

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

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

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Filière Électronique

Spécialité Automatique et informatique industrielle

Présenté par

HADERI Mohamed Essedik

Conception et Réalisation d'un API et d'une Machine Automatique de Dosage, Mélange et Remplissage pour Liquide avec Contrôle par IHM.

Promoteur : Pr. N.Bennila

Année Universitaire 2019-2020

Remerciements

Avant tout, nous remercions le bon dieu le tout puissant qui nous a donné la volonté le courage et la patience durant notre parcours d'étude afin de réaliser ce modeste travail.

Mon vif remerciement s'adresse à mon encadreur M. BENNILA Noureddine qui a été toujours présent pour m'orienter sur le bon chemin.

Je remercie également ceux qui m'ont aidé avec leur expertise dans différents domaines, M. BAAZIZ Amine et son expertise en bois et aluminium et M. ZOUBIRI Ali Borhane Eddine et son expertise en électricité générale.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à ma famille et à mes proches amis, qui m'ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce projet.

Merci à toutes et à tous

ملخص:

في هذه الأطروحة قمنا بتطبيق نهج عالمي للآلات الأوتوماتيكية، على وجه التحديد تلك المخصصة للصناعة السائلة، الجزء الأول مخصص للجانب النظري المتعلق بالآلات الصناعية الأوتوماتيكية مع شرح جيد لجميع أجزائها مثل الجزء المخصص بتصميم جهاز التشغيل، وبناء جزء التحكم، وإنشاء جزء وحدة التحكم. سنقوم ببناء الآلة وصنع جهاز (تحكم منطوق برمجة) الخاص بها وبرمجتها وإنشاء (واجهة الإنسان والآلة) الخاص بها.

كلمات المفاتيح: آلة صناعية آلية، تصنيع وحدة تحكم منطقية قابلة للبرمجة الصناعية، برمجة وبناء واجهة الإنسان والآلة.

Résumé :

Dans ce mémoire de master nous avons appliqué une approche globale sur les machines automatiques précisément celles dédiées à l'industrie liquide, la première partie est consacrée à l'aspect théorique lié à l'automatisme industriel avec une bonne explication de toutes ses parties comme la conception du dispositif opératoire et la construction de la partie commande et la création de la partie pupitre. Nous allons construire une machine et fabriquer son API et la programmer et créer son propre IHM.

Mots clés : Machine Automatique Industriel, Fabrication d'un API, Programmation et construction d'un IHM.

Abstract:

In this master thesis we have applied a global approach to automatic machines, precisely those dedicated to the liquid industry, the first part is devoted to the theoretical aspect related to industrial automation with a good explanation of all its parts such as the design of the operating device and construction of the control part and creation of the console part. We're going to build a machine and make its API and program it and create its own HMI.

Keywords: Industrial Automatic Machine, API manufacturing, Programming and building an HMI.

Listes des acronymes et abréviations

❖ Les Symboles et les opérateurs :

ϕ : Flux de B.

B : Intensité du champ magnétique (tesla).

e : Force électromotrice (en volt).

N : nombre de spires comportant dans une bobine.

U_H : Tension de Hall.

R_H : Constante de Hall (dépend du semi-conducteur).

I : Intensité de la source de courant (Ampère).

C : épaisseur du barreau de silicium.

$^{\circ}C$: Degré Celsius.

R : Résistance (ohm).

V : Volt.

W : Watt.

Mpa : mégapascal.

Mm : millimètre.

HP : horsepower.

❖ Abréviations et acronymes :

ABS: Anti-lock B Racking System.

PO : Partie Opérative.

PC : Partie Commande.

PP : Partie Pupitre.

API : Automate Programmable Industriel.

TOR : Tout Ou Rien.

Vcc : Voltage courant continue.

Vac: Voltage courant alternative.

ROM: Read-Only Memory (memoire morte).

RAM: Random-Access Memory (memoire vive).

EEPROM : Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory.

CPU : Central Processing Unit.

IHM : interface homme-machine.

UV : Ultraviolet.

Ko : kilooctet.

Mo : mégaoctet.

Table des matières

| | |
|--|---|
| Introduction générale | 1 |
| Chapitre 1 Généralités..... | 3 |
| 1.1 Introduction | 3 |
| 1.2 Histoire de l'Automatique | 3 |
| 1.2.1 Première période (L'aube de l'automatique) : 19^e siècle | 3 |
| 1.2.2 Deuxième période (du 19^e siècle au 20^e siècle) | 4 |
| 1.2.3 Troisième période | 4 |
| 1.2.4 Aujourd'hui | 5 |
| 1.3 Définitions | 5 |
| 1.3.1 Définition de l'Automatique | 5 |
| 1.3.2 Définition de l'Automatisme..... | 5 |
| 1.3.3 Définition de l'Automation industrielle | 6 |
| 1.3.4 Définition d'une usine industrielle | 6 |
| 1.3.5 Définition de L'équipement Industriel..... | 6 |
| 1.4 Objectifs de l'automatisation :..... | 7 |
| 1.5 Les Professionnels de l'Automatisme Industriel | 7 |
| 1.6 Domaines d'Applications..... | 7 |
| 1.7 La Révolution Industrielle | 8 |
| 1.8 L'industrie des Boissons | 9 |
| 1.8.1 Le Secteur des Boissons | 9 |

| | | |
|------------|--|----|
| 1.8.2 | L'évolution de l'Industrie de boissons | 10 |
| 1.8.3 | L'importance économique..... | 10 |
| 1.8.4 | Les Caractéristiques de la Main-d'œuvre | 10 |
| 1.8.5 | Avantages d'Automatisation dans l'Industrie de Boissons..... | 11 |
| 1.9 | Processus de Fabrication..... | 11 |
| 1.10 | Mélangeur de Boisson Automatique industriel | 12 |
| 1.10.2 | Types de Mélangeurs | 12 |
| 1.11 | Machine de Dosage Industriel | 13 |
| 1.11.1 | Définition | 13 |
| 1.12 | Remplisseuse Automatique Industriel | 16 |
| 1.12.1 | Définition d'une Remplisseuse | 16 |
| 1.12.2 | Remplisseuse Automatique | 17 |
| 1.12.3 | Différences entre Remplisseuse de Liquides et de Solides | 17 |
| 1.12.4 | Types de Remplisseuses | 17 |
| 1.13 | Conclusion | 18 |
| Chapitre 2 | Systèmes Automatisés de Production | 19 |
| 2.1 | Introduction | 19 |
| 2.2 | Présentation Générale des Systèmes | 19 |
| 2.2.1 | Définition d'un Système selon 2 Aspects..... | 19 |
| 2.2.2 | Les Systèmes Automatisés..... | 20 |
| 2.3 | Classification d'un Système..... | 20 |
| 2.3.1 | Selon le Domaine d'Application..... | 20 |
| 2.3.2 | Selon le Contexte technico-économique..... | 20 |
| 2.4 | Structure Générale d'Un Système Automatisé..... | 21 |
| 2.4.1 | La Partie Opérative P.O..... | 22 |
| 2.4.2 | La Partie Pupitre P.P | 22 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.4.3 | La Partie Commande P.C..... | 23 |
| 2.4.4 | Relations entre PP, PC et PO..... | 23 |
| 2.5 | Organisation Fonctionnelle d'un Système Automatisé | 24 |
| 2.5.1 | Chaîne fonctionnelle (Obtention d'une seule fonction)..... | 24 |
| 2.5.2 | Chaînes d'énergie et d'information | 24 |
| 2.5.3 | Flux d'énergie, Flux d'information et Flux de matière..... | 25 |
| 2.6 | Constituants de la chaîne d'énergie..... | 26 |
| 2.6.1 | Les Pré-actionneurs | 26 |
| 2.6.2 | Les Actionneurs..... | 27 |
| 2.6.3 | Les Transmetteurs (ou Adaptateurs)..... | 27 |
| 2.7 | Les Effecteurs | 28 |
| 2.7.1 | Définition | 28 |
| 2.8 | Constituants de la Chaîne d'information | 28 |
| 2.8.1 | Les Capteurs..... | 28 |
| 2.8.2 | Classification des Capteurs | 31 |
| 2.9 | Automates Programmables Industriels (API)..... | 33 |
| 2.9.1 | Définition | 33 |
| 2.9.2 | Structure d'un API..... | 33 |
| 2.9.3 | Description des éléments d'un API..... | 35 |
| 2.9.4 | Unité d'entrées-sorties E/S..... | 36 |
| 2.9.5 | Fonctionnement..... | 38 |
| 2.9.6 | Langages de Programmation pour les API..... | 39 |
| 2.10 | La Supervision Industrielle | 40 |
| 2.10.1 | Définition | 40 |
| 2.10.2 | Les fonctions de la supervision | 40 |
| 2.10.3 | Les interfaces homme-machine ou IHM..... | 41 |

| | | |
|--|--|----|
| 2.11 | Conclusion | 41 |
| Chapitre 3 MODELISATION DU SYSTEME | | |
| 3.1 | Introduction | 42 |
| 3.2 | Définition..... | 42 |
| 3.3 | Les éléments de base de GRAFCET | 43 |
| 3.3.1 | Etape initiale | 44 |
| 3.3.2 | Transition | 44 |
| 3.3.3 | Réceptivité | 44 |
| 3.3.4 | Liaison | 44 |
| 3.3.5 | Etape | 44 |
| 3.4 | Les règles d'évolution du GRAFCET..... | 45 |
| 3.5 | Structures de base..... | 46 |
| 3.5.1 | Divergence et convergence en ET (séquences simultanées)..... | 46 |
| 3.5.2 | Divergence et convergence en OU (séquence aiguillage) | 47 |
| 3.6 | Niveaux du GRAFCET | 48 |
| 3.6.1 | Niveau 1 | 48 |
| 3.6.2 | Niveau 2 | 48 |
| 3.7 | DIAGRAMME FONCTIONNEL (ORGANIGRAMME) | 48 |
| 3.7.1 | Définition | 48 |
| 3.8 | Organigramme de notre Système Automatique..... | 49 |
| 3.9 | GRAFCET de notre Système du Point de vue Partie Opérative..... | 50 |
| 3.10 | Conception de notre Automate Programmable Industriel..... | 52 |
| 3.10.1 | Schéma synoptique du système de commande (API) | 52 |
| 3.10.2 | Principe de Fonctionnement | 52 |
| 3.10.3 | Les Différents Modules de l'API..... | 53 |
| 3.11 | Conception et simulation de l'API sur EasyEDA..... | 53 |

