde et l'accueille dans Son vaste Paradis.*

**À ma chère mère Meryem et à mon cher père Omar,**

*Je vous rends hommage pour votre amour, votre soutien et vos encouragements constants durant mon enfance.*

*Je vous remercie de tout cœur, et je vous dédie pleinement cette réussite.*

**À mes chers et fidèles amis,**

*Je vous dédie cet ouvrage en témoignage de ma reconnaissance. Merci pour votre sincérité, votre soutien constant et l'affection véritable que vous m'avez toujours portée au fil des années. Votre amitié a été précieuse dans mon parcours, et cette réussite est aussi la vôtre.*

**À nos frères et sœurs de Gaza,**

*Je leur dédie humblement ce travail en hommage à leur courage, leur résilience et leur foi inébranlable face à l'injustice. Que Dieu leur accorde la paix, la liberté et la dignité qu'ils méritent.*

**« Je vous porte tous dans mon cœur. Qu'Allah veille sur vous. »**

Ahmed Amine

*Louange à Allah, qui m'a accordé la force, la patience et la clarté d'esprit pour mener à bien ce travail.*

*Je dédie ce travail avec tout mon amour et ma reconnaissance à ceux qui occupent une place unique dans mon cœur :*

*À mon père bien-aimé, **Salim**, exemple de courage, de persévérance et de sagesse. Que Dieu te protège et te récompense pour tous tes sacrifices.*

*À ma mère de cœur, **Bougherara Nadia**, que Dieu me la garde toujours à mes côtés. Ta tendresse, ta bienveillance et ton amour inconditionnel sont les piliers de ma force intérieure.*

*À mes trois sœurs adorées, **Ranya, Romaiïssa et Mouna**, pour leur affection, leur complicité, leur patience et leur soutien constant. Vous êtes et resterez à jamais mes repères les plus sûrs.*

*À une personne très chère à mon cœur, ta présence douce, ta lumière, ta foi en moi m'ont porté dans le silence et l'amour. Merci de m'aimer tel que je suis.*

*À tous mes chers amis, pour les souvenirs partagés, les sourires échangés, les difficultés surmontées ensemble, et pour leur présence précieuse tout au long de ce parcours.*

**"Je vous aime tous. Qu'Allah vous garde."**

*Aimen*

# Remerciement

En premier lieu, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à notre encadrant de l'ENSTA.

Nous remercions Monsieur **Reda DERMOUCHE** pour son soutien précieux et ses conseils avisés tout au long de cette aventure académique. Son engagement, ses compétences et son soutien ont joué un rôle crucial dans notre avancement et la réalisation de nos buts.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Monsieur **Fayçal Bammoune**, co-encadrant de notre projet au sein de l'entreprise **FB Solution**, pour son accompagnement constant, ses conseils techniques avisés et sa disponibilité tout au long de cette expérience. Sa contribution a été déterminante dans la concrétisation et la réussite de notre système automatisé.

Nous remercions également l'entreprise **SARL CHEMMA ET CIE Incendie** pour nous avoir permis de réaliser ce projet dans un cadre industriel réel, en mettant à notre disposition les moyens techniques, logistiques et humains nécessaires. Leur confiance et leur accueil nous ont offert l'opportunité de mettre en pratique nos compétences dans des conditions professionnelles enrichissantes.

## ملخص

يهدف هذا المشروع إلى تصميم وإنجاز نظام طلاء آلي لطفايات الحريق داخل مؤسسة صناعية. تم تطوير هذا النظام بهدف استبدال الطريقة اليدوية غير الدقيقة بحل آلي متكامل يشمل المتحكم المنطقي القابل للبرمجة ، وحساسات للكشف، وواجهة تحكم بين الإنسان والآلة ، بالإضافة إلى عدة مشغلات. يضمن هذا النظام تطبيقاً موحداً للطلاء، تحسين الجودة، تقليل التدخل البشري، وزيادة المردودية. تم تنفيذ المشروع كاملاً من حيث التصميم والبرمجة والتنصيب في بيئة إنتاج حقيقية مع مراقبة محلية.

**الكلمات المفتاحية:** الأتمتة، طفايات الحريق، الطلاء، المتحكم المنطقي، الواجهة البصرية، الحساسات، التحكم الصناعي

## Abstract

This project focuses on the design, development, and implementation of an automatic fire extinguisher painting system within an industrial company. The goal is to replace an unreliable manual process with an automated solution that integrates a Programmable Logic Controller (PLC), detection sensors, a Human-Machine Interface (HMI), and various actuators. The system ensures consistent paint application, improves quality, reduces human intervention, and increases productivity. It was fully designed, modeled, programmed, and implemented in a real production environment with local supervision..

**Keywords:** automation, fire extinguishers, painting, PLC, HMI, sensors, industrial control.

## Résumé

Ce projet porte sur la conception, la réalisation et l'implémentation d'un système de peinture automatique pour extincteurs au sein d'une entreprise industrielle. L'objectif est de remplacer un procédé manuel peu fiable par une solution automatisée intégrant un automate programmable industriel (API), des capteurs de détection, une interface homme-machine (IHM) et plusieurs actionneurs. Le système assure une application homogène de la peinture, améliore la qualité, réduit l'effort humain et augmente la productivité. Il a été conçu, modélisé, programmé et mis en œuvre dans un environnement de production réel avec supervision locale

**Mots Clés :** automatisation, extincteurs, peinture, API, IHM, capteurs, contrôle industriel.

# Table des matières

Table des figures	i
Liste des tableaux	iv
Liste des acronymes	v
Liste des Symboles	vii
Introduction Générale	1
<b>1 Présentation des entreprises équipements et processus</b>	<b>3</b>
1.1 Introduction	4
1.2 Présentation de l'entreprise "FB Solution"	4
1.2.1 Description générale de l'entreprise	4
1.2.2 Équipements et ressources techniques	5
1.2.3 Processus de travail	5
1.3 Présentation de l'entreprise " SARL CHEMMA ET CIE Incendie"	6
1.3.1 Historique de l'entreprise	6
1.3.2 Secteur d'activité	7
1.3.3 Organisation générale	7
1.3.4 Produits et services proposés	8
1.3.5 Moyens techniques et infrastructure	8
1.3.6 Processus de fabrication des extincteurs	9
1.3.7 Systèmes de contrôle qualité	10
1.3.8 Partenaires et clients	11
1.4 Problématique et justification du projet	11
1.4.1 Problématique industrielle	11
1.4.2 Objectifs du projet	11
1.4.3 Solution proposée	12
1.5 Conclusion	12

<b>2</b>	<b>Étude et conception du système de peinture</b>	<b>13</b>
2.1	Introduction . . . . .	14
2.2	Étude des besoins et des exigences . . . . .	14
2.2.1	Objectifs du système . . . . .	14
2.2.2	Fonctionnement séquentiel du système de peinture . . . . .	14
2.2.3	Exigences techniques et industrielles . . . . .	15
2.2.4	Spécifications attendues . . . . .	16
2.2.5	Besoins en automatisation . . . . .	16
2.3	Conception et description du système . . . . .	16
2.3.1	Présentation générale du système . . . . .	16
2.3.2	Conception et description des sous-systèmes . . . . .	18
2.3.3	Vue générale de la chaîne . . . . .	19
2.4	Choix des matériaux et composants . . . . .	24
2.4.1	Les Actionneurs . . . . .	24
2.4.2	Les Capteurs . . . . .	27
2.4.3	Composants électriques de l'armoire . . . . .	29
2.4.4	Système d'injection de poudre (Machine de pulvérisation de poudre électrostatique) . . . . .	32
2.5	Étude électrique du système . . . . .	33
2.5.1	Objectif du schéma électrique . . . . .	33
2.5.2	Logiciel utilisé : QElectroTech . . . . .	34
2.5.3	Division du schéma : puissance et commande . . . . .	35
2.6	Conclusion . . . . .	42
<b>3</b>	<b>Automatisation du processus et intégration de la supervision</b>	<b>44</b>
3.1	Introduction . . . . .	45
3.2	Étude de l'automatisation du système . . . . .	45
3.2.1	Définition et principes de l'automatisation . . . . .	45
3.2.2	Objectifs de l'automatisation . . . . .	45
3.2.3	Avantages et inconvénients de l'automatisation . . . . .	46
3.2.4	Structure générale d'un système automatisé . . . . .	47
3.3	Étude de l'automate programmable industriel (API) . . . . .	48
3.3.1	Généralités sur les API . . . . .	48
3.3.2	Structure interne d'un API . . . . .	49
3.3.3	Critères de choix d'un API . . . . .	50
3.4	L'automate utilisé dans le projet : Delta DVP-14SS2 . . . . .	52
3.4.1	Présentation des gammes d'automates Delta et des logiciels associés . . . . .	52

---

3.4.2	Caractéristiques techniques du modèle DVP-14SS2 . . . . .	52
3.4.3	Choix du logiciel de programmation . . . . .	54
3.4.4	Langage de programmation utilisé . . . . .	55
3.4.5	Configuration des entrées/sorties de l'automate . . . . .	56
3.4.6	Architecture logique et organisation du programme automate . . . . .	58
3.5	Supervision et interface homme-machine (IHM) . . . . .	62
3.5.1	Objectifs de la supervision . . . . .	62
3.5.2	Présentation de l'IHM Samkoon pour la supervision avec SKTOOL . . . . .	63
3.5.3	Structure générale de l'interface IHM . . . . .	65
3.6	Conclusion . . . . .	75
<b>4</b>	<b>Réalisation industrielle et perspectives technologiques</b> . . . . .	<b>77</b>
4.1	Introduction . . . . .	78
4.2	Installation réelle sur le terrain . . . . .	78
4.2.1	Système de convoyage . . . . .	79
4.2.2	Système de comptage . . . . .	79
4.2.3	Cabine de peinture . . . . .	80
4.2.4	Système d'injection de poudre . . . . .	81
4.2.5	Système de cuisson (Four) . . . . .	82
4.2.6	Automate et système de contrôle ( Armoire électrique ) . . . . .	84
4.3	Perspectives d'évolution et technologies connectées pour la supervision . . . . .	85
4.3.1	Serveur web embarqué pour la supervision . . . . .	86
4.3.2	Supervision distante via Node-RED . . . . .	89
4.3.3	Synthèse des solutions de supervision connectée . . . . .	92
4.4	Conclusion . . . . .	93
	<b>Conclusion Générale</b> . . . . .	<b>94</b>
	<b>Bibliographie</b> . . . . .	<b>95</b>
<b>A</b>	<b>Cahier des charges technique du système de peinture automatique</b> . . . . .	<b>98</b>
A.1	Introduction . . . . .	99
A.2	Objectifs du système . . . . .	99
A.3	Description fonctionnelle . . . . .	99
A.4	Performances attendues . . . . .	100
A.5	Spécifications techniques . . . . .	100
A.5.1	Alimentation électrique . . . . .	100
A.5.2	Communication . . . . .	100

A.5.3	Actionneurs . . . . .	101
A.5.4	Capteurs . . . . .	101
A.6	Interface opérateur (IHM) . . . . .	101
A.7	Sécurité et conformité . . . . .	101
A.8	Plan de maintenance . . . . .	101
A.9	Documentation fournie . . . . .	102
A.10	Conclusion . . . . .	102
<b>B</b>	<b>Catalogue technique et manuel opérateur</b>	<b>103</b>
B.1	Guide utilisateur . . . . .	104
B.1.1	Mise en service du système . . . . .	104
B.1.2	Chargement des extincteurs . . . . .	104
B.1.3	Processus de peinture automatique . . . . .	104
B.1.4	Cuisson dans le four . . . . .	104
B.1.5	Paramétrage depuis l'IHM . . . . .	104
B.1.6	Arrêt du système . . . . .	105
B.2	Cahier de maintenance . . . . .	105
B.2.1	Déroulement du cycle automatique . . . . .	105
B.2.2	Sécurité et arrêt . . . . .	105
B.2.3	Maintenance préventive . . . . .	106
B.2.4	Test manuel depuis l'IHM . . . . .	107
B.2.5	Alarmes à surveiller . . . . .	107
B.3	Schéma électrique du système . . . . .	108
<b>C</b>	<b>Fiche technique du module DVPEN02-SL</b>	<b>118</b>
C.1	Présentation générale . . . . .	119
C.2	Caractéristiques et avantages . . . . .	119
C.3	Comparatif des spécifications techniques . . . . .	120
C.4	Conclusion . . . . .	121

# Table des figures

1.1	Affiche des services industriels proposés par l'entreprise FB Solution . . . . .	5
1.2	Processus de développement d'un système automatisé chez FB Solution . . . . .	6
1.3	L'organisation interne de l'entreprise . . . . .	8
1.4	Processus de fabrication des extincteurs . . . . .	10
2.1	GRAFCET général du processus de peinture automatique . . . . .	18
2.2	Interface principale du logiciel SolidWorks avec une pièce ouverte. . . . .	19
2.3	Vue générale de la chaîne . . . . .	20
2.4	Système de convoyage . . . . .	21
2.5	Cabine de peinture . . . . .	22
2.6	Système d'injection de poudre . . . . .	22
2.7	Système de cuisson (Four) — vues sous deux angles différents . . . . .	23
2.8	Assemblage de l'armoire électrique – vues de face et latérale . . . . .	23
2.9	Moteur asynchrone triphasé . . . . .	25
2.10	Moteur asynchrone triphasé utilisé pour le déplacement vertical . . . . .	25
2.11	Moto-réducteur pour la rotation des extincteurs . . . . .	26
2.12	Vérin pneumatique double effet . . . . .	26
2.13	Brûleur . . . . .	27
2.14	Capteur fin de course . . . . .	27
2.15	OIR6500-01 Sonde thermocouple type K . . . . .	28
2.16	Capteur inductif . . . . .	28
2.17	Contacteur Schneider . . . . .	29
2.18	Relais thermique Schneider . . . . .	29
2.19	Disjoncteur . . . . .	30
2.20	Alimentation NAVEX . . . . .	30
2.21	Relais à 8 Broches . . . . .	31
2.22	Variateur de fréquence . . . . .	31
2.23	Machine de pulvérisation de poudre électrostatique . . . . .	32

2.24	LogicieQElectroTech V0.9 . . . . .	35
2.25	Schéma d'alimentation générale . . . . .	36
2.26	Schéma de puissance du moteur 1 – Convoyeur . . . . .	37
2.27	Schéma de puissance du moteur 3 – Robot vertical . . . . .	38
2.28	Sorties de l'automate et commande du moteur M1 . . . . .	39
2.29	Schéma de commande des moteurs M2 et M3 . . . . .	40
2.30	Câblage des capteurs – Entrées automate . . . . .	41
2.31	Communication entre l'automate et l'IHM . . . . .	42
3.1	Un schéma d'un système automatisé . . . . .	48
3.2	Situation de l'automate dans un système automatisé de production . . . . .	49
3.3	Structure interne d'un API . . . . .	50
3.4	Delta DVP-14SS2 . . . . .	53
3.5	Icône représentative de l'environnement WPLSoft . . . . .	55
3.6	Classification des types d'adresses . . . . .	57
3.7	Table d'adressage des E/S . . . . .	58
3.8	Démarrage du cycle . . . . .	59
3.9	Détection des bouteilles . . . . .	59
3.10	Système d'injection de peinture . . . . .	60
3.11	Séquence opérationnelle du robot de peinture . . . . .	60
3.12	Activation et temporisation du four de séchage . . . . .	61
3.13	Gestion des alarmes et signalisations de défaut . . . . .	62
3.14	l'icône représentative de l'environnement SKTOOL . . . . .	65
3.15	Architecture générale des vues disponibles dans l'interface IHM . . . . .	66
3.16	La vue d'accueil . . . . .	67
3.17	La vue des paramètres . . . . .	68
3.18	Les vues d'alarmes . . . . .	71
3.19	Présentation des quatre vues de la supervision . . . . .	72
3.20	Présentation des trois vues de la maintenance . . . . .	74
3.21	Vue admin . . . . .	75
4.1	Illustration du sous-système de convoyage. . . . .	79
4.2	Installation du capteur inductif de comptage sur le convoyeur. . . . .	80
4.3	Illustration du sous-système de peinture automatique dans l'environnement réel. . . . .	81
4.4	Système d'injection de poudre : commande et bidons de stockage. . . . .	82
4.5	Système de cuisson : four industriel, armoire de commande et intérieur. . . . .	83

4.6	Automate et système de contrôle : IHM et armoire électrique de commande.	84
4.7	Vues d'ensemble de la chaîne de peinture automatisée dans l'atelier. . . . .	85
4.8	Architecture de communication entre Node-RED et l'automate Delta DVP-14SS2 . . . . .	90
4.9	Architecture de communication intégrant le serveur web embarqué et Node-RED . . . . .	92
C.1	Vue du module de communication Ethernet DVPEN02-SL . . . . .	119
C.2	Architecture de communication du module DVPEN02-SL dans un environnement industriel . . . . .	120

# Liste des tableaux

2.1	Spécifications techniques et objectifs de performance du système . . . . .	16
2.2	Caractéristiques techniques du moteur . . . . .	25
2.3	Caractéristiques techniques du moteur vertical . . . . .	25
2.4	Caractéristiques techniques du moteur de rotation . . . . .	26
2.5	Caractéristiques techniques de la machine de pulvérisation de poudre électrostatique . . . . .	33
3.1	Fiche technique de Delta DVP-14SS2 . . . . .	54
3.2	Structure matérielle des adresses de l'automate Delta DVP-14SS2 . . . . .	56
3.3	Éléments d'interface de la vue alarmes . . . . .	69
3.4	Catégories et exemples d'alarmes techniques . . . . .	70
4.1	Architecture matérielle associée à la supervision web embarquée . . . . .	87
4.2	Avantages du serveur web embarqué . . . . .	88
4.3	Limites techniques et recommandations associées . . . . .	88
4.4	Avantages de la supervision via Node-RED . . . . .	91
4.5	Limites de Node-RED et recommandations . . . . .	91
A.1	Performances attendues du système de peinture automatique . . . . .	100
B.1	Actions de maintenance préventive recommandées . . . . .	106
B.2	Liste des alarmes critiques et actions recommandées . . . . .	107
C.1	Comparaison des modules DVPEN01-SL et DVPEN02-SL . . . . .	121

# Liste des acronymes

**3D** : Trois Dimensions (modélisation tridimensionnelle)

**AC/DC** : Courant alternatif / courant continu

**AJAX** : Asynchronous JavaScript and XML (rafraîchissement web dynamique)

**API** : Automate Programmable Industriel

**CAO** : Conception Assistée par Ordinateur

**CPU** : Central Processing Unit – Unité centrale de traitement

**DVP** : Delta Variable Programmable (série d’automates programmables de Delta)

**E/S** : Entrées / Sorties

**GRAFCET** : GRAPhe Fonctionnel de Commande Étape/Transition

**HTML** : HyperText Markup Language (langage de création de pages web)

**HTTP** : HyperText Transfer Protocol (protocole web)

**IBM** : International Business Machines (entreprise à l’origine de Node-RED)

**IHM** : Interface Homme-Machine

**IP** : Internet Protocol (adresse réseau)

**LD** : Ladder Diagram (langage)

**MODBUS** : MOdular Digital BUS (Protocole de communication série)

**Modbus TCP** : Modbus sur réseau Ethernet (protocole industriel)

**MQTT** : Message Queuing Telemetry Transport (protocole de communication IoT)

**P.C** : Partie Commande – Centre décisionnel basé sur l’automate programmable

**P.O** : Partie Opérative – Ensemble des actionneurs et capteurs agissant sur le produit

**P.R** : Partie Relation – Interface homme/machine (boutons, voyants, signaux)

**RGB** : Red Green Blue (espace colorimétrique utilisé pour la couleur)

**RS-232** : Recommended Standard 232 (Interface de communication série)

**RS-485** : Recommended Standard 485 (Interface série différentielle)

**RTU** : Remote Terminal Unit (protocole Modbus série)

**SFC** : Sequential Function Chart – Représentation GRAFCET

**SSL / TLS** : Protocoles de sécurisation des communications (HTTPS)

**TCP/IP** : Transmission Control Protocol / Internet Protocol

**TOR** : Tout Ou Rien (commande binaire à deux états possibles : 0/1)

**VFD** : Variable Frequency Drive – Variateur de fréquence

**VPN** : Virtual Private Network (accès sécurisé à distance)

# Liste des Symboles

## 1. Symboles mathématiques et physiques

**24V DC** : Tension continue de 24 volts

**380/400V AC** : Tension alternative triphasée industrielle

**CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de carbone (agent extincteur)

**$\Delta t$**  : Durée de séjour dans le four (en secondes ou minutes)

**$T$**  : Température (en °C)

**$t$**  : Temps (en secondes)

**Ø** : Diamètre mécanique

## 2. Symboles techniques liés à l'automatisme

**B14** : Montage moteur avec bride compacte

**B5** : Montage moteur avec bride normalisée

**BK** : Fil noir du capteur (sortie de détection)

**BN** : Fil brun du capteur (alimentation +)

**BU** : Fil bleu du capteur (0V)

**C** : Compteur interne (Counter)

**COM** : Borne commune pour les signaux logiques

**D** : Registre de données

**DI1** : Entrée digitale n°1 d'un variateur

**DVP-14SS2** : Référence de l'automate Delta utilisé

**DVPEN01-SL** : Référence du module Ethernet standard

**DVPEN02-SL** : Référence du module Ethernet sécurisé

**GND** : Masse ou terre (Ground)

**IP55** : Indice de protection – résistance à la poussière et à l'eau

**IP67** : Indice de protection contre poussière et immersion temporaire

**K** : Type de thermocouple

**KM1, KM2, KM3** : Contacteurs électromagnétiques pour moteurs

**L / N** : Phase et neutre dans une alimentation monophasée

**LD** : Instruction logique "Load" utilisée en programmation d'automate

**M** : Mémoire interne de l'automate

**Mini-DIN 8** : Connecteur circulaire à 8 broches

**MOV** : Instruction de transfert de données (Move)

**NO/NC** : Contact normalement ouvert / fermé

**S1** : Mode de fonctionnement continu d'un moteur

**T** : Temporisateur interne (Timer)

**U / V / W** : Bornes de sortie triphasée d'un moteur ou variateur

**X** : Entrée physique de l'automate (input)

**X2, X3, X4** : Entrées logiques de l'automate (capteurs)

**Y** : Sortie physique de l'automate (output)

**Y0 à Y5** : Sorties logiques de l'automate (API)

**+V/-V** : Références positive et négative de l'alimentation logique

# Attestation de Fin de Projet



Je soussigné, **Fayçal BAMMOUNE**, Président Directeur Général de **FBS**, et à ce titre encadrant professionnel du projet, atteste que les étudiants **NEDJAR Ahmed Amine** et **GHERAB Aimen** ont effectué leur stage de fin d'études au sein de notre entreprise, dans le cadre de la réalisation de leur projet de fin d'études (PFE), sous le thème suivant :

## « Étude et Réalisation d'une Chaîne de Peinture Automatique pour Extincteurs »

Tout au long de cette période, les étudiants ont fait preuve d'un engagement constant, de rigueur professionnelle, et d'une excellente capacité d'adaptation aux contraintes techniques et industrielles.

Ils ont accompli avec rigueur et sérieux les tâches suivantes :

- Étude fonctionnelle et automatisée du processus industriel
- Conception mécanique sur SolidWorks
- Réalisation du schéma électrique via QElectroTech
- Montage mécanique et câblage électrique complet
- Développement du programme automate sous WPLSoft (API Delta DVP-14SS2)
- Création de l'IHM complète sur Samkoon SK-102HE avec le logiciel SK TOOL
- Intégration de la communication RS-232 entre automate et IHM
- Test logiciel et validation fonctionnelle du programme et de l'interface.

L'ensemble du système a été entièrement monté, câblé et est techniquement prêt pour la mise en service. Le programme automate ainsi que l'interface IHM ont été testés et validés. Nous attestons que les résultats livrés sont complets, fonctionnels et immédiatement exploitables dès validation finale.

**Fait à :** Rouïba, Alger, Algérie, **Le :** 12/06/2025

Nom et fonction de signataire

Cachet et signature de l'entreprise

**BAMMOUNE FAYÇAL**  
Gérant



# Introduction Générale

L'automatisation industrielle est l'application de technologies permettant d'automatiser des tâches autrefois réalisées manuellement, dans le but d'améliorer la productivité, la régularité des opérations, la sécurité des opérateurs et la qualité des produits. Elle s'appuie sur l'intégration de composants comme les capteurs, les actionneurs, les moteurs, les automates programmables et les interfaces homme-machine (IHM). Ces éléments interagissent pour exécuter des processus industriels de manière efficace et répétable. [1]

Dans ce contexte, les besoins en systèmes automatisés dans les industries manufacturières, notamment celles spécialisées dans la fabrication de matériels de sécurité comme les extincteurs, sont en constante croissance. L'objectif est de remplacer les procédés manuels lents et irréguliers par des systèmes fiables, précis et facilement pilotables par des opérateurs via des interfaces ergonomiques. Les IHM jouent ici un rôle essentiel, en assurant la surveillance et le contrôle en temps réel des équipements automatisés.

Le présent projet porte sur la conception, la réalisation d'un système de peinture automatique pour extincteurs, basé sur l'application de poudre époxy dans une cabine dédiée. Le système a été installé et mis en service dans l'entreprise SARL CHEMMA ET CIE Incendie, spécialisée dans la fabrication d'extincteurs. Cette entreprise réalisait jusqu'alors la peinture de manière manuelle, ce qui entraînait une perte de temps, une variabilité de la qualité et des conditions de travail contraignantes pour les opérateurs. [2]

Le système développé intègre un automate Delta DVP-14SS2, des capteurs pour le comptage et la détection, un moteur de déplacement vertical pour l'activation des pistolets, un système de convoyage, un four de cuisson, ainsi qu'une interface IHM locale (Samkoon) pour la supervision. L'ensemble a été conçu pour être simple à utiliser, facile à maintenir et directement adapté aux contraintes de l'environnement industriel réel.

Notre travail se divise en quatre chapitres :

**Le premier chapitre** présente le contexte du projet de manière exhaustive. Il inclut une présentation détaillée des deux entreprises partenaires, à savoir FB Solutions et SARL Chemma & Cie Incendie. Les rôles respectifs de ces entreprises dans la conception et la mise en œuvre du système sont décrits. En outre, il expose le problème, tel qu'il ressort

de l'analyse des systèmes de peinture industrielle existants, en mettant l'accent sur les inconvénients des processus actuels.

**Le deuxième chapitre** présente la conception complète du système de peinture automatique, en définissant les besoins, les contraintes et l'architecture des sous-systèmes (convoyage, peinture, cuisson, comptage, commande). La modélisation 3D est réalisée sous SolidWorks, et le choix des composants est basé sur des critères industriels. L'étude électrique, effectuée avec le logiciel QElectroTech, détaille les schémas de puissance et de commande nécessaires à une intégration fiable. Ce chapitre établit ainsi les bases techniques, mécaniques et électriques du projet.

**Le troisième chapitre** présente en détail le processus d'automatisation du système de peinture des extincteurs, en commençant par les principes fondamentaux de l'automatisation industrielle et la description des éléments essentiels : capteurs, actionneurs et automate programmable. L'automate Delta DVP-14SS2 a été retenu pour sa compatibilité, sa fiabilité et sa simplicité d'utilisation. Le programme a été développé avec le logiciel WPLSoft en langage Ladder, permettant de gérer l'enchaînement logique des opérations du système telles que la détection, le déplacement du robot, la rotation, la peinture, le séchage et le comptage. Des mécanismes de sécurité et de temporisation ont été intégrés afin de garantir un fonctionnement sûr et continu. Le chapitre inclut également la conception d'une interface locale de supervision via le logiciel SKTOOL, utilisée sur un pupitre Samkoon, permettant à l'opérateur de visualiser l'état du système, d'accéder aux alarmes, de modifier certains paramètres et d'exécuter les commandes locales de manière intuitive.

**Le quatrième chapitre** présente la mise en œuvre concrète du système automatique de peinture, depuis la phase de simulation jusqu'à l'installation finale en atelier. La simulation a permis de tester la logique du programme et de corriger les erreurs avant l'implémentation. Sur le terrain, l'ensemble des composants – convoyeur, robot, rotation, peinture, four, et capteurs – ont été raccordés à l'automate Delta DVP-14SS2 via une armoire électrique centralisée. Des essais réels ont été réalisés pour valider le fonctionnement complet du processus. Enfin, le chapitre aborde des pistes d'évolution vers une connectivité avancée, notamment par l'intégration de serveurs web embarqués et de la plateforme Node-RED, ouvrant ainsi la voie à une surveillance distante compatible avec les standards de l'industrie 4.0.

# Chapitre 1

## Présentation des entreprises équipements et processus

## 1.1 Introduction

La peinture industrielle est l'un des procédés les plus importants en termes de finition des produits fabriqués. Outre son rôle décoratif, elle joue également le rôle de revêtement protecteur, augmentant ainsi la résistance du matériau à la corrosion, à l'humidité et aux variations de température. Face à l'accroissement des exigences en matière de qualité, de productivité et de respect de l'environnement, les opérations de peinture ont considérablement évolué, notamment avec l'introduction de systèmes automatisés et robotisés. Ces systèmes permettent d'obtenir des résultats plus cohérents, de réduire les déchets de peinture, de raccourcir les temps de cycle et d'améliorer la sécurité des opérateurs. [3]

## 1.2 Présentation de l'entreprise "FB Solution"

### 1.2.1 Description générale de l'entreprise

FB Solution, également connue sous le nom *FBS - Your Industrial Solution*, est une entreprise algérienne spécialisée dans l'étude, la conception et la réalisation de solutions industrielles automatisées. Son cœur de métier inclut :

- La conception et la fabrication de machines industrielles sur mesure.
- La maintenance, le réglage et la modernisation de systèmes automatisés.
- La fabrication de pièces mécaniques de précision.
- Le câblage d'armoires électriques industrielles.
- La programmation d'automates (API/PLC) avec des solutions adaptées aux marques telles que Delta, Siemens, Schneider, ou Mitsubishi.
- Le développement de solutions d'automatisation intelligentes intégrant les technologies modernes.

FB Solution se distingue par une approche axée sur la qualité, la fiabilité et l'adaptabilité. Grâce à une équipe composée de professionnels aux compétences variées et complémentaires, l'entreprise prend en charge l'ensemble du cycle de vie des projets industriels : de l'analyse du besoin jusqu'à la mise en service et la maintenance sur site. Une synthèse visuelle des services industriels proposés par l'entreprise est présentée dans la figure 1.1.

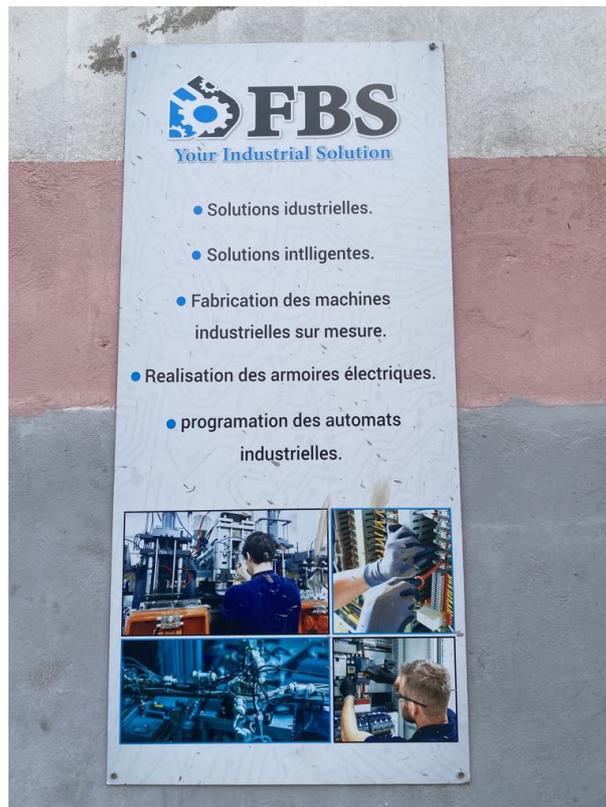


FIGURE 1.1 – Affiche des services industriels proposés par l'entreprise FB Solution

## 1.2.2 Équipements et ressources techniques

L'atelier de FB Solution est équipé pour permettre la fabrication complète de systèmes automatisés :

- **Machines-outils** : fraiseuses, tours, perceuses et scies mécaniques pour la fabrication de pièces.
- **Postes de câblage et d'assemblage** : pour les armoires électriques industrielles.
- **Postes de programmation** : dotés de logiciels tels que WPLSoft, TIA Portal, ou CX-Programmer, selon les projets.
- **Bancs de test et de simulation** : permettant de valider le fonctionnement des systèmes leur mise en service.
- **Équipements de sécurité et de diagnostic** : pour la maintenance et le dépannage rapide.

## 1.2.3 Processus de travail

Le développement d'un système automatisé chez FB Solution suit une méthode rigoureuse en plusieurs phases :

- **Analyse des besoins** : étude du cahier des charges du client.
- **Conception mécanique et électrique** : modélisation 3D, schémas de câblage.
- **Fabrication** : usinage, assemblage et intégration des composants.
- **Programmation** : développement du code automate et interfaces IHM.
- **Tests et validation** : essais en atelier et ajustements.
- **Installation** : mise en service sur site, formation des utilisateurs.
- **Maintenance** : accompagnement post-installation et optimisation.

### Processus de développement de systèmes automatisés chez FB SOLUTION



FIGURE 1.2 – Processus de développement d'un système automatisé chez FB Solution

## 1.3 Présentation de l'entreprise " SARL CHEMMA ET CIE Incendie"

### 1.3.1 Historique de l'entreprise

La **SARL CHEMMA ET CIE Incendie** est une entreprise algérienne fondée au début des années 1990. Elle est située dans la zone industrielle de la wilaya de Rélizane, à l'est de l'Algérie. Elle a été créée dans le but de répondre à un besoin croissant de dispositifs de sécurité incendie sur le marché national. Depuis sa création, l'entreprise s'est

progressivement développée en maîtrisant toute la chaîne de fabrication des extincteurs, de la conception jusqu'au contrôle qualité. Forte de plusieurs décennies d'expérience, elle a su maintenir sa compétitivité par une amélioration continue de ses processus.

### 1.3.2 Secteur d'activité

L'entreprise opère dans le secteur de la sécurité incendie, avec une spécialisation dans la fabrication, la maintenance et la commercialisation d'extincteurs de différents types. Elle propose également des prestations de recharge, de vérification périodique et de remise en conformité des dispositifs de lutte contre l'incendie. Sa clientèle regroupe des entreprises industrielles, des administrations publiques, et des établissements recevant du public.

### 1.3.3 Organisation générale

L'organisation interne de l'entreprise repose sur plusieurs unités fonctionnelles :

- Un bureau d'études techniques.
- Un atelier de fabrication des corps d'extincteurs.
- Une cabine de peinture (actuellement manuelle).
- Une unité de remplissage et de test.
- Un service de maintenance.
- Une équipe commerciale.

Cette structure permet une gestion complète de la chaîne de production, assurant ainsi un contrôle direct sur la qualité et les délais. La figure 1.3 présente une vue schématique de l'organisation générale de l'entreprise.