| | | |
|------------|--|----|
| 3.11.1 | Présentation du Logiciel EasyEDA..... | 53 |
| 3.11.2 | Conclusion sur le Logiciel EasyEDA..... | 53 |
| 3.11.3 | Module Alimentation..... | 54 |
| 3.11.4 | La CPU | 55 |
| 3.11.5 | Module d'Entrée/Sortie Numérique (12v-24v) | 56 |
| 3.11.6 | Module d'Entrée/Sortie (5v) et module sortie à relais..... | 59 |
| 3.12 | Conclusion | 61 |
| Chapitre 4 | Réalisation et Résultats..... | 62 |
| 4.1 | Introduction : | 62 |
| 4.2 | Description du Fonctionnement : | 62 |
| 4.3 | Structure Générale de notre Système Automatisé..... | 63 |
| 4.3.1 | Partie Opérative..... | 63 |
| 4.3.2 | Partie commande..... | 69 |
| 4.3.3 | La Partie Pupitre : | 80 |
| 4.4 | Conclusion | 84 |
| | Conclusion Générale..... | 85 |
| | Bibliographie | 86 |

Liste des figures

| | | | |
|----------|---|--------------------------------------|----|
| Figure 1 | : Conception infographique de la chronologie de la révolution industrielle..... | 8 | |
| Figure 2 | : Les Deux groupes de production de l'industrie des boissons. | 9 | |
| Figure 3 | : Mélangeur Industriel. | Figure 4 : Malaxeur Industriel. | 12 |
| Figure 5 | : schéma explicatif du dosage VOLUMETRIQUE..... | 14 | |
| Figure 6 | : schéma explicatif du dosage DEBIMETRIQUE. | 15 | |

| | |
|---|----|
| Figure 7: schéma explicatif du dosage PANDERALE. | 16 |
| Figure 8: Remplisseuse Linéaire Automatique [10]. | 18 |
| Figure 9 : Schéma d'organisation d'un système automatisé. | 21 |
| Figure 10: Schéma de la Partie Opérative P.O. | 22 |
| Figure 11: Schéma de la Partie Commande P.C. | 23 |
| Figure 12 : schéma explicatif de la chaine d'énergie et d'information. | 24 |
| Figure 13 : Fonctionnement d'un Pré-actionneur. | 26 |
| Figure 14 : Fonctionnement d'un Actionneur. | 27 |
| Figure 15 : Fonctionnement d'un Transmetteur | 27 |
| Figure 16 : Fonctionnement d'un Effecteur. | 28 |
| Figure 17 : Fonctionnement d'un Capteur | 28 |
| Figure 18 : Les instruments de mesure des capteurs passifs. | 30 |
| Figure 19 : schéma explicatif du signal d'un capteur numérique. | 32 |
| Figure 20 : schéma explicatif du signal d'un capteur analogique et d'un capteur TOR. | 32 |
| Figure 21 : Structure d'un API. | 34 |
| Figure 22 : Carte d'entrée TOR. | 37 |
| Figure 23 : Carte de sortie TOR. | 37 |
| Figure 24 : Cycle de fonctionnement des API. | 38 |
| Figure 25 : La supervision dans la hiérarchie d'une entreprise manufacturière. | 40 |
| Figure 26 : Eléments de base d'un GRAFCET. | 43 |
| Figure 27 : Divergence et convergence en ET (séquence simultanée). | 46 |
| Figure 28 : Divergence et convergence en OU (séquence aiguillage). | 47 |
| Figure 29: Organigramme de notre système automatique. | 49 |
| Figure 30: photo anime de notre système automatique. | 50 |
| Figure 31: GRAFCET de notre système automatique. | 51 |
| Figure 32 : Schéma synoptique du Système de Commande. | 52 |
| Figure 33 : schéma du module d'alimentation. | 54 |
| Figure 34 : conception de la carte PCB du module CPU par logiciel « EasyEDA ». | 55 |
| Figure 35 : Simulation de la carte PCB du Module CPU avec logiciel « EasyEDA ». | 56 |
| Figure 36 : Schéma conçu pour le module de Sortie PWM à Transistor. | 57 |
| Figure 37 : Schéma conçu pour le module d'Entrée (12v-24v). | 57 |
| Figure 38 : Schéma conçu pour le module de sorties numériques via relais. | 57 |

| | |
|---|----|
| Figure 39: Conception de la carte PCB du Module I/O(12v-24v) avec logiciel «EasyEDA». | 58 |
| Figure 40 : Simulation de la carte PCB du Module I/O (12v-24v) avec logiciel « EasyEDA ». | 58 |
| Figure 41 : Schéma conçu pour le module à relais. | 59 |
| Figure 42 : Conception de la carte PCB du Module I/O (5v) avec logiciel «EasyEDA». | 60 |
| Figure 43 : Simulation de la carte PCB du Module I/O (5v) avec logiciel « EasyEDA ». | 60 |
| Figure 44: Electrovanne utilisée dans notre machine. | 64 |
| Figure 45: Pompe à eau utilisée dans notre machine. | 65 |
| Figure 46 : Moteur sans boîtier utilisée dans notre machine. | 66 |
| Figure 47: Moteur dans son boîtier équipée d'un fouet utilisé dans notre machine. | 66 |
| Figure 48: débitmètre utilisée dans notre machine. | 67 |
| Figure 49: Détecteur niveau d'eau utilisée dans notre machine. | 68 |
| Figure 50:Photo d'ensemble de la Partie Opérative. | 69 |
| Figure 51: Module d'Entrée (12v-24v). | 70 |
| Figure 52: Module de Sortie PWM à Transistor. | 70 |
| Figure 53: module de sorties numériques via relais. | 71 |
| Figure 54: Typon Module CPU. | 71 |
| Figure 55:Typon Module d'Entrée/Sortie (5V). | 72 |
| Figure 56: Typon Module d'Entrée/Sortie (12-24V). | 73 |
| Figure 57: Schéma d'Implantation de la CPU. | 74 |
| Figure 58: Schéma d'Implantation du Module d'Entrée/Sortie 5v. | 75 |
| Figure 59: Schéma d'Implantation du module d'entrée/sortie (12-24v). | 75 |
| Figure 60: Photo de la Carte de CPU+ESP8266+Alimentation. | 76 |
| Figure 61: Photo de la Carte I/O (5V). | 77 |
| Figure 62:Photo de la Carte I/O (12V-24V). | 78 |
| Figure 63:Photo d'Installation de l'API dans l'armoire. | 80 |
| Figure 64: Photo de l'interface Graphique de notre application "IHM". | 82 |
| Figure 65:Photo des Blocks logiques de notre Application "IHM". | 83 |
| Figure 66:Photo Finale de notre IHM sur une tablette. | 83 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : différents types de flux utilisé dans la chaine d'information et d'énergie.. | 25 |
| Tableau 2 : Résumé des effets utilisés pour chaque mesurande. | 29 |
| Tableau 3 : Résumé des caractéristiques d'un capteur passif..... | 30 |
| Tableau 4:Caractéristiques de l'électrovanne utilisée dans notre machine. | 63 |
| Tableau 5: Caractéristiques de la pompe utilisée dans notre machine. | 64 |
| Tableau 6 : Caractéristiques du mélangeur utilisée dans notre machine. | 65 |
| Tableau 7: Caractéristiques du débitmètre utilisée dans notre machine. | 67 |
| Tableau 8: Caractéristiques du Détecteur niveau d'eau utilisée dans notre machine... | 68 |
| Tableau 9: Tableau comparatif entre l'API qu'on a réalisé et l'API S7-300 de siemens. | 79 |

Introduction générale

L'être humain, par sa nature, a toujours recherché le moyen d'économiser ses efforts. Il n'a jamais cessé de mettre son intelligence et son imagination au service de ce but et ceci afin de créer un partenaire qui "fera" le travail à sa place. L'arrivée récente des systèmes automatisés permettent d'éliminer bon nombre de travaux pénibles et de réaliser des tâches répétitives et fastidieuses. Signalons également que face au défi économique auquel l'industrie mondiale est confrontée ces derniers temps, les entreprises sont opposées à une exigence d'améliorer la qualité et la quantité de leurs produits. Pour cela, la mutation de l'appareil productif s'avère nécessaire : automatiser, par exemple, devient indispensable pour obtenir une compétitivité meilleure des produits fabriqués et assurer des performances optimales, avec moins d'intervention humaine.

Le développement rapide de l'industrie a impliqué l'amélioration des machines automatiques. Ensuite, ces machines doivent être gérées avec des vitesses et des précisions croissantes. Cela nécessite des structures mécaniques plus appropriées, mais également de nouvelles techniques de contrôle.

Dans ce projet de fin d'étude, nous nous intéressons aux systèmes automatiques en particulier pour les applications industrielles des produits liquides. L'objectif de notre travail est de réaliser et contrôler une machine de dosage, mélange et remplissage de produits liquides en construisant un API qui sert comme partie de contrôle et en réalisant un IHM qui sera utilisé pour contrôler notre machine.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres :

1. Généralités : un bref historique sur l'automatisme et l'évolution industrielle, analyse aussi des différents systèmes utilisés dans l'industrie de boisson, L'objet du premier chapitre est d'apporter quelques définitions de base, définir les principaux termes du domaine et enfin décrire les machines essentielles dans l'industrie liquide.

2. Systèmes Automatisés de Production : Ce chapitre fournit une compréhension de la modélisation théorique d'un système automatique. Cette dernière est composée de trois parties : la partie opérative qui comprend les équipements électroniques utilisés, la partie contrôle qui comprend l'outil permettant de contrôler la partie opérative et la partie pupitre qui consiste à assurer la communication entre l'opérateur et l'ensemble du système.

3. Modélisation du Système : cette partie assure une modélisation complète du système et c'est en faisant l'organigramme et le grafcet de notre machine automatique. Cette partie est aussi dédiée à la conception et à la simulation des différents modules de notre automate programmable avant de le réaliser.

4. Réalisation et Résultats : Ce chapitre sera consacré à une explication détaillée de la stratégie que nous avons suivie afin de réaliser la machine.

1.1 Introduction

L'automatisme industriel est l'ensemble des technologies qui utilise l'électronique, l'électrotechnique, la mécanique, la télécommunication afin de concevoir des machines ou des processus automatisés qui peuvent fonctionner sans intervention humaine.

On retrouve l'automatisme industriel dans plusieurs secteurs comme l'agroalimentaire avec les lignes de conditionnement et les machines spéciales, la chimie, l'industrie pétrolière, les usines de production d'électricité et l'industrie pharmaceutique etc...L'automatisme industriel correspond aux automatismes séquentiels et couvrent l'ensemble des systèmes de contrôle-commande permettant de superviser ou de piloter une chaîne de production.

L'objectif de ce premier chapitre est de donner un aperçu sur la notion de l'automatisme ainsi l'évolution de l'automatique industrielle et un aperçu non exhaustif sur l'industrie des boissons et quelques machines automatiques concernant cette industrie.

1.2 Histoire de l'Automatique

L'histoire des systèmes automatisés peut être divisée en trois grandes périodes.

1.2.1 Première période (L'aube de l'automatique) : 19^e siècle

Cette période est marquée par :

- La clepsydre (une horloge à eau) qui fut inventée par un mécanicien grec appelé Ctésibios à Alexandrie (en Égypte) au 3^e siècle avant J.-C.
- A la fin du 3^e siècle avant J.-C., l'ingénieur grec Philon de Byzance utilise un principe similaire que celui de la clepsydre pour concevoir une lampe à huile à niveau constant

- Le premier siècle après J.-C a été marqué par l'invention du système de porte automatique par l'ingénieur grec Héron d'Alexandrie.
- Plusieurs siècles plus tard, en 1642 le physicien français Blaise Pascal invente la première machine à calculer « Pascaline »,
- En 1788, l'ingénieur écossais James Watt invente un régulateur à boules qui a pour but de maintenir, constante, la vitesse de rotation d'une turbine à vapeur.
- En 1801, le français Joseph-Marie Jacquard invente son métier à tisser à cartes perforées [1].

1.2.2 Deuxième période (du 19^e siècle au 20^e siècle)

La deuxième période de l'automatique, à partir du 19^e siècle, est caractérisée par la théorie du bouclage et par les applications de l'algèbre de Boole. Les premiers travaux sur le bouclage sont dus au physicien écossais Maxwell (en 1868), au mathématicien anglais Routh (en 1872) et au mathématicien allemand Hurwitz (en 1890), qui ont tous deux donné leur nom à un critère algébrique de stabilité. L'étude analytique de la stabilité du régulateur de Watt fut initiée par Maxwell en 1868 et complétée en 1876 par Wichnegradsky. L'étude des systèmes bouclés doit beaucoup à l'approche fréquentielle de Nyquist, Bode, Black, Nichols, Hall et Evans, qui ont donné leur nom à des représentations et ont publié la plupart de leurs résultats à la fin de la seconde guerre mondiale [1].

1.2.3 Troisième période

La troisième période de l'automatique débute avec les années 50. L'apparition des ordinateurs et des calculateurs numériques révolutionne le monde de l'automatique. La puissance de calcul disponible fait naître les méthodes dites de l'automatique « moderne » [1].

1.2.4 Aujourd'hui

L'automatisation permet de remplacer l'homme, aussi bien dans les tâches opérationnelles qu'informationnelles, car les systèmes automatisés permettent d'améliorer :

- La sécurité : ils réalisent des opérations trop complexes ou trop dangereuses qui ne peuvent pas être confiées à l'homme (par exemple : le contrôle des centrales nucléaires),
- Le confort : ils remplacent l'homme pour réaliser des opérations répétitives ou pénibles à son travail, ou dans sa vie quotidienne (électroménager, boîtes de vitesse automatiques, etc.),
- La qualité : ils accroissent la précision et limitent les erreurs (gestion électronique de moteur thermique, ABS, applications militaires, etc.),
- La productivité : ils permettent d'augmenter les cadences (chaîne de montage, atelier automatisé, etc.).

L'homme demeure indispensable pour le pilotage des opérations du système, il assure les tâches informationnelles, bien qu'il soit soulagé des tâches opérationnelles [1].

1.3 Définitions

1.3.1 Définition de l'Automatique

C'est l'ensemble des sciences et des techniques utilisées dans la conception et la réalisation des systèmes automatisés (SA) [2].

1.3.2 Définition de l'Automatisme

L'automatisation est l'exécution automatique de tâches domestiques, industrielles, administratives ou scientifiques sans intervention humaine [2].

1.3.3 Définition de l'Automation industrielle

L'automation industrielle est l'art d'utiliser les machines afin de réduire la charge de travail du travailleur tout en gardant une productivité et la qualité.

Elle fait appel à des systèmes électroniques qui englobent toute la hiérarchie de contrôle-commande depuis les capteurs de mesure, en passant par les automates, les bus de communication, la visualisation, l'archivage jusqu'à la gestion de production et des ressources de l'entreprise.

1.3.4 Définition d'une usine industrielle

Une usine est un bâtiment à vocation industrielle, c'est-à-dire que sa fonction utilité consiste essentiellement à être aménagée dans un objectif de fabrication ou de transformation de produits.

L'usine produit ou transforme des objets et biens en mode série à destination d'entreprises, d'organisations ou directement aux consommateurs. Toutefois, le principal de l'activité se réalise entre professionnels [3].

1.3.5 Définition de L'équipement Industriel

Machine, équipement, matériel industriel sont tous trois synonymes dans le monde de la production industrielle. L'équipement industriel sert à produire, transformer, conditionner ou façonner des matières afin d'obtenir un produit fini, qui sera soit utilisé dans et par l'entreprise, soit destiné directement à la location de ce dernier ou à la vente directe.

Dans cette catégorie figurent principalement les équipements lourds réservés à l'usinage, tels que :

- Les machines fixes pilotées (par un ou plusieurs opérateurs)
- Les machines de levage (palans, grues, etc.)
- Les machines de transport (chariots, ponts roulants, camions, etc.)
- Les machines automatiques (souffleries, robots, tapis roulants, etc.)
- Les lignes d'assemblage ou de montage
- Les équipements spécialisés ou machines de précision (machines à coudre postes à souder, scies, métiers à tisser) [4].

1.4 Objectifs de l'automatisation :

L'amélioration des conditions de travail, et surtout la sécurité, fait partie des objectifs de l'automatisation. Les buts (ou objectifs) de l'automatisation sont donc :

- Élimination des tâches répétitives ou sans intérêt (en créant les machines de fabrication)
- Simplifié le travail de l'humain
- Augmenté la sécurité (en évitant les erreurs inévitables dans un travail répétitif)
- Accroître la production
- Economiser les matières premières et les énergies
- Superviser les installations et les machines [2].

1.5 Les Professionnels de l'Automatisme Industriel

Naturellement, on ne met pas en place de systèmes automatisés sans employer des opérateurs spécialisés dans la manipulation de ces machines. Depuis son poste de commande, la personne en charge peut alors accéder à toutes les informations délivrées par la partie opérative, par l'intermédiaire de capteurs. Il utilise des actionneurs afin de gérer les activités répétitives et simples menées par l'automate. Par la suite, il s'attache aux tâches plus spécifiques, que l'on ne peut pas encore envisager dans le cadre d'un processus automatisé [5].

1.6 Domaines d'Applications

Les professionnels de l'industrie mobilisent très souvent les automates, dans la production d'objets finis et de sous-ensembles comme dans la réalisation de certains processus, à l'image de l'élaboration de matières premières. D'une façon générale, les activités pour lesquelles les gestes sont répétés se prêtent très bien à l'usage d'automates.

Si l'automatisme industriel est aujourd'hui très répandu dans l'agroalimentaire, il est également utilisé dans des secteurs comme la logistique, la métallurgie et sert même l'activité portuaire [5].

1.7 La Révolution Industrielle

La révolution industrielle est une période historique allant du 18^e au 21^e siècle, marquée par la modernisation de nombreux pays. L'industrie est née, les transports se sont beaucoup améliorés (les chemins boueux sont devenus des routes bien entretenues, les chemins de fer, l'automobile et l'aviation ont été créés...) ainsi que l'agriculture et la navigation et l'industrie [6].

Tous ces domaines ont été radicalement transformés, c'est pour cela que l'on parle de « révolution ». Comme cette révolution a développé l'industrie (la production d'objets identiques en grand nombre, grâce à des machines), on parle de « révolution industrielle ». (Voir figure 1).