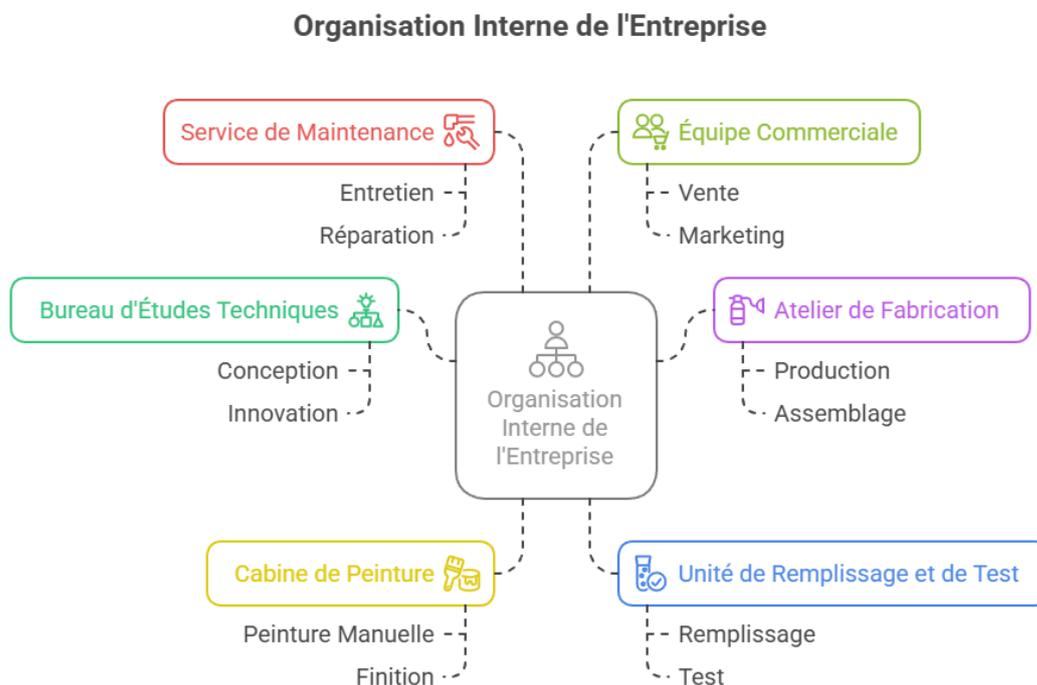


FIGURE 1.3 – L'organisation interne de l'entreprise

### 1.3.4 Produits et services proposés

L'entreprise conçoit et commercialise une large gamme de produits, parmi lesquels :

- Extincteurs à poudre ABC (portatifs et sur roues).
- Extincteurs au dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).
- Extincteurs à eau avec additifs.
- Pièces détachées et accessoires (supports muraux, flexibles, manomètres, etc.).

En termes de services, elle propose :

- Le contrôle périodique et la recharge des extincteurs.
- La maintenance sur site ou en atelier.
- L'assistance et le conseil technique en sécurité incendie.

### 1.3.5 Moyens techniques et infrastructure

L'entreprise dispose d'un atelier industriel équipé de :

- Machines de découpage, roulage et soudage.
- Installations pour l'emboutissage et l'assemblage.

- Une cabine de peinture à poudre électrostatique (utilisée de manière manuelle actuellement).
- Un four de cuisson pour polymérisation de la peinture.
- Une station de remplissage (poudre CO<sub>2</sub>, eau).
- Des bancs d'essais pour le contrôle final.

L'ensemble de ces équipements permet une production autonome et conforme aux normes en vigueur.

### 1.3.6 Processus de fabrication des extincteurs

La fabrication d'un extincteur passe par plusieurs étapes :

1. Découpage et formage de la tôle.
2. Soudure longitudinale et circulaire.
3. Emboutissage des fonds et assemblage.
4. Test hydraulique de résistance.
5. Préparation de surface (nettoyage, sablage).
6. Application de la peinture en cabine (actuellement manuelle).
7. Cuisson dans un four industriel.
8. Remplissage avec l'agent extincteur approprié.
9. Assemblage final (manomètre, poignée, étiquette).
10. Contrôle final et conditionnement.

L'étape de peinture est aujourd'hui réalisée manuellement, ce qui génère des irrégularités et une dépendance au facteur humain. Cette étape constitue donc le point d'intérêt de notre projet d'automatisation. La figure 1.4 illustre de manière synthétique les différentes étapes de fabrication d'un extincteur au sein de l'entreprise.

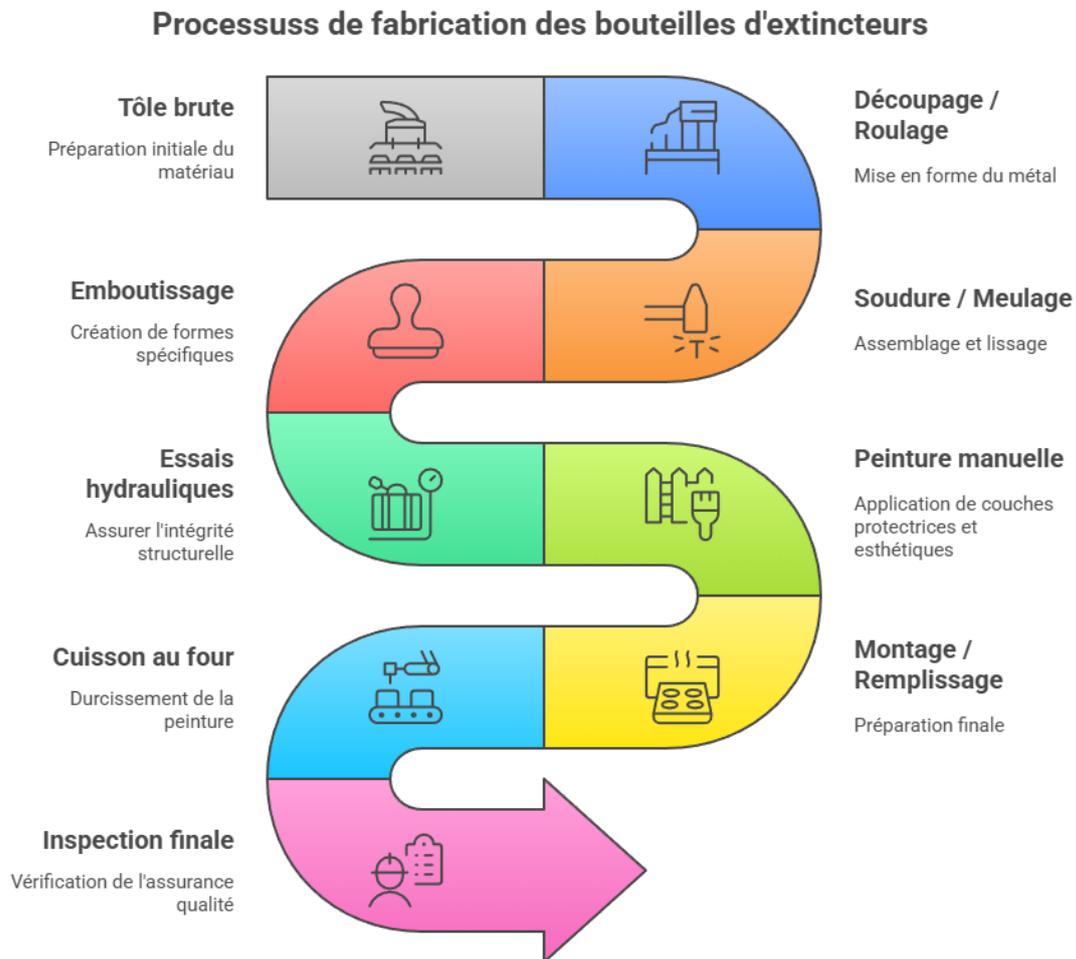


FIGURE 1.4 – Processus de fabrication des extincteurs

### 1.3.7 Systèmes de contrôle qualité

Pour garantir la conformité de ses produits, l'entreprise applique un ensemble de contrôles rigoureux :

- Vérification visuelle des soudures et de la finition.
- Essai de pression hydraulique pour détecter les fuites.
- Contrôle de l'épaisseur et de l'uniformité de la peinture.
- Pesée des extincteurs après remplissage.
- Test de déclenchement du système de valve.

Ces tests sont réalisés selon des protocoles définis et enregistrés pour assurer la traçabilité.

### 1.3.8 Partenaires et clients

L'entreprise travaille avec plusieurs partenaires locaux et internationaux, notamment :

- Fournisseurs de poudre extinctrice certifiée.
- Fabricants de valves, manomètres et composants.
- Distributeurs de peinture industrielle spécialisée.

Sa clientèle est composée de :

- Sociétés industrielles et pétrolières.
- Établissements publics (écoles, hôpitaux administrations).
- Sociétés de BTP et de sécurité incendie.

La relation client repose sur la qualité du produit, le respect des délais et le service après-vente.

## 1.4 Problématique et justification du projet

### 1.4.1 Problématique industrielle

Dans l'industrie de la fabrication d'extincteurs, l'étape de peinture joue un rôle fondamental dans la protection contre la corrosion, l'identification visuelle des produits, ainsi que dans la conformité aux normes de sécurité. Actuellement, de nombreuses entreprises, notamment la société Sarl CHEMMA ET CIE Incendie, s'appuient encore sur des procédés manuels ou semi-automatisés pour la mise en peinture des extincteurs. Ce mode opératoire présente plusieurs inconvénients majeurs :

- Une variabilité de la qualité de peinture en fonction de l'opérateur.
- Un temps de production élevé dû à l'intervention humaine.
- Des pertes de peinture par surpulvérisation et gaspillage.
- Une exposition directe des opérateurs aux produits chimiques.

Ces limitations réduisent l'efficacité globale du processus, augmentent les coûts de production et présentent des risques pour la santé des opérateurs.

### 1.4.2 Objectifs du projet

Face à ces contraintes, l'objectif principal de notre projet est de concevoir et réaliser un système de peinture automatique pour les extincteurs, permettant :

- D'automatiser totalement l'application de la peinture en poudre.
- D'améliorer la qualité et l'uniformité du revêtement.

- De réduire le temps de traitement par lot de pièces.
- D’optimiser la consommation de peinture.
- De limiter les interventions humaines dans les zones à risque.

### 1.4.3 Solution proposée

La solution que nous proposons est une chaîne de peinture automatique composée de plusieurs sous-systèmes interconnectés :

- Un convoyeur motorisé assurant le transport des extincteurs à travers les différentes étapes.
- Une cabine de poudrage équipée de pistolets de pulvérisation commandés automatiquement.
- Un four de cuisson intégré pour la polymérisation de la peinture.
- Un système de commande centralisé via un automate programmable industriel (API).

Ce système vise à renforcer la compétitivité industrielle de l’entreprise en garantissant un haut niveau de qualité, une productivité accrue et une conformité aux normes de sécurité et environnementales.

## 1.5 Conclusion

Ce premier chapitre était consacré à la présentation des deux principales entreprises concernées par le rapport : FB Solution, qui conçoit et réalise des systèmes automatisés industriels, et Sarl CHEMMA ET CIE Incendie, qui fabrique et commercialise des extincteurs. Nous avons ainsi abordé leurs activités, leurs ressources humaines et techniques, ainsi que leurs processus industriels en matière de production et de qualité. L’analyse conduite a permis de caractériser les besoins de Sarl CHEMMA ET CIE Incendie, en matière d’optimisation du procédé de peinture via la mise en oeuvre d’un service automatisé et de bonne qualité en finition. La problématique industrielle reposant sur l’hétérogénéité de la qualité produite, la perte de matière, le temps de production élevé et la sécurité des opérateurs, a amené à justifier une solution technologique appropriée. De ce fait, le projet de conception et de réalisation d’une machine de peinture automatique s’avère comme une réponse adéquate en matière d’innovations, de performances industrielles et de sécurité. Ce projet permet de tester concrètement des technologies actuelles (automate, système de vision, contrôle automatisé) dans un réel environnement de production.. Le chapitre suivant abordera la phase de conception technique du système, en détaillant les choix matériels et architecturaux retenus.

## Chapitre 2

# Étude et conception du système de peinture

## 2.1 Introduction

Ce chapitre présente l'étude et la conception du système de peinture automatique destiné à améliorer la productivité et la qualité dans un environnement industriel. L'objectif est de concevoir une solution technique capable d'appliquer un revêtement homogène, tout en réduisant le temps de cycle et les interventions manuelles. La démarche commence par une analyse approfondie des besoins fonctionnels, suivie de la modélisation des différents sous-systèmes mécaniques et pneumatiques à l'aide d'outils de CAO.

En parallèle, une attention particulière a été portée à l'étude électrique du système, en intégrant les composants de commande, de protection et d'automatisation nécessaires à son bon fonctionnement. Cette phase inclut l'élaboration des schémas de puissance et de commande, ainsi que le dimensionnement des équipements. L'ensemble de ces travaux vise à assurer la fiabilité, la sécurité et la flexibilité du système dans le cadre d'une mise en œuvre industrielle automatisée.

## 2.2 Étude des besoins et des exigences

L'analyse des besoins et des contraintes est une phase essentielle de la conception d'un système automatisé. Elle vise à définir les fonctionnalités que doit remplir le système, les performances à atteindre et les contraintes à respecter afin de s'assurer que le système répond aux exigences de production, de qualité, de sécurité et de coût souhaitées.

### 2.2.1 Objectifs du système

Le but du projet est de concevoir et de réaliser une chaîne automatique de peinture par poudre pour extincteurs, intégrant les fonctions suivantes :

- Automatisation du transport, de la peinture et du transfert vers le four.
- Réduction de l'intervention humaine.
- Uniformité de l'application de la peinture.
- Respect des délais de traitement et de la qualité finale.

### 2.2.2 Fonctionnement séquentiel du système de peinture

Le système de peinture automatique est conçu de manière à respecter une séquence d'opérations bien définie. Des extincteurs non peints sont d'abord saisis par un opérateur, et déposés sur un chariot qui est conduit sur la chaîne de convoyage. Un capteur compte alors les pièces qui entrent dans le processus et dès la détection de trois extincteurs, l'automate arrête le convoyeur du chariot. Dans la cabine de peinture, trois pistolets sont

fixés et pulvérisent automatiquement de la poudre de peinture. Chaque pistolet est placée devant une pièce, et il monte et descend, à l'aide d'un moteur, proportionnellement à la position haute ou basse, déterminée par des capteurs. En même temps, l'extincteur est entraîné à pivoter sur lui-même grâce à un moteur, ce qui assure la pulvérisation sur toute la circonférence de la surface cylindrique de l'élément. Dès que l'opération de pulvérisation devient effective, la chaîne remet en marche son déplacement et conduit les extincteurs dans le four où la poudre de la peinture est fixée par la chaleur, émaillant la peinture de façon homogène et robuste.

### 2.2.3 Exigences techniques et industrielles

La conception du système de peinture automatisé doit être conforme à un ensemble d'exigences fonctionnelles et techniques, imposées par le contexte industriel et les objectifs du projet :

**Gestion des pièces à peindre** : Les extincteurs non encore peints sont introduits manuellement par un opérateur sur la chaîne de transport. Le système doit donc permettre un démarrage automatique après la détection d'un certain nombre de pièces (dans notre cas, trois), à l'aide d'un compteur de pièces.

**Direction de la chaîne** : Le moteur de la chaîne doit être commandé par un automate programmable ayant la capacité d'arrêter le mouvement dès que les pièces atteignent la cabine de peinture afin qu'elles soient en position précise devant les pistolets.

**Application de la peinture** : Le système doit fournir une pulvérisation égale de poudre à travers trois pistolets horizontaux. Chacun des extincteurs est dirigé vers son propre canon, et la distribution de peinture est assurée verticalement par un moteur qui est contrôlé par des capteurs de fin de course (haut / bas).

**Processus thermique** : Après la pulvérisation, la chaîne de repas pour le transport des extincteurs au four de cuisson, où la poudre polymérise sous l'action de la chaleur, garantissant ainsi la finition du revêtement.

**Contraintes environnementales** : Le système doit fonctionner dans un atelier industriel exposé aux variations de température, à la pression et à l'humidité, nécessitant une résistance mécanique et une protection appropriée des composants.

**Alimentation électrique industrielle** : Le système est compatible avec une alimentation électrique triphasée et avec une source d'air comprimé nécessaire à la pulvérisation.

**Optimisation de l'espace et du coût** : Le système doit être compact afin qu'il puisse s'adapter facilement à l'espace de production disponible tout en maintenant un coût raisonnable en passant par des choix de composants standard, similaires et peu coûteux.

## 2.2.4 Spécifications attendues

Le tableau 2.1 présente les exigences techniques et les objectifs de performance à atteindre pour garantir la conformité du système automatisé de peinture.

TABLEAU 2.1 – Spécifications techniques et objectifs de performance du système

Critère	Spécification
Temps moyen de peinture par pièce	$\leq 60$ secondes
Nombre de pièces traitées par heure	$\geq 60$
Taux de couverture homogène de peinture	$\geq 95\%$
Tolérance sur l'uniformité de teinte	$\pm 5\%$ (valeur RGB)
Temps d'arrêt entre deux cycles	$\leq 5$ secondes
Précision du contrôle qualité automatique	$\geq 90\%$

Ces critères serviront de base pour évaluer la performance finale du système une fois celui-ci installé et opérationnel.

## 2.2.5 Besoins en automatisation

Pour garantir le bon fonctionnement des différents sous-systèmes, un automate programmable industriel (API) est nécessaire. Il permettra de :

- Superviser le comptage et les mouvements.
- Contrôler les moteurs de la chaîne et du déplacement vertical.
- Gérer les signaux des capteurs haut/bas.
- Synchroniser l'ouverture/fermeture des pistolets de peinture.
- Déclencher le four après la peinture.

## 2.3 Conception et description du système

### 2.3.1 Présentation générale du système

Dans le cadre de ce projet de recherche et développement, un système de peinture automatique a été conçu pour remplacer le procédé traditionnel de peinture des extincteurs

par une solution industrielle automatisée, plus rapide, homogène et sécurisée. Ce système repose sur un ensemble de sous-systèmes interconnectés autour d'une chaîne motorisée assurant le transport des pièces depuis la cabine de peinture, en passant par le four de cuisson, jusqu'à la zone de sortie. L'ensemble est piloté par un automate programmable industriel (voir la figure 2.1 illustrant le GRAFCET général du système). Le fonctionnement du système est séquentiel et comprend les étapes suivantes :

- **Chargement des pièces** : Les extincteurs non peints sont placés manuellement sur la chaîne. Chaque extincteur est entraîné en rotation autour de son axe par un moteur pour permettre une application homogène de la peinture.
- **Détection et arrêt automatique** : Un capteur inductif compte les extincteurs. Lorsque trois unités sont détectées, l'automate arrête automatiquement la chaîne.
- **Application de la peinture** : Dans une cabine fermée, trois pistolets fixes pulvérisent une peinture en poudre thermodurcissable. Les pistolets montent et descendent grâce à un moteur vertical, guidé par des capteurs de position (haut/bas). La rotation des extincteurs assure une couverture complète.
- **Transfert vers le four** : Une fois la pulvérisation terminée, la chaîne redémarre automatiquement et les extincteurs sont acheminés vers le four.
- **Cuisson** : Le four chauffe les pièces à haute température, ce qui permet la polymérisation de la poudre en une couche de peinture résistante.
- **Sortie des pièces** : Les extincteurs peints sont évacués vers la zone de sortie, prêts pour l'inspection finale et le conditionnement.

Le dispositif a été conçu de telle manière à en faciliter la modernisation, l'entretien et l'interaction avec des bouteilles de différents type. Il est composé de composants standardisés (moteurs, capteurs, API, variateurs) permettant d'assurer sa fiabilité, sa maintenance et sa mise à jour.

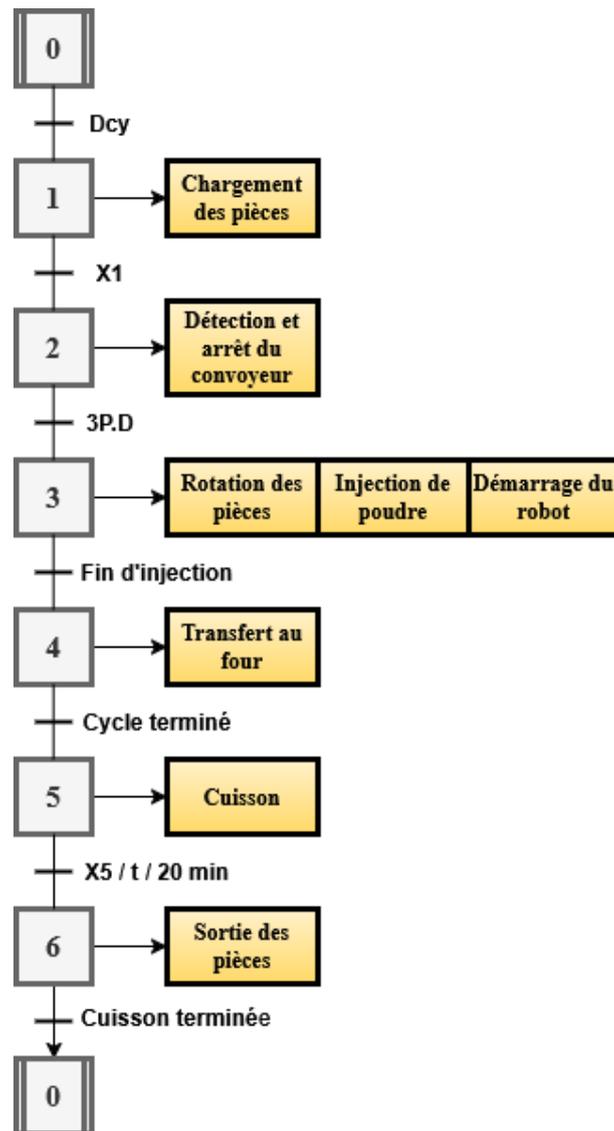


FIGURE 2.1 – GRAFCET général du processus de peinture automatique

### 2.3.2 Conception et description des sous-systèmes

Pour la modélisation tridimensionnelle du système de peinture automatique, le logiciel **SolidWorks** a été utilisé. Il s'agit d'un outil de conception assistée par ordinateur (CAO) très répandu dans l'industrie, permettant de créer des pièces mécaniques, des assemblages complexes, et de générer des mises en plan précises. Grâce à ses fonctionnalités avancées (simulation de mouvement, contraintes mécaniques, rendu réaliste, etc.), il a été possible de concevoir virtuellement chaque sous-système du projet, d'anticiper les problèmes d'assemblage, et de valider les dimensions avant la phase de réalisation.

## Présentation du logiciel de conception assistée par ordinateur : SolidWorks

SolidWorks est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) en trois dimensions. Développé par Dassault Systèmes, il permet aux ingénieurs et techniciens de concevoir des pièces mécaniques, de créer des assemblages complexes et de produire des plans techniques à partir des modèles 3D (Voir la figure 2.2). Ce logiciel est très utilisé dans l'industrie, notamment dans les domaines de la mécanique, de la fabrication, de l'automatisation et de la conception de machines. SolidWorks est apprécié pour son interface conviviale, ses outils puissants et sa logique de travail intuitive. Il permet de visualiser les objets en 3D, d'effectuer des modifications en temps réel et de simuler l'assemblage avant la fabrication réelle.

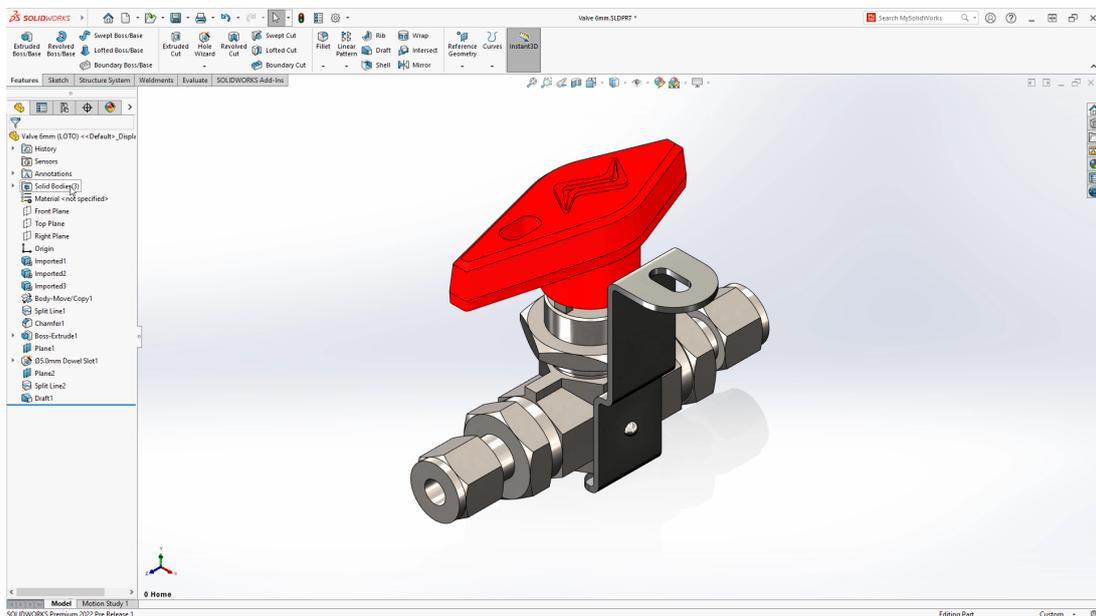
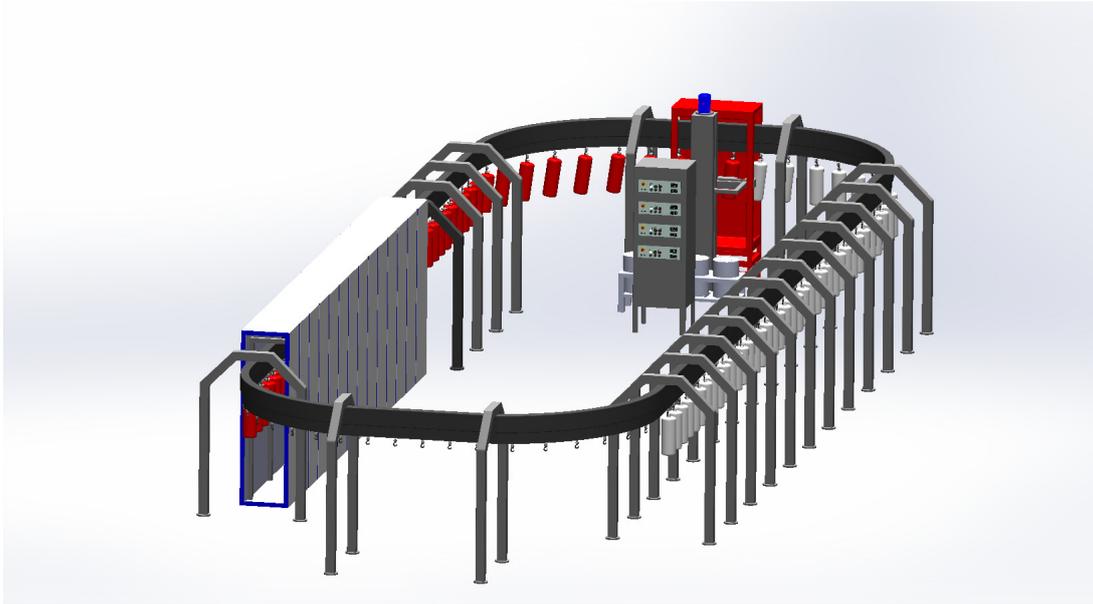


FIGURE 2.2 – Interface principale du logiciel SolidWorks avec une pièce ouverte.

### 2.3.3 Vue générale de la chaîne

La chaîne de peinture automatique se compose de plusieurs modules organisés en série pour assurer un flux continu et organisé. Elle commence par la zone de chargement des extincteurs, puis un convoyeur motorisé amène les extincteurs les uns après les autres vers la station de peinture, puis celle de cuisson, avant la zone de déchargement. Chaque module est interconnecté et piloté par automate pour assurer la coordination des différentes étapes. Le système est complété avec des capteurs, moteurs et vérins pour automatiser la chaîne tout en assurant la sécurité, la régularité et l'efficacité de la production (Voir la figure 2.3).



**FIGURE 2.3** – Vue générale de la chaîne

Le système de peinture automatique est composé de plusieurs sous-systèmes inter-dépendants, chacun jouant un rôle essentiel dans le bon déroulement du processus de peinture. Ces sous-systèmes ont été conçus en tenant compte des besoins fonctionnels, des contraintes techniques et de l'environnement industriel. Ci-dessous une description détaillée de chaque sous-systèmes :

### **2.3.3.1** Système de convoyage

Ce sous-système assure le déplacement des extincteurs le long de la ligne de production. Il se compose :

- D'une chaîne motorisée assurant un déplacement linéaire.
- D'un moteur asynchrone triphasé commandé par un variateur de fréquence.
- D'un système d'arrêt piloté par un automate lorsque trois pièces sont détectées à l'entrée de la cabine.

La figure 2.4 ci-dessous présente la modélisation 3D du système de convoyage conçue sous SolidWorks.

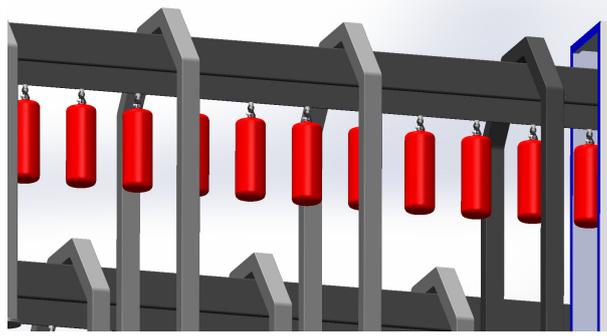


FIGURE 2.4 – Système de convoyage

Un moteur additionnel est couplé à chaque support d’extincteur pour permettre la rotation de la bouteille autour d’elle-même, assurant ainsi une couverture uniforme de peinture sur toute la surface cylindrique.

### 2.3.3.2 Système de comptage

Un capteur inductif placé à l’entrée de la cabine détecte chaque extincteur. Le signal est transmis à un automate qui incrémente un compteur. Lorsque le nombre atteint trois, une commande d’arrêt est envoyée au moteur de la chaîne.

### 2.3.3.3 Cabine de peinture

C’est la partie centrale du système. Elle est conçue pour isoler l’environnement extérieur des poussières et de la poudre de peinture. Elle comprend :

- Trois pistolets de pulvérisation fixes placés horizontalement.
- Un moteur vertical permettant un mouvement haut/bas des pistolets.
- Deux capteurs de fin de course (haut et bas) pour limiter et inverser le mouvement vertical.
- Un automate programmable pour le contrôle séquentiel de l’injection de poudre.

Chaque extincteur est positionné devant un pistolet et reçoit la peinture pendant que le pistolet se déplace verticalement, couvrant toute la hauteur (Voir la figure 2.5).



FIGURE 2.5 – Cabine de peinture

#### 2.3.3.4 Système d'injection de poudre

Le système de pulvérisation utilise des pistolets électrostatiques pour projeter une poudre thermodurcissable :

- Le débit est régulé par une électrovanne commandée.
- La pression est ajustée via un régulateur relié au réseau d'air comprimé.
- La charge électrostatique assure l'adhérence de la poudre à la surface métallique de l'extincteur.

La figure 2.6 ci-dessous illustrent le système d'injection de poudre électrostatique.



FIGURE 2.6 – Système d'injection de poudre

#### 2.3.3.5 Système de cuisson (Four)

Après la peinture, les extincteurs entrent dans un four chauffé à température contrôlée (environ 120 à 180°C). Ce sous-système est composé de :

- Brûleur chauffant.
- Ventilateurs pour homogénéiser la température.
- Un capteur de température (thermocouple) pour la régulation.
- Un automate qui commande la durée de séjour et le chauffage.

La poudre fond, polymérise, et forme une couche résistante et esthétique.

La figure 2.7 ci-dessous est illustrée la conception 3D du système de cuisson.

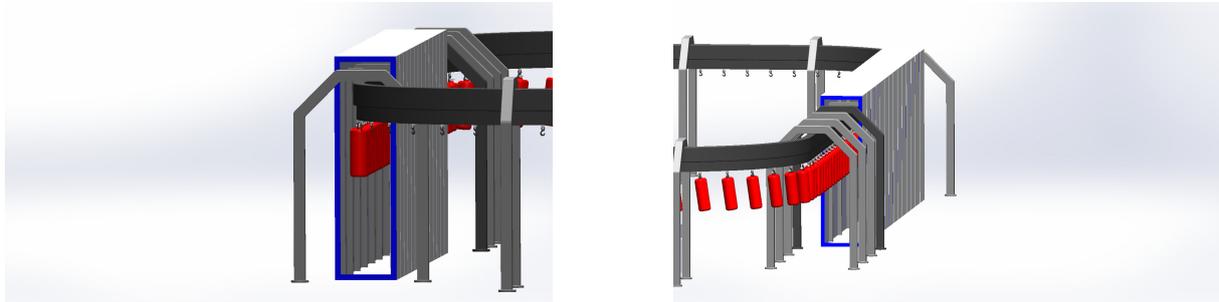


FIGURE 2.7 – Système de cuisson (Four) — vues sous deux angles différents

### 2.3.3.6 Armoire électrique et système de contrôle

L'automatisation du système repose sur un automate programmable industriel (API) chargé :

- De la gestion des entrées/sorties (capteurs, moteurs, électrovannes).
- Du séquençement logique des opérations.
- De l'interface avec les opérateurs via un pupitre ou IHM simple (boutons, voyant d'état...).

L'armoire électrique regroupe l'ensemble des composants nécessaires à la commande du système, notamment :

- L'API avec ses modules d'entrées/sorties.
- Les alimentations électriques (24V DC, 380/400V AC).
- Les contacteurs, relais et disjoncteurs pour la commande et la protection.
- Les borniers de câblage et modules d'interface.

La figure 2.8 ci-dessous montrent la conception 3D de l'armoire électrique du système.



FIGURE 2.8 – Assemblage de l'armoire électrique – vues de face et latérale

## 2.4 Choix des matériaux et composants

Dans le cadre de cette étude, nous procéderons à l'énumération des principaux équipements et composants nécessaires au fonctionnement optimal du système de peinture automatique. Chaque composant, par son rôle spécifique, participe à l'ensemble du processus, depuis la préparation des pièces jusqu'à la peinture et à la finition. Ces équipements ont été sélectionnés en fonction de critères de performance, de fiabilité et de flexibilité dans le cadre des exigences du système conçu.

### 2.4.1 Les Actionneurs

Un actionneur est un dispositif qui reçoit une commande (électrique, pneumatique ou hydraulique) et effectue une action physique sur un système, comme un déplacement, une rotation, une ouverture ou une fermeture. Contrairement aux capteurs qui détectent, les actionneurs sont responsables de mettre en mouvement ou de modifier l'état d'un mécanisme, par exemple en actionnant un moteur, une vanne, un vérin ou un relais

#### 2.4.1.1 Moteurs

Un moteur est un actionneur électromécanique qui convertit l'énergie électrique en énergie mécanique, généralement sous forme de rotation. Il est largement utilisé dans les systèmes automatisés pour entraîner des mécanismes tels que des convoyeurs, des vérins rotatifs ou des dispositifs de levage. Selon le type d'alimentation (courant continu ou alternatif), les moteurs peuvent être à courant continu (CC), asynchrones triphasés, pas à pas ou encore brushless.

##### 1. Moteur de la chaîne de transport (convoyeur)

Le déplacement linéaire des extincteurs sur la chaîne est assuré par un moteur asynchrone triphasé, conçu pour entraîner le convoyeur à vitesse constante. Ce système motorisé permet de synchroniser l'acheminement des pièces avec les étapes de comptage, de peinture et de cuisson.

La figure 2.9 [4] et le tableau 2.2 ci-dessous présentent le moteur asynchrone triphasé utilisé pour entraîner le convoyeur, ainsi que ses principales caractéristiques techniques.