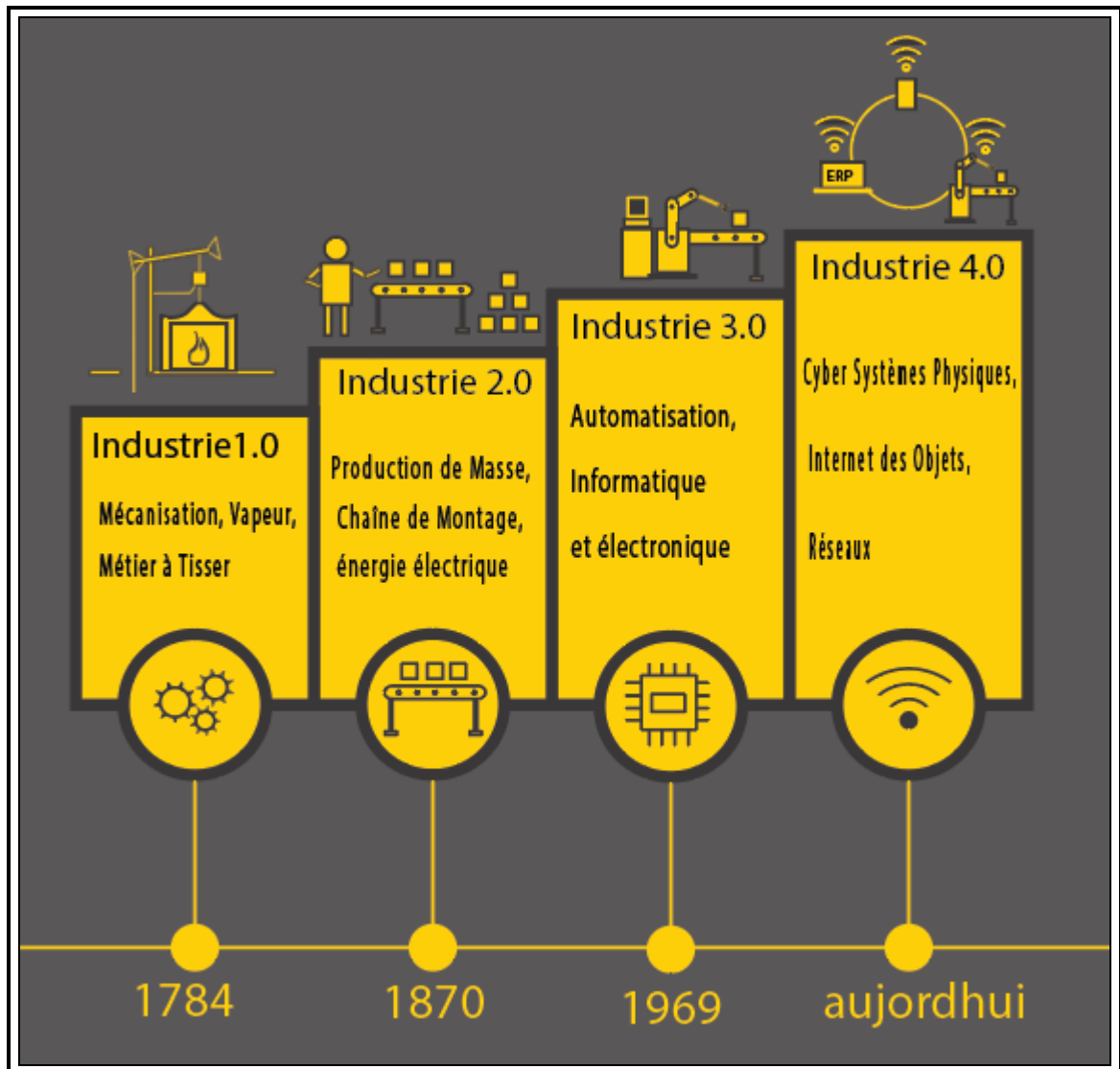


Figure 1 : Conception infographique de la chronologie de la révolution industrielle.

1.8 L'industrie des Boissons

1.8.1 Le Secteur des Boissons

L'industrie des boissons couvre deux grands groupes et huit sous-groupes. Le groupe des boissons non alcooliques comporte les sirops, les eaux (bouteilles et canettes), les jus de fruits (bouteilles, canettes et briques), ainsi que le café et le thé. Le groupe des boissons alcooliques comprend les spiritueux, le vin et la bière [7]. Ceci est illustré par la figure ci-dessous.

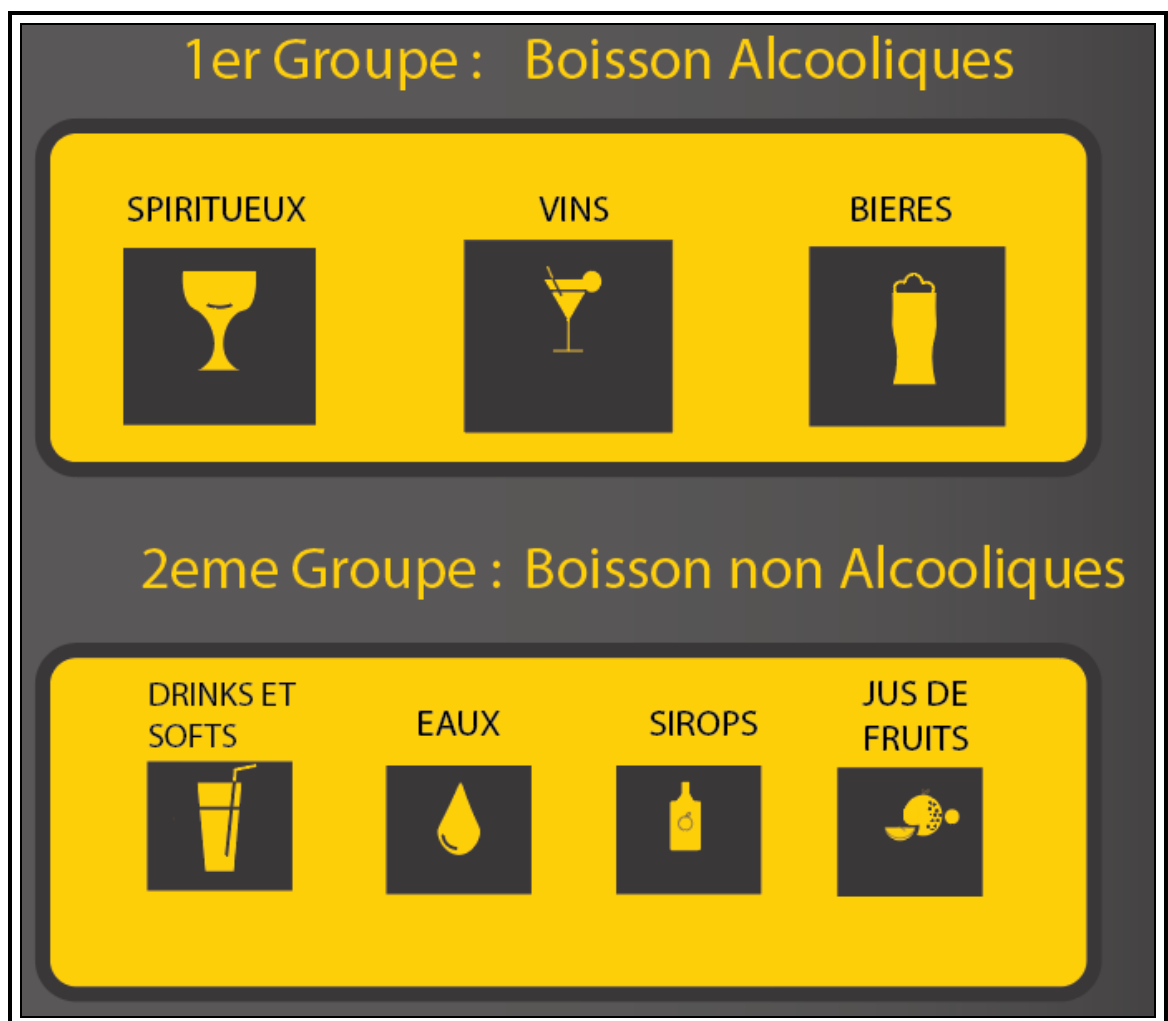


Figure 2 : Les Deux groupes de production de l'industrie des boissons.

1.8.2 L'évolution de l'Industrie de boissons

Considéré dans son ensemble, le secteur des boissons est très segmenté. En témoignent le grand nombre de fabricants, la multiplicité des méthodes de production et des procédés de conditionnement ainsi que la diversité des produits commercialisés. Fortement concentrée, l'industrie des boissons non alcooliques fait toutefois exception. Malgré cette segmentation, une tendance à la concentration se manifeste depuis les années soixante-dix [7].

1.8.3 L'importance économique

L'industrie des boissons emploie plusieurs millions de personnes dans le monde. Chaque catégorie de boisson rapporte, chaque année, des milliards de dollars. En fait, dans certains petits pays en développement, l'économie nationale repose essentiellement sur la production des boissons, tel-que la production de café [7].

1.8.4 Les Caractéristiques de la Main-d'œuvre

Bien que les ingrédients mis en jeu et les méthodes de production varient selon les boissons, la main-d'œuvre présente, en général, des caractéristiques communes. La fabrication du produit implique des opérations automatisées et mécanisées, requiert une main-d'œuvre semi-qualifiée. Les zones de production et les entrepôts emploient, notamment, des opérateurs de machines pour le conditionnement et l'embouteillage, des caristes et des travailleurs chargés de tâches mécanisées ou manuelles. La formation de ce personnel est complétée, à l'usine, par une formation interne approfondie. Au fur et à mesure de l'évolution des techniques et de l'automatisation, la main-d'œuvre diminue, et la formation technique gagne en importance. Cette main-d'œuvre semi-qualifiée est généralement encadrée par un personnel technique hautement qualifié, composé d'ingénieurs, de directeurs de production, de spécialistes en analyse des coûts et de techniciens responsables à la fois de la qualité et de la sécurité des produits alimentaires [7].

1.8.5 Avantages d'Automatisation dans l'Industrie de Boissons

Les avantages de l'automatisation appliquée à l'industrie des boissons sont nombreux, Flexibilité, fiabilité, vitesse élevée et propreté.... Depuis le mélange des produits concentrés au remplissage en fin de ligne, en passant par le tri et l'emballage, l'automatisme est désormais incontournable.

Aujourd'hui, la machine automatique permet de ne pas compromettre les cadences, de maximiser les performances et d'assurer l'hygiène [7].

1.9 Processus de Fabrication

La formule d'une boisson non gazeuse est généralement composée d'un ou plusieurs types de concentrés ou de saveurs, mélangée avec de l'eau dégazée et du sucre. Le processus standard de fabrication de boissons non gazeuses consiste à mélanger les ingrédients, habituellement avec système de mélange en continu, qui ensuite est suivie d'un processus de refroidissement. Etant donné qu'ils ne contiennent pas de carbone, la plupart des boissons non gazeuses doivent être pasteurisées avec comme option alternative une microfiltration.

Généralement, une usine de boissons non gazeuses comporte les équipements suivants :

- Systèmes de mélange.
- Système de stockage.
- Machines pour dissolution du sucre.
- Pasteurisateurs.
- Machines de dosage.
- Traitement aseptique.
- Les échangeurs de chaleur ou autres machines de traitement thermique.
- Lignes de remplissage et de conditionnement [8].

1.10 Mélangeur de Boisson Automatique industriel

1.10.1 Définition

Un mélangeur industriel est utilisé pour la production de jus de fruits, de boissons au thé, etc. c'est la machine clé des équipements de prétraitement. Principalement utilisé pour mélanger la matière première de la boisson, comme le jus concentré, le sirop, l'eau, etc.

1.10.2 Types de Mélangeurs

On peut décrire deux principaux systèmes de mélange :

a Système de mélange continu :

Les boissons gazeuses sont réalisées par le mélange du sirop ou de saveurs avec de l'eau et du sucre. Le mélange des ingrédients pour ce type de boissons se fait directement pendant le processus de production.

Des débitmètres de haute précision mesurent en permanence les flux des composants et les comparent avec les spécifications requises des recettes [9].

b Unité de mélange discontinu :

L'unité de mélange discontinu est plutôt recommandée pour les entreprises qui ont besoin de transformer des produits en grande quantité, ou lorsque les produits à mélanger sortent par petits paquets, ou encore en substances sèches. Lorsque vous utilisez une unité de mélange discontinu, les ingrédients sont ajoutés à hauteur de travail pratique. Les cuves de mélange utilisées sont chargées et déchargées en utilisant des valves mix proof (étanche).

Le mélange discontinu est très populaire pour faire des jus, sauces [9].



Figure 3 : Mélangeur Industriel.



Figure 4 : Malaxeur Industriel.

1.11 Machine de Dosage Industriel

1.11.1 Définition

Les doseuses font partie des machines essentielles dans la production des boissons, elles permettent de contrôler minutieusement le poids ou le volume (on distingue alors les doseuses pondérales et les doseuses volumétriques) d'un produit qui doit être placé dans un récipient à l'aide d'une remplisseuse ou directement sur la ligne de fabrication pour une prochaine transformation. Une doseuse peut être adaptée à toutes sortes de consistances pour une optimisation du dosage suivant le produit concerné qui peut se présenter sous forme liquide, pâteuse, granuleuse, poudreuse, etc.

1.11.2 Technique de Dosage

Dans le domaine du conditionnement, il existe plusieurs techniques de remplissage qui devront être choisies en fonction du type de produit à conditionner, de la cadence souhaitée, de la précision de dosage désirée.

Ces différentes techniques sont :

a Dosage VOLUMÉTRIQUE :

Avec le dosage volumétrique c'est une pompe de remplissage qui fait le dosage. Il existe plusieurs types de pompes volumétriques, la pompe à piston, la pompe péristaltique, la pompe à lobes, la pompe à membranes. Les technologies les plus utilisées pour le dosage sont la pompe à piston et la pompe péristaltique. Les autres étant moins précises elles sont moins utilisées pour le dosage.

Le principe de dosage d'une pompe à piston est d'aspirer un volume de produit dans une cuve et de l'injecter dans le récipient. Le volume de produit aspiré est limité en variant la course du piston. Cette technologie permet le dosage de produit liquide, semi-liquide, pâteux ou avec même des morceaux.

L'avantage de cette pompe est qu'il n'y a que le tuyau qui est en contact avec le produit, le changement de tuyau entre deux produits permet d'éviter toute possibilité de contamination [10]. (Voir figure 5).

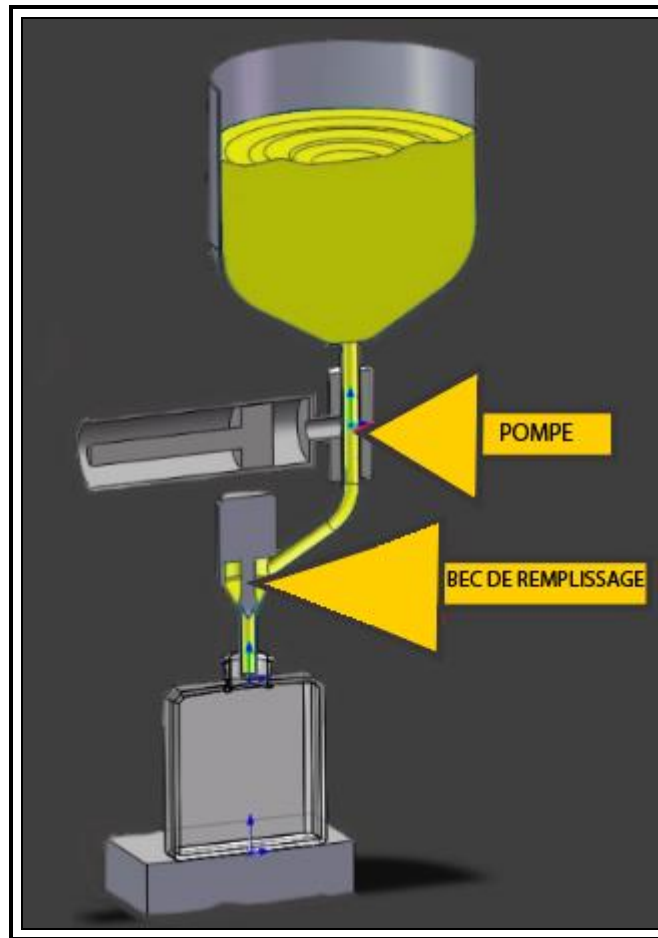


Figure 5: schéma explicatif du dosage VOLUMETRIQUE.

b Dosage DEBITMETRIQUE :

Le remplissage débitmétrique se différencie par le capteur électronique qui mesure le débit du produit. Le capteur débitmètre est en contact direct avec le produit, ça technologie et ça qualité de fabrication influe directement sur les tolérances de dosage. La viscosité du produit a un impact important sur le dosage, son utilisation principale est le dosage de produit liquide voir semi liquide. Son principe de fonctionnement ne permet pas de doser avec précision des produits crémeux ou avec des morceaux. L'avantage principal de cette technologie est de pouvoir doser rapidement des volumes différents avec une tolérance constante de +/- 0.5% ce qui lui confère une grande flexibilité pour les conditionneurs de grandes gammes de produits.

Ce type de technologie est très utilisé dans le remplissage de parfums, de cosmétiques et d'agroalimentaire [10]. (Voir figure 6)

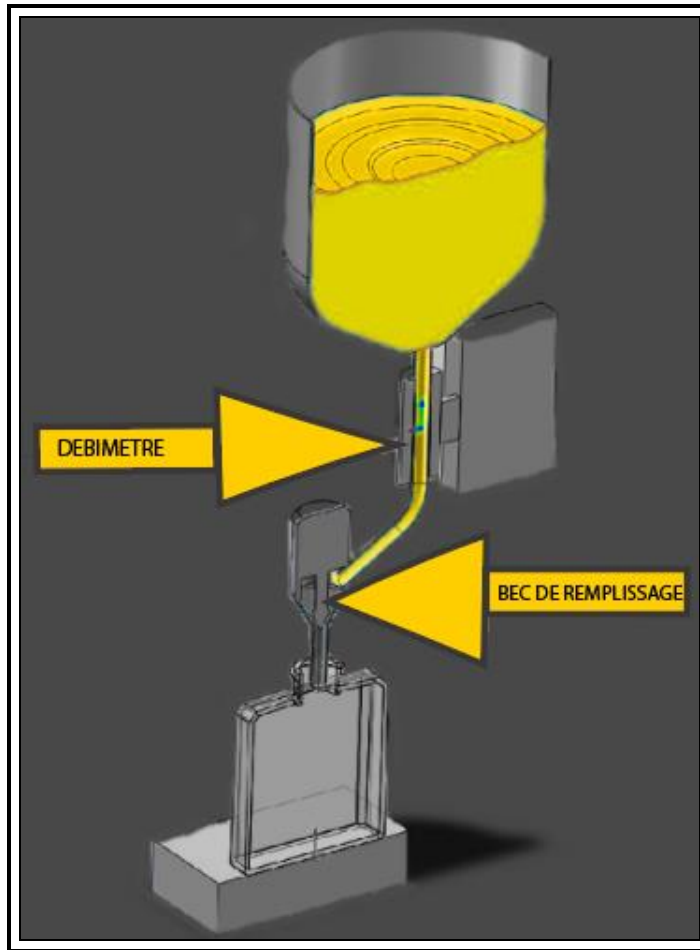


Figure 6: schéma explicatif du dosage DÉBIMÉTRIQUE.

c Dosage PONDERAL :