FIGURE 2.9 – Moteur asynchrone triphasé

TABLEAU 2.2 – Caractéristiques techniques du moteur

Caractéristique	Valeur
Type	Triphasé, 2 pôles, hauteur d'axe 112
Puissance	5.5 kW (7.5 CV)
Vitesse nominale	3000 tr/min
Fréquence	50 Hz
Indice de protection	IP55 (intérieur ou extérieur)
Carcasse	Aluminium
Fixation	Bride B5 à trous lisses
Ø extérieur bride	250 mm
Ø de fixation de la bride	215 mm
Ø d'emboîtement	180 mm
Arbre	28 × 60 mm
Clavette	8 mm
Utilisation	Applications industrielles robustes

## 2. Moteur pour la montée/descente des pistolets

Le moteur utilisé pour le déplacement vertical des pistolets est un moteur asynchrone triphasé à réducteur, sélectionné pour sa robustesse et sa capacité à fournir un couple élevé à basse vitesse. La figure suivante présente ce moteur ainsi que ses principales caractéristiques techniques.

La figure 2.10 et le tableau 2.3 [5] ci-dessous présentent le moteur asynchrone triphasé utilisé pour le mouvement vertical des pistolets, ainsi que ses caractéristiques techniques principales.



FIGURE 2.10 – Moteur asynchrone triphasé utilisé pour le déplacement vertical

TABLEAU 2.3 – Caractéristiques techniques du moteur vertical

Caractéristique	Valeur
Type	Asynchrone triphasé à cage d'écureuil
Modèle	ML 711-4
Tension	380/220 V
Fréquence	50 Hz
Puissance	0.37 kW (0.5 CV)
Vitesse nominale	1360 tr/min (4 pôles)
Régime	S1 – fonctionnement en continu
Indice de protection	IP55 (poussière + projection d'eau)
Montage	Bride B5/B14
Matériau de la carcasse	Aluminium
Poids	7 à 10 kg
Fabricant	Elprom
Utilisation	Déplacement vertical des pistolets

## 3. Moteur de rotation des extincteurs

Pour permettre la rotation uniforme des extincteurs pendant la phase de peinture, un moto-réducteur asynchrone triphasé a été utilisé. Ce moteur, couplé à un

réducteur à haut couple et faible vitesse, assure un mouvement régulier et contrôlé compatible avec l'automatisation du processus.

La figure 2.11 [6] et le tableau 2.4 ci-dessous présentent le moto-réducteur asynchrone triphasé utilisé pour assurer la rotation uniforme des extincteurs durant la peinture, avec ses principales spécifications techniques.



FIGURE 2.11 – Moto-réducteur pour la rotation des extincteurs

TABLEAU 2.4 – Caractéristiques techniques du moteur de rotation

Caractéristique	Valeur
Type	Moto-réducteur asynchrone triphasé
Modèle	SEW KA37 DRE80M4 (ou équivalent)
Tension	380 V (triphase)
Fréquence	50 Hz
Puissance	0.37 kW à 0.55 kW
Vitesse de sortie	20 à 60 tr/min
Couple nominal	30 à 80 Nm
Indice de protection	IP55
Montage	À bride ou sur pieds
Type d'arbre	Arbre creux (fixation directe)
Utilisation	Rotation contrôlée des extincteurs

#### 2.4.1.2 Vérin

Le vérin pneumatique permet l'ouverture et la fermeture automatiques des portes du four. Il est piloté par une électrovanne via l'automate, assurant un mouvement sécurisé et sans intervention manuelle. Des capteurs de position vérifient l'état des portes pour garantir un fonctionnement fiable et sécurisé du cycle de cuisson (Voir la figure 2.12 [7]).



FIGURE 2.12 – Vérin pneumatique double effet

#### 2.4.1.3 Brûleur

Le brûleur installé dans le four (voir la figure 2.13 [8]) assure la génération de chaleur nécessaire à la polymérisation de la peinture en poudre. Il fonctionne au gaz et est contrôlé automatiquement par un thermostat, permettant de maintenir une température stable et homogène à l'intérieur du four.



FIGURE 2.13 – Brûleur

## 2.4.2 Les Capteurs

Un capteur est un dispositif capable de détecter une grandeur physique ou chimique (comme la température, la pression, la position, la lumière, la vitesse, etc.) et de la convertir en un signal électrique exploitable par un système de traitement, tel qu'un automate ou un microcontrôleur. Les capteurs jouent un rôle essentiel dans les systèmes automatisés, car ils permettent à la machine de percevoir son environnement et d'agir en conséquence.

### - Capteur Fin de course TZ-8108

Le capteur TZ-8108 (voir la figure 2.14) est un interrupteur de position conçu pour résister aux environnements industriels. Ce produit se distingue par une fiabilité remarquable, caractérisée par une longévité mécanique éprouvée et une étanchéité certifiée IP67. Dans le cadre de notre système, cette technologie est employée afin de détecter les extrémités supérieure et inférieure du robot vertical. Cette détection permet, d'une part, d'assurer une mobilité verticale précise et sûre de la robotique et, d'autre part, de garantir l'efficacité et la fiabilité du processus. [9]



FIGURE 2.14 – Capteur fin de course

## - Thermocouple de type K

Dans le système de peinture automatique, un thermocouple de type K a été utilisé pour assurer la mesure et la régulation de la température à l'intérieur du four (voir la figure 2.15 [10]). Ce capteur est essentiel pour garantir que la poudre appliquée sur les extincteurs soit correctement polymérisée afin d'obtenir une finition solide, uniforme et résistante.

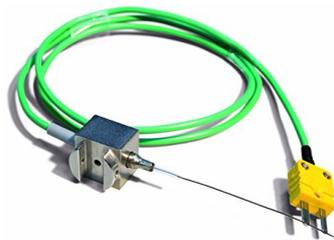


FIGURE 2.15 – OIR6500-01 Sonde thermocouple type K

## - Capteur inductif

Le système utilise un capteur de proximité inductif pour détecter le passage de chaque extincteur au niveau de l'entrée de la cabine de peinture (voir la figure 2.16 [11]). Il permet de compter les pièces entrantes afin de déclencher automatiquement l'arrêt de la chaîne lorsque trois extincteurs sont détectés.



FIGURE 2.16 – Capteur inductif

### 2.4.3 Composants électriques de l'armoire

#### - Contacteur ICIE0910MS de Schneider Electric

Le contacteur ICIE0910MS de Schneider Electric (voir la figure 2.17) est un dispositif électromécanique utilisé pour le contrôle des circuits de puissance. Dans le contexte des installations industrielles, ce dispositif est amplement employé pour la gestion à distance de la mise sous tension ou de la désactivation de charges électriques. Celles-ci comprennent notamment des moteurs et des résistances. [12]



FIGURE 2.17 – Contacteur Schneider

#### - Relais thermique Schneider

Le relais thermique LRE14 de Schneider Electric est un dispositif de protection contre les surcharges prolongées des moteurs (voir la figure 2.18). Il est généralement utilisé en combinaison avec un contacteur pour assurer la coupure automatique du moteur en cas d'échauffement anormal. [13]



FIGURE 2.18 – Relais thermique Schneider

## - Disjoncteur

Un disjoncteur est un appareil électronique qui sert à protéger les circuits électriques en cas de surcharge ou de court-circuit avec une coupure automatique. Il est composé d'un interrupteur électromécanique avec un système de déclenchement thermique ou magnétique. Si le courant électrique qui circule dans le circuit dépasse la capacité maximale du disjoncteur, le système de déclenchement se déclenche pour couper le courant électrique et éviter toute dégradation du circuit (voir la figure 2.19).



FIGURE 2.19 – Disjoncteur

## - Alimentation 24VDC / 10A

L'appareil d'alimentation BOTRIC/NAVEX 24 VDC - 10 A est un module d'alimentation destiné à un usage industriel. Sa fonction est de transformer la tension électrique du réseau de distribution (généralement 220 V en courant alternatif) en courant continu de 24 V, avec une intensité maximale de 10 A. Ce type d'alimentation est conçu pour répondre aux exigences des systèmes d'automatisme et de contrôle (voir la figure 2.20).



FIGURE 2.20 – Alimentation NAVEX

## - Relais à 8 Broches

Ce relais électromécanique de la série Harmony (réf. RSB, 8A, 12VDC, 2 contacts NO) a été créé dans le but de diminuer l'encombrement des armoires électriques et d'améliorer la fiabilité et les performances des machines (voir la figure 2.21). Grâce à sa compacité et à sa facilité d'intégration, il offre la possibilité d'ajouter plus de fonctionnalités dans l'équipement actuel. Il est bien adapté aux applications industrielles qui nécessitent une augmentation du traitement logique ou du nombre de contacts de sortie. [14]



FIGURE 2.21 – Relais à 8 Broches

## - Variateur de vitesse ( POWTRAN PI130)

Le variateur de vitesse, dispositif électronique, permet le contrôle de la vitesse, du couple et, dans certains cas, du sens de rotation d'un moteur électrique asynchrone. L'appareil en question ajuste la fréquence et la tension fournies au moteur (voir la figure 2.22 [15]). Cette fonctionnalité permet une adaptation fine de son fonctionnement aux besoins réels de la machine ou du procédé. [15]



FIGURE 2.22 – Variateur de fréquence

Dans notre système de peinture automatique, le variateur de vitesse POWTRAN PI130 joue un rôle essentiel dans la gestion du moteur principal qui entraîne la chaîne. Il permet

d'ajuster précisément la vitesse de défilement selon les besoins du procédé, assurant ainsi une application homogène et contrôlée de la peinture sur les pièces. De plus, ce variateur intègre des fonctions de protection moteur (surcharge, surchauffe, surtension...), ce qui contribue à la sécurité et à la durabilité de l'équipement.

#### 2.4.4 Système d'injection de poudre (Machine de pulvérisation de poudre électrostatique)

La machine de pulvérisation de poudre électrostatique est un équipement industriel utilisé pour appliquer une peinture en poudre sur des surfaces métalliques à l'aide d'un champ électrostatique (voir la figure 2.23 [16]). Ce procédé garantit une couverture uniforme, une excellente adhérence et une finition de haute qualité. [16]



FIGURE 2.23 – Machine de pulvérisation de poudre électrostatique

#### Caractéristiques techniques

Le tableau 2.5 ci-dessous présente les principales caractéristiques techniques de la machine de pulvérisation de poudre électrostatique utilisée dans le système.

**TABLEAU 2.5** – Caractéristiques techniques de la machine de pulvérisation de poudre électrostatique

Caractéristique	Détail
Tension d'entrée	AC 110V / 220V, 50/60 Hz
Puissance d'entrée	40–50 W
Tension de sortie	0–100 kV (réglable)
Courant de sortie max.	150 $\mu$ A
Capacité du réservoir	45–50 L (acier inoxydable)
Débit de poudre	Jusqu'à 450–550 g/min
Poids du pistolet	Environ 480 g
Longueur du câble du pistolet	4 m
Température de fonctionnement	-10°C à 45°C
Mobilité	Châssis avec roues pivotantes
Accessoires inclus	Pistolet, buses, pompe, régulateur, tuyaux

### Principe de fonctionnement

Le principe repose sur l'utilisation d'un pistolet électrostatique qui charge électriquement la poudre de peinture à haute tension. Lorsque cette poudre sort du pistolet, elle est attirée par l'objet métallique mis à la masse (ici, l'extincteur), formant une couche homogène sur toute sa surface. L'adhérence est améliorée par la force électrostatique, puis la pièce est envoyée dans un four pour polymériser la peinture.

### Utilisation dans notre projet

Dans le cadre de notre système de peinture automatique, cette machine est utilisée dans la cabine de pulvérisation pour appliquer la peinture sur les extincteurs de manière homogène et sans contact manuel. Elle est commandée par un automate programmable qui contrôle la durée de pulvérisation et l'activation du pistolet. L'utilisation de cette technologie permet :

- Une application rapide et uniforme de la poudre.
- Une réduction significative du gaspillage de matière.
- Une amélioration de la sécurité et de l'ergonomie pour les opérateurs.
- Une meilleure qualité de finition du produit final.

## 2.5 Étude électrique du système

### 2.5.1 Objectif du schéma électrique

Le schéma électrique du système de peinture automatique a pour but de garantir

- **La sécurité** des équipements et des opérateurs en intégrant des protections adéquates (disjoncteurs, contacteurs, relais thermiques,...).
- **Le pilotage** efficace de l'ensemble des actionneurs (convoyeur, robot, moteur de rotation, système de peinture, four).
- Une logique de **commande fiable**, assurée par un automate Delta DVP-14SS2, permettant un enchaînement automatique des opérations.

Ce schéma sert également de référence pour le câblage physique, le dépannage, et les opérations de maintenance.

### 2.5.2 Logiciel utilisé : QElectroTech

QElectroTech est un logiciel libre et open-source destiné à la création de schémas électriques pour l'industrie, l'automatisme, l'électrotechnique ou encore l'enseignement technique. Il permet de concevoir avec précision des schémas de puissance, de commande, de distribution, de signalisation ou encore de contrôle-commande (voir la figure 2.24 [17]). Parmi ses principales fonctionnalités, on trouve :

- Une bibliothèque riche de symboles normalisés, couvrant une grande variété de composants électriques (contacteurs, relais, moteurs, boutons, capteurs, etc.).
- La possibilité de créer ses propres éléments personnalisés, adaptés à un projet spécifique.
- Une interface intuitive permettant de glisser-déposer les composants et de réaliser des connexions rapidement.
- La gestion de projets multi-pages, très utile pour séparer les différentes parties d'un système (puissance, commande, automatisme).
- L'export facile au format PDF ou image, pour l'intégration directe dans les rapports et mémoires.

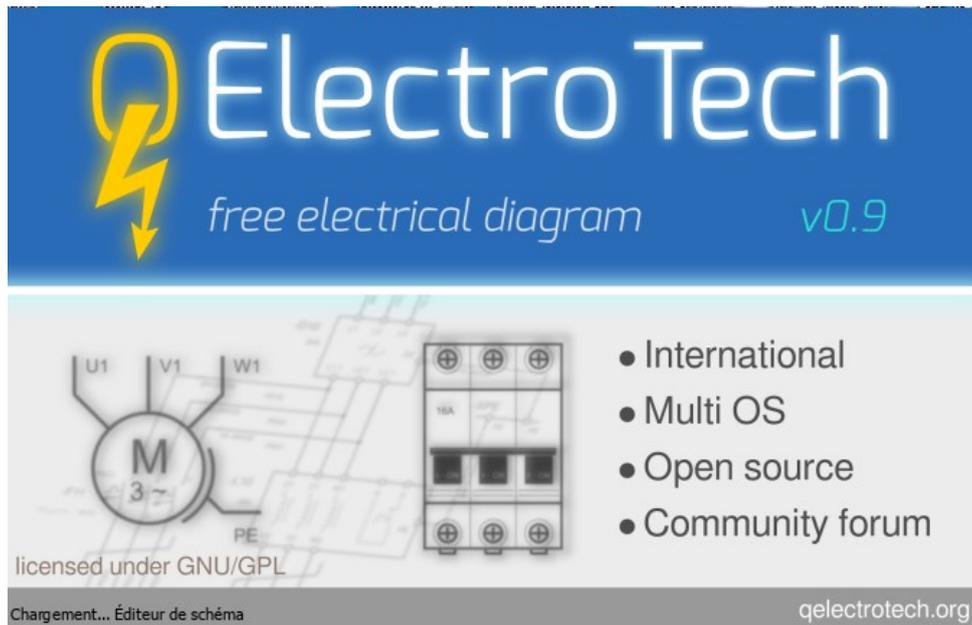


FIGURE 2.24 – LogicielQElectroTech V0.9

Ce logiciel est particulièrement apprécié dans les environnements académiques et professionnels grâce à sa **gratuité**, sa **flexibilité**, et sa **conformité** avec les standards industriels.

Dans ce projet, QElectroTech a été utilisé pour concevoir l'ensemble du schéma électrique du système automatique de peinture, en distinguant clairement les parties puissance et commande, tout en respectant les normes de sécurité électrique. [17]

## 2.5.3 Division du schéma : puissance et commande

### 2.5.3.1 Partie Puissance

La partie puissance regroupe l'ensemble des circuits électriques assurant l'alimentation et le pilotage en énergie des actionneurs principaux du système de peinture automatique. Cette section comprend plusieurs pages de schémas, chacune correspondant à une fonction ou un sous-ensemble spécifique.

#### — Schéma d'alimentation générale

Cette page présente le circuit d'alimentation principal du système. Elle comprend les protections générales, les disjoncteurs, et l'alimentation des différents départs moteurs comme illustré à la figure 2.25.

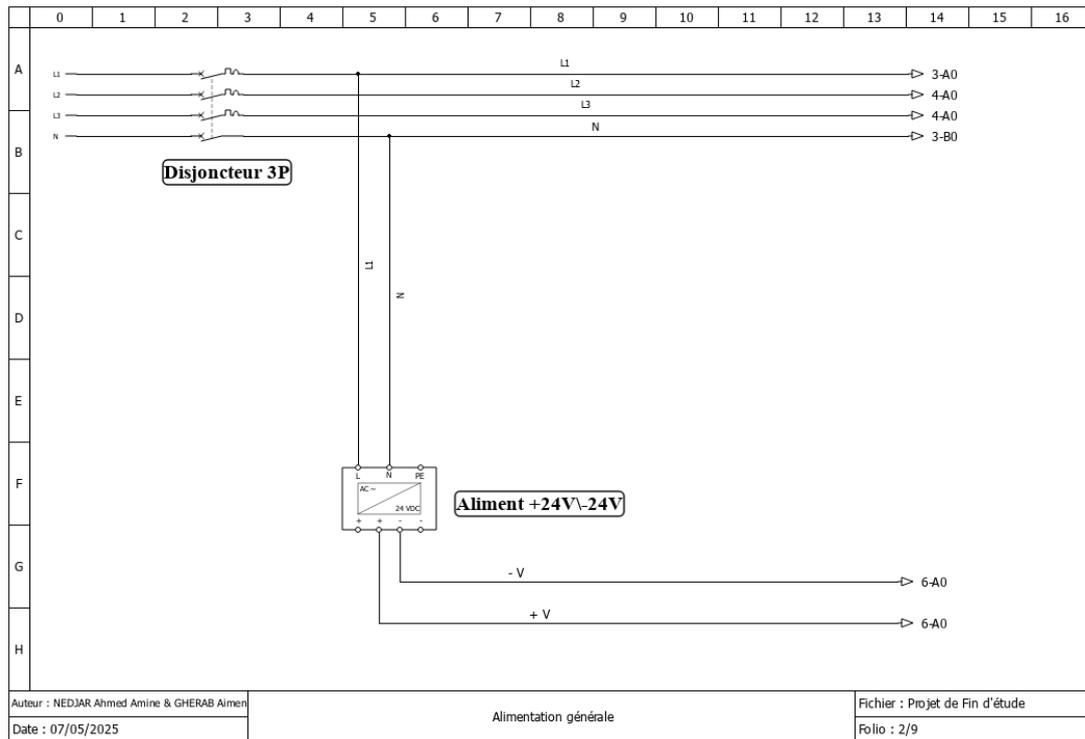


FIGURE 2.25 – Schéma d'alimentation générale

### — Schéma de puissance du moteur 1 – Convoyeur

Ce schéma représente la puissance dédiée au moteur principal, responsable du déplacement des extincteurs le long du convoyeur. Afin de réguler la vitesse de production, le moteur est piloté par un variateur de vitesse, qui permet une commande fluide et adaptable en fonction du processus (Voir la figure 2.26).

#### Caractéristiques du variateur de vitesse

Le variateur utilisé est un POWTRAN INVERTER, modèle PI130-0R4G1. Sa désignation donne les informations suivantes :

- **PI** : POWTRAN INVERTER (nom de la gamme).
- **130** : série du modèle.
- **G** : version standard.
- **1** : niveau de tension d'entrée monophasé 220 V.

Ce variateur est donc adapté aux petits moteurs monophasés et permet un contrôle de vitesse précis pour les applications légères comme un convoyeur.

#### Connexions électriques

Dans le schéma de puissance :

- La phase (L) est connectée à l'entrée S du variateur.
- Le neutre (N) est relié à la borne GND du variateur.
- Les sorties U, V et W du variateur sont reliées aux bornes du moteur triphasé, ce

qui permet une alimentation modulée selon la fréquence et la tension imposées par le variateur.

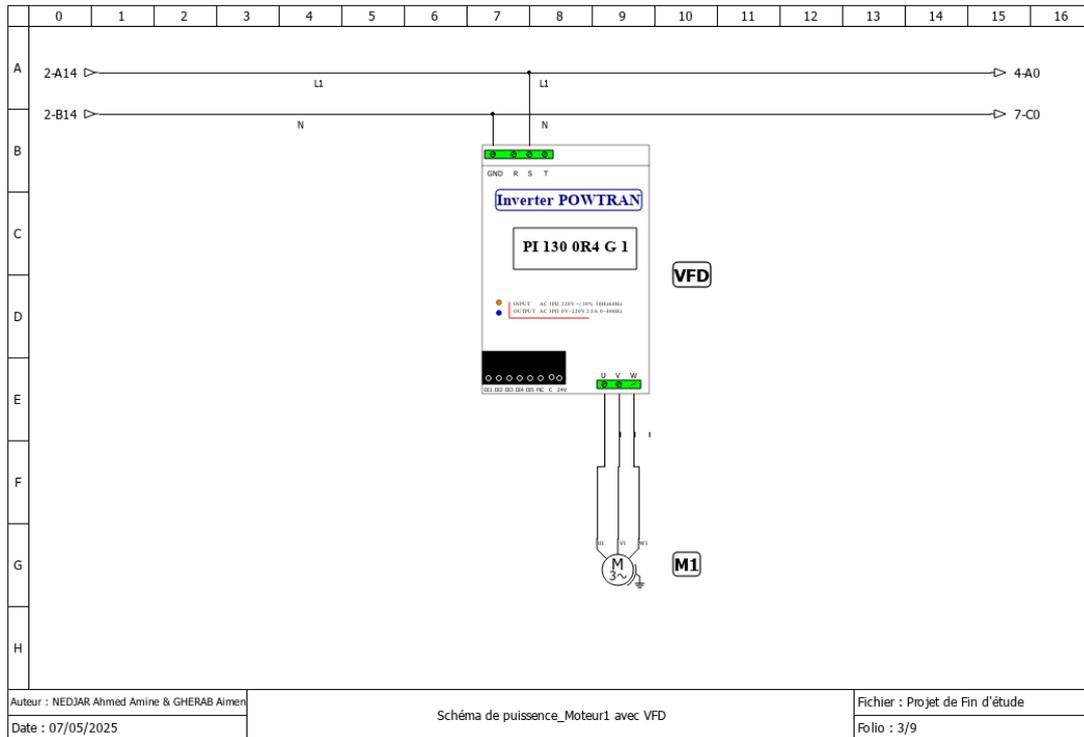


FIGURE 2.26 – Schéma de puissance du moteur 1 – Convoyeur

— Schéma de puissance du moteur 3 – Robot vertical

Ce moteur commande le mouvement vertical du robot, permettant la montée et la descente de la tête de pulvérisation. Il fonctionne en deux sens de marche grâce à deux contacteurs inversés, commandés en logique pour éviter les conflits. Le schéma présente les liaisons de puissance avec protection thermique, disjoncteur moteur, et câblage des deux sens (Voir la figure 2.27).

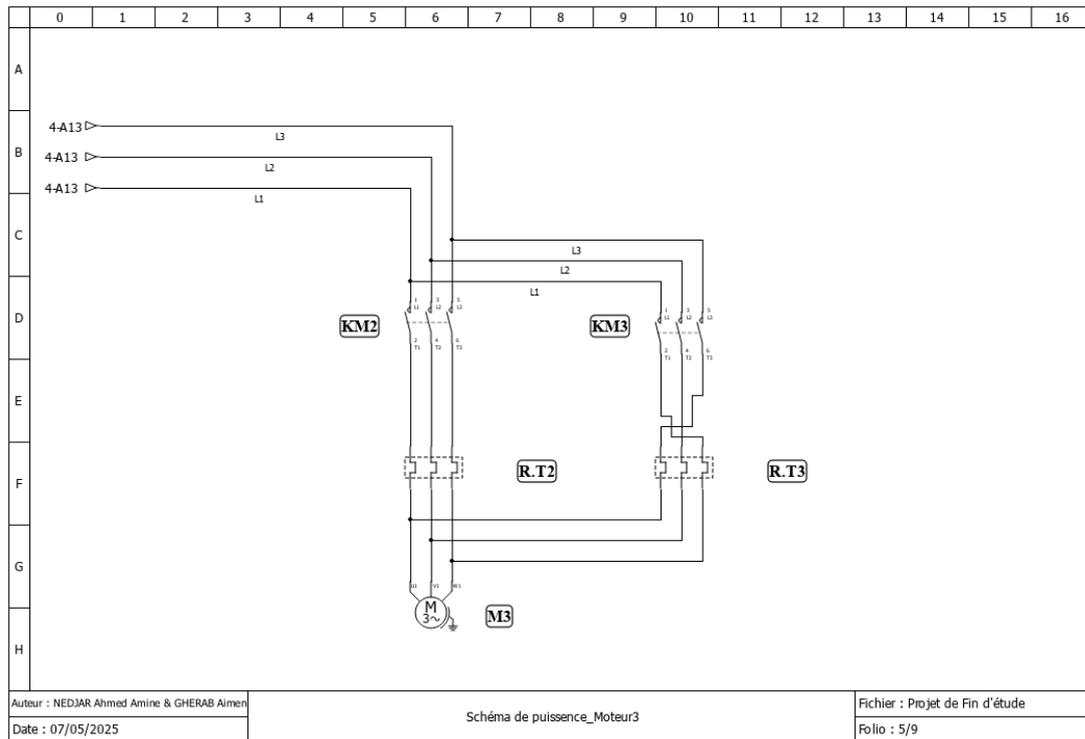


FIGURE 2.27 – Schéma de puissance du moteur 3 – Robot vertical

### 2.5.3.2 Partie Commande

Dans cette section, nous présentons la logique de commande du système de peinture automatisé à travers des schémas réalisés sous QElectroTech. Ces schémas montrent le câblage entre les sorties/entrées de l'automate, les relais de protection, les contacteurs, les capteurs et les actionneurs.

— **Sorties de l'automate et commande du moteur M1 (convoyeur via variateur)**

Ce schéma illustre comment les sorties de l'automate sont reliées aux différents organes de puissance à travers des relais de sécurité à 14 broches. Chaque sortie pilote une bobine de relais, qui ferme un contact à sa sortie pour activer les contacteurs des actionneurs (Voir La figure 2.28).

— **Y0** : Commande envoyée au variateur de M1 via l'entrée digitale DI1. La borne COM du variateur est reliée au -V de l'alimentation des entrées logiques.

— **Y1** : Commande du moteur de rotation à travers le contacteur KM1.

— **Y2** : Activation du moteur de montée du robot via KM2.

— **Y3** : Activation du moteur de descente du robot via KM3.

— **Y4** : Mise en marche du système d'injection de peinture.

— **Y5** : Démarrage du four de séchage.

Chaque sortie est protégée par un relais, ce qui permet de garantir l'isolation et la sécurité des composants en aval.

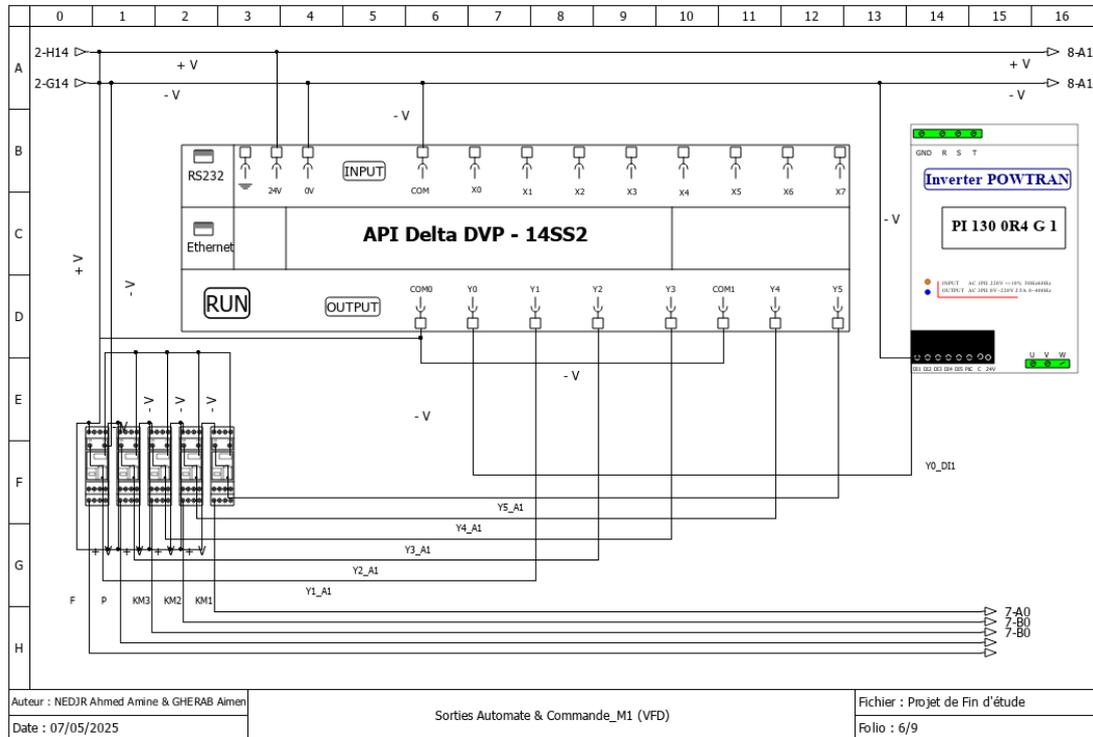


FIGURE 2.28 – Sorties de l'automate et commande du moteur M1

— Schéma de commande des moteurs M2 et M3 (rotation et robot double sens)

Dans cette page, nous présentons la commande des moteurs qui nécessitent une inversion de sens :

- M2 (rotation des extincteurs dans la cabine de peinture) est géré par une commande simple ON/OFF (via Y1).
- M3 (robot vertical) fonctionne en deux sens : montée (Y2) et descente (Y3), activés séparément via deux contacteurs, avec interverrouillage électrique (dans la logique automate) pour éviter les conflits de commande.

La figure 2.29 présente le schéma de commande des moteurs M2 et M3.

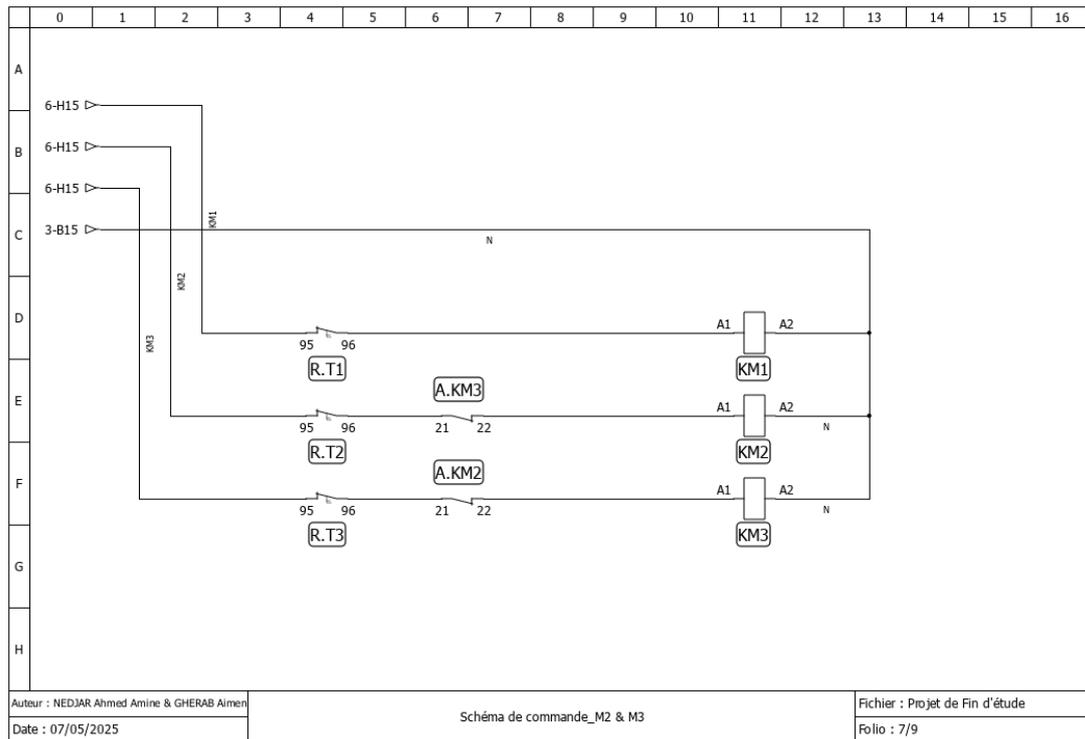


FIGURE 2.29 – Schéma de commande des moteurs M2 et M3

### — Câblage des capteurs – Entrées automate

Ce schéma montre la connexion des différents capteurs utilisés pour détecter les états du système :

- **X2** : Capteur inductif pour la détection de la présence de bouteille sur le convoyeur.
- **X3** : Fin de course haut du robot.
- **X4** : Fin de course bas du robot.

Les capteurs utilisés dans le système jouent un rôle essentiel dans la gestion automatique du processus. Ils sont reliés aux entrées digitales de l'automate (notamment X2, X3 et X4) et permettent de déclencher ou arrêter certaines actions en fonction des conditions détectées en temps réel. Deux types principaux de capteurs sont présents : des capteurs de fin de course mécaniques pour le robot, et un capteur inductif pour la détection des bouteilles sur le convoyeur. Les fins de course, de type contact normalement ouvert, sont positionnés en haut et en bas de la course verticale du robot. Lorsqu'ils sont actionnés par le passage du robot (lorsqu'il monte ou descend), ils ferment le contact et envoient un signal à l'automate, indiquant que le robot est arrivé à l'extrémité de sa trajectoire. Le capteur inductif, quant à lui, est un détecteur de proximité sans contact, généralement alimenté en 24 V, avec trois fils : **BN (brun)** pour le +24V, **BU (bleu)** pour le 0V, et **BK (noir)**

qui correspond à la sortie de détection. Lorsqu'un objet métallique (comme un extincteur) passe à proximité du capteur, celui-ci détecte sa présence et envoie un signal logique haut vers l'entrée digitale de l'automate. Ces capteurs garantissent un fonctionnement automatique, précis et sécurisé de l'ensemble du système (Voir La figure 2.30).

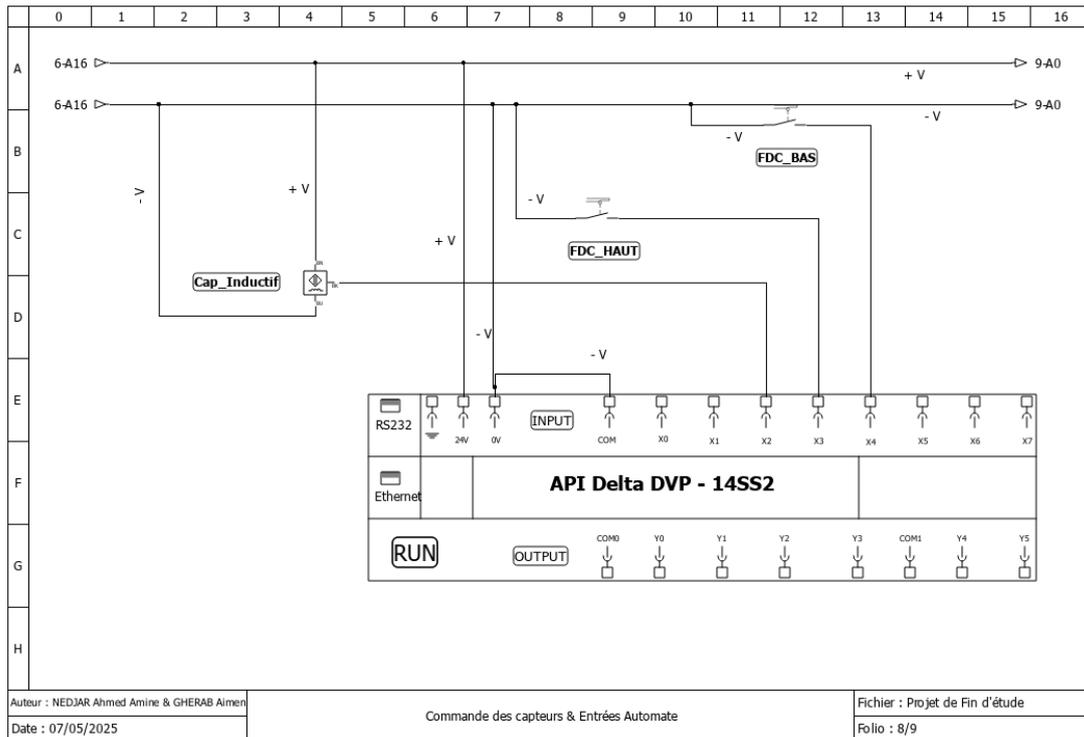


FIGURE 2.30 – Câblage des capteurs – Entrées automate

### — Communication entre l'automate et l'IHM

Cette page présente le câblage et la configuration de la liaison série entre l'automate programmable (API) et l'interface homme-machine (IHM), indispensable pour la supervision et le contrôle à distance de l'installation. L'IHM utilisée est de marque Samkoon, et le développement de l'interface s'est effectué via le logiciel SKTOOL, spécifique à cette gamme. La communication est assurée via le **port série RS-232**, un standard couramment utilisé en automatisme industriel en raison de sa fiabilité et de sa facilité d'implémentation. Le **câble de liaison est de type DB9**, avec une fiche mâle côté automate et femelle côté IHM, tandis que la connexion au terminal IHM s'effectue via un connecteur Mini-DIN à 8 broches selon les spécifications du fabricant. Le **protocole de communication est Modbus RTU**, très répandu pour l'échange de données en temps réel dans les architectures industrielles, ou bien le protocole propriétaire Samkoon, intégré nativement dans le

logiciel SKTOOL et assurant une compatibilité optimale avec les automates Delta. **La connexion est de type point à point**, assurant une communication directe et exclusive entre l'automate et l'IHM, sans passerelle intermédiaire. Cette liaison permet de visualiser en temps réel l'état des capteurs, moteurs, temporisations, et compteurs, mais aussi de modifier des paramètres critiques (comme la durée de chauffage du four) ou de réinitialiser des compteurs, offrant ainsi une interface de pilotage conviviale et sécurisée pour l'opérateur. L'intégration de cette communication dans le système de peinture assure une supervision efficace tout en maintenant un haut niveau d'ergonomie et de flexibilité opérationnelle.

La figure 2.31 illustre la liaison série entre l'automate et l'IHM Samkoon.

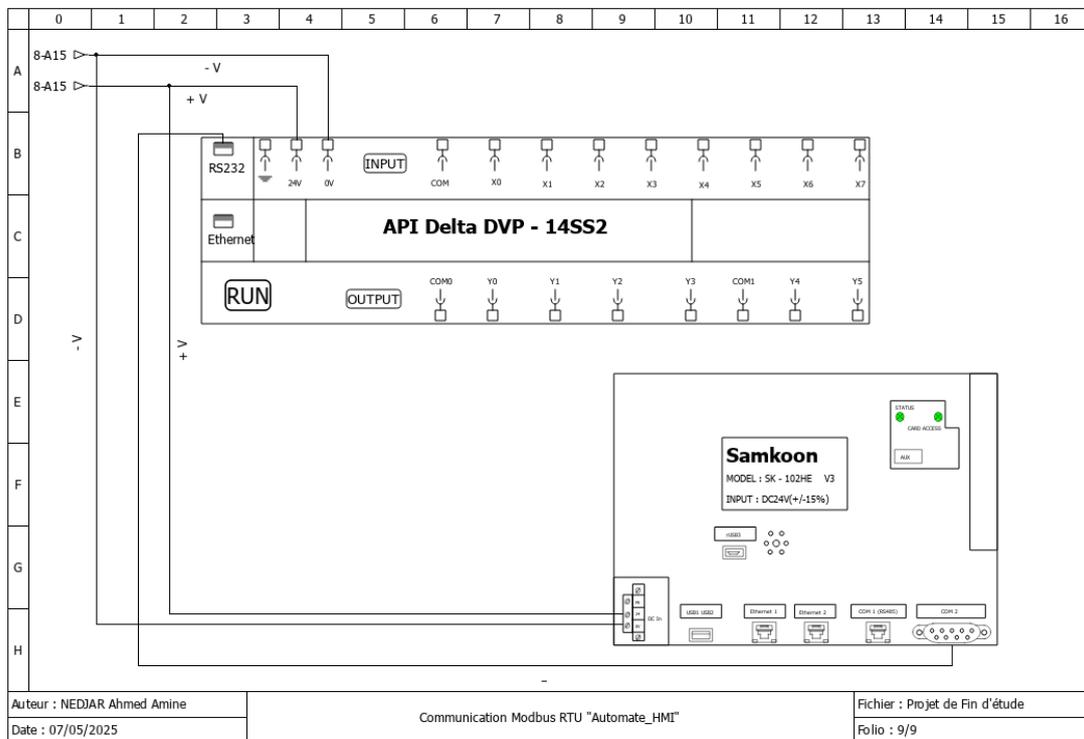


FIGURE 2.31 – Communication entre l'automate et l'IHM

## 2.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé les différentes étapes de la conception d'un système de peinture automatique, en partant d'une analyse détaillée des besoins industriels. Cette analyse nous a permis de définir les objectifs du système, ses contraintes techniques, et les performances attendues en termes de cadence, de qualité d'application et de sécurité des opérateurs.

La modélisation globale du système, réalisée à l'aide du logiciel SolidWorks, a per-

mis de visualiser et d'optimiser l'implantation des sous-systèmes : convoyeur motorisé, cabine de peinture, robot vertical, système de rotation des extincteurs et four de cuisson. Chaque élément a été conçu en tenant compte des contraintes d'espace, de robustesse et d'intégration fonctionnelle.

Le choix des composants a été fait selon des critères de fiabilité, de compatibilité industrielle et de facilité de maintenance. Des moteurs triphasés, des capteurs de position, et un automate programmable industriel ont été retenus pour assurer un fonctionnement automatisé et sécurisé. De plus, une attention particulière a été portée à l'étude électrique du système à travers la réalisation de schémas de commande et de puissance avec le logiciel QElectroTech.

En résumé, ce chapitre constitue une étape fondamentale dans le projet, en fournissant une base technique complète et cohérente pour la mise en œuvre effective du système. Le prochain chapitre portera sur l'automatisation, la programmation et l'intégration logique du processus afin d'assurer le pilotage autonome de l'ensemble de la chaîne de peinture.

## Chapitre 3

# Automatisation du processus et intégration de la supervision

## 3.1 Introduction

Ce chapitre traite de la mise en œuvre de la chaîne de peinture automatique dédiée aux extincteurs, depuis la réalisation physique du système jusqu'à son automatisation complète. La phase de réalisation consiste à mettre en place les différentes composantes mécaniques, électriques et pneumatiques du processus, en veillant à leur bon agencement afin d'assurer une production fluide, fiable et performante.

L'automatisation vise à contrôler l'ensemble de la chaîne de manière séquentielle et optimisée, en assurant la coordination précise des différentes étapes du cycle de peinture. Elle permet d'augmenter la cadence, de garantir une qualité constante du produit fini et de limiter les interventions humaines, sources d'erreurs ou de variabilité.

Par ailleurs, l'intégration d'un système de supervision renforce le pilotage global en offrant une visualisation en temps réel des états du système, la gestion des alarmes, ainsi qu'un accès simplifié aux paramètres de production. Ce dispositif permet une interaction efficace entre l'opérateur et le système automatisé.

Ainsi, cette approche combinée — automatisation et supervision — constitue une solution moderne, conforme aux exigences actuelles de l'industrie, et adaptée aux besoins d'un process fiable, évolutif et intelligent.

## 3.2 Étude de l'automatisation du système

### 3.2.1 Définition et principes de l'automatisation

L'automatisation est le remplacement du travail humain par la technologie. Les entreprises se servent de l'automatisation pour améliorer leur efficacité et leur précision, tout en réduisant les coûts et le stress. Les méthodes courantes d'automatisation comprennent la robotique, les logiciels d'automatisation des processus et les solutions d'automatisation intelligentes, comme l'IA et le machine learning. L'automatisation est devenue un élément essentiel de la modernité, avec d'importantes améliorations, améliorées à l'efficacité, à la productivité et la sécurité, particulièrement dans divers domaines industriels. Les systèmes automatisés sont conçus pour effectuer des tâches en temps réel, superviser et contrôler les processus ou les équipements, ainsi que pour collecter et analyser les informations. [18]

### 3.2.2 Objectifs de l'automatisation

L'automatisation des systèmes de production a émergé en réponse aux évolutions du contexte industriel et aux exigences de compétitivité. Ces systèmes automatisés ont deux

objectifs principaux : augmenter la productivité en réduisant les coûts, en améliorant la fiabilité, la disponibilité et la qualité, tout en renforçant la sécurité des opérateurs en les éloignant et en les protégeant des zones de transformation du produit. [19]

L'automatisation est largement adoptée dans de nombreux secteurs, notamment l'industrie manufacturière, les soins de santé, les transports et la logistique, l'agriculture, l'énergie, et bien d'autres encore .

### 3.2.3 Avantages et inconvénients de l'automatisation

Les avantages de l'automatisation des processus sont nombreux, mais nous pouvons en citer quelques-uns : a une longueur d'avance sur les points suivants :

- L'efficacité des machines qui peuvent effectuer des activités répétitives en peu de temps sans erreur, cela réduit le temps de production, améliore la production et minimise les erreurs.
- Elle permet de réduire le coût de production en diminuant le coût des main-d'œuvre humaine, tels que les salaires, les avantages sociaux, la formation et les coûts de recrutement.
- Les machines peuvent fournir un niveau de qualité élevé et constant, ce qui permet à d'améliorer la qualité des produits ou des services.
- L'automatisation peut minimiser les risques pour la sécurité en éliminant les tâches dangereuses pour les opérateurs, telles que la manipulation de produits chimiques dangereux ou la manipulation de machines lourdes.

L'automatisation peut contribuer à améliorer l'efficacité, à réduire les coûts et à améliorer la qualité, pour améliorer la sécurité, pour accroître la flexibilité et pour réduire l'impact environnemental mental. Cependant, l'automatisation des processus présente certains inconvénients :

- Les coûts initiaux d'installation et de configuration des systèmes d'automatisation peuvent être élevés, ce qui peut constituer un obstacle pour les petites entreprises.
- L'automatisation peut entraîner une augmentation des pertes d'emploi, car les machines peuvent se substituer à certains emplois occupés auparavant par des travailleurs humains. Les compétences spécifiques à certaines professions peuvent être perdues puisque les travailleurs humains n'ont plus besoin de les apprendre. Cela entraîne une perte d'expertise et de connaissances dans des secteurs spécifiques. [19]

### 3.2.4 Structure générale d'un système automatisé

Un système automatisé industriel repose sur l'interaction de trois parties fondamentales : la **Partie Relation (P.R)**, la **Partie Commande (P.C)** et la **Partie Opérative (P.O)**.

La **Partie Relation (P.R)** constitue l'interface entre l'homme et la machine. Elle regroupe l'ensemble des dispositifs permettant la communication dans les deux sens : des capteurs opérateurs (boutons, voyants, commutateurs) jusqu'aux dispositifs de signalisation visuels ou sonores. Cette partie est généralement intégrée dans un pupitre de commande, facilitant l'exploitation et la supervision du système.

La **Partie Commande (P.C)** est le centre décisionnel du système. Elle reçoit les informations issues des capteurs de la P.R et de la P.O, les traite à l'aide d'un programme logique, puis émet des ordres vers la Partie Opérative. Elle comprend principalement des automates programmables industriels (API) qui assurent le traitement logique, le contrôle des enchaînements et la coordination des différentes fonctions.

La **Partie Opérative (P.O)** exécute les tâches physiques sur le produit. Elle regroupe tous les actionneurs (vérins, moteurs, électrovannes) et les capteurs machines chargés de suivre et vérifier les actions effectuées. Cette partie est responsable de la transformation de l'énergie (électrique, pneumatique, hydraulique) en mouvement ou en travail réel.

Aujourd'hui, il est difficile d'imaginer une chaîne de production moderne sans recourir à ces trois composantes essentielles, tant elles sont intégrées dans de nombreux domaines industriels comme l'automobile, l'aviation, le médical ou encore le transport.

La figure 3.1 ci-dessous représente un schéma type d'un système automatisé, illustrant l'intégration optimale de ces trois parties dans les différents secteurs industriels.

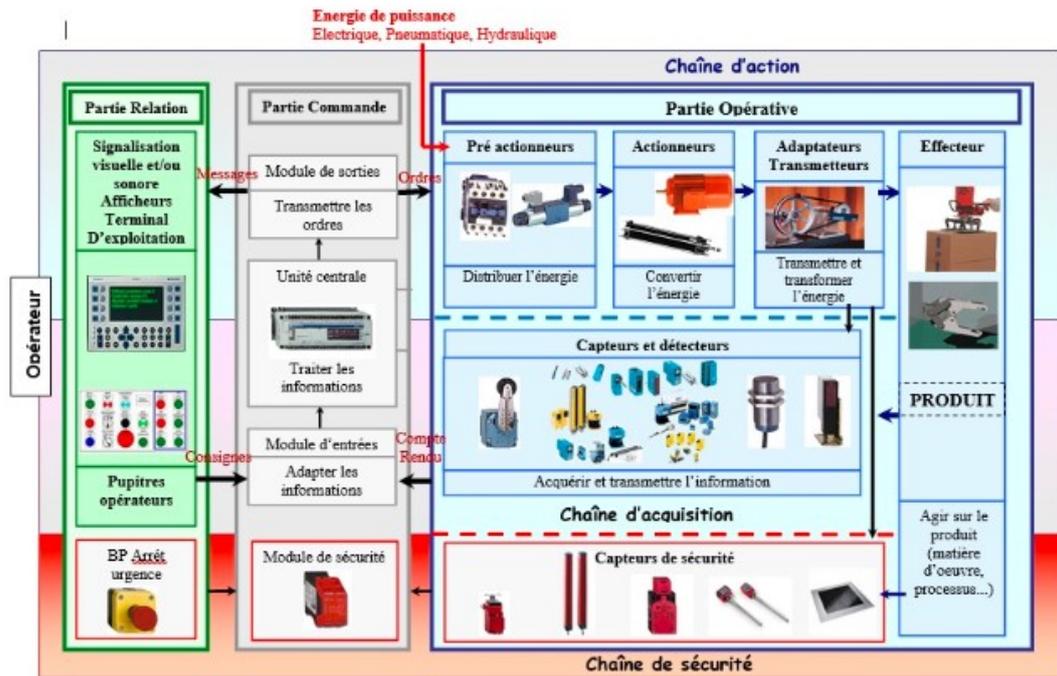


FIGURE 3.1 – Un schéma d'un système automatisé

### 3.3 Étude de l'automate programmable industriel (API)

#### 3.3.1 Généralités sur les API

Un automate programmable un élément indispensable dans ce domaine d'automatisation, c'est un appareil dédié au contrôle d'une machine ou d'un processus industriel, constitué de composants électroniques, comportant une mémoire programmable par un utilisateur non informaticien, à l'aide d'un langage adapté. En d'autres termes, un automate programmable est un calculateur logique, ou ordinateur, au jeu d'instructions volontairement réduit, destiné à la conduite et la surveillance en temps réel de processus industriels. [20]

La figure 3.2 ci-dessous illustre le rôle général d'un automate programmable industriel.

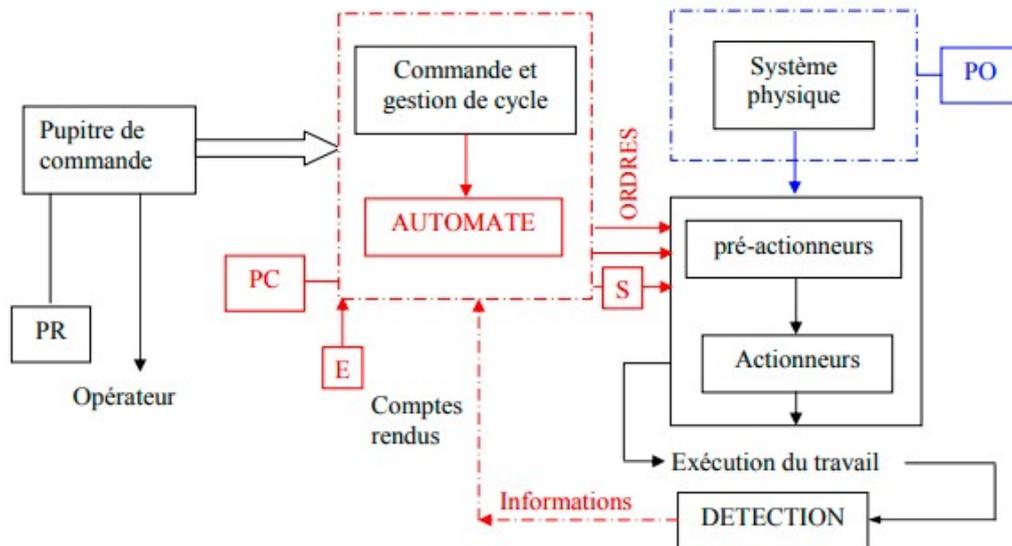


FIGURE 3.2 – Situation de l'automate dans un système automatisé de production

### 3.3.2 Structure interne d'un API

Cet ensemble électronique a pour fonction de gérer et d'assurer la commande d'un système automatisé. L'appareil se compose de plusieurs parties, dont une mémoire programmable. Cette mémoire permet à l'opérateur d'écrire, dans un langage spécifique à l'automate, des directives concernant le déroulement du processus à automatiser. Dans le cadre de ses fonctions, l'individu en question est tenu de dispenser des instructions à la partie opérative, en vue de l'accomplissement d'une tâche méticuleuse. À titre d'illustration, ladite tâche peut consister en la sortie ou la rentrée d'une tige de vérin, ou encore l'ouverture ou la fermeture d'une vanne. Dans le cadre de la démarche méthodique entreprise, la partie opérationnelle se verra attribuer, en contrepartie, un ensemble d'informations spécifiques concernant l'exécution du travail mentionné précédemment. [21]

Les API sont constitués de quatre éléments qui garantissent leur fonctionnalité :

- **La mémoire** : Elle stocke le programme utilisateur et les données nécessaires à l'exécution du cycle automatique. Elle se compose de la mémoire de travail, de la mémoire système et de la mémoire de sauvegarde.
- **Processeur (CPU)** : C'est le cœur de l'API. Il exécute de manière répétée le programme en mémoire, en traitant les signaux d'entrée et en générant les commandes vers les sorties.
- **Interfaces Entrées/Sorties (E/S)** : Elles servent à l'échange de données entre l'automate et le système automatisé. Les entrées sont les endroits où les capteurs

(boutons, détecteurs.) transmettent les signaux, et les sorties sont les endroits où les actionneurs (moteurs, lumières.) sont actionnés.

- **Power supply ou Alimentation** : Elle prend la tension du secteur (généralement 240 Vca) et la fournit en une tension continue constante (généralement 24 Vcc) nécessaire pour alimenter les circuits internes de l'API et quelques capteurs.

La figure 3.3 illustre la structure interne d'un automate programmable industriel.

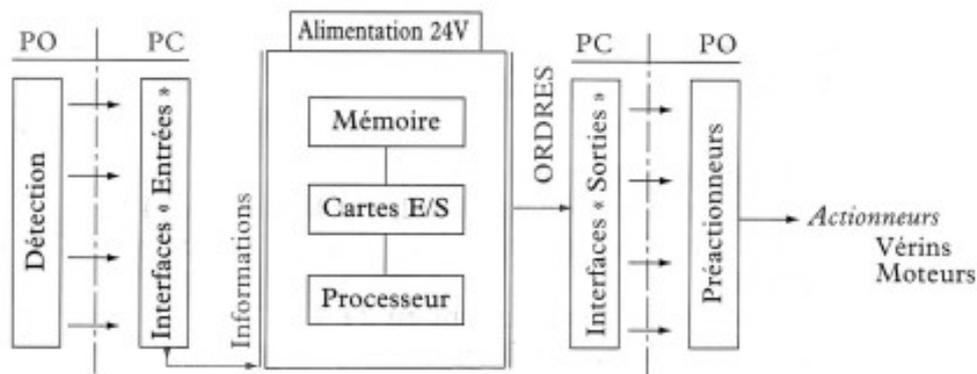


FIGURE 3.3 – Structure interne d'un API

### 3.3.3 Critères de choix d'un API

Il est essentiel pour tout projet d'automatisation de trouver l'automate programmable industriel (API) approprié. De nombreuses exigences de conception technique, économique, ainsi que fonctionnelles, s'y appliquent, toutes en relation avec le cahier de charges du projet. Dans le cadre de notre projet, à savoir l'automatisation de la chaîne de peinture des extincteurs, nous avons dû assurer le choix du bon API pour s'adapter à plusieurs critères essentiels.

#### 3.3.3.1 Nombre d'entrées/sorties (E/S)

Il convient d'évaluer le nombre total d'entrées et de sorties requis pour le contrôle du système. Notre application nécessite un nombre modeste de signaux :

- **Trois capteurs** : deux fins de course et un capacitif.
- **Trois moteurs** : pour le déplacement, la rotation et le robot.

Par conséquent, le besoin final total demeure des plus raisonnables qu'il ne nécessitera pas de certains automates dotés de modules supplémentaires onéreux et non nécessaires.

### 3.3.3.2 Type de signaux à traiter

Les capteurs et actionneurs utilisés génèrent des signaux de type TOR (Tout ou Rien). Il est donc judicieux d'opter pour un API compatible avec ces signaux, simplifiant le traitement et le câblage.

### 3.3.3.3 Temps de cycle et vitesse de traitement

Même si la chaîne de peinture n'exige pas une vitesse de traitement extrême, il est important que l'API soit capable de réagir en temps réel aux événements du processus pour assurer un fonctionnement fluide, sans décalages ni erreurs de synchronisation.

### 3.3.3.4 Capacité de communication

L'API doit pouvoir communiquer avec d'autres dispositifs comme une IHM ou un superviseur industriel. La prise en charge de protocoles standards comme Modbus (via RS-232/RS-485) est donc un avantage considérable.

### 3.3.3.5 Compatibilité logicielle et facilité de programmation

L'automate doit être facilement programmable avec des outils intuitifs. L'utilisation d'un logiciel gratuit, standardisé et accessible est primordiale dans un contexte pédagogique ou industriel à budget restreint.

### 3.3.3.6 Coût et scalabilité (évolutivité)

Le coût de l'équipement doit être justifié par ses performances. Pour un système de taille moyenne comme le nôtre, un automate simple, fiable et économique est préférable. Il est aussi intéressant de choisir un modèle évolutif, c'est-à-dire capable de s'adapter à une extension future du système sans devoir être remplacé intégralement.

### 3.3.3.7 Conclusion partielle

Si nous considérons les critères clés de l'automatisation de la chaîne de peinture : le nombre d'entrées/sorties nécessaires à gérer, la facilité de programmation et la fiabilité, la compatibilité et le coût, alors l'automate Delta DVP-14SS2 est une option appropriée. Compact et abordable, ce modèle dispose de 6 sorties et 8 sorties digitales, ce qui est suffisant pour connecter des capteurs, des actionneurs et des organe de commande. De plus, il est pris en charge par le logiciel WPLSoft, qui propose un environnement de programmation ladder simple contenant des fonctions prédéfinies avancées, y compris des

contacts de mémoire, des compteurs et des temporisateurs. Sa réputation de fiabilité et son faible encombrement en font une solution technique et économique idéale pour notre système automatisé.

## 3.4 L'automate utilisé dans le projet : Delta DVP-14SS2

### 3.4.1 Présentation des gammes d'automates Delta et des logiciels associés

Delta Electronics propose une large gamme d'automates programmables industriels (API) adaptés à différents niveaux d'automatisation, depuis les applications simples jusqu'aux systèmes complexes. Ces automates se distinguent par leur modularité, leur performance et leur compatibilité avec de nombreux protocoles de communication.

- **Série AX-5** : Automate modulaire haut de gamme intégrant des fonctions avancées pour l'Internet des objets (IoT), idéal pour les lignes de production complexes nécessitant un contrôle de plusieurs axes.
- **Série AH** : Automate de milieu de gamme à architecture modulaire, conçu pour les applications à haute exigence, avec extension à chaud et contrôle multi-axes via EtherCAT.
- **Série AS** : Automate compact et performant, adapté aux équipements d'emballage, de marquage ou pharmaceutiques, avec une excellente densité d'E/S et un contrôle de mouvement précis.
- **Série DVP** : Automate économique, largement utilisé dans l'industrie pour sa rapidité, sa stabilité et sa compatibilité avec les principaux standards industriels.

Pour la programmation, Delta fournit plusieurs environnements adaptés :

- **WPLSoft** : Recommandé pour la série DVP, simple et efficace.
- **ISPSoft et DIADesigner** : Logiciels plus complets, destinés aux autres séries, intégrant la configuration matérielle, la communication et la programmation selon la norme IEC 61131-3.

Ces outils offrent une interface claire et bien structurée, facilitant la programmation, le diagnostic et la maintenance des systèmes automatisés. [22]

### 3.4.2 Caractéristiques techniques du modèle DVP-14SS2

Dans le cadre de cette étude, il s'avère impératif de spécifier les caractéristiques techniques de l'automate sélectionné pour l'automatisation de la chaîne de peinture. Nous avons examiné la fiche technique du modèle Delta DVP-14SS2, qui est présentée ci-dessous.

L'objectif de ce document est de fournir des informations détaillées sur les caractéristiques techniques du produit. Ces caractéristiques comprennent notamment sa spécification, sa capacité d'entrée et de sortie, sa configuration électrique, ainsi que ses performances globales .

La figure 3.4 présente l'automate Delta DVP-14SS2, utilisé dans cette étude pour l'automatisation de la chaîne de peinture.



FIGURE 3.4 – Delta DVP-14SS2

### Modèle économique et compact

- CPU 32 bits pour un traitement à grande vitesse.
- Nombre maximal d'E/S : 480 points.
- Capacité du programme : 8 k pas.
- Registre de données : 5 k mots.
- Vitesse d'exécution : LD :  $0.35 \times 10^6$  s, MOV :  $3.4 \times 10^6$  s.
- Ports RS-232 et RS-485 intégrés (maître/esclave).
- Prise en charge du protocole MODBUS ASCII / RTU standard et de la fonction PLC Link.

### Fonctions de contrôle du mouvement

- 4 points de sortie d'impulsion 10 kHz.
- 8 points de compteurs à grande vitesse : 20kHz / 4 points, 10 kHz / 4 points.

Le tableau 3.1 résume la fiche technique de l'automate Delta DVP-14SS2, détaillant ses principales caractéristiques, telles que les entrées/sorties, la tension d'alimentation, la

consommation et les performances générales. [23]

TABLEAU 3.1 – Fiche technique de Delta DVP-14SS2

1-phase 1 input		1-phase 2 inputs		2-phase 2 inputs	
Counters	Bandwidth	Counters	Bandwidth	Counters	Bandwidth
4/4	20kHz / 10kHz	2	20kHz	2/2	10kHz / 5kHz

### 3.4.3 Choix du logiciel de programmation

#### 3.4.3.1 Outil de développement du programme de l'automate

Le logiciel **WPLSoft** est l'environnement de programmation développé par Delta Electronics pour la configuration et la programmation de ses automates de la série DVP. Conçu pour être intuitif, léger et accessible, WPLSoft permet de programmer en langage LD (Ladder Diagram) selon la norme IEC 61131-3, tout en offrant les fonctionnalités essentielles à l'automatisation industrielle telles que la configuration des E/S, la gestion des minuteriers, des compteurs, des contacts mémoire, ainsi que le diagnostic et le suivi en temps réel des programmes. Dans le cadre de notre projet, nous avons opté pour la version WPLSoft 2.52, parfaitement compatible avec le modèle Delta DVP-14SS2. Ce choix a été motivé par la simplicité d'utilisation du logiciel, sa stabilité, et sa légèreté, particulièrement adaptées à des systèmes compacts et économiques. De plus, WPLSoft 2.52 permet une **programmation rapide, un téléchargement fiable du code vers l'automate, et un suivi en ligne des variables internes**, ce qui facilite considérablement le développement, le test et le débogage du système de commande.

#### 3.4.3.2 Présentation de l'environnement WPLSoft

Le logiciel WPLSoft est l'environnement de développement dédié à la programmation des automates Delta de la série DVP. Conçu pour être à la fois ergonomique et performant, il permet de créer, simuler, tester et transférer des programmes en langage Ladder avec une grande efficacité. L'interface du logiciel s'organise autour de plusieurs zones fonctionnelles : une **barre d'outils** en haut de l'écran pour accéder rapidement aux principales fonctions (ouverture de projet, transfert vers l'automate, simulation, vérification de code), un **explorateur de projet** à gauche permettant de naviguer entre les blocs programmes, ressources mémoires et paramètres système, et une large **zone d'édition Ladder** au centre, où l'utilisateur construit graphiquement son programme à l'aide de symboles normalisés (contacts, bobines, temporisateurs, compteurs, etc.). WPLSoft propose également

un **mode moniteur en ligne** pour observer l'état réel du programme pendant l'exécution, avec surbrillance dynamique des éléments actifs, forçage de variables, et visualisation des valeurs internes (X, Y, M, T, C, D). Enfin, la **gestion des adresses mémoire** est facilitée par des fenêtres de paramétrage claires, permettant une édition rapide, un contrôle efficace et un débogage fiable. Grâce à sa structure organisée et ses outils intégrés, WPLSoft assure une programmation fluide et précise adaptée aux besoins de l'industrie. La figure 3.5 [24] présente l'icône représentative de l'environnement WPLSoft.

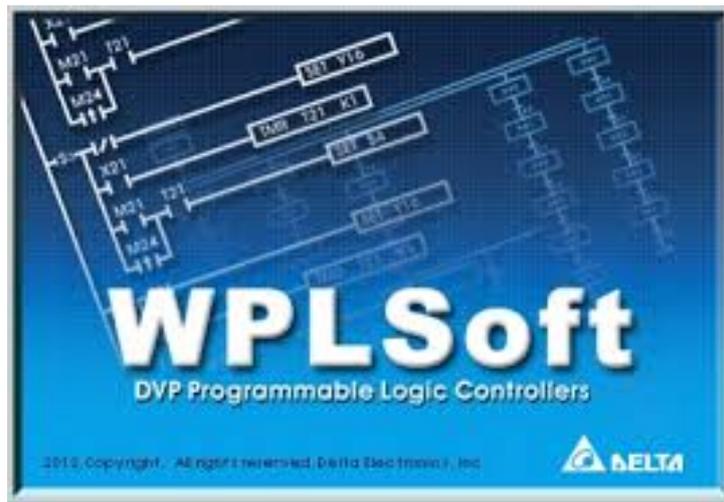


FIGURE 3.5 – Icône représentative de l'environnement WPLSoft

### 3.4.4 Langage de programmation utilisé

#### 3.4.4.1 Langage de programmation utilisé et blocs fonctionnels

Pour programmer notre système automatisé, nous avons eu recours au langage **Ladder (LD)**, conforme à la norme **IEC 61131-3**, qui spécifie les langages d'automates programmables industriels (API). En raison de sa clarté et de sa bonne appréhension par les techniciens de terrain, l'outil Ladder, s'inspirant des schémas de relais, a été choisi. Ce langage est particulièrement adapté pour modéliser des automatismes combinatoires et séquentiels simples, correspondant ainsi aux besoins du projet.

De plus, le logiciel WPLSoft permet donc aussi de travailler avec le langage **GRAFCET (SFC)** pour modéliser séquentiellement les processus, ce qui peut présenter des atouts pour des projets ayant besoin de cette représentation, nous avons intégré plusieurs blocs fonctionnels standards :

- **Les compteurs** : Ont été utilisés pour :
  - Compter le nombre de bouteilles entrant dans la cabine de peinture afin de déclencher automatiquement l'injection de peinture.

- Suivre le nombre de cycles effectués par le robot pour la gestion des séquences de peinture.
- Détecter le nombre de bouteilles introduites dans le four afin de lancer automatiquement son cycle de chauffe.
- **Les temporisateurs** : Ont servi à mesurer la durée de séjour des bouteilles dans le four, garantissant ainsi un traitement thermique adéquat avant leur sortie.

Ces blocs fonctionnels, disponibles dans le logiciel de programmation, ont permis d'assurer une logique fiable, modulaire et réutilisable, tout en facilitant la mise au point et la maintenance du système.

### 3.4.5 Configuration des entrées/sorties de l'automate

#### 3.4.5.1 Structure matérielle des adresses E/S – Automate Delta DVP-14SS2

Le tableau 3.2 ci-dessous présente la structure matérielle des adresses entrées / sorties :

TABLEAU 3.2 – Structure matérielle des adresses de l'automate Delta DVP-14SS2

Type	Adresse	Utilisation typique
Entrées digitales	X0 – X7	Capteurs inductifs, fins de course, bouton marche / arrêt, arrêt d'urgence
Sorties digitales	Y0 – Y5	Commande du convoyeur, moteur de rotation, robot vertical, injection peinture, four
Bits internes	M0 – M999	États internes, temporisations
Mots de données	D0 – D999	Variables HMI : durée du four, consigne de comptage, etc.
Compteurs	C0 – C255	Comptage des extincteurs ou des cycles complets
Temporisateurs	T0 – T255	Temporisation d'attente, montée / descente robot, durée four

#### 3.4.5.2 Classification des adresses E/S

Le graphe 3.6 ci-dessous présente une classification des types d'entrées et de sorties utilisés dans notre installation :

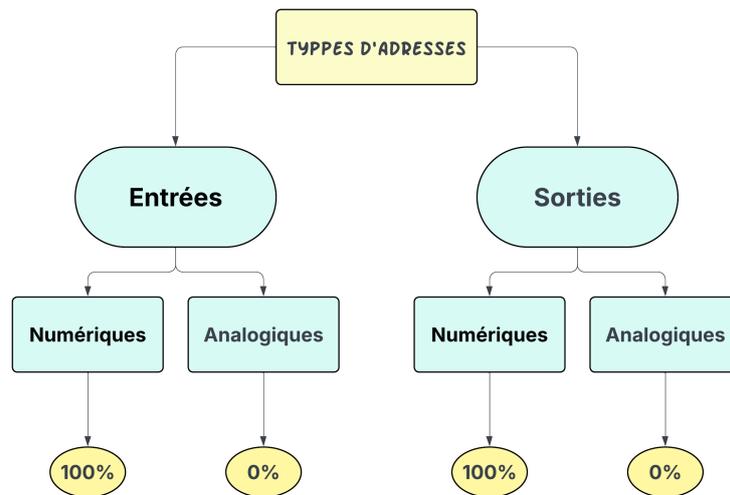


FIGURE 3.6 – Classification des types d'adresses

Dans le cadre du système que nous avons conçu, les adresses d'utilisation définies pour les entrées et sorties ont été rigoureusement choisies afin d'en assurer le bon fonctionnement et la sécurité au sein du processus automatisé. Les adresses d'entrée se répartissent sur de nombreux capteurs et boutons comme les capteurs inductifs, les capteurs de fin de course et les boutons de commande Marche, Arrêt, Arrêt d'urgence, etc. qui participent à la détection de la présence de l'extincteur, précisent la position de robot à déplacer et permettent d'intervenir en cas de dysfonctionnement. Les adresses de sortie, quant à elles, permettent d'alimenter les divers actionneurs nécessaires au bon déroulement des différentes étapes du processus. On peut citer le moteur du convoyeur, le vérin ou moteur du robot vertical, le moteur de rotation de l'extincteur, le système d'injection de peinture, le four de séchage éducal L'ensemble de la configuration permet le déplacement, le positionnement, le revêtement ainsi que le traitement thermique des extincteurs dans un bon fonctionnement séquentiel, efficace et sécurisé du système.