Le principe du dosage pondéral est très simple, il consiste dans un premier temps à peser le récipient afin de faire une tare puis de peser ce récipient pendant la phase de remplissage jusqu'à obtenir la consigne de poids désirée. C'est la cellule de pesage qui contrôle le flux du produit et permet même de faire varier le débit du produit afin d'obtenir des précisions de dosage inférieure à 1%. L'avantage de ce système est que le capteur ne rentre jamais en contact avec le produit et permet donc un nettoyage en place facile avec même de la vapeur [10]. (Voir figure 7)

Ses avantages :

- ✓ **Nettoyage facile**
- ✓ **Précision de dosage**
- ✓ **Changement de format**

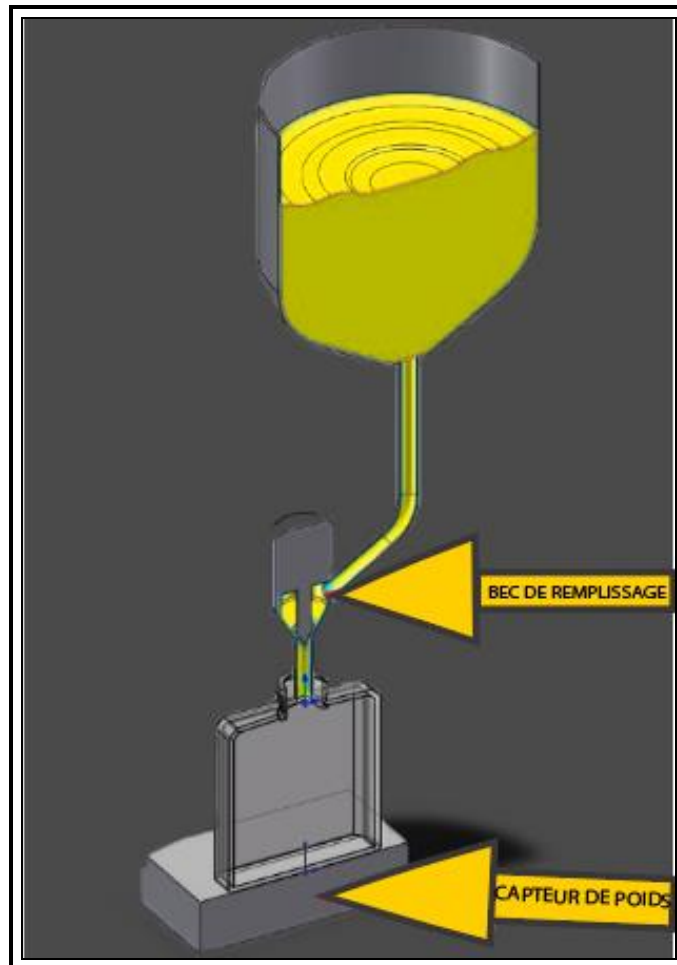


Figure 7: schéma explicatif du dosage PANDERALE.

1.12 Remplisseuse Automatique Industriel

1.12.1 Définition d'une Remplisseuse

Les remplisseuses sont des machines de conditionnement qui permettent de placer dans un récipient tout type de contenu. Elles sont utilisées dans plusieurs secteurs (pharmaceutique, alimentaire, cosmétique...).

Il existe différents types de remplisseuses : linéaire, rotative, automatique, semi-automatique, manuelle, des remplisseuses de produits liquides et des remplisseuses de produits solides [11].

1.12.2 Remplisseuse Automatique

Une remplisseuse automatique est une machine opérant seule, sans intervention humaine.

Les remplisseuses automatiques sont capables d'effectuer différentes opérations de manière répétée, comme le remplissage, le bouchage et le comptage automatique de produits pendant l'opération de conditionnement.

Précises et facilement nettoyables, elles permettent également de travailler à une cadence élevée. Leur principal avantage est ainsi la productivité [11].

1.12.3 Différences entre Remplisseuse de Liquides et de Solides

La remplisseuse de liquides assure un dosage stable et continu des liquides dans les différents contenants (flacons, bouteilles...) afin de faciliter leur conditionnement, comme pour le remplissage de flacons d'emballage rigides, le remplissage de flacons de cosmétiques.

Pour une remplisseuse de solides, le mode de fonctionnement dépend du poids du contenu. Tout en évitant le gaspillage, la dégradation ou l'éclaboussure pouvant modifier le produit emballé, la remplisseuse de solides sert à mettre en emballage les solides pondéraux (poudre, granulé, vrac...). On va alors distinguer : le remplissage poids net, le remplissage pondéral vibrant [11].

1.12.4 Types de Remplisseuses

Il existe deux types de remplisseuses : **linéaire** et **rotative**

a Les remplisseuses linéaires :

Elles permettent de couvrir un large marché, la cadence étant comprise entre 1 000 et 6 000 unités par heure selon le produit et l'emballage. En fonction du produit à conditionner et de la capacité des bouteilles, la machine aura le système de remplissage le plus approprié, principalement par volume ou par débitmètres, étant équipée de becs plongeants pour les produits moussants. Ces machines sont toujours équipées d'un système anti-goutte [11].

b Les remplisseuses rotatives :

Elles permettent d'obtenir des cadences très élevées, entre 4 000 et 36 000 unités par heure. En fonction de la production souhaitée, ces remplisseuses incorporent 12, 18, 24, 36 et jusqu'à 42 valves de remplissage, pour des volumes de conditionnement allant jusqu'à 2000ml [11].



Figure 8: Remplisseuse Linéaire Automatique [10].

1.13 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu général sur l'automatisme industrielle : l'historique de l'automatique, l'Objective de l'automatisation, le secteur industriel de boisson, le processus de fabrication d'une boisson, l'importance de l'automatisation dans l'industrie de boissons ainsi quelques machines importantes ce qui va nous servir pour la construction de notre machine automatique.

Chapitre 2 Systèmes Automatisés de Production

2.1 Introduction

L'industrie fait très largement appel à l'Automatique : depuis l'introduction des robots dans les chaînes de montage dans le domaine de l'automobile remplaçant certaines interventions humaines jusqu'à la présence de ceux-ci dans des milieux trop hostiles pour l'Homme.

Les systèmes automatisés sont partout dans notre environnement quotidien. Ils vont probablement se développer de plus en plus et prendre une place plus importante dans la manière de travailler, tant dans les ateliers de production que dans les divers bureaux des entreprises. Connaître leur fonctionnement permet aussi de mieux comprendre notre environnement et notre machine.

Dans ce chapitre, nous allons définir et expliquer ce qu'est un système automatisé de production tout en expliquant chaque partie de celui-ci.

2.2 Présentation Générale des Systèmes

2.2.1 Définition d'un Système selon 2 Aspects

Un système est un produit (rappel de la définition d'un produit : ce qui est fourni à l'utilisateur pour répondre à un besoin). Il devra vérifier les performances attendues du cahier des charges. On peut donc regarder un système suivant deux aspects :

- **Aspect structurel** : Ensemble de constituants en relation (moteur, aile, gouverne...) [12].
- **Aspect fonctionnel** : Ensemble de fonctions en relation (propulser, porter, diriger...) [12].

2.2.2 Les Systèmes Automatisés

Les systèmes techniques peuvent être de nature très diverse et différentes disciplines peuvent s'interpénétrer : l'automatique, l'informatique, la mécanique, l'électronique, l'électrotechnique.

Plus le système est complexe, plus les disciplines concernées sont nombreuses.

Nous nous intéresserons principalement aux systèmes automatisés dans lesquels tout ou une partie du savoir-faire est confié à une machine [12].

2.3 Classification d'un Système

2.3.1 Selon le Domaine d'Application

- ✓ **L'aéronautique** : avion, mais aussi à l'intérieur de celui-ci son système de navigation, système d'armes...
- ✓ **L'automobile** : voiture, système de climatisation, ABS, direction assistée, suspension active...
- ✓ **L'électroménager** : machine à laver, cafetière, four micro-onde...
- ✓ **L'électronique grand public** : téléviseur, téléphone portable, lecteur DVD, mais aussi les systèmes d'émission et de réception par satellite des signaux audio et vidéo.
- ✓ **La domotique** : store, ouvre-portail, climatisation...
- ✓ **Le service** : distributeur de billets, horodateur, station de lavage, ascenseur...
- ✓ **Le médical** : respirateurs, pompes, rein artificiel... [12].

2.3.2 Selon le Contexte technico-économique

Suivant le contexte technico-économique, la conception des systèmes se fait différemment.

On distingue :

Les systèmes de diffusion limitée rencontrés dans les usines de production industrielle : Ces systèmes, souvent unitaires, font l'objet d'études réduites et sont constitués d'éléments standards assemblés [12].

Les systèmes de grande diffusion rencontrés dans l'électroménager, la domotique, la distribution : Ces systèmes, produits en grande série, font l'objet d'études poussées pour optimiser les coûts. Le design est souvent un élément important [12].

2.4 Structure Générale d'Un Système Automatisé

Un système est dit automatisé s'il exécute toujours le même cycle de travail après avoir reçu les consignes d'un opérateur, ou lorsque le passage de la situation initiale à la situation finale se fait sans intervention humaine et de façon répétitive.

Il est composé d'une partie commande et d'une partie opérative et d'une partie pupitre.

Pour faciliter l'analyse, nous pouvons représenter un système sous forme d'un schéma identifiant les trois parties (P.O ; P.C ; P.P) et exprimant leurs interrelations (Informations, Ordres, Comptes rendus, Consignes) [13]. (Voir figure 9).