### 3.4.5.3 Table des variables

La table des variables se présente comme un tableau qui rassemble toutes les adresses d'entrées, de sorties, et des différentes variables internes utilisées dans le programme Ladder et qui aide à mieux visualiser la correspondance entre les différents éléments physiques (capteurs, actionneurs, etc.) et leurs adresses logiques dans l'automate. Pour mieux comprendre, programmer et le dépanner, il nous semble utile d'avoir cette vue d'ensemble.

La figure 3.7 suivante montre un extrait de cette table avec les adresses principales que nous avons utilisées dans notre projet.

Device Name	Comment	Status	T/C Set Value	Present Value (16 bit)	Present Value (32 bit)	Floating Point	Format	T/C Set Value Refer
X0	Bp_marche							
X1	bp_Arret							
X2	Captur bouteille							
X3	Fin de course haut							
X4	Fin de course bas							
X7	Arret d'urgence							
Y0	Convoyeur							
Y1	Moteur de rotation extincteur							
Y2	Robot vers le haut							
Y3	Robot vers le bas							
Y4	Injection peinture							
Y5	Four							
M100	Systeme en marche							
M1	Robot + peinture autorisés							
M10	Forage démarrage four							
M11	Arret d'urgence activé							
M20	Reset compteur C0							
M21	Reset compteur C1							
M22	Reset compteur C2							
M30	Etat robot haut							
M31	Etat robot bas							

FIGURE 3.7 – Table d’adressage des E/S

### 3.4.6 Architecture logique et organisation du programme automate

Le programme automate élaboré pour notre système de peinture automatique d’extincteurs est assemblé en plusieurs blocs fonctionnels; chacun d’eux correspond à une étape bien déterminée du cycle automatique, à une fonction précise du système, etc.

Chaque sous-partie suivante présente la partie concernée du programme Ladder et une description du rôle logique de la partie du programme ainsi présentée.

- **Démarrage du cycle et détection de la bouteille** : L’objectif de cette phase du programme est de lancer le système de manière initiale, d’assurer le démarrage sécurisé du système. Il comprend également la détection de la présence d’une bouteille sur le convoyeur, assurée, en bout de ligne, par la présence d’un capteur inductif. Ce dernier permet de savoir que la bouteille est présente dès qu’elle apparaît en position, ce qui est la condition de déclenchement du cycle automatique de peinture (Voir les figures 3.8 et 3.9).

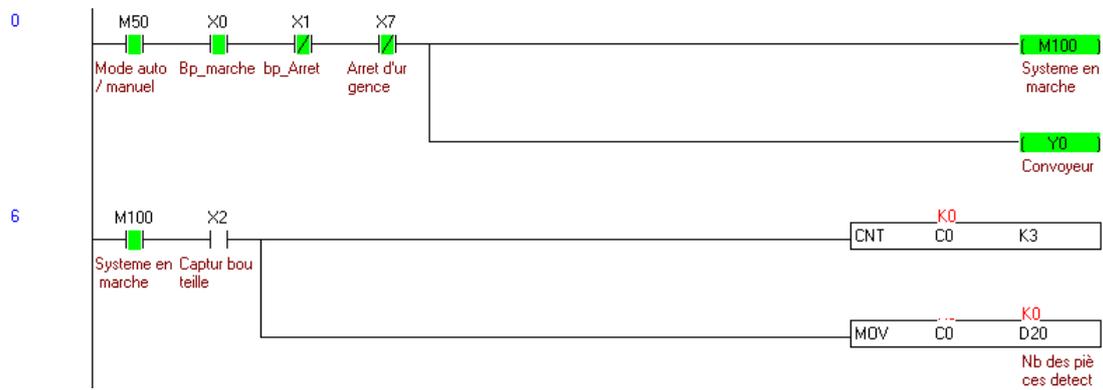


FIGURE 3.8 – Démarrage du cycle

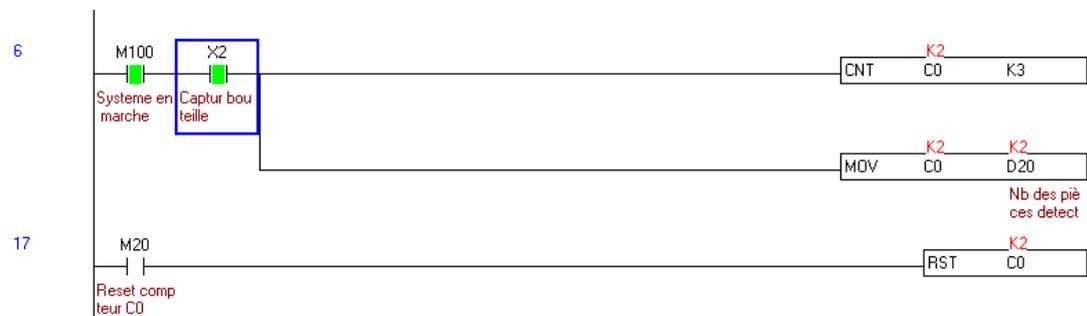


FIGURE 3.9 – Détection des bouteilles

- **Partie robot et peinture** : Cette section, qui contrôle le mouvement vertical du robot, la rotation de la bouteille et le système d'injection de peinture, garantit un cycle de peinture total et sécurisé (Voir les figures 3.10 et 3.11).

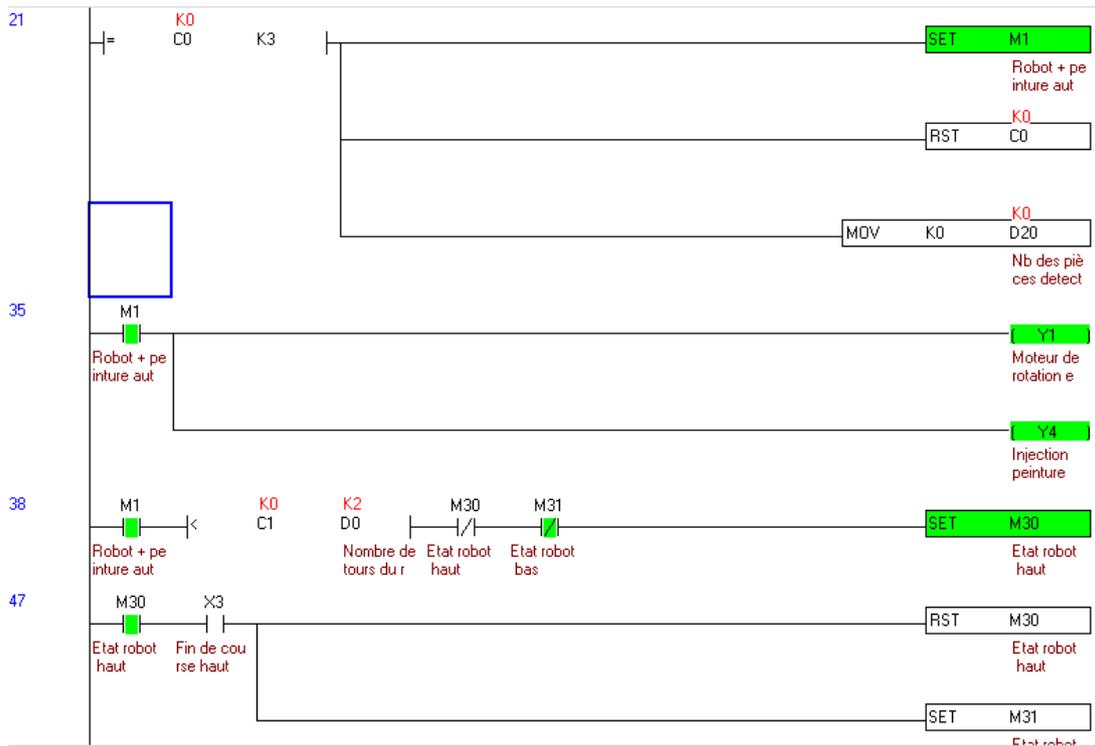


FIGURE 3.10 – Système d’injection de peinture

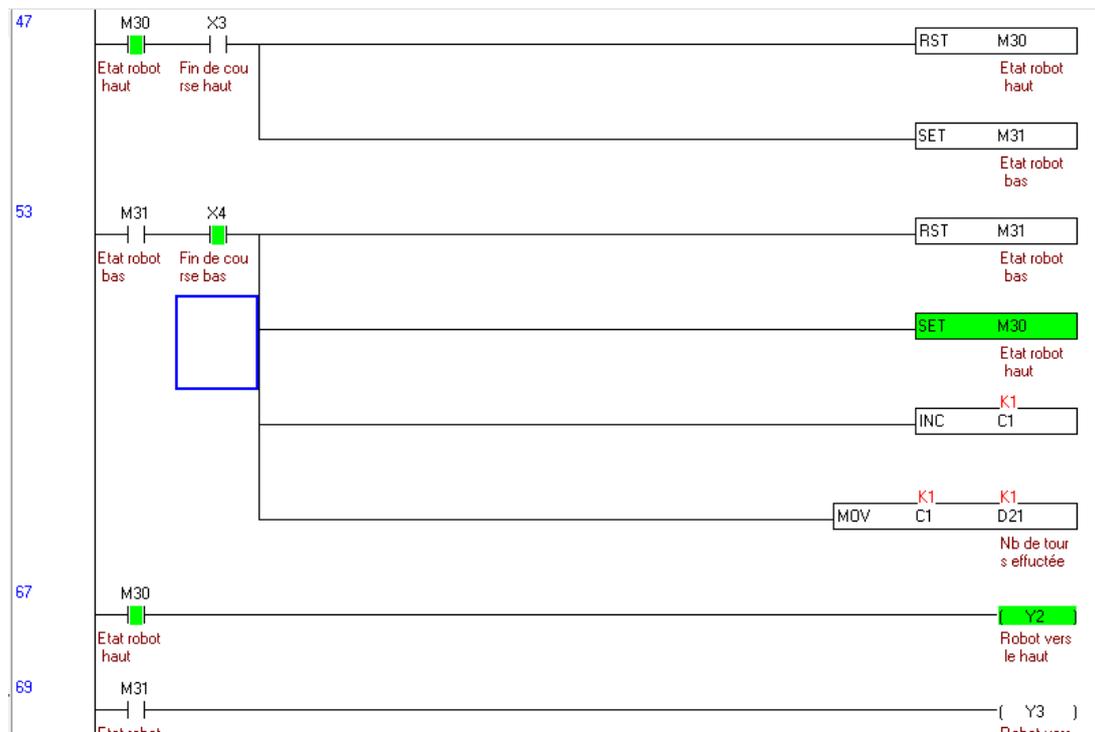


FIGURE 3.11 – Séquence opérationnelle du robot de peinture

- **Partie du four :** À l’issue du processus de peinture, les bouteilles sont auto-

matiquement acheminées au four de séchage. Cette partie du programme Ladder permet de gérer la temporisation du four, le démarrage de la chauffe, et le retour progressif des bouteilles peintes. Le fonctionnement est bien selon une logique de cycles de peinture répartis sur le temps, après 7 cycles, donc 3 bouteilles par cycle ce qui donne un total de 21 bouteilles accumulées dans le four, permettant ainsi le respect du temps de séchage par lot nécessaire au déchargement (Voir la figure 3.12).

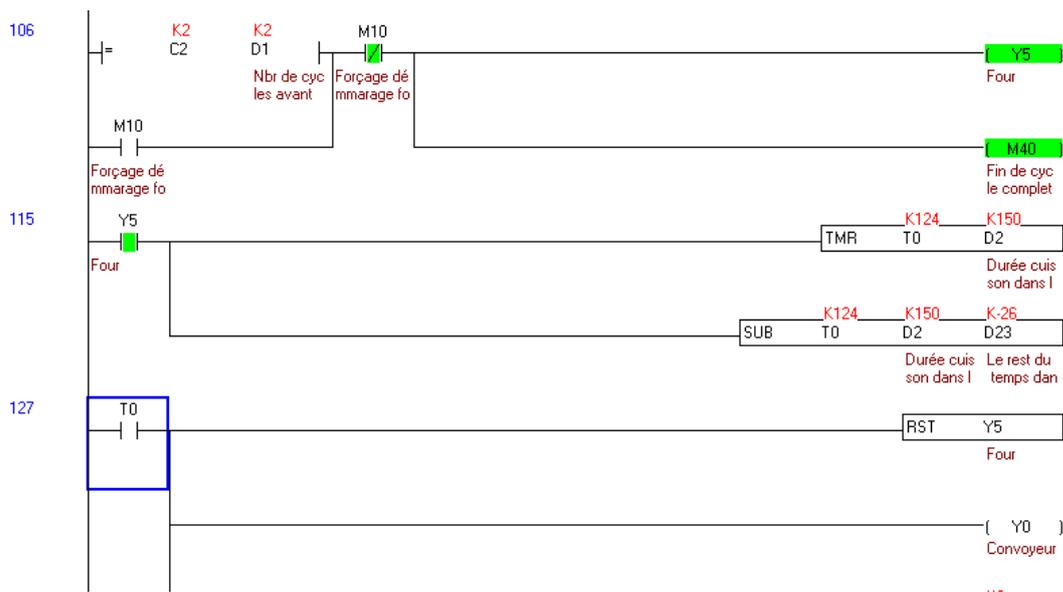


FIGURE 3.12 – Activation et temporisation du four de séchage

- **Gestion des conflits logiques et détection des défauts** : C'est cette partie du programme Ladder qui est chargée de la prévention des erreurs logiques et de la détection d'états anormaux, pour assurer la sécurité du système ainsi que la cohérence de son fonctionnement (Voir la figure 3.13).
  - **Surveillance des capteurs critiques** : Les entrées suivantes sont utilisées pour la détection d'erreurs matérielles :
    - **X2** : Capteur inductif – détecte la présence de la bouteille sur le convoyeur.
    - **X3** : Fin de course haut – confirme la position haute du robot vertical.
    - **X4** : Fin de course bas – confirme la position basse du robot.
 Si X3 et X4 sont activés en même temps (ce qui est impossible mécaniquement), ou si X2 n'est pas activé pendant un cycle, le système déclenche une erreur et un arrêt du processus.
  - **Conflits de sorties à éviter** : Le programme interdit certaines activations simultanées de sorties pour éviter des actions contradictoires Par exemple, **le robot (Y2/Y3)** ne peut pas monter et descendre en même temps, et **le four**

(Y5) ne doit pas fonctionner durant la phase d'injection de peinture (Y4).

— **Comportement en cas d'erreur**

- Activation de la sortie d'alarme (voyant ou buzzer).
- Affichage d'un message d'erreur clair sur l'IHM.
- Blocage du cycle jusqu'à correction du défaut.
- Possibilité d'un mode manuel pour test ou déblocage sécurisé.

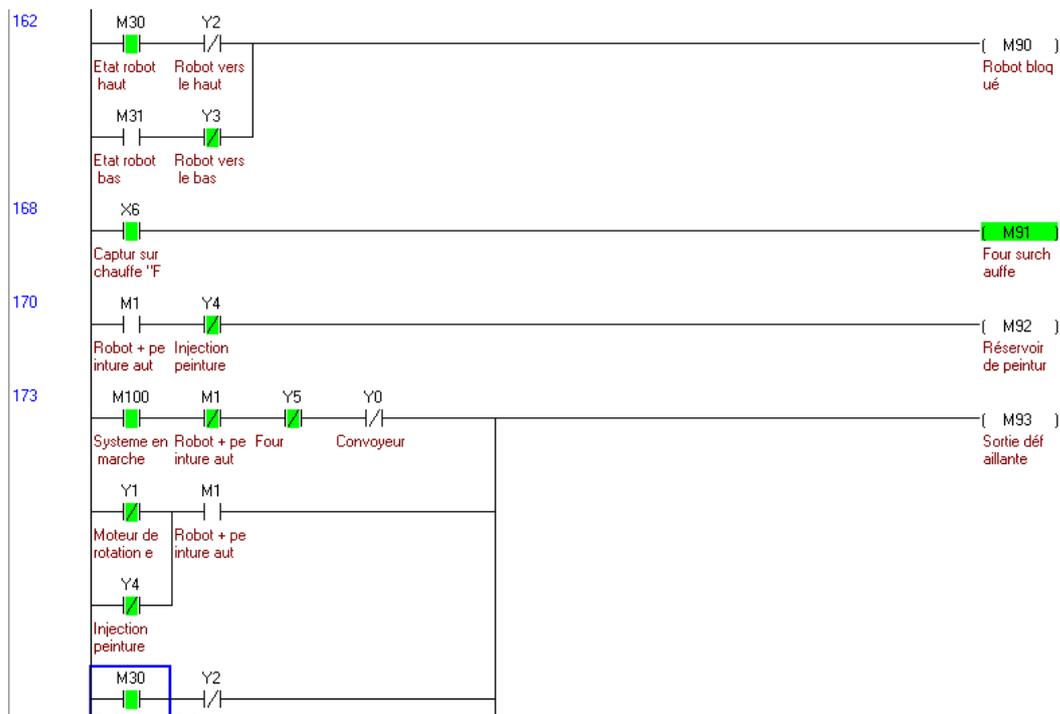


FIGURE 3.13 – Gestion des alarmes et signalisations de défaut

### 3.5 Supervision et interface homme-machine (IHM)

#### 3.5.1 Objectifs de la supervision

La supervision joue un rôle essentiel dans les systèmes automatisés modernes, en assurant une surveillance en temps réel du processus industriel et une interface de communication efficace entre l'opérateur et la machine. Ses objectifs principaux dans le cadre de notre projet sont les suivants :

- **Assurer la visualisation en temps réel** de l'état des différents composants du système (capteurs, actionneurs, moteurs, convoyeurs, etc.).
- **Faciliter le diagnostic** en permettant l'affichage d'alertes, de messages d'erreur et d'états de fonctionnement anormaux.

- **Permettre la commande manuelle** de certaines actions, comme le démarrage ou l'arrêt d'un sous-système.
- **Améliorer l'ergonomie de l'exploitation** en proposant une interface utilisateur claire, intuitive et accessible.
- **Garantir la traçabilité** et la gestion des événements à travers la journalisation ou l'historique des alarmes.
- **Optimiser le pilotage** du processus automatisé en centralisant les informations utiles pour l'opérateur.

Ainsi, la supervision ne se limite pas à l'affichage d'informations, mais constitue un véritable outil de pilotage, de sécurité et de maintenance, contribuant à la performance globale de la chaîne de production.

### 3.5.2 Présentation de l'IHM Samkoon pour la supervision avec SKTOOL

Dans le cadre de notre projet d'automatisation, nous avons opté pour un panneau IHM de la série SK de la marque Samkoon, fabricant reconnu dans le domaine de l'interface homme-machine industrielle. Cette série fait partie des gammes les plus abouties proposées par Samkoon Automation Technology Co. Ltd, et elle est spécifiquement conçue pour répondre aux exigences des environnements industriels.

La série SK se distingue par une large variété de tailles d'écran allant de 4,3 à 21,5 pouces, une résolution élevée, et des interfaces de communication multiples : Ethernet, RS232, RS485, USB. Grâce à la compatibilité avec plusieurs protocoles de communication industriels — Modbus RTU/TCP, CANopen, OPC UA, entre autres — ces IHM peuvent être intégrées dans une grande diversité de systèmes automatisés. [25]

Parmi les fonctionnalités principales offertes par cette série :

- Création d'écrans de supervision dynamiques.
- Affichage en temps réel de l'état des capteurs, actionneurs et équipements du système.
- Enregistrement des données de fonctionnement et visualisation des tendances analogiques.
- Gestion des alarmes et des recettes personnalisables.
- Protection par mot de passe hiérarchisé, assurant un accès sécurisé aux différentes couches de l'interface.
- Accès à distance et prise en charge de la redondance réseau pour les systèmes critiques.

Le développement de l'interface a été réalisé à l'aide du logiciel **SKTOOL version 6.2**,

également fourni par Samkoon. Cet environnement de programmation offre une interface conviviale permettant de concevoir des écrans interactifs, adaptés aux exigences opérationnelles du système. Grâce à ses bibliothèques graphiques variées et à ses outils de configuration avancés, il facilite la mise en place d'une IHM claire, fiable et ergonomique.

L'intégration entre l'IHM Samkoon SK et l'automate Delta DVP utilisé dans notre projet est assurée de manière transparente, notamment grâce à l'utilisation des protocoles standards comme Modbus. L'IHM joue ainsi un rôle essentiel dans le suivi en temps réel du processus industriel, permettant à l'opérateur :

- De visualiser l'évolution du cycle de production
- De surveiller l'état des équipements
- D'envoyer des commandes manuelles à l'automate
- Et de réagir rapidement en cas d'alerte ou d'anomalie.

En résumé, la combinaison de l'IHM Samkoon SK avec le logiciel SKTOOL 6.2 nous a permis de mettre en œuvre une solution de supervision complète, fiable et adaptée aux exigences spécifiques de notre système automatisé.

### 3.5.2.1 Présentation de l'environnement SKTOOL

Le logiciel SKTOOL 6.2 est un environnement de développement dédié à la conception d'interfaces homme-machine (IHM) intuitives, interactives et fonctionnelles. Il propose une zone de conception (workspace) où l'utilisateur peut insérer facilement des éléments graphiques (boutons, voyants, jauges, champs de saisie) grâce à une boîte à outils riche, ainsi qu'une structure hiérarchique claire pour gérer les paramètres système, les communications (ex. Modbus RTU/TCP), les fenêtres d'interface et les fonctions avancées (alarmes, recettes, scripts). Une barre d'outils permet l'accès rapide à la simulation, au transfert de projet et à la navigation entre les écrans. Le simulateur intégré facilite le test des interfaces sans déploiement physique, ce qui accélère les phases de validation. La figure 3.14 illustre l'icône représentative de l'environnement SKTOOL, utilisée pour la conception graphique des interfaces IHM. [26]

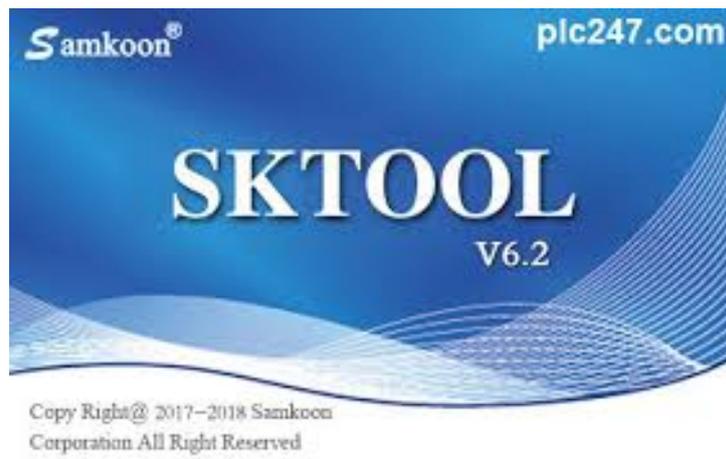


FIGURE 3.14 – l'icône représentative de l'environnement SKTOOL

### 3.5.3 Structure générale de l'interface IHM

Dans le cadre de notre projet, une interface homme-machine a été réalisée dans SKTOOL, l'outil de développement déployé sur un terminal Samkoon SK-102HE V3. Cet écran tactile se veut performant, intuitif et permet une interaction fluide entre l'opérateur et le système automatique.

Ainsi, les différentes vues de l'interface homme-machine sont au nombre de six et sont organisées de façon à offrir :

- L'accueil
- La gestion des alarmes
- La configuration des paramètres
- La supervision
- La maintenance
- L'administration sécurisée

Depuis l'écran d'accueil, l'utilisateur peut passer d'une vue à l'autre grâce à un menu latéral de navigation clair, simple et ergonomique. Des boutons de commande permanents simplifient la conduite du système (démarrer, arrêter, retour à l'accueil...).

Cette architecture générale est conçue pour permettre une supervision globale du système tout en donnant un accès rapide, simple et efficace à l'ensemble des fonctionnalités nécessaires à l'exploitation, au suivi et à la maintenance de l'installation. [27]

La figure 3.15 ci-après présente l'organisation générale des différentes vues constituant l'interface IHM.

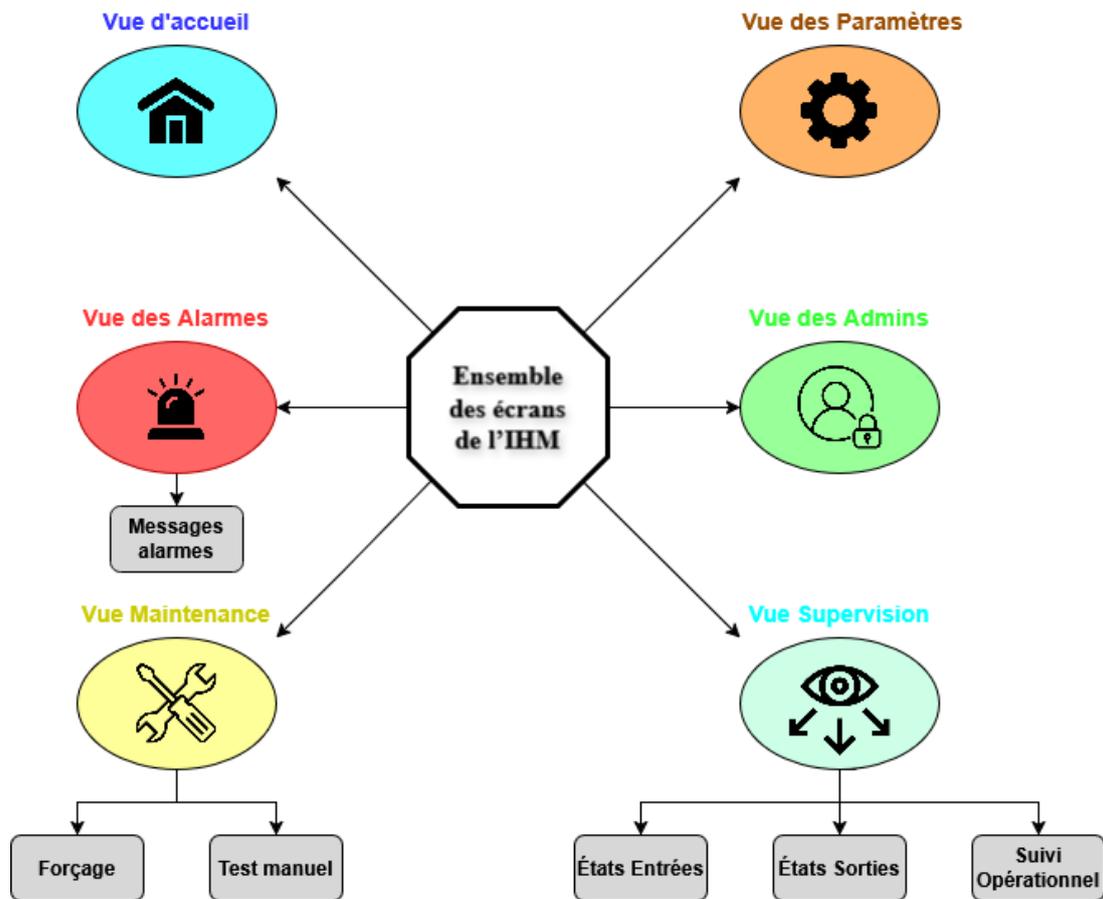


FIGURE 3.15 – Architecture générale des vues disponibles dans l'interface IHM

### 3.5.3.1 Vue d'accueil

La vue d'Accueil constitue le point d'entrée principal de notre interface IHM développée sous SKTOOL. Elle joue un rôle central dans l'orientation de l'utilisateur et l'accès aux fonctions essentielles du système. Elle joue le rôle du logo de l'entreprise, affichant la date et l'heure système en temps réel. Le menu de navigation latéral permet un accès rapide et aisé aux diverses vues de l'interface des alarmes, de la configuration principale ou du contrôle manuel. Des boutons permettent de basculer de manière intuitive et sécurisée entre les vues et démarrer ou arrêter le système. De plus, une image représentant le système entier a été intégrée dans cette vue pour avoir une vision globale de l'installation dès l'ouverture de l'interface. Cette configuration vise à garantir une prise en main et navigation en toute facilité pour les opérateurs.

Une illustration de cette vue est présentée à la figure 3.16.

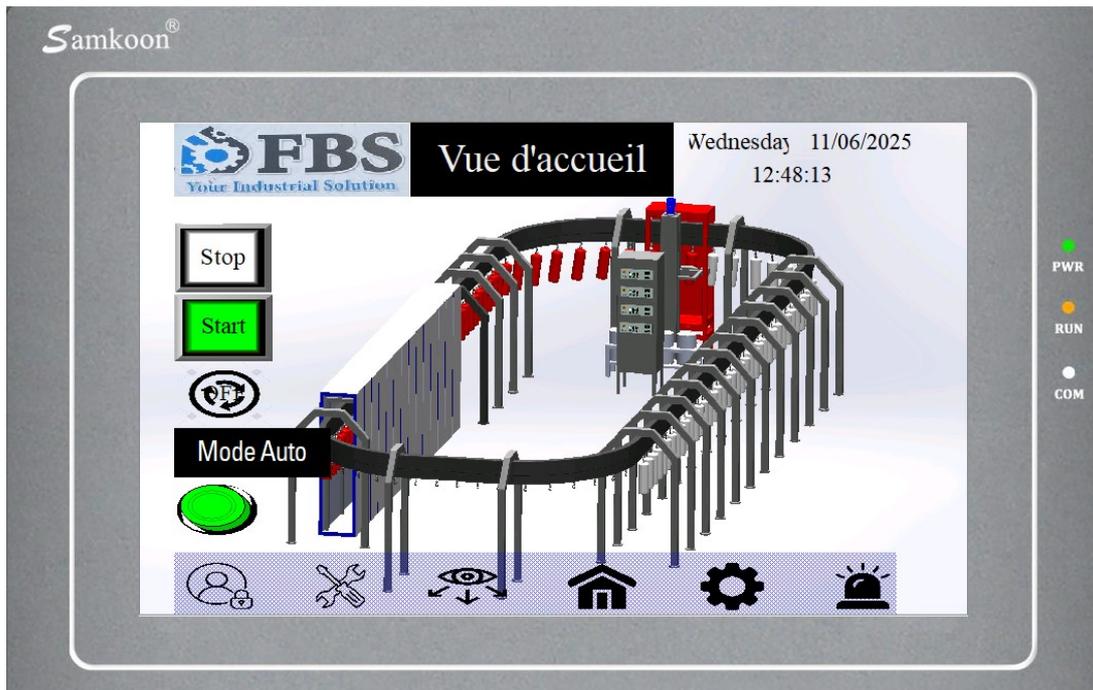


FIGURE 3.16 – La vue d'accueil

### 3.5.3.2 Vue des paramètres — Configuration opérateur

Cette vue permet à l'opérateur de configurer les paramètres clés du fonctionnement du système avant le démarrage automatique des cycles. Elle est une étape incontournable pour adapter le fonctionnement du système de peinture au type de bouteilles (extincteurs). Les paramètres suivants sont configurables dans cette interface :

- **Nombre de tours du robot d'injection** : Ce paramètre définit combien de tours complets (montée + descente) le robot d'injection de peinture doit effectuer par bouteille. Chaque tour est une application uniforme de peinture sur toute la surface. Le nombre de tours dépend du type et de la taille de la bouteille.
- **Nombre de cycles avant cuisson (Four)** : Ici, l'opérateur définit combien de cycles de peinture complets doivent être réalisés avant de déclencher automatiquement la mise en route du four. Ce choix permet aussi de regrouper plusieurs pièces pour une cuisson groupée, optimisant ainsi le rendement thermique.
- **Durée de cuisson du four** : Ce champ va permettre de régler le temps de fonctionnement du four après son démarrage. Avec cette temporisation, on peut garantir la bonne cuisson de la peinture, conformément aux spécifications du produit, en paramétrant un temps exprimé en minutes ou en secondes, selon les besoins. Cet écran permet donc à l'opérateur de piloter finement le mode de fonctionnement du système pour respecter à la fois la flexibilité, l'adéquation au produit et à l'efficacité

énergétique.

Une illustration de cette vue est présentée à la figure 3.17.

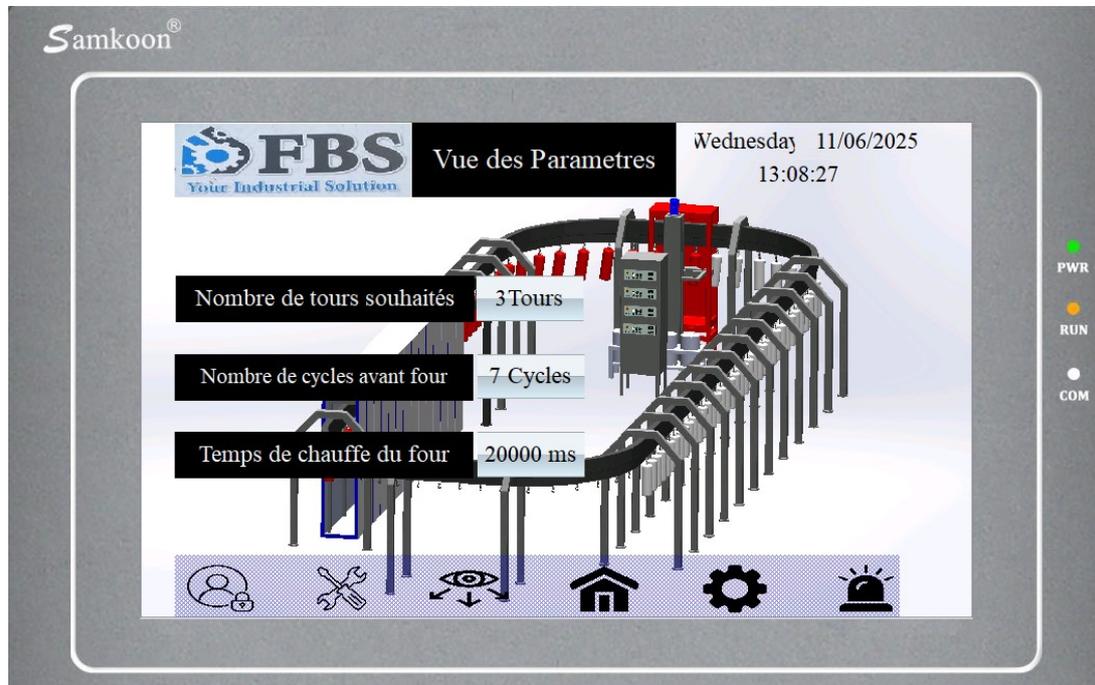


FIGURE 3.17 – La vue des paramètres

### 3.5.3.3 Vue alarmes

La vue alarmes a été conçue pour regrouper les événements critiques et les avertissements techniques. L'objectif est d'en informer les opérateurs concernés dans les meilleurs délais afin de favoriser la traçabilité des dysfonctionnements.

Le tableau 3.3 présente les principaux éléments de l'interface de la vue alarmes, conçue pour assurer une gestion efficace des événements critiques grâce à des outils de filtrage, d'acquiescement, d'aide contextuelle et d'indicateurs visuels.

TABLEAU 3.3 – Éléments d’interface de la vue alarmes

Élément d’interface	Fonction
Liste des alarmes (tableau défilant)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Horodatage (JJ/MM/AAAA HH :MM :SS)</li> <li>• Code (ex. ALR-105)</li> <li>• Description de l’alarme</li> <li>• Statut : Active, Acquittée, Historique</li> </ul>
Barre de filtres	Filtrage des alarmes par statut : Actives, Non acquittées, Toutes
Bouton acquitter	Permet de réinitialiser l’alarme après validation opérateur
Bouton détails / aide	Affiche une fenêtre explicative : causes, procédure de dépannage, schéma associé
Indicateur global (icône cloche)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vert : aucune alarme active</li> <li>• Orange : alarmes actives acquittées</li> <li>• Rouge : alarmes actives non acquittées</li> </ul>

- **Catégories et alarmes typiques**

Le tableau 3.4 répertorie les principales catégories d’alarmes techniques avec des exemples typiques, facilitant leur identification rapide et leur traitement par les opérateurs.

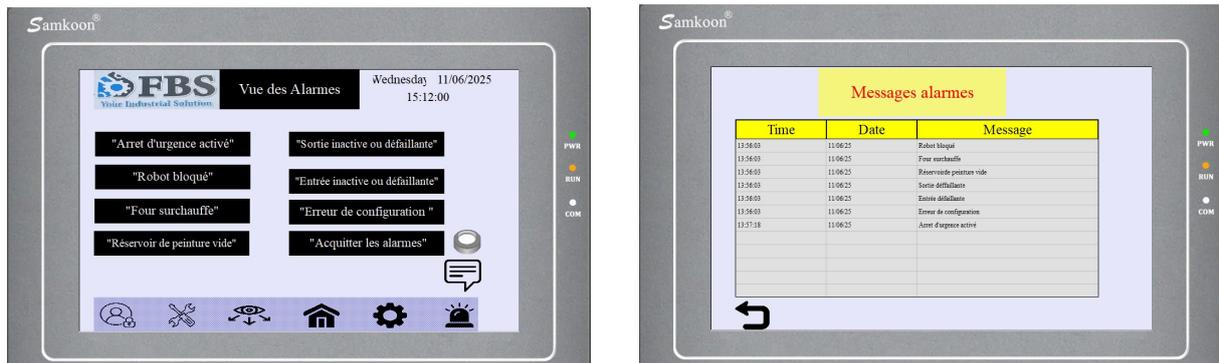
TABLEAU 3.4 – Catégories et exemples d’alarmes techniques

Catégorie	Code	Intitulé / Condition
Robot d’injection vertical	ALR-101	Robot bloqué en fin de course haute
	ALR-102	Robot bloqué en fin de course basse
	ALR-103	Surcharge moteur (surintensité)
	ALR-104	Perte de signal encodeur vertical
Système injection de la peinture	ALR-201	Réservoir primaire vide
	ALR-202	Réservoir durcisseur vide
	ALR-203	Pression d’alimentation basse
	ALR-204	Température peinture hors plage
Four	ALR-301	Surchauffe four $> T_{max}$
	ALR-302	Température insuffisante après délai
	ALR-303	Ventilateur four défaillant
	ALR-304	Thermostat de sécurité déclenché
Convoyeur & capteurs	ALR-401	Arrêt convoyeur imprévu (couple $\uparrow$ )
	ALR-402	Capteur présence bouteille non réactif
Entrées / Sorties automate	ALR-501	Entrée X3 hors service
	ALR-502	Sortie Y1 non confirmée
Paramètres opérateur	ALR-601	Nombre de tours hors plage
	ALR-602	Temps de cuisson hors plage
Sécurité	ALR-701	Arrêt d’urgence enclenché
	ALR-702	Barrière immatérielle rompue
Maintenance	ALR-801	Filtre peinture colmaté (pression différentielle $\uparrow$ )

- **Logique de gestion**

- **Détection** : L’API en alerte le bit dès qu’une condition dépasse son seuil.
- **Affichage instantané** : La ligne est en rouge clignotant dans la liste, les témoins physiques s’allument.
- **Acquittement** : L’opérateur sélectionne l’alarme et confirme ; l’entrée reste sous surveillance jusqu’au retour à la normale.
- **Archivage** : A la fermeture, l’évènement passe en historique et reste accessible à la consultation via les filtres de recherche.
- **Objectif** : Centraliser, clarifier, normaliser pour favoriser la maintenance préventive, réduire les arrêts et garantir le respect de la qualité et sécurité exigées.

La figure 3.18 illustre la logique de gestion des alarmes, depuis leur détection par l’automate jusqu’à leur archivage, en passant par l’affichage visuel, l’acquittement opérateur et la consultation historique.



Vue des alarmes

Messages alarmes

FIGURE 3.18 – Les vues d’alarmes

### 3.5.3.4 Vue de supervision

L’écran de supervision est un outil indispensable qui permet de contrôler en temps réel le fonctionnement du système automatique de peinture. L’opérateur peut le consulter à tout instant pour apprécier l’état des composants et l’avancement des opérations en trois sous-fenêtres principales accessibles par des boutons.

- **Fenêtre état des entrées**

Cette première sous-fenêtre offre un affichage en direct des signaux d’entrée de l’automate. Elle permet de visualiser :

- Le statut du système (en marche / à l’arrêt).
- La détection des bouteilles (capteur présence).
- Les états des boutons de commande physiques (marche, arrêt, urgence).
- Les capteurs de fin de course (haut / bas du robot).

Les états sont représentés par des **indicateurs lumineux dynamiques** (vert pour actif, gris ou rouge pour inactif/défaillant).

- **Fenêtre état des sorties**

La deuxième sous-fenêtre affiche les états en temps réel des sorties de l’automate, permettant de savoir quelles actions sont en cours :

- Robot en montée / en descente.
- Moteur de rotation actif ou à l’arrêt.
- Injection de peinture en cours.
- Four activé ou en veille.
- Convoyeur en mouvement ou arrêté.

Chaque sortie est visualisée à l’aide de symboles animés ou voyants associés à un texte d’état clair (ex. : « Robot en montée », « Injection active »...).

• **Fenêtre suivi opérationnel**

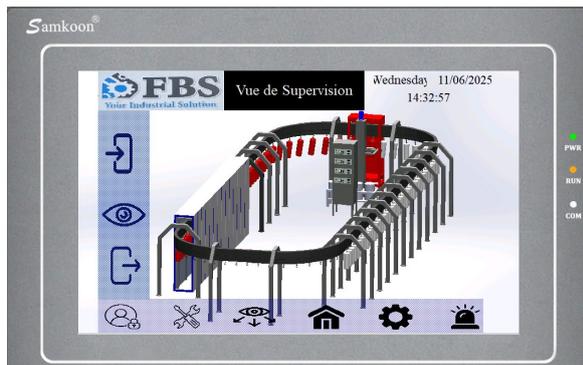
Cette troisième section regroupe les informations de performance et de suivi du système. On y retrouve :

- Nombre de bouteilles détectées par le capteur.
- Nombre de cycles de peinture effectués par le robot.
- Temps restant avant la fin de cuisson dans le four.

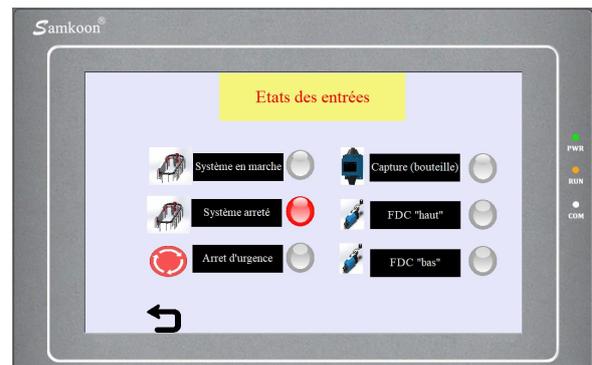
Cette fenêtre fournit une vision synthétique de l'activité et est essentielle pour le  **pilotage opérationnel et la supervision industrielle.**

Les trois sous-fenêtres sont accessibles via des boutons clairs et bien identifiés sur l'interface principale de supervision, permettant une navigation intuitive. Chaque état du système est représenté par des voyants, des icônes animées ou des graphiques simples, assurant une lisibilité optimale et une compréhension rapide de l'état de fonctionnement.

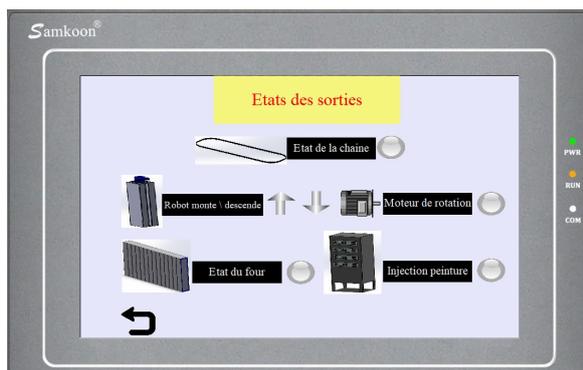
La figure 3.19 regroupe les vues de supervision de l'IHM.



Vue supervision



États des entrées



États des sorties



Suivi opérationnel

FIGURE 3.19 – Présentation des quatre vues de la supervision

### 3.5.3.5 Vue de maintenance

Les techniciens et les opérateurs compétents peuvent effectuer dans cette vue des actions de maintenance préventive, corrective et de test, sans perturber le fonctionnement général du système. Cette vue est segmentée en deux sous-fenêtres, appelées par deux boutons dédiés.

- **Fenêtre forçage et réinitialisation**

Cette sous-fenêtre offre des fonctionnalités de gestion des paramètres internes du système :

- **Réinitialisation des compteurs** : La fonction de réinitialisation permet de remettre à zéro les trois compteurs principaux du système, à savoir : le nombre de bouteilles détectées, le nombre de cycles réalisés par le robot, et le nombre de tours effectués.
- **Forçage du four** : activation manuelle du four pour test ou intervention.
- **Programmation de la maintenance** : L'interface permet l'affichage de la durée planifiée jusqu'à la prochaine maintenance, ainsi que la visualisation du statut de maintenance, indiquant si celle-ci est à jour ou retardée.
- **Alertes de maintenance** : Rappel automatique basé sur les compteurs.

- **Fenêtre test manuel**

Cette section est dédiée à l'activation manuelle de chaque sous-système, à des fins de test ou de dépannage :

- **Test convoyeur** : démarrage/arrêt manuel du tapis
- **Test robot** : commande montée et descente
- **Test système d'injection de peinture** : activation de la pompe
- **Test four** : allumage et extinction
- **Test moteur de rotation** : mise en rotation à vide

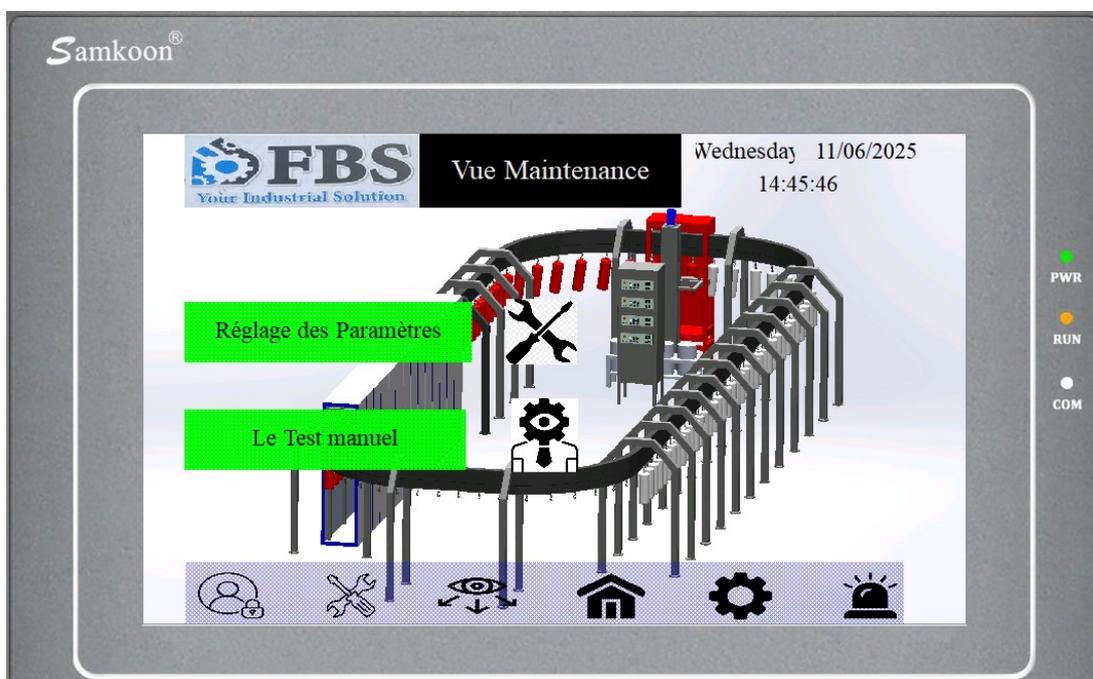
Chaque action est liée à un bouton ON/OFF, avec indication de l'état de fonctionnement. Des voyants de confirmation indiquent si la commande a bien été transmise et exécutée.

La figure [3.20](#) présente les vues de maintenance de l'IHM.



(a) Fenêtre forçage et réinitialisation

(b) Fenêtre test manuel



(c) Vue maintenance

FIGURE 3.20 – Présentation des trois vues de la maintenance

### 3.5.3.6 Vue administrateur

La consultation par l'administrateur constitue une zone d'accès sécurisé dédiée aux utilisateurs autorisés à paramétrer les éléments primordiaux du système. Cette interface garantit la confidentialité et la sécurité des actions sensibles, leur accès étant préalablement authentifié.

- **Accès par authentification**

À l'ouverture de cette vue, un formulaire de connexion s'affiche, comprenant :

- Nom d'utilisateur (zone de texte).

- Mot de passe (zone masquée).
- Bouton "Login".

Seuls les utilisateurs enregistrés peuvent accéder aux paramètres avancés. En cas d'erreur de mot de passe, un message d'alerte s'affiche et le système refuse l'accès.

• **Fonctions disponibles après authentification**

Une fois connecté, l'utilisateur admin accède à des fonctionnalités sensibles, comme :

- Réglages avancés du système
- Changement de mots de passe des comptes opérateurs
- Historique des événements ou actions système
- Paramétrage des seuils de maintenance ou des valeurs par défaut
- Importation / exportation de configurations du système

Selon les besoins, certaines de ces fonctions peuvent être affichées dans une nouvelle vue ou intégrées directement à la zone admin.

La figure 3.21 illustre la vue administrateur de l'IHM, réservée aux utilisateurs authentifiés.



FIGURE 3.21 – Vue admin

### 3.6 Conclusion

Ce chapitre a permis de détailler l'ensemble de la démarche liée à l'automatisation du système de peinture des extincteurs. Après un rappel des principes fondamentaux

de l'automatisation industrielle et de la structure typique d'un système automatisé — incluant capteurs, actionneurs et automate programmable — l'accent a été mis sur le choix et l'exploitation de l'automate Delta DVP-14SS2, sélectionné pour sa compatibilité, sa fiabilité et sa facilité de programmation.

L'environnement WPLSoft a été utilisé pour développer la logique de commande du système à travers le langage Ladder, répondant aux exigences fonctionnelles du processus. Le chapitre a ainsi présenté la configuration des entrées/sorties, l'architecture logique du programme, la gestion séquentielle des opérations et les éléments de sécurité intégrés dans le contrôle.

En complément, une interface de supervision a été conçue afin de permettre une interaction plus intuitive entre l'opérateur et le système automatisé. Cette interface, réalisée via le logiciel SKTOOL, permet non seulement le suivi en temps réel des états du système, mais également le contrôle de certains paramètres critiques, la visualisation des alarmes, et la réinitialisation des compteurs ou variables. L'intégration de la supervision renforce la dimension opérationnelle, en offrant à l'utilisateur un pilotage centralisé, visuel et ergonomique.

Ce travail marque ainsi une étape essentielle entre la conception fonctionnelle et la mise en œuvre opérationnelle, en traduisant les besoins techniques du système en un programme structuré, supervisé et prêt à être testé sur l'installation réelle. Il constitue la base du pilotage automatisé et supervisé du processus de peinture.

## Chapitre 4

# Réalisation industrielle et perspectives technologiques

## 4.1 Introduction

Ce dernier chapitre marque l'aboutissement du projet en intégrant la solution développée dans un environnement industriel réel. Il s'agit ici de finaliser l'implémentation du système automatique de peinture, en assurant l'interaction fluide entre les éléments mécaniques, électriques et logiciels, tout en garantissant la sécurité, la fiabilité et la performance du système.

Le chapitre présente les différentes étapes de mise en œuvre sur le terrain, les tests fonctionnels réalisés, ainsi que les ajustements techniques apportés pour adapter la solution aux conditions concrètes d'exploitation.

Une attention particulière est également portée à la conception de l'interface homme-machine (IHM), outil essentiel pour le pilotage du processus. Cette interface doit offrir une interaction intuitive avec le système, permettant à l'opérateur d'exécuter les commandes, de visualiser les informations clés et de gérer les paramètres de fonctionnement.

Par ailleurs, une attention particulière est portée à l'intégration de technologies communicantes modernes pouvant enrichir le système, comme les serveurs web embarqués ou les plateformes de supervision légères telles que Node-RED, capables d'interagir avec les automates ou les interfaces opérateurs. Ces solutions ouvrent la voie à une architecture plus flexible, connectée et adaptée aux standards de l'industrie 4.0.

L'objectif global de ce chapitre est donc de valider le fonctionnement intégré du système dans un contexte industriel, tout en explorant les perspectives d'extension vers des environnements numériques avancés.

## 4.2 Installation réelle sur le terrain

La mise en œuvre effective du système de peinture automatique a eu lieu chez l'entreprise SARL CHEMMA ET CIE Incendie, dont l'usine se trouve dans la zone industrielle de la wilaya de Rélizane, Algérie. Cette société, spécialisée dans la fabrication d'extincteurs de A à Z, a affecté une partie de sa chaîne de production à l'intégration du système développé.

L'objectif de cette phase était d'assurer un passage de la conception théorique et de la simulation, à une réalisation concrète, fonctionnelle et éprouvée dans un environnement industriel réel. Différents ajustements ont été effectués sur place afin de prendre en compte les contraintes techniques et logistiques de l'atelier.

La section suivante décrit brièvement chaque sous-système formant la solution automatisée, avec des photos réelles le cas échéant.

### 4.2.1 Système de convoyage

Le système de convoyage constitue l'ossature physique de la chaîne de peinture, permettant de déplacer les extincteurs d'une station à l'autre de manière fluide et continue. Il joue un rôle central dans la coordination du processus automatisé, en assurant le transport linéaire des pièces à travers les principales étapes : détection par capteur inductif, arrêt pour application de peinture, puis transfert vers le four de cuisson.

Ce convoyeur a été installé dans l'atelier de l'entreprise en tenant compte des contraintes d'encombrement et de sécurité, et permet un alignement précis des extincteurs à l'entrée de la cabine de peinture. Grâce à sa structure robuste et à son intégration avec le système d'automatisation, il garantit une synchronisation optimale avec les autres sous-systèmes.

La Figure 4.1 illustre l'installation réelle du convoyeur dans l'atelier.



(a) Vue générale du convoyeur installé dans l'atelier.



(b) Extincteurs alignés prêts à entrer dans la cabine de peinture.

FIGURE 4.1 – Illustration du sous-système de convoyage.

### 4.2.2 Système de comptage

Le système de comptage, installé dans un environnement industriel, est basé sur un capteur de proximité inductif, qui assure la détection automatique du passage des extincteurs sur le convoyeur. Chaque bouteille métallique, en se présentant devant le capteur, est détectée, ce qui décrémente un compteur interne géré par l'automate programmable.

Lorsque trois extincteurs sont comptés, un signal est généré pour arrêter automatiquement la chaîne, déclenchant le cycle de peinture. Ce fonctionnement permet d'assurer une synchronisation parfaite entre le positionnement des pièces et le démarrage de l'opération de revêtement, sans aucune intervention humaine.

Le capteur a été monté sur un support spécialement conçu et installé dans l'atelier de l'entreprise, garantissant une stabilité mécanique et un positionnement optimal pour la détection. Ce dispositif industriel, à la fois simple, robuste et fiable, s'intègre parfaitement dans l'automatisme général du projet.

La Figure 4.2 illustre l'installation réelle du capteur de comptage inductif positionné sur le convoyeur.



FIGURE 4.2 – Installation du capteur inductif de comptage sur le convoyeur.

### 4.2.3 Cabine de peinture

Au cœur du système automatisé, la cabine de peinture permet l'application homogène et sans intervention humaine de la poudre époxy sur les extincteurs. Elle est conçue pour accueillir simultanément trois extincteurs placés côte à côte sur le convoyeur, en vue de leur revêtement avant passage au four.

L'installation a été intégrée dans l'atelier de l'entreprise en prenant en compte les contraintes d'espace, de sécurité, et de ventilation. La cabine est équipée de trois pistolets électrostatiques fixes orientés horizontalement, permettant un revêtement uniforme. Ces pistolets sont associés à un moteur vertical, contrôlé par deux capteurs de fin de course (haut et bas), qui garantissent un mouvement précis de haut en bas lors de la pulvérisation.

L'ensemble du processus est entièrement piloté par l'automate, lequel déclenche l'application de peinture uniquement après détection correcte de la présence et l'arrêt complet des trois extincteurs. De plus, l'intérieur de la cabine est optimisé pour permettre une récupération partielle de la poudre, limitant ainsi les pertes de matière et les émissions dans l'environnement de travail.

Une illustration complète de la cabine de peinture, incluant la vue extérieure, l'intégration sur la chaîne, le moteur vertical, les capteurs de fin de course, ainsi que les pistolets,

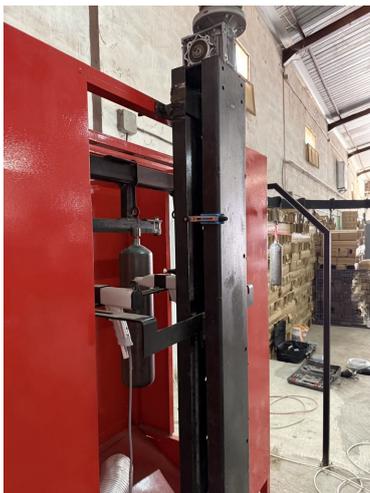
est présentée à la Figure 4.3.



(a) Vue générale extérieure de la cabine de peinture installée dans l'atelier.



(b) Autre angle de vue montrant l'intégration de la cabine sur la ligne.



(c) Vue montrant le moteur vertical, les capteurs de fin de course et les trois pistolets.



(d) Intérieur de la cabine avec un extincteur en position de peinture.

FIGURE 4.3 – Illustration du sous-système de peinture automatique dans l'environnement réel.

#### 4.2.4 Système d'injection de poudre

Le système d'injection de poudre est une composante essentielle du procédé de peinture par projection électrostatique. Il permet la pulvérisation de la poudre époxy à l'aide de pistolets électrostatiques intégrés à la cabine, assurant ainsi un débit constant, contrôlé et homogène. Ce système repose sur une unité centrale d'injection connectée à des bidons réservoirs de poudre, et équipée de pompes venturi, de régulateurs de pression, ainsi que d'un panneau de commande centralisé.

Dans le cadre de notre projet, quatre machines d'injection ont été mises en place, chacune connectée à un bidon de poudre indépendant. Cette configuration permet d'équilibrer la charge entre les différents pistolets et d'anticiper un éventuel changement de couleur ou de type de poudre. L'ensemble est supervisé à partir d'une armoire de commande, qui permet d'activer ou d'arrêter chaque unité, de gérer la pression, et de réguler le débit de poudre injectée.

L'installation a été réalisée dans l'atelier de l'entreprise SARL CHEMMA ET CIE Incendie, à proximité immédiate de la cabine de peinture. Cette disposition permet de réduire les longueurs de tuyauterie, d'optimiser la réactivité du système, et d'assurer une meilleure récupération de la poudre excédentaire.

Une illustration du système d'injection de poudre, montrant à la fois l'armoire de commande et les bidons connectés aux injecteurs, est présentée à la Figure 4.4.



(a) Vue de l'armoire de commande du système d'injection de poudre.



(b) Les quatre bidons de poudre installés dans l'atelier, connectés aux injecteurs.

FIGURE 4.4 – Système d'injection de poudre : commande et bidons de stockage.

#### 4.2.5 Système de cuisson (Four)

Le procédé de cuisson, appelé également four de polymérisation, constitue une étape indispensable dans l'application de peintures époxy en poudre. Il permet, grâce à une température suffisamment élevée, de faire fondre puis polymériser la poudre appliquée afin de former un revêtement homogène, dur et résistant aux sollicitations mécaniques et chimiques. Ce processus est assuré par un four industriel spécifiquement conçu pour répondre aux exigences des traitements de surface.

Le modèle de four installé dans notre atelier est un four à convection forcée, alimenté par un brûleur à gaz et piloté via une armoire de commande électrique dédiée. Ce système

en circuit fermé permet d'atteindre une température de consigne de 120 à 180°C en environ 20 minutes, garantissant une polymérisation efficace et uniforme.

Le contrôle thermique est assuré par un thermostat électronique couplé à une sonde de température positionnée dans la chambre de cuisson. Le brûleur est automatiquement modulé pour maintenir la température stable, tandis que le système de ventilation assure une distribution homogène de la chaleur dans l'ensemble du volume du four.

Cette installation a été parfaitement intégrée dans la chaîne de peinture de l'entreprise, immédiatement après la cabine de pulvérisation, afin d'assurer la continuité du processus. L'armoire de commande permet de régler la température, de déclencher les cycles de chauffe, et de sécuriser le système par un arrêt automatique en cas de surchauffe.

L'ensemble du système de cuisson est illustré à la Figure 4.5, qui montre le four industriel, son armoire de commande ainsi que l'intérieur de la chambre de cuisson.



(a) Vue générale du four industriel installé dans l'atelier.



(b) Four avec son armoire de commande électrique.



(c) Vue intérieure du four montrant l'espace de polymérisation.

**FIGURE 4.5** – Système de cuisson : four industriel, armoire de commande et intérieur.

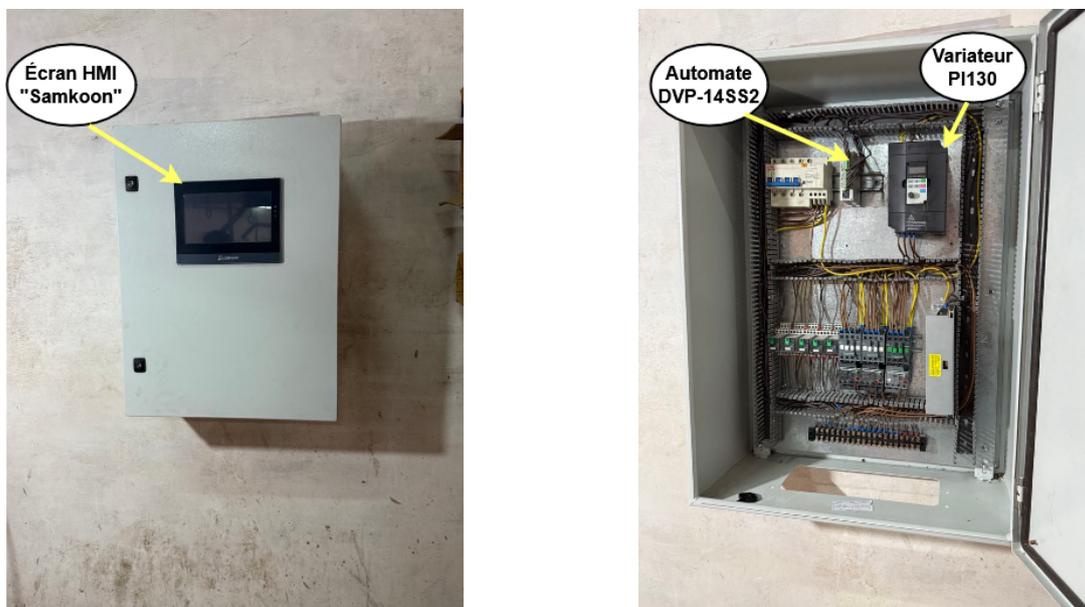
### 4.2.6 Automate et système de contrôle ( Armoire électrique )

Le système de commande du projet repose sur un automate programmable industriel (API) intégré dans une armoire électrique sécurisée, combiné à une interface IHM montée en façade. L'automate pilote l'ensemble du processus automatisé : détection des extincteurs, comptage, arrêt du convoyeur, activation des pistolets, gestion du moteur vertical et surveillance des capteurs de fin de course. L'écran IHM permet à l'opérateur de visualiser l'état du système en temps réel, de contrôler le démarrage ou l'arrêt du cycle, et de consulter les alertes ou messages.

Dans le cadre de ce projet, nous allons acquérir les différents composants électriques (automate, relais, disjoncteurs, IHM, alimentation, etc.), puis procéder nous-mêmes au montage et au câblage complet de l'armoire dans l'atelier. L'installation sera réalisée en conformité avec les normes de sécurité industrielle.

L'armoire a été conçue pour les environnements industriels exigeants. Elle contient l'ensemble des composants de commande et de protection : relais, disjoncteurs, borniers, alimentation 24V, API, etc. Ce système, installé à proximité immédiate de la chaîne de peinture, assure une supervision claire et un contrôle fiable du fonctionnement automatisé.

L'aspect physique de cette installation est illustré à la Figure 4.6, qui présente l'armoire électrique montée avec son interface IHM.



(a) Armoire électrique fermée avec interface IHM intégrée en façade.

(b) Armoire ouverte montrant les composants électriques internes.

**FIGURE 4.6** – Automate et système de contrôle : IHM et armoire électrique de commande.

#### 4.2.6.1 Vue générale de la chaîne

La Figure 4.7 ci-dessous présente une **vue d'ensemble de la chaîne de peinture automatisée** installée dans l'atelier de l'entreprise SARL CHEMMA ET CIE Incendie. Elle illustre l'ensemble des sous-systèmes interconnectés : convoyeur, système de comptage, cabine de peinture avec pistolets, système d'injection de poudre, four de cuisson, et armoire de commande. Cette configuration reflète l'intégration réelle du projet dans un environnement industriel opérationnel, démontrant la faisabilité et la cohérence du système mis en œuvre.



FIGURE 4.7 – Vues d'ensemble de la chaîne de peinture automatisée dans l'atelier.

### 4.3 Perspectives d'évolution et technologies connectées pour la supervision

Dans une logique de modernisation et d'adaptation aux exigences de l'Industrie 4.0, il devient essentiel de rendre les systèmes automatisés plus connectés, accessibles et évolutifs. Cette section présente deux solutions technologiques qui pourraient être intégrées dans notre système à l'avenir, afin de renforcer la supervision, améliorer l'accessibilité à distance, et simplifier le pilotage :

- Un **serveur web** embarqué, pour visualiser les données via un simple navigateur.
- Une interface de supervision distante réalisée avec **Node-RED**.

Ces technologies représentent une ouverture vers une usine plus intelligente, sans modifier l'architecture principale existante.

### 4.3.1 Serveur web embarqué pour la supervision

Dans une logique d'évolution vers des systèmes plus intelligents et connectés, le serveur web embarqué permet à un utilisateur d'accéder aux données internes d'un automate directement depuis un navigateur web, sans installer de logiciel spécifique.

Cette solution est particulièrement adaptée à la supervision distante, car elle offre une interface simple et légère, accessible via une adresse IP locale ou à travers un réseau sécurisé (VPN par exemple). Elle permet de consulter en temps réel les états des entrées/sorties, les registres internes, les alarmes, ou encore d'effectuer certaines actions de commande à distance.

#### 4.3.1.1 Intégration dans le système DVP-14SS2

L'automate Delta DVP-14SS2, utilisé dans notre système de pilotage, ne dispose pas nativement d'une interface réseau.

Pour permettre la connexion à un navigateur web, il est nécessaire d'ajouter un **module Ethernet latéral**, compatible avec la gamme Delta. Deux modèles principaux sont disponibles :

- **DVPEN01-SL** : version standard, permettant l'accès HTTP et la communication via le protocole Modbus TCP/IP.
- **DVPEN02-SL** : version avancée, intégrant en plus une sécurisation des échanges via le protocole HTTPS (SSL/TLS).

Une fois le module correctement installé, une adresse IP peut être attribuée à l'automate, par exemple : (192.168.0.10). En saisissant cette adresse dans un navigateur web (Chrome, Firefox, etc.), une page générée automatiquement par le module Ethernet affiche en temps réel les données du système automatisé (valeurs internes, états, alarmes...).

#### 4.3.1.2 Architecture matérielle associée

L'architecture matérielle nécessaire à l'intégration du serveur web embarqué est présentée dans le Tableau [4.1](#).

TABLEAU 4.1 – Architecture matérielle associée à la supervision web embarquée

Élément	Description
Automate DVP-14SS2	Automate principal du système, non équipé d'Ethernet
Module DVPEN01-SL	Module Ethernet standard (HTTP + Modbus TCP/IP)
Module DVPEN02-SL	Variante avec sécurisation HTTPS (SSL/TLS)
Connexion réseau	Câble RJ45 vers réseau local ou routeur
Navigateur client	Chrome, Firefox, Edge, etc. sur PC, tablette ou smartphone

#### 4.3.1.3 Fonctionnalités disponibles

Le serveur web embarqué permet d'accéder à différentes informations internes de l'automate, sans logiciel externe. Les principales fonctionnalités sont les suivantes :

- Lecture des valeurs internes de l'automate (exemple : D100, M0, T1, etc.)
- Visualisation en temps réel des états des entrées / sorties numériques ou analogiques
- Consultation des erreurs système ou alarmes historiques
- Possibilité d'intégrer des pages HTML personnalisées adaptées à l'application.

Certains modules, comme le DVPEN02-SL, offrent également des fonctions de commande à distance, telles que l'activation ou la désactivation d'un équipement (ex. : déclenchement d'un moteur), à condition que les autorisations soient correctement configurées. [28]

#### 4.3.1.4 Avantages de la solution

Comme le détaille Sunrise Automation, les principaux bénéfices liés à l'intégration d'un serveur web embarqué dans le système sont résumés dans le Tableau 4.2 [29].

TABLEAU 4.2 – Avantages du serveur web embarqué

Avantage	Explication
Facilité d'accès	Consultation via un navigateur web, sans installation de logiciel spécifique
Supervision mobile	Accessible depuis n'importe quel appareil connecté (PC, tablette, smartphone)
Coût réduit	Intégration possible avec un seul module complémentaire, sans SCADA industriel
Complémentarité	Fonctionne en parallèle avec l'IHM locale déjà installée

#### 4.3.1.5 Limites et recommandations

L'intégration d'un serveur web embarqué dans un environnement industriel présente certains points de vigilance. Les principales limites, ainsi que les solutions techniques recommandées, sont présentées dans le Tableau 4.3 ci-dessous.