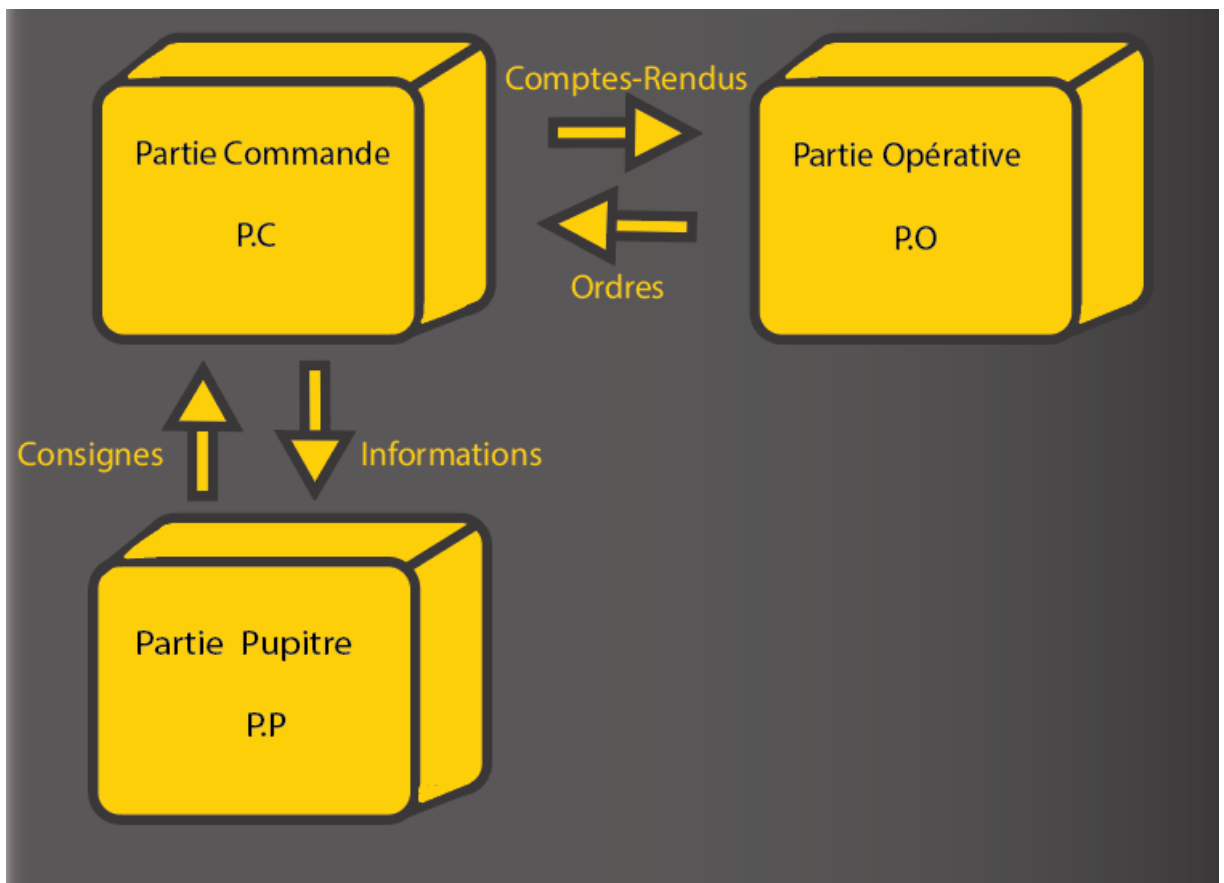


Figure 9 : Schéma d'organisation d'un système automatisé.

2.4.1 La Partie Opérative P.O

La partie opérative d'un automatisme est le sous-ensemble qui effectue les actions physiques (déplacement, émission de lumière...), mesure des grandeurs physiques (température, humidité, luminosité...) et rend compte à la partie commande.

Une partie Opérative regroupe l'ensemble des actionneurs et des capteurs, les actionneurs exécutent les ordres reçus et les capteurs réagissent à l'état du système [14]. (Voir figure 10)

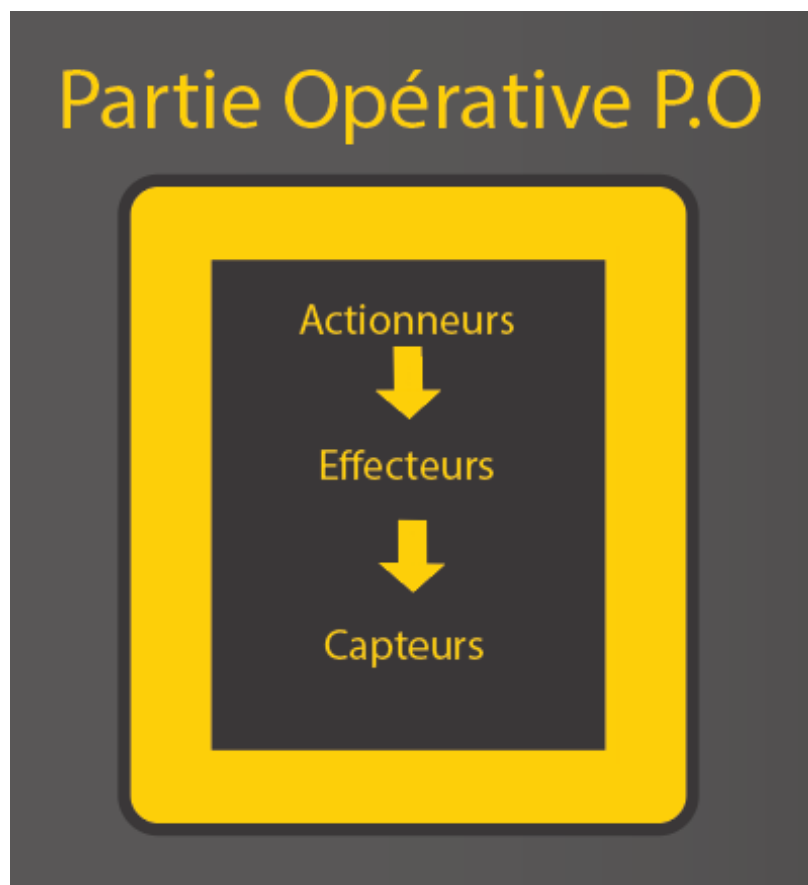


Figure 10: Schéma de la Partie Opérative P.O.

2.4.2 La Partie Pupitre P.P

Le pupitre permet à l'opérateur de dialoguer et de commander la partie opérative. Il comporte :

- Des capteurs de commande (marche, arrêt, arrêt d'urgence...).
- Des voyants de signalisation (mise sous tension, fonctionnement anormal, buzzer...).
- Des appareils de mesure de pression (manomètre), de tension (voltmètre), d'intensité (ampèremètre) [13].

2.4.3 La Partie Commande P.C

La partie commande d'un automatisme est le centre de décision. Il donne des ordres à la partie opérative et reçoit ses comptes rendus. La partie commande peut-être mécanique, électronique ou autre. Sur de gros systèmes, elle peut se composer d'un ordinateur, un logiciel et une interface, Automate programmable industriel. (Voir figure 5).

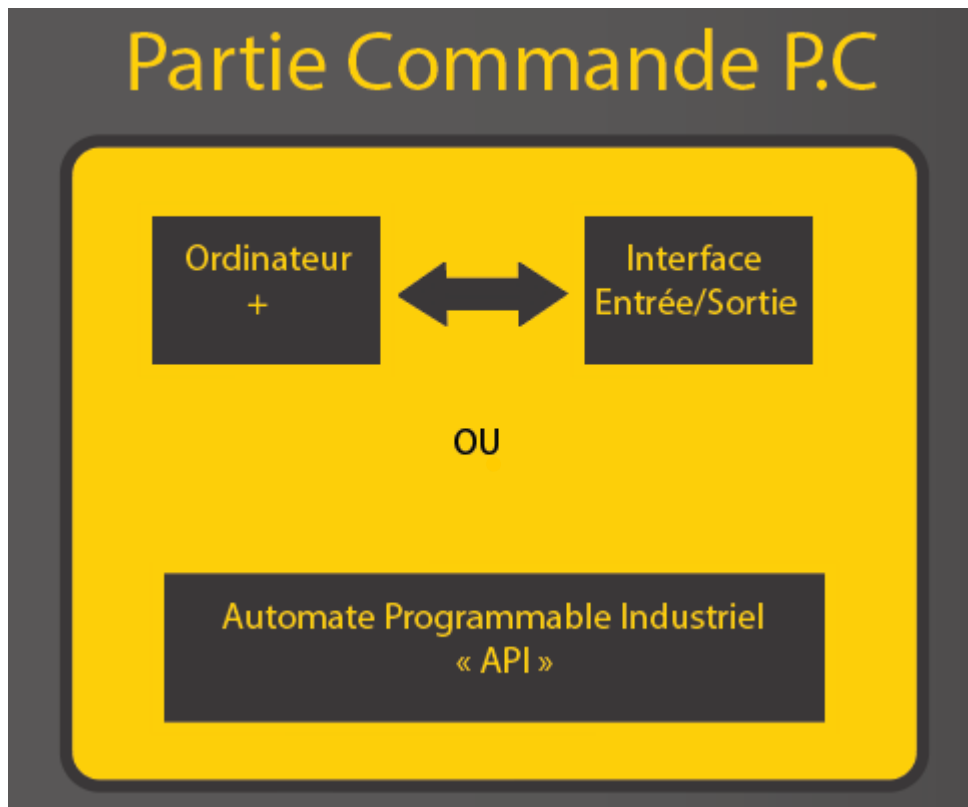


Figure 11: Schéma de la Partie Commande P.C.

2.4.4 Relations entre PP, PC et PO

(Consignes, ordres, comptes rendus, signalisations).

- La PP émet à la PC des consignes (demande d'ouverture, de fermeture, d'arrêt).
- La PC émet à la PO des ordres pour coordonner le déroulement des opérations.
- La PO émet des comptes rendus caractérisant les états des matières d'œuvres ou des parties mécaniques.
- La PC émet à la PP des signalisations pour informer de l'état dans lequel elle se trouve.