TABLEAU 4.3 – Limites techniques et recommandations associées

Limite identifiée	Recommandation ou solution proposée
Pas de chiffrement avec DVPEN01-SL	Utiliser le DVPEN02-SL pour activer la sécurité HTTPS (SSL/TLS)
Pages statiques (pas de mise à jour dynamique)	Ajouter un rafraîchissement automatique en JavaScript (AJAX)
Peu d'interactivité par défaut	Créer des pages HTML personnalisées pour plus de contrôle
Limite de sessions simultanées	Restreindre l'accès ou utiliser une passerelle intermédiaire (ex. Node-RED)
Pas de gestion d'utilisateurs avancée	Mettre en place un filtrage IP et un mot de passe administrateur

#### 4.3.1.6 Résumé fonctionnel

L'ajout d'un serveur web embarqué constitue une solution simple, moderne et évolutive pour permettre la supervision d'un système automatisé à distance. Compatible avec l'automate DVP-14SS2 via un module externe, cette technologie renforce la flexibilité du système, sans remettre en cause son fonctionnement actuel. Elle représente une première

étape vers un système connecté et accessible, parfaitement adapté aux environnements industriels modernes.

## 4.3.2 Supervision distante via Node-RED

### 4.3.2.1 Principe général

Node-RED est un environnement de développement visuel permettant de connecter des équipements physiques à des services web via des blocs appelés *nœuds*. Initialement développé par IBM (International Business Machines), cet outil open-source est aujourd'hui largement utilisé pour des applications de supervision, d'automatisation ou d'Internet des objets (IoT).

Dans notre projet, Node-RED est proposé comme solution complémentaire permettant d'afficher à distance les données du système automatisé, via un tableau de bord accessible depuis un navigateur. [30]

### 4.3.2.2 Intégration avec l'automate DVP-14SS2

L'automate Delta DVP-14SS2 peut communiquer avec Node-RED à travers le protocole **Modbus**, selon deux options :

- **Modbus TCP/IP** : en utilisant un module Ethernet (DVPEN01-SL ou DVPEN02-SL).
- **Modbus RTU** : via le port RS-232 de l'automate relié à un PC ou Raspberry Pi par un convertisseur USB-RS232.

Dans les deux cas, Node-RED peut lire et écrire dans les registres de l'automate.

### 4.3.2.3 Fonctionnalités de supervision offertes

Node-RED permet de concevoir une interface graphique simple, consultable depuis un navigateur. Les principales fonctionnalités sont :

- Affichage de variables (température, état du convoyeur, nombre de pièces...).
- Création de jauges, voyants lumineux, textes dynamiques.
- Affichage d'historiques sous forme de graphiques.
- Mise en place de notifications visuelles ou d'alertes e-mail.
- Commandes à distance : boutons marche/arrêt, acquittement, etc. [31]

#### 4.3.2.4 Architecture de communication

Le schéma de la Figure 4.8 ci-dessous illustre la communication entre l'automate Delta et la plateforme Node-RED.

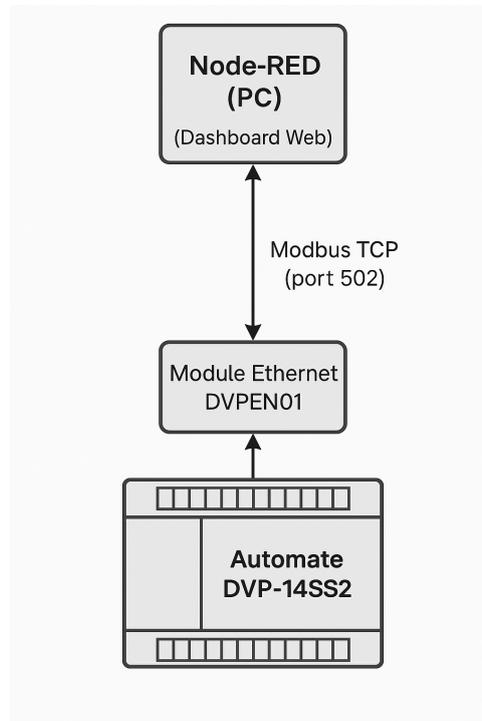


FIGURE 4.8 – Architecture de communication entre Node-RED et l'automate Delta DVP-14SS2

#### 4.3.2.5 Avantages de la solution

Les avantages liés à l'utilisation de Node-RED sont résumés dans le Tableau 4.4 ci-dessous.

TABLEAU 4.4 – Avantages de la supervision via Node-RED

Avantage	Explication
Interface personnalisée	Création d'un tableau de bord adapté au système surveillé
Accessibilité distante	Consultation depuis n'importe quel appareil via navigateur web
Gratuit et open-source	Sans frais de licence , large communauté d'utilisateurs
Compatible Modbus	Intégration facile avec les automates Delta (DVP-14SS2)
Extensible	Ajout possible de base de données, cloud, notifications, etc.

#### 4.3.2.6 Limites et recommandations

Certaines contraintes liées à l'usage de Node-RED sont à considérer. Le Tableau 4.5 propose des solutions adaptées.

TABLEAU 4.5 – Limites de Node-RED et recommandations

Limite identifiée	Recommandation ou solution proposée
Nécessite un PC ou Raspberry Pi dédié	Utiliser un mini-PC basse consommation ou un serveur local
Pas de sécurité native	Protéger l'accès avec mot de passe, VPN ou authentification HTTP
Flux mal configurés peuvent bloquer le système	Tester chaque scénario dans un environnement de simulation
Pas de haute disponibilité native	Utiliser un redémarrage automatique en cas d'erreur critique

#### 4.3.2.7 Résumé fonctionnel

L'intégration de Node-RED dans notre système constitue une solution moderne, flexible et accessible pour la supervision distante. Grâce à sa compatibilité avec le protocole Modbus, sa simplicité de prise en main et ses nombreuses possibilités de personnalisation, cette plateforme permettrait de compléter efficacement l'IHM locale existante.

Elle s'inscrit pleinement dans la dynamique de transformation numérique de l'industrie, en offrant une supervision connectée, ouverte et évolutive.

### 4.3.3 Synthèse des solutions de supervision connectée

Les deux solutions présentées le serveur web embarqué et la supervision via Node-RED offrent des approches complémentaires pour améliorer l'accessibilité, la flexibilité et la modernisation du système automatisé.

Le serveur web permet une consultation rapide, sans logiciel, adaptée à un usage local ou à distance en maintenance. Node-RED, quant à lui, propose une supervision graphique et dynamique, avec un haut niveau de personnalisation. [32]

Ces deux technologies s'intègrent aisément à l'automate Delta DVP-14SS2, grâce à une communication Modbus (TCP ou RTU). Le schéma de la Figure 4.9 résume l'architecture globale de communication mise en place pour connecter l'automate aux interfaces web de supervision.

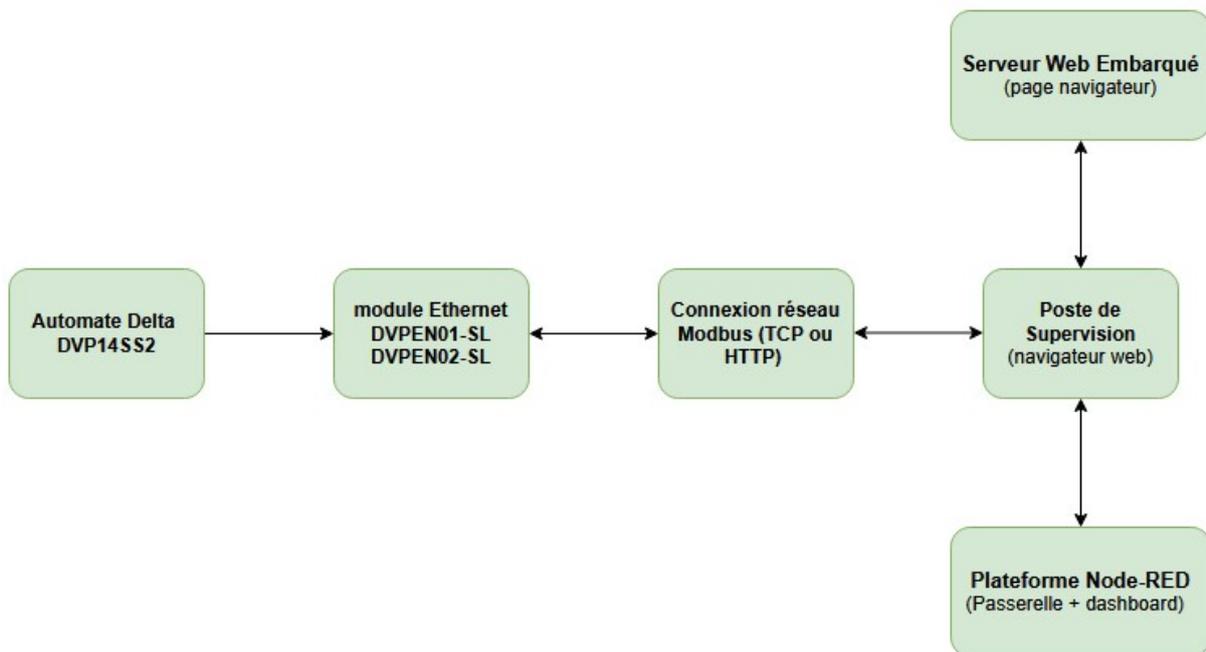


FIGURE 4.9 – Architecture de communication intégrant le serveur web embarqué et Node-RED

## 4.4 Conclusion

Le chapitre 4 a permis de présenter l'ensemble des travaux liés à l'intégration finale du système automatisé de peinture dans un environnement industriel réel.

L'accent a été mis sur l'implémentation pratique du système dans l'atelier, avec le câblage, la connexion et la mise en service de chaque sous-système : convoyeur, robot, système de peinture, four et unités de comptage. L'ensemble a été intégré autour de l'automate Delta DVP-14SS2 et de son armoire électrique sur mesure, centralisant le pilotage de l'installation. Des tests fonctionnels ont été réalisés pour valider le bon fonctionnement des composants, la conformité de la logique programmée, ainsi que la sécurité et la fiabilité du système en conditions réelles.

Enfin, des **perspectives d'évolution** ont été envisagées pour enrichir le système. Deux pistes ont été particulièrement étudiées : d'une part, l'intégration d'un **serveur web embarqué** via les modules DVPEN01-SL / DVPEN02-SL pour une supervision distante par navigateur, et d'autre part, l'exploitation de la plateforme **Node-RED**, compatible Modbus TCP/IP, permettant de construire une interface de supervision web évolutive et interactive.

Ces solutions illustrent une ouverture vers l'**Industrie 4.0**, en combinant automatisation locale robuste et technologies connectées modernes, pour garantir une meilleure accessibilité, une maintenance simplifiée et une supervision intelligente.

Ce chapitre marque ainsi une étape essentielle, où le système passe de la phase de développement à une version opérationnelle et extensible, prête à s'adapter aux futures exigences industrielles.

# Conclusion Générale

Le présent travail s'inscrit dans une démarche industrielle concrète visant à automatiser un procédé crucial dans la chaîne de fabrication d'extincteurs : la peinture. Ce processus, autrefois réalisé manuellement dans l'entreprise SARL CHEMMA ET CIE Incendie, présentait plusieurs limites en termes de régularité, de productivité et de conditions de travail. À travers ce projet, nous avons conçu, réalisé et mis en œuvre un système complet de peinture automatique, depuis l'étude mécanique jusqu'à l'intégration électrique, la programmation de l'automate, la supervision et les essais sur site réel. La conception du système a été assurée par une modélisation 3D précise sous SolidWorks, permettant de valider virtuellement chaque sous-système avant fabrication. Les choix techniques – capteurs, moteurs, four, interface IHM – ont été guidés par des critères d'efficacité, de simplicité et d'adaptabilité. L'étude électrique réalisée avec QElectroTech a permis de générer des schémas clairs, tandis que l'automatisation du système a été assurée par l'automate Delta DVP-14SS2, programmé sous WPLSoft.

La supervision locale a été développée via SKTOOL pour pupitre Samkoon, assurant une interface ergonomique et fonctionnelle pour l'opérateur. En parallèle, des solutions connectées ont été étudiées afin de rendre le système évolutif et conforme aux exigences de l'Industrie 4.0. Ainsi, l'intégration d'un serveur web embarqué (DVPEN01/02-SL) et l'utilisation d'une plateforme Node-RED a été étudiée, permettant un accès distant aux données du système via navigateur et une visualisation graphique dynamique des processus. Ces outils offrent des perspectives d'ouverture vers des systèmes intelligents, sécurisés et accessibles en mobilité.

La mise en service sur site a validé l'efficacité et la bonne synchronisation de l'ensemble du système : comptage, convoyage, peinture, cuisson et supervision fonctionnent désormais de manière automatisée, homogène et sécurisée. Ce projet nous a permis d'acquérir des compétences techniques variées dans un contexte industriel réel. Il constitue une base solide pour des évolutions futures vers des systèmes plus connectés, intelligents et performants.

# Bibliographie

- [1] Mikell P. Groover. Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing. <https://www.pearson.com/store/p/automation-production-systems-and-computer-integrated-manufacturing/P100001672473>, 2020. 5e édition, Pearson, Harlow (UK), ISBN 978-0133499612. Consulté le 15 juin 2025.
- [2] Gema Switzerland GmbH. Powder coating systems - electrostatic application technology. <https://www.gemapowdercoating.com/en/home/>, 2024. Consulté le 30 juin 2025.
- [3] Günter Buxbaum. Industrial organic pigments : Production, properties, applications. <https://www.wiley.com/en-us/Industrial+Organic+Pigments%3A+Production%2C+Properties%2C+Applications%2C+3rd+Edition-p-9783527304275>, 2000. 3e édition, Wiley-VCH, ISBN 978-3527304275. Consulté le 30 juin 2025.
- [4] SDN Distrib. Moteur électrique triphasé 5,5 kw 3000tr/min 112 imb5 400/690v cemer. <https://sdn-distrib.com/moteurs-electrique-triphas-a-bride-trous-lisses-b5/moteur-electrique-triphas-55-kw-3000trmin-112-imb5-400690v-cemer.html>, 2023. Consulté le 10 mai 2025.
- [5] ALMO. Moteur triphasé almo b3 11kw 1500 tr/min ha 160 400/690v ie1 alu. <https://www.em-distribution.fr/moteur-electrique-triphas-1500tr-min/3552-moteur-triphas-almo-b3-11kw-1500-trmin-ha-160-400690v-ie1-alu.html>, 2025. Consulté le 12 juin 2025.
- [6] [Fabricant]. [nom du produit]. <https://www.rvtv.co.uk/shopdetail/22134501/>, 2025. Consulté le 12 juin 2025.
- [7] Festo. Technical datasheet for [product name]. <https://www.festo.com/fr/fr/a/download-document/datasheet/19251>, 2023. Document n° 19251, version 1.0. Consulté le 5 mai 2025.

- [8] MIDITEC. Brûleurs à gaz. <https://miditec.fr/produits/bruleurs/gaz/>, 2023. Consulté le 2 juin 2025.
- [9] Industruino. Industruino tz-8108 - industrial automation module. <https://www.mouser.fr/ProductDetail/Industruino/TZ-8108?qs=HXFqYaX1Q2yzh1YHhxYj%2FQ%3D%3D>, 2025. Consulté le 12 juin 2025 – Source : Mouser Electronics.
- [10] Orbit Electronique. Thermocouple type k - ir6500-01. <https://www.orbit-dz.com/product/0ir6500-01/>, 2023. Consulté le 20 mai 2025.
- [11] Schneider Electric. Xs618b1pa2 - détecteur inductif métal m18 l=63mm noyable sn=8mm dc3 pnp no 2m - télémechanique. <https://tinyurl.com/schneider-xs618b1pa2>, 2023. Consulté le 25 mai 2025.
- [12] Schneider Electric. Icie0910ms - contactor by schneider electric. <https://www.se.com/ww/en/product/ICIE0910MS/>, 2025. Consulté le 12 juin 2025.
- [13] Schneider Electric. Schneider electric thermal relays search results. <https://www.se.com/ww/en/search/?q=-+Relais+Thermique+Schneider>, 2025. Consulté le 12 juin 2025.
- [14] Orbit Electronique. Bzspt - relais auto 12v 8 pins. <https://www.orbit-dz.com/product/12-bzspt-relais-auto-12v-8-pines/>, 2023. Consulté le 12 juin 2025.
- [15] Powtran. Powtran pi500 series high performance vector control inverter user manual. <https://www.powtran.com/upload/202101/15/202101151704563492.pdf>, 2021. Consulté le 30 avril 2025.
- [16] Made-in-China.com. Electrostatic powder coating machine - powder spray paint gun. <https://tinyurl.com/poudre-electrostatique>, 2024. Consulté le 1 juin 2025.
- [17] QElectroTech Community. Qelectrotech - electric schematic editor. <https://qelectrotech.org/>, 2025. Consulté le 12 juin 2025.
- [18] IBM Corporation. What is automation? <https://www.ibm.com/cloud/learn/automation>, 2024. Consulté le 29 juin 2025.
- [19] IFM Electronic. Qu'est-ce que l'automatisation industrielle? <https://www.ifm.com/fr/fr/shared/know-how/automation>, 2023. Consulté le 29 juin 2025.
- [20] Hugh Jack. Automating manufacturing systems with plcs. [https://archive.org/details/ost-engineering-plcbook5\\_1](https://archive.org/details/ost-engineering-plcbook5_1), 2008. Consulté le 30 juin 2025 (version Archive.org).
- [21] Siemens AG. Programmable logic controllers - basics and overview. <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc.html>, 2025. Consulté le 30 juin 2025.

- [22] Delta Electronics. Products - plc - programmable logic controllers. <https://www.deltaww.com/en-US/products/PLC-Programmable-Logic-Controllers/ALL/>, 2025. Consulté le 27 mai 2025.
- [23] Delta Electronics. *DVP Series Programmable Logic Controller : Model and Module Information*, June 2025. Consulté à partir du document PDF interne fourni par Delta Electronics.
- [24] Delta Electronics. Announcement : Wplsoft v2.30. <https://delta-ia-tips.com/2012/06/05/announcement-wplsoft-v2-30/>, 2012. Consulté le 29 juin 2025.
- [25] Samkoon Technology. Sk hmi - samkoon. <https://www.samkoon.store/sk-hmi/>, 2025. Consulté le 2 juin 2025.
- [26] Samkoon Technology. Sk series hmi user manual. <https://www.samkoon.store/wp-content/uploads/2021/12/SK-User-manual.pdf>, 2021. Document version : V3.0, consulté le 12 juin 2025.
- [27] Samkoon Technology. Sk-102he-v3 - 10.1-inch hmi touch screen. <https://www.samkoon.store/sk-102he-v3/>, 2025. Consulté le 12 juin 2025.
- [28] Delta Electronics. Dvpen01-sl ethernet module - user manual. <https://www.delta.com.tw>, 2016. Documentation technique officielle de Delta Electronics, consultée le 25 juillet 2025.
- [29] Sunrise Automation Systems. Benefits of using embedded web servers in industrial control. <https://www.sunriseautomation.com>, 2023. Livre blanc industriel sur la supervision distante, consulté le 25 juillet 2025.
- [30] IBM Emerging Technology. Node-red : A visual tool for wiring the internet of things. <https://nodered.org>, 2013. Projet open-source initié par IBM pour l'automatisation web, consulté le 25 juillet 2025.
- [31] José Lorenzo et al. *Industrial IoT and Node-RED Applications in Automation*. Tech-Press, 2021. Applications de Node-RED dans l'automatisation industrielle.
- [32] Alasdair Gilchrist. *Industry 4.0 : The Industrial Internet of Things*. Apress, 2016. Référence clé sur la transformation numérique de l'industrie.

## Annexe A

# Cahier des charges technique du système de peinture automatique

## A.1 Introduction

Ce cahier des charges technique présente de manière détaillée les spécifications, exigences et fonctionnalités du système automatisé de peinture développé dans le cadre de notre projet de fin d'études. Il constitue un document de référence destiné à l'ensemble des acteurs impliqués dans l'utilisation, l'exploitation, la maintenance et le développement futur du système.

L'objectif principal de ce document est de formaliser les caractéristiques techniques du système livré, afin d'assurer une compréhension partagée entre les concepteurs, les utilisateurs finaux, les opérateurs de maintenance, et les responsables techniques. Ce cahier permet également de poser un cadre clair pour l'intégration du système dans un environnement industriel réel, en garantissant le respect des exigences de performance, de sécurité, et de traçabilité.

Le système de peinture automatique proposé s'inscrit dans une démarche d'amélioration continue des procédés de fabrication. Il répond à un besoin industriel bien identifié : automatiser un processus répétitif, améliorer la qualité du produit fini, réduire les risques pour les opérateurs et optimiser les coûts de production. Ce cahier des charges en détaille chaque composant, fonctionnalité, contrainte et objectif attendu.

## A.2 Objectifs du système

Le système de peinture automatique vise à :

- Automatiser l'application de la peinture en poudre sur les extincteurs.
- Améliorer l'uniformité et la qualité du revêtement.
- Réduire la pénibilité du travail humain.
- Optimiser la cadence de production.
- Garantir la traçabilité et le contrôle du processus.

## A.3 Description fonctionnelle

Le système est composé des éléments suivants :

- Convoyeur motorisé pour le transport des extincteurs.
- Système de comptage par capteur inductif.
- Cabine de pulvérisation automatique.
- Machine de pulvérisation de poudre électrostatique à trois pistolets verticaux.
- Moteur de rotation pour assurer la couverture cylindrique.
- Moteurs pour la montée/descente du robot.

- Capteurs de fin de course pour détecter la position du robot.
- Four de cuisson pour la polymérisation de la peinture.
- Automate programmable Delta DVP-14SS2.
- Interface Homme-Machine (IHM) Samkoon SK-102HE.
- Armoire de commande complète (puissance et commande).
- Interface de supervision avec alarmes, maintenance, paramètres, suivi opérationnel.

## A.4 Performances attendues

Le tableau A.1 présente les critères de performance exigés pour garantir la qualité et la fiabilité du processus de peinture automatique.

TABLEAU A.1 – Performances attendues du système de peinture automatique

Critère	Spécification minimale attendue
Nombre de pièces par heure	60 pièces/h
Temps moyen de peinture	60 secondes par extincuteur
Homogénéité du revêtement	95 %
Température four	120–180 °C
Temps de cuisson	20 à 25 min (configurable via IHM)
Nombre de cycles avant cuisson	Configurable (ex. 7 cycles)

## A.5 Spécifications techniques

### A.5.1 Alimentation électrique

- 380V triphasé pour les actionneurs.
- 24V DC pour la commande.
- 24V DC pour l'alimentation de l'automate et de l'IHM.

### A.5.2 Communication

- Type : RS232.
- Protocole : Modbus RTU ou Delta.
- Liaison : Point-à-point (automate HMI Samkoon).

### A.5.3 Actionneurs

- Moteur convoyeur : 5.5 kW triphasé avec variateur POWTRAN PI130-0R4G1.
- Moteur de rotation : moto-réducteur asynchrone triphasé 0.37 kW à 0.55 kW.
- Robot vertical : moteur 0.37 kW avec capteurs fin de course.
- Four : brûleur, thermocouple type K, ventilateur.

### A.5.4 Capteurs

- Inductif (comptage).
- Fin de course (haut/bas).
- Température (type K).

## A.6 Interface opérateur (IHM)

- **Paramètres configurables** : nombre de tours, cycles avant cuisson, temps de cuisson.
- **Alarmes visibles** : moteur bloqué, réservoir vide, surchauffe, capteurs défaillants.
- **Supervision** : état des entrées/sorties, suivi des compteurs.
- **Maintenance** : test manuel des sous-systèmes, réinitialisation des compteurs.
- **Sécurité** : accès restreint à certaines fonctions via mot de passe administrateur.

## A.7 Sécurité et conformité

- Arrêt d'urgence intégré.
- Barrière immatérielle possible.
- Protections thermiques et disjoncteurs.
- Interface accessible uniquement après authentification.

## A.8 Plan de maintenance

- Maintenance préventive planifiée via IHM.
- Affichage du statut de maintenance (à jour / retardée).
- Possibilité de test manuel de chaque actionneur.

## **A.9 Documentation fournie**

- Schéma électrique (réalisé via QElectroTech).
- Programme automate WPLSoft.
- Interface IHM SKTOOL.
- Guide utilisateur.
- Cahier de maintenance.

## **A.10 Conclusion**

Ce cahier des charges technique regroupe l'ensemble des spécifications fonctionnelles et techniques du système automatisé de peinture. Il constitue un outil essentiel pour assurer une vision commune entre les différents intervenants du projet, qu'il s'agisse des ingénieurs, des techniciens, des utilisateurs ou des services de maintenance.

En cadrant précisément les exigences de performance, de sécurité, de communication et d'ergonomie, ce document facilite le déploiement efficace du système dans un contexte industriel. Il servira également de référence pour toute amélioration ou évolution future du système, et garantira la conformité des opérations de maintenance, de mise à jour ou d'intégration.

En somme, ce document vise à assurer la pérennité du système, sa fiabilité dans le temps, et sa facilité de prise en main par les opérateurs terrain.

## Annexe B

# Catalogue technique et manuel opérateur

## B.1 Guide utilisateur

Ce guide utilisateur est destiné aux opérateurs chargés de l'exploitation quotidienne du système de peinture automatique. Il décrit les étapes nécessaires à la mise en marche, à l'utilisation sécurisée, et à l'arrêt du système, tout en indiquant les consignes à respecter.

### B.1.1 Mise en service du système

1. Vérifier que tous les câblages sont correctement connectés.
2. Mettre sous tension l'armoire électrique (interrupteur général).
3. Attendre l'initialisation de l'IHM (écran Samkoon SK-102HE).
4. Vérifier les indicateurs d'état système sur la page de supervision.

### B.1.2 Chargement des extincteurs

1. Placer manuellement les extincteurs sur le chariot.
2. Démarrer le convoyeur via l'IHM.
3. Le capteur inductif détecte les extincteurs à l'entrée.

### B.1.3 Processus de peinture automatique

1. À la détection de 3 extincteurs, le convoyeur s'arrête.
2. Le robot vertical commence les allers-retours synchronisés avec l'injection de poudre.
3. Chaque extincteur est mis en rotation pour couvrir toute la surface.

### B.1.4 Cuisson dans le four

1. Une fois peints, les extincteurs sont transportés vers le four.
2. Le four est automatiquement activé selon le temps programmé sur l'IHM.
3. En fin de cuisson, le convoyeur reprend et évacue les pièces.

### B.1.5 Paramétrage depuis l'IHM

- Modifier le nombre de cycles avant cuisson.
- Régler le nombre de tours du robot.
- Ajuster le temps de cuisson.
- Superviser les compteurs en temps réel.

### B.1.6 Arrêt du système

1. Arrêter la machine via l'IHM (bouton arrêt système).
2. Couper l'alimentation électrique via l'interrupteur général.
3. Nettoyer la cabine si nécessaire (consignes de sécurité à suivre).

## B.2 Cahier de maintenance

Ce cahier de maintenance vise à assurer le bon fonctionnement à long terme du système, en définissant les opérations à effectuer périodiquement, les tests manuels, et les diagnostics à suivre.

### B.2.1 Déroulement du cycle automatique

1. Démarrage système via bouton marche (X0), si bouton arrêt (X1) et arrêt d'urgence (X7) sont relâchés.
2. Détection d'un extincteur via capteur inductif (X2) → incrémentation du compteur C0.
3. Après 3 extincteurs détectés ( $C0 = 3$ ), début du cycle peinture :
  - Rotation de l'extincteur (Y1).
  - Injection de peinture (Y4).
  - Mouvement automatique du robot :
    - Monte (Y2) jusqu'à fin de course haut (X3).
    - Descend (Y3) jusqu'à fin de course bas (X4).
    - À chaque aller-retour :  $C1 \leftarrow C1 + 1$
4. Lorsque  $C1 = D0$  (nombre de tours saisi via HMI)  $\Rightarrow$  arrêt du robot,  $C2 \leftarrow C2 + 1$ .
5. Après X cycles complets ( $C2 = D1$ )  $\Rightarrow$  démarrage du four (Y5).
6. Four reste actif pour une durée réglable (D2 en secondes), puis :
  - Arrêt du four (RST Y5).
  - Redémarrage du convoyeur (Y0).
7. Le système boucle automatiquement.

### B.2.2 Sécurité et arrêt

- Arrêt par bouton (X1) ou arrêt d'urgence (X7) entraîne l'arrêt complet des sorties.

- Les mémoires M100, M1, M30, M31 gèrent les états de démarrage/peinture/robot.
- En cas d'arrêt, les valeurs des compteurs et états sont conservées (non réinitialisées).

### B.2.3 Maintenance préventive

L'objectif est d'assurer la fiabilité du système en évitant les arrêts non planifiés et en prolongeant la durée de vie des composants.

Le tableau B.1 présente les opérations à effectuer selon chaque sous-système.

TABLEAU B.1 – Actions de maintenance préventive recommandées

Équipement / Processus	Fréquence	Action recommandée
Moteur convoyeur	Hebdomadaire	Vérification des fixations, bruit anormal, surchauffe
Variateur POWTRAN	Mensuelle	Contrôle température, ventilation, état des câbles
Injection de peinture	Quotidienne	Nettoyage buses, pression d'air, vérif. de la poudre
Moteur de rotation bouteille	Hebdomadaire	Vérification fixation et rotation fluide
Robot vertical (montée / descente)	Hebdomadaire	Vérif. contacteurs, lubrification, fins de course
Contacteurs (KM1, KM2, etc.)	Mensuelle	Vérification contacts, bobines, test
Four de cuisson	Hebdomadaire	Nettoyage, vérif. thermostat, température
Capteurs fin de course (haut / bas)	Hebdomadaire	Contrôle fonctionnement et nettoyage
Capteur inductif de comptage	Hebdomadaire	Nettoyage, test, alignement
Armoire électrique	Mensuelle	Vérification bornes, état visuel, ventilation
IHM Samkoon SK-102HE	Mensuelle	Vérification affichage, liaison automate
Automate Delta DVP-14SS2	Trimestrielle	Sauvegarde programme, test E/S

Connexion RS232 Auto-mate-IHM	Trimestrielle	Vérif. câble, connecteurs, stabilité
Système de comptage / cycles	Mensuelle	Vérification cohérence détection / affichage

### B.2.4 Test manuel depuis l’IHM

Depuis la vue “Maintenance” :

- Forcer l’activation de chaque moteur.
- Tester l’ouverture des électrovannes (si applicable).
- Vérifier la réponse des capteurs.
- Réinitialiser les compteurs individuellement.

### B.2.5 Alarmes à surveiller

Le système affiche les alarmes critiques sur l’IHM avec horodatage. Le tableau B.2 liste les codes et actions recommandées.

**TABLEAU B.2** – Liste des alarmes critiques et actions recommandées

Code	Intitulé	Action recommandée
ALR-101	Robot bloqué fin de course haute	Vérifier capteur de position et engrenage
ALR-102	Robot bloqué fin de course basse	Contrôler fin de course bas et relai associé
ALR-103	Surcharge moteur robot	Couper l’alim., vérifier effort mécanique
ALR-104	Perte de signal encodeur	Vérifier câble, connecteurs, capteur
ALR-201	Réservoir primaire vide	Remplir le réservoir de peinture
ALR-202	Réservoir durcisseur vide	Vérifier niveau, alimentation poudre
ALR-203	Pression air basse	Vérifier compresseur ou fuite
ALR-204	Température pulvérisation hors plage	Vérifier capteur ou réglage
ALR-301	Surchauffe four > Tmax	Couper, laisser refroidir, vérifier thermostat
ALR-302	Temp. insuffisante après délai	Contrôler brûleur, alimentation
ALR-303	Ventilateur four défaillant	Vérifier rotation, alimentation

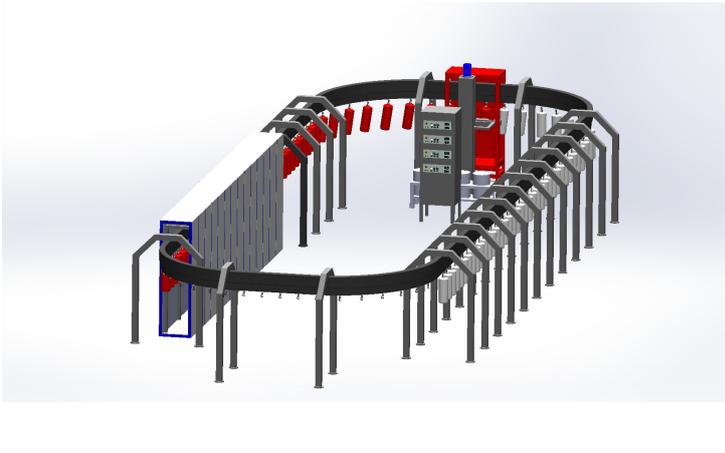
ALR-304	Thermostat sécurité déclenché	Rearmer après inspection
ALR-401	Convoyeur bloqué / couple élevé	Vérifier engrenage ou surcharge
ALR-402	Capteur bouteille inactif	Nettoyer ou remplacer le capteur
ALR-501	Entrée automate (Xn) défailante	Contrôler câblage, capteur, borne
ALR-502	Sortie automate (Yn) non confirmée	Vérifier relai ou résistance de charge
ALR-601	Nombre de tours hors plage	Vérifier valeur saisie
ALR-602	Temps de cuisson hors plage	Corriger valeur IHM
ALR-701	Arrêt d'urgence enclenché	Vérifier sécurité, désactiver manuellement
ALR-702	Barrière immatérielle rompue	Vérifier présence humaine / obstacle
ALR-801	Filtre de peinture colmaté	Nettoyer ou remplacer le filtre

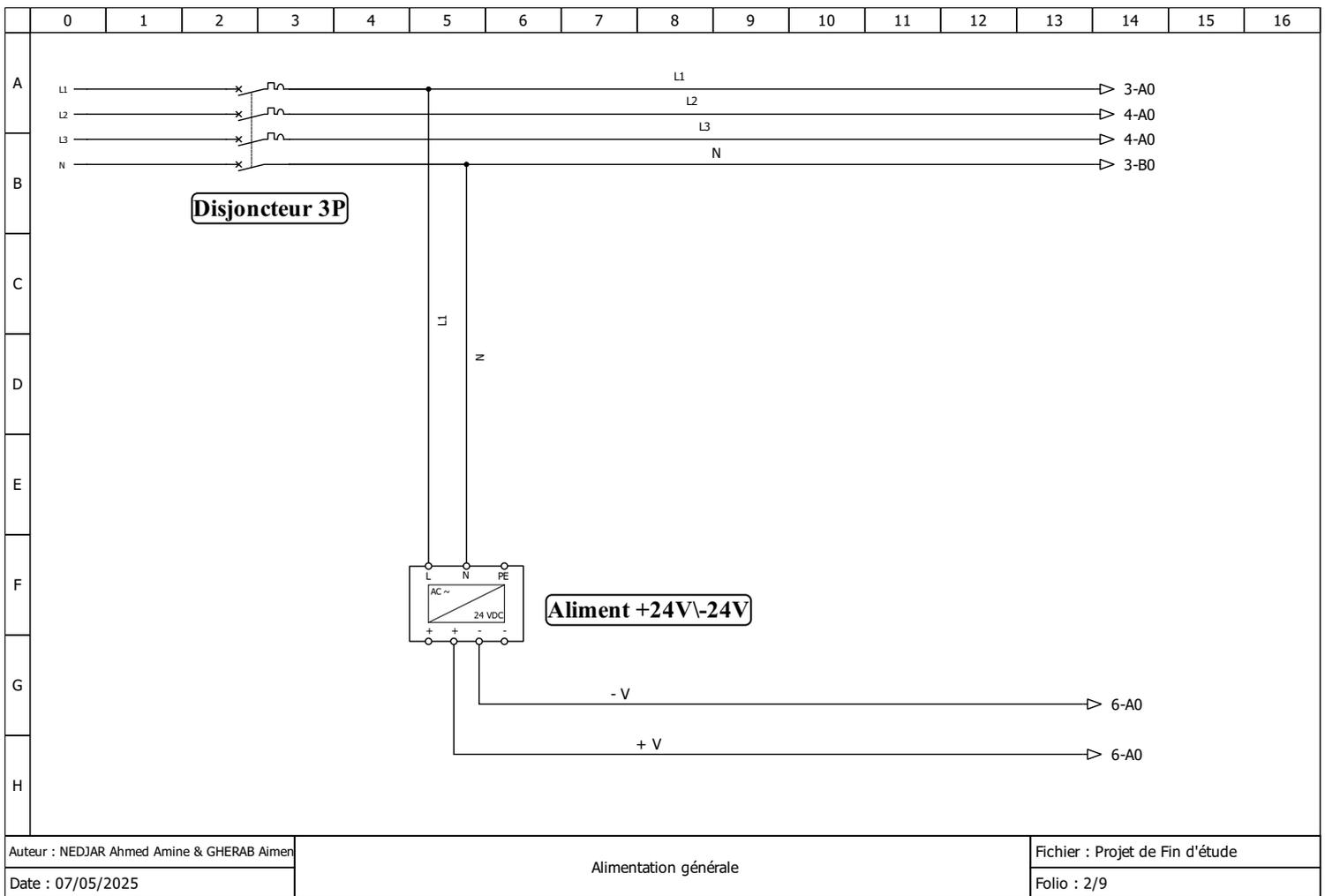
**Remarques :**

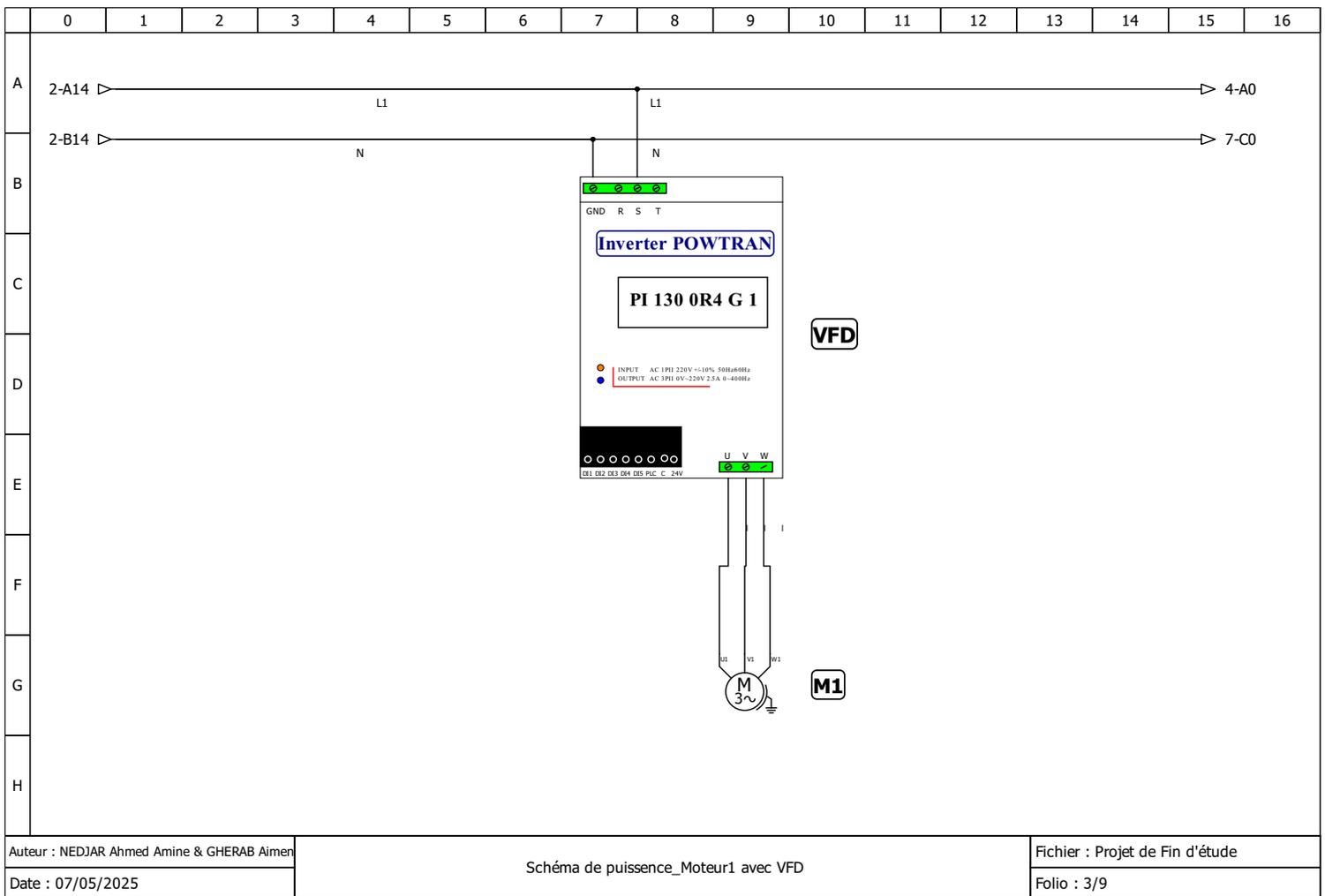
- Toutes les alarmes sont acquittables via l'IHM avec horodatage.
- Couleurs d'indication :
  - Rouge : alarme active non acquittée.
  - Orange : alarme acquittée mais non résolue.
  - Vert : aucune alarme active.

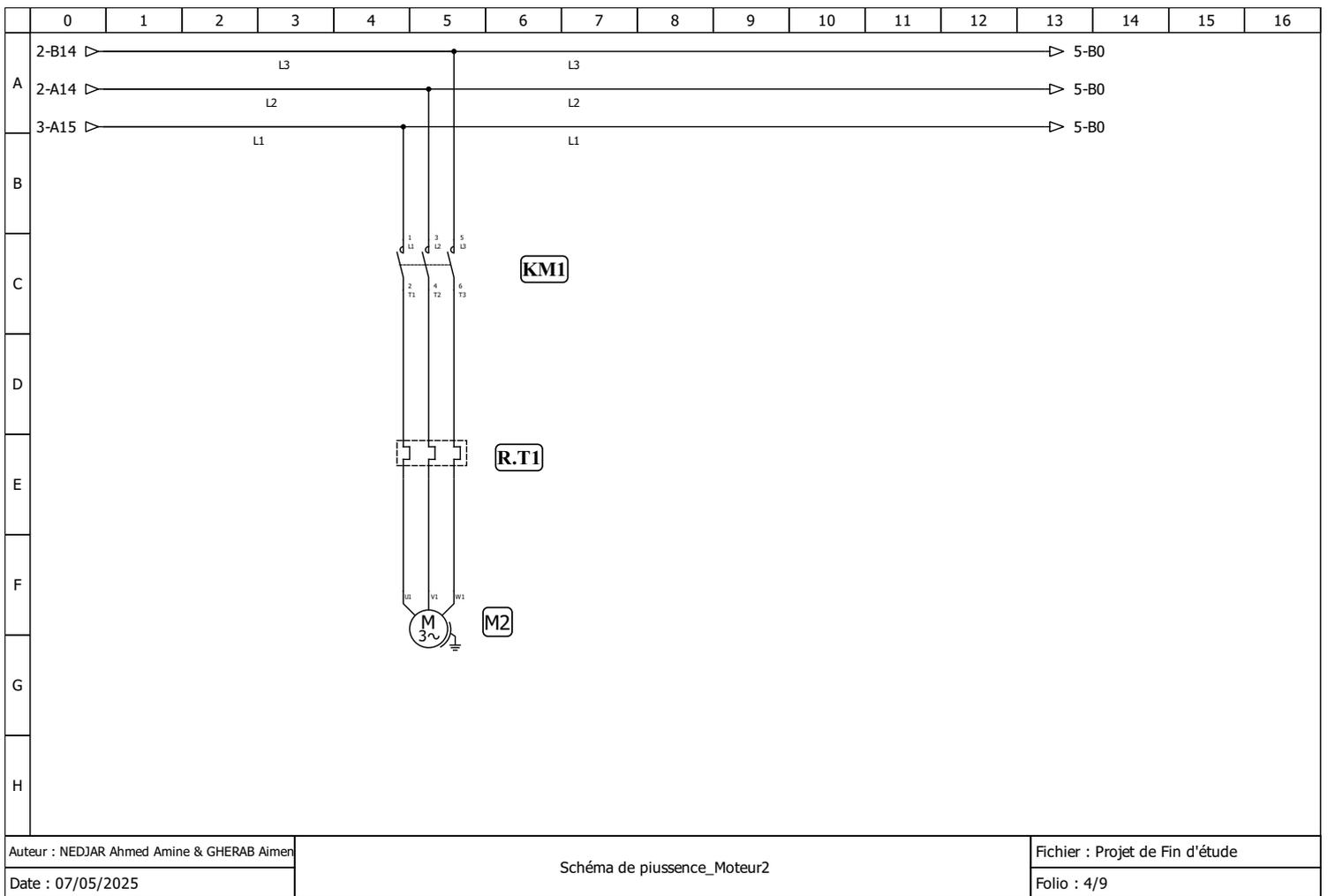
### B.3 Schéma électrique du système

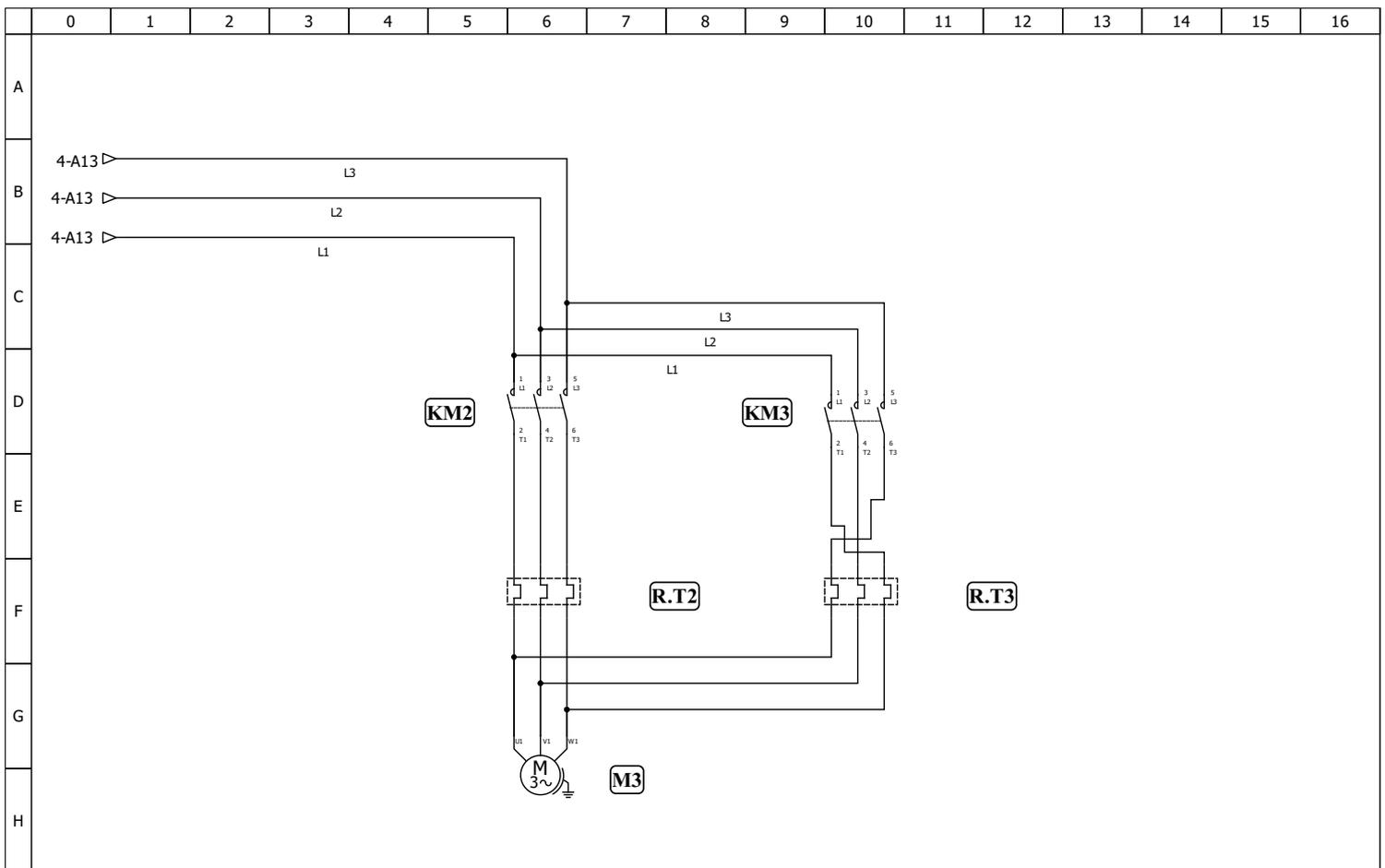
Le schéma électrique ci-dessous illustre l'ensemble des connexions de puissance, de commande, de signalisation et de communication du système de peinture automatique. Il comprend les câblages de l'armoire électrique, les branchements des capteurs et actionneurs, l'automate Delta DVP-14SS2, ainsi que l'interface IHM Samkoon. Ce schéma est un outil indispensable pour le diagnostic, la maintenance, et toute évolution future du système.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	<b>Ecole Nationale Supérieure des Technologies Avancées</b>																
B	Dergana, Alger																
C	 <b>Générateur: NEDJAR Ahmed Amine GHERAB Aimen</b> <b>Tel: +213 (0) 778483442 +213 (0) 556254437</b> 																
D	<b>société / client</b> " SARL CHEMMA ET CIE Incendie "																
E	<b>Description de projet</b> Schémas électriques d'un système automatisé de peinture pour extincteurs.																
F	<b>Nom de projet</b> Projet Fin d'étude																
G	<b>responsable de projet</b> Fyçal BAMMOUNE																
H	<b>année de construction</b> 2025																
	<b>Lieu d'installation</b> Rélizane, Algérie																
	<b>Alimentation</b> 220V AC																
	<b>Tension de controle</b> 24V DC																
Auteur : NEDJAR Ahmed Amine & GHERAB Aimen					Page de Garde - Informations générales sur le projet					Fichier : Projet de Fin d'étude							
Date : 07/05/2025										Folio : 1/9							

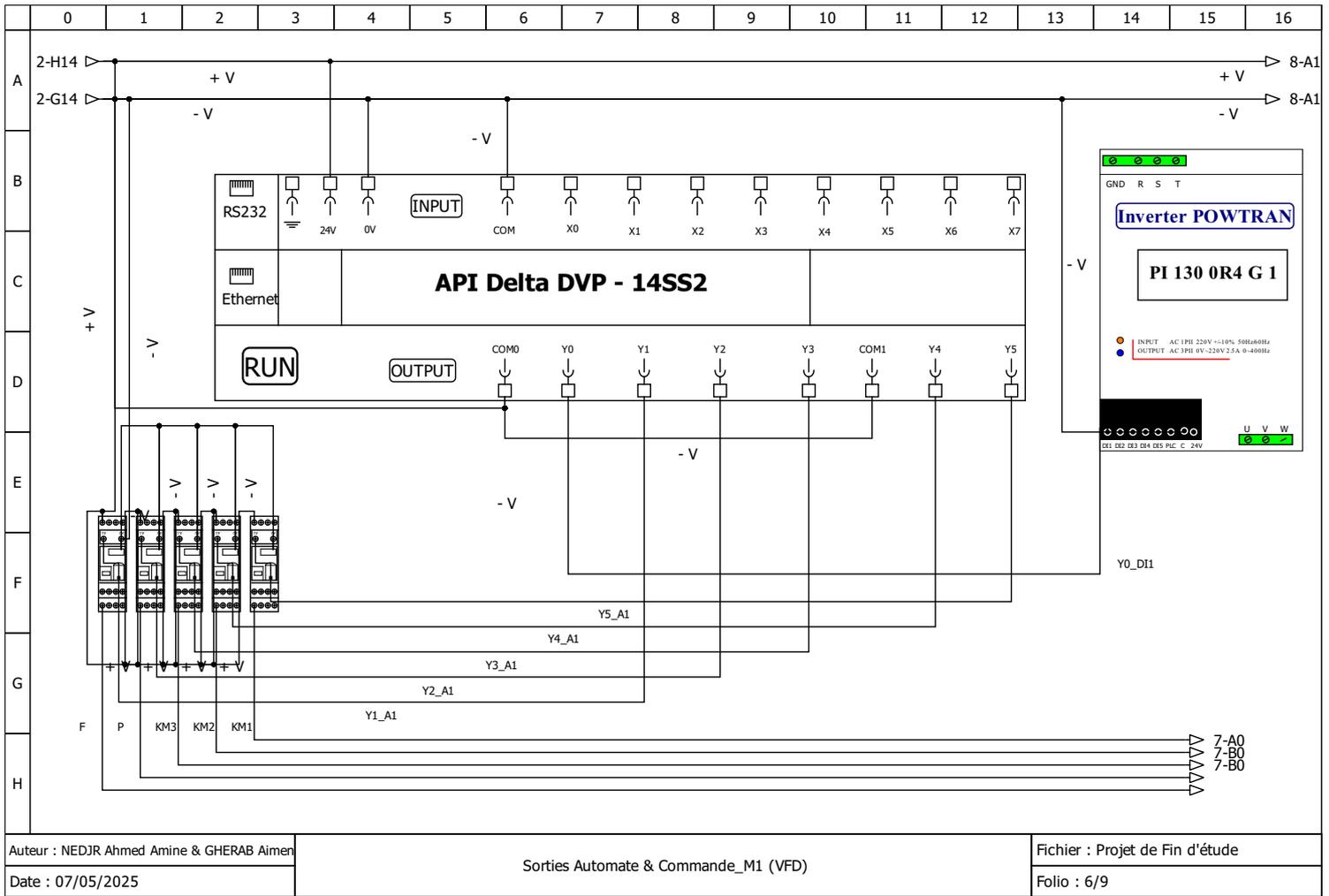


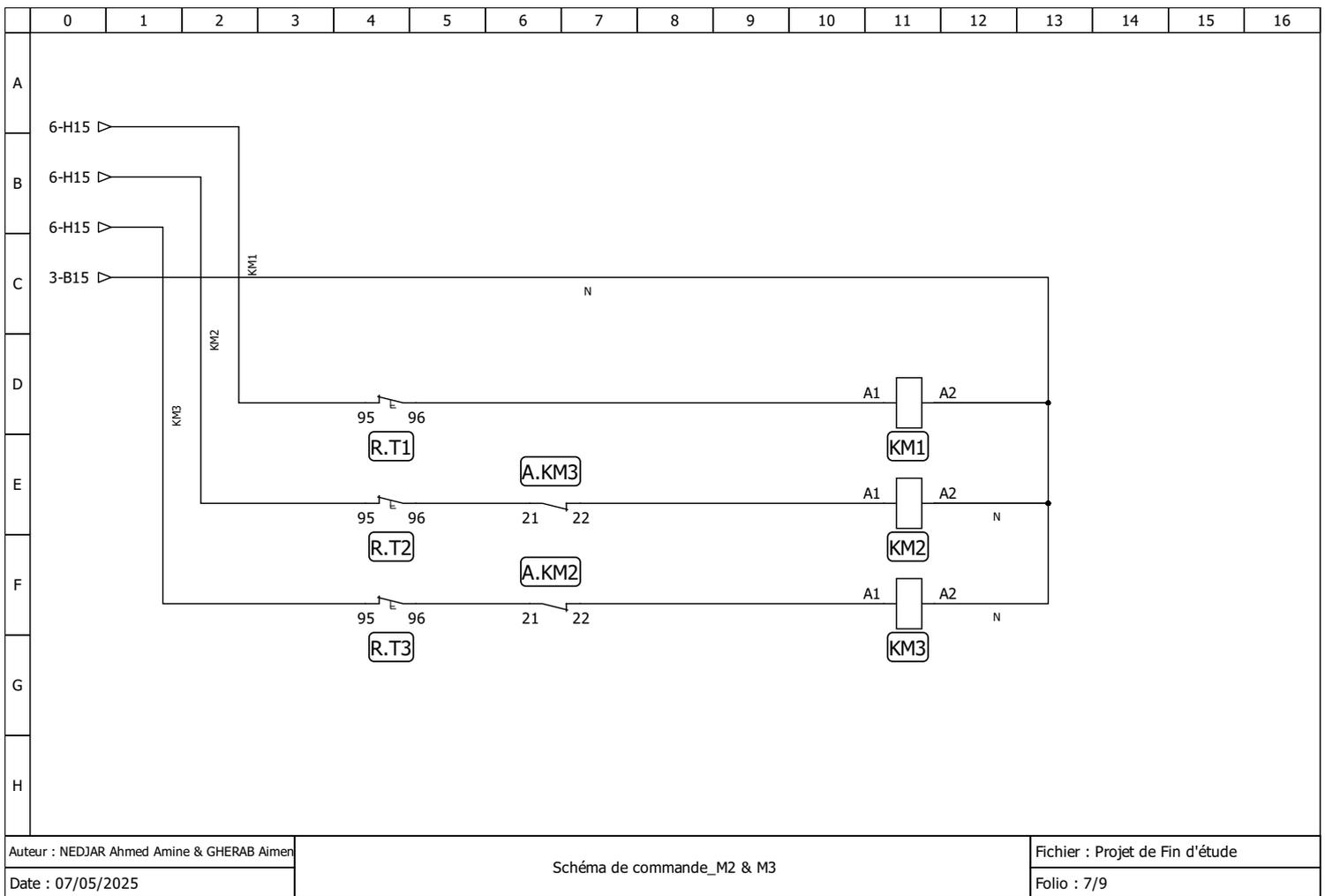


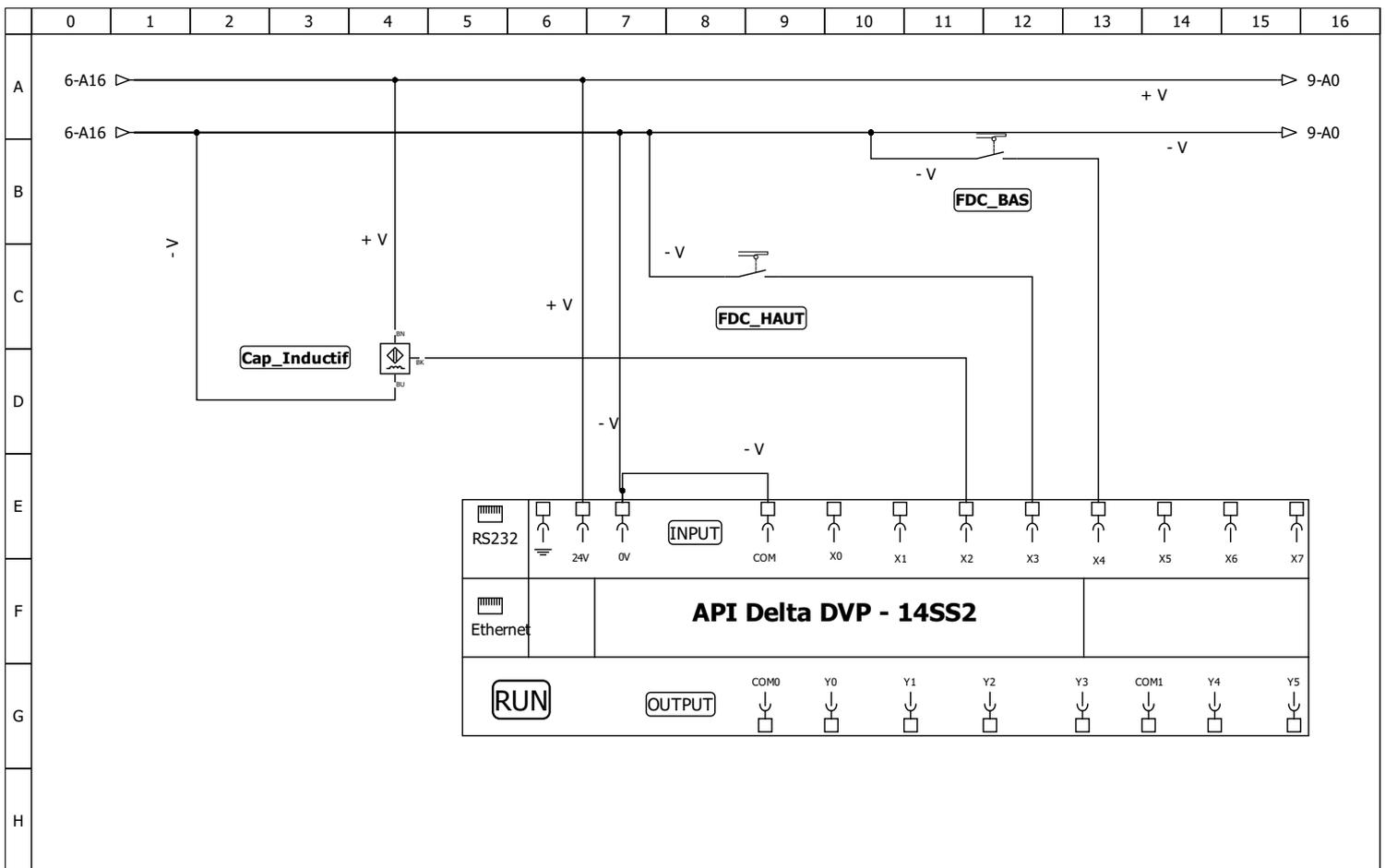




Auteur : NEDJAR Ahmed Amine & GHERAB Aimen	Schéma de puissance_Moteur3	Fichier : Projet de Fin d'étude
Date : 07/05/2025		Folio : 5/9



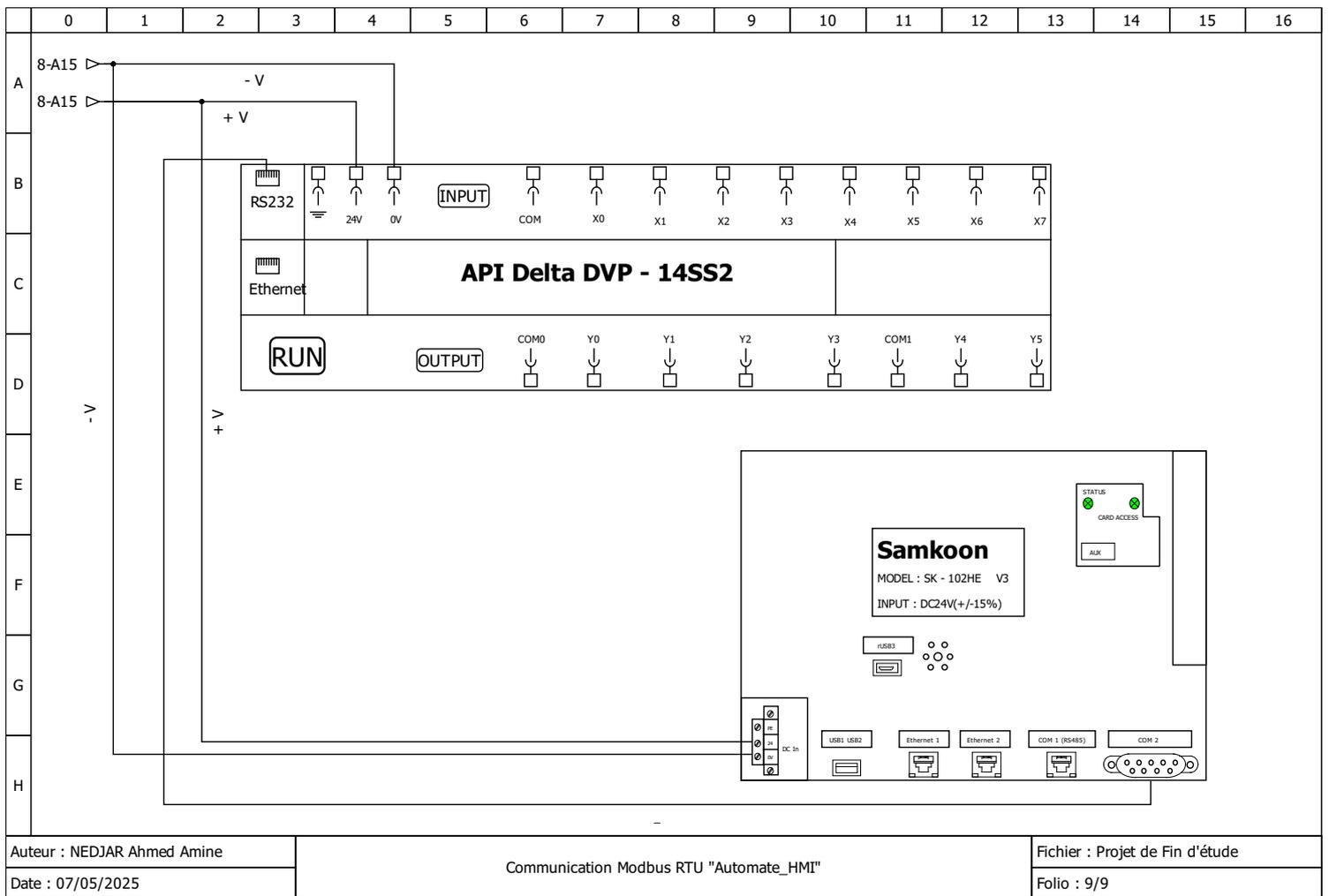




Auteur : NEDJAR Ahmed Amine & GHERAB Aimen  
 Date : 07/05/2025

Commande des capteurs & Entrées Automate

Fichier : Projet de Fin d'étude  
 Folio : 8/9



## Annexe C

### Fiche technique du module DVPEN02-SL

## C.1 Présentation générale

Le module **DVPEN02-SL** est un module de communication Ethernet conçu pour les automates des séries suivantes :

- DVP-SE\* (V2.0 et suivantes)
- DVP-SE2\*, SX2\* (V1.2 et suivantes)
- DVP-SA2\*, SV3\*\*, SX3\*\*

Ce module permet la configuration à distance de l'automate et assure diverses fonctions de communication via des logiciels d'édition de projet. Il prend en charge :

- l'envoi de courriers électroniques (SMTP sécurisé TLS/SSL).
- les diagnostics réseau.
- les mises à jour de micrologiciel via une interface Web sans besoin d'équipements supplémentaires.

Le module **DVPEN02-SL**, illustré à la figure [C.1](#)



FIGURE C.1 – Vue du module de communication Ethernet DVPEN02-SL

## C.2 Caractéristiques et avantages

Le schéma de la figure [C.2](#) montre une architecture typique d'intégration du module DVPEN02-SL avec divers équipements industriels. On y observe les connexions Ethernet/IP, Modbus TCP, CANopen, ainsi que l'interface avec les logiciels ISPSOft/WPLSOft et le cloud.

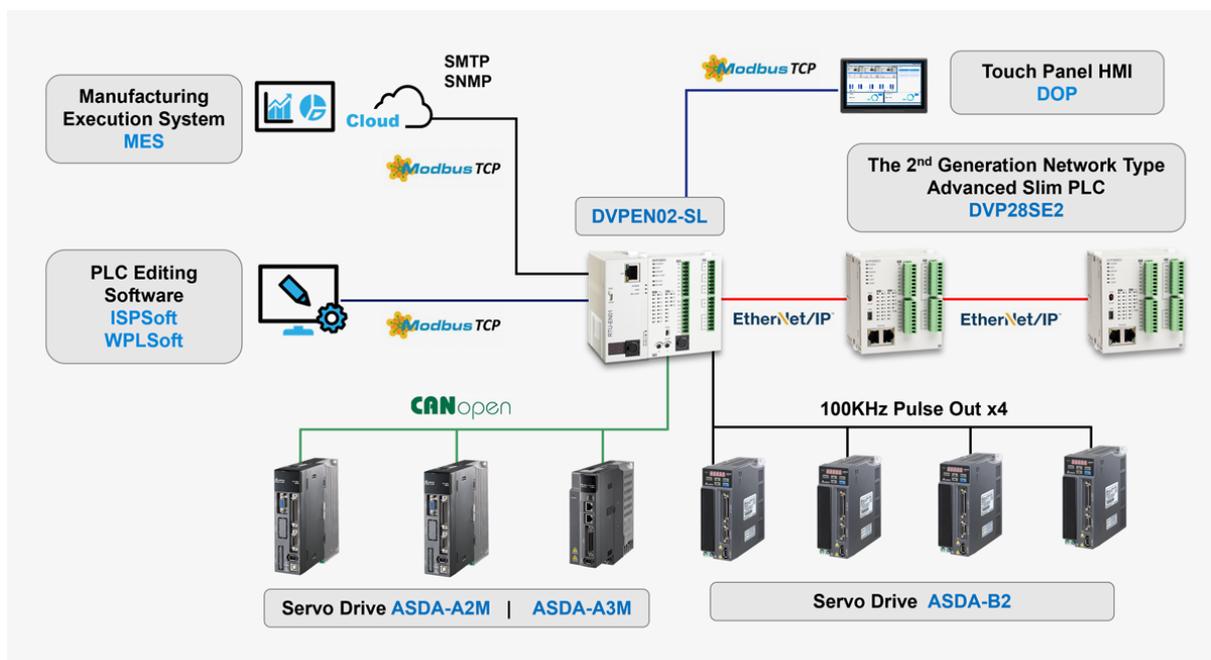


FIGURE C.2 – Architecture de communication du module DVPEN02-SL dans un environnement industriel

Ce schéma met en évidence les avantages du DVPEN02-SL :

- Double port Ethernet permettant une topologie en guirlande (daisy-chain).
- Compatibilité avec Modbus TCP, CANopen, et Ethernet/IP.
- Intégration cloud avec prise en charge de SMTP sécurisé et SNMP.
- Communication avec les servomoteurs (ASDA) et panneau IHM.

### C.3 Comparatif des spécifications techniques

Le tableau C.1 présente une comparaison détaillée entre les modules DVPEN01-SL et DVPEN02-SL, en mettant en évidence les améliorations fonctionnelles et les nouvelles capacités réseau apportées par la seconde version.

TABLEAU C.1 – Comparaison des modules DVPEN01-SL et DVPEN02-SL

Spécification	DVPEN01-SL	DVPEN02-SL
Nombre de ports Ethernet	1	2
Port RS-232	Oui	Non
Recherche réseau	COMMGR	COMMGR
Programmation PLC	ISPSOft	ISPSOft
Configuration réseau	DCISOft	DCISOft
Modbus TCP Client (table d'échange)	24	24
Modbus TCP Client (programmation)	ETHRW	ETHRW
Modbus TCP Serveur	16	32
SMTP	Non sécurisé	Sécurisé (TLS & DNS)
Page Web	Non	Diagnostic réseau & MAJ firmware
Client MELSEC	10	10
Serveur MELSEC	8	8
SNMP Agent	v2c	v2c
RTU-EN01	4	4
Client NTP	Oui	Oui
Filtrage IP	Oui	Oui

## C.4 Conclusion

Le module **DVPEN02-SL** offre une solution de communication avancée adaptée aux besoins de supervision et de télégestion modernes. Grâce à ses deux ports Ethernet, à la prise en charge des protocoles sécurisés et à sa fonction Web intégrée, il constitue une évolution significative par rapport à son prédécesseur, tout en restant compatible avec les outils standards de la gamme Delta.