2.5 Organisation Fonctionnelle d'un Système Automatisé

2.5.1 Chaîne fonctionnelle (Obtention d'une seule fonction)

Une chaîne fonctionnelle est un ENSEMBLE DE CONSTITUANTS ORGANISES en vue de l'obtention d'UNE SEULE FONCTION PRINCIPALE (par exemple : prendre un objet, déplacer une charge, chauffer une pièce...), c'est un système automatisé élémentaire [12]. (Voir figure 12).

2.5.2 Chaînes d'énergie et d'information

Une chaîne fonctionnelle comporte :

- Une chaîne d'énergie qui réalise une action à partir d'énergies disponibles.
- Une chaîne d'information qui réalise l'acquisition et le traitement d'informations [12].

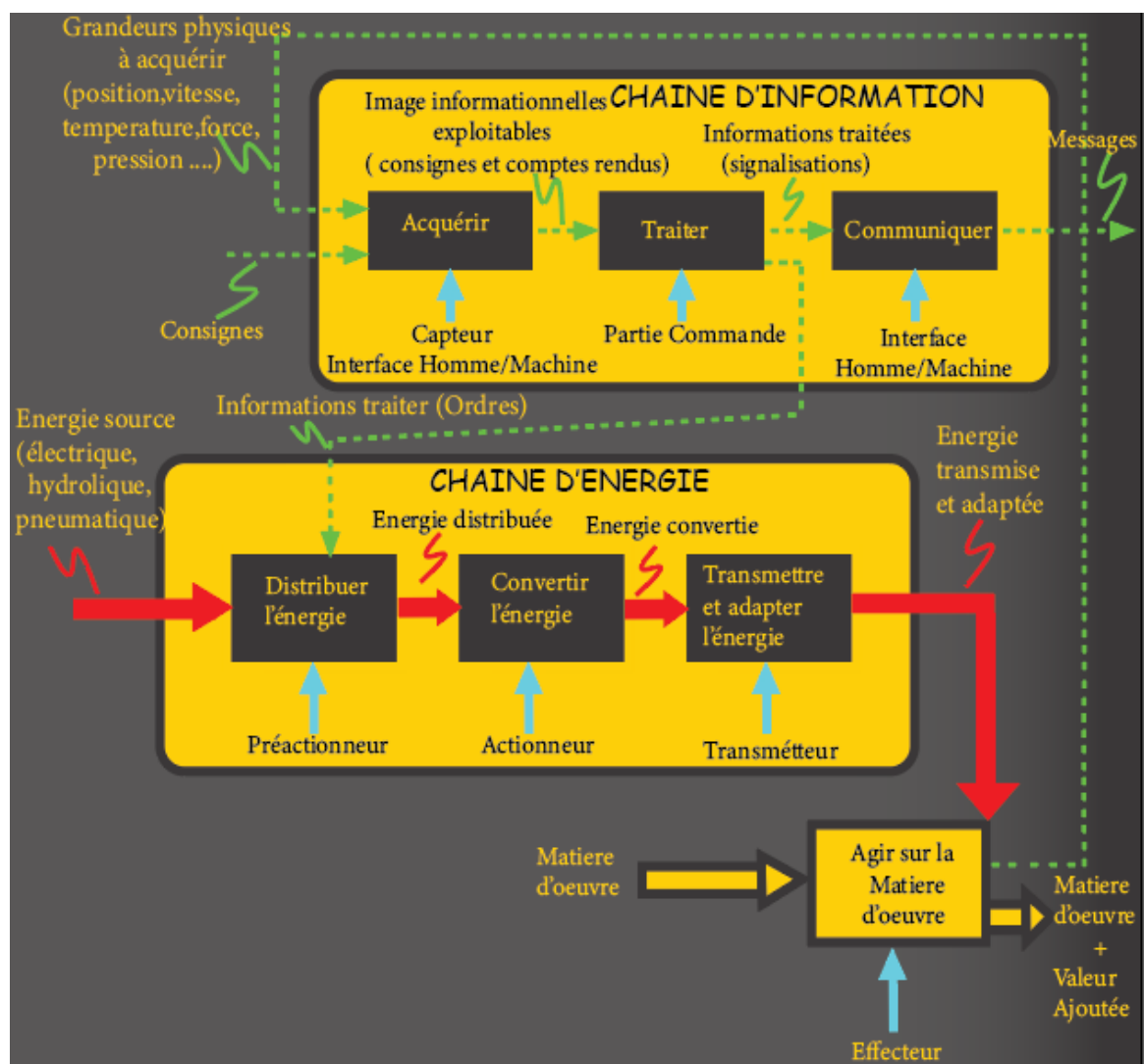


Figure 12 : schéma explicatif de la chaîne d'énergie et d'information.

2.5.3 Flux d'énergie, Flux d'information et Flux de matière




| Différents types de flux utilisé dans une chaîne fonctionnelle | Représentation | Électrique | Pneumatique | Hydraulique |
|--|---|------------|-------------|-------------|
| Dans la chaîne d'énergie où l'énergie utilisée doit être importante pour donner aux matières d'œuvre la valeur ajoutée attendue, nous parlerons de FLUX D'ENERGIE. |  | 220 V | 7 bar | 250 bar |
| Dans la chaîne d'information où l'énergie utilisée doit être faible pour véhiculer des signaux, nous parlerons de FLUX D'INFORMATION. |  | 24 V | 3 bar | 10 bar |
| Au niveau de l'effecteur, nous parlerons de FLUX DE MATIERE (pièce, matériau...). |  | | | |

Tableau 1 : différents types de flux utilisé dans la chaîne d'information et d'énergie.

2.6 Constituants de la chaîne d'énergie

2.6.1 Les Pré-actionneurs

a Définition

La majorité des systèmes automatisés industriels ont pour partie commande un A.P. I (Automate Programmable Industriel). Cet automate est généralement incapable de distribuer directement l'énergie nécessaire à l'actionneur car il traite l'information, sous forme d'énergie de faible niveau.

Le pré-actionneur est donc là pour s'occuper de distribuer une énergie forte adaptée à l'actionneur en fonction de la commande (énergie faible) venant de l'API. La raison d'être du pré-actionneur réside donc dans les problèmes de distribution de l'énergie à l'actionneur [15].

b Fonctionnement

Sa fonction est de transmettre un ordre de la partie commande à la partie opérative. Généralement utilisé pour commander des puissances en fonction d'un signal de commande de faible puissance. Son rôle est donc de générer l'énergie de commande de l'actionneur [15]. Ceci est illustré par la figure ci-dessous.

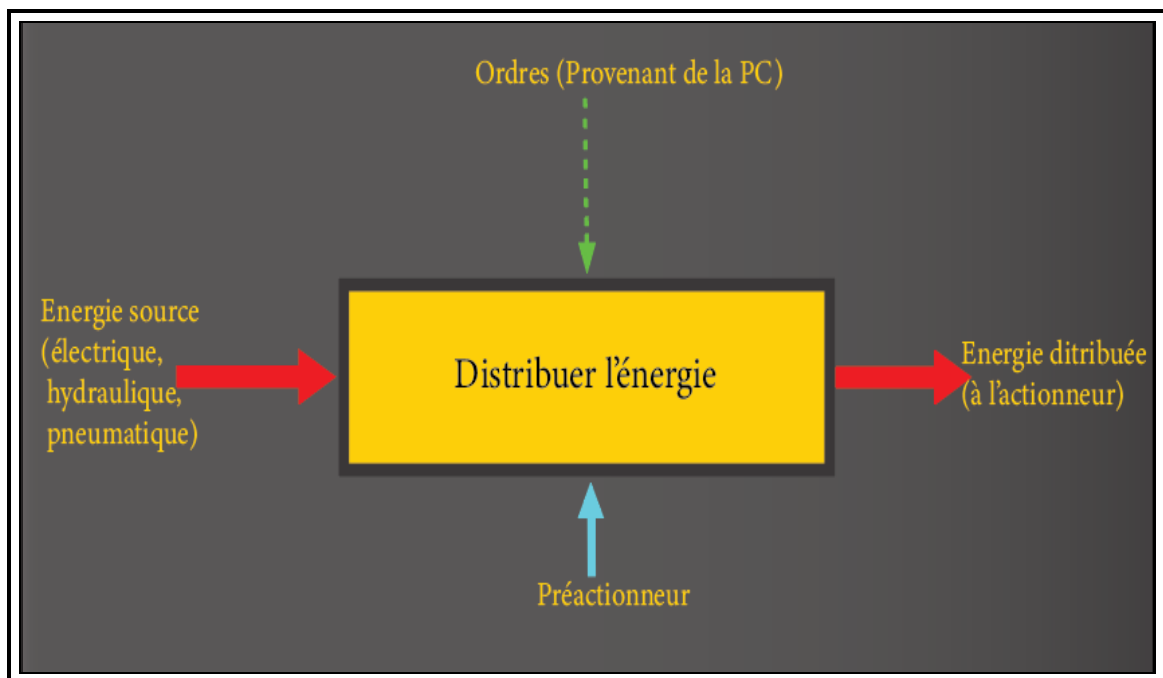


Figure 13 : Fonctionnement d'un Pré-actionneur.

2.6.2 Les Actionneurs

a Définition

Élément qui convertit une énergie d'entrée non directement utilisable par les mécanismes agissant sur la matière d'œuvre en une énergie de sortie utilisable par ces mécanismes pour obtenir une action définie [12].

b Fonctionnement

Afin d'agir sur la matière d'œuvre, la partie opérative a besoin d'énergie de haut niveau. L'énergie source employée est le plus souvent de nature électrique ou pneumatique, parfois hydraulique. Cette énergie source n'est pas directement utilisable et doit être convertie (en général en énergie mécanique) : c'est la fonction des actionneurs [12].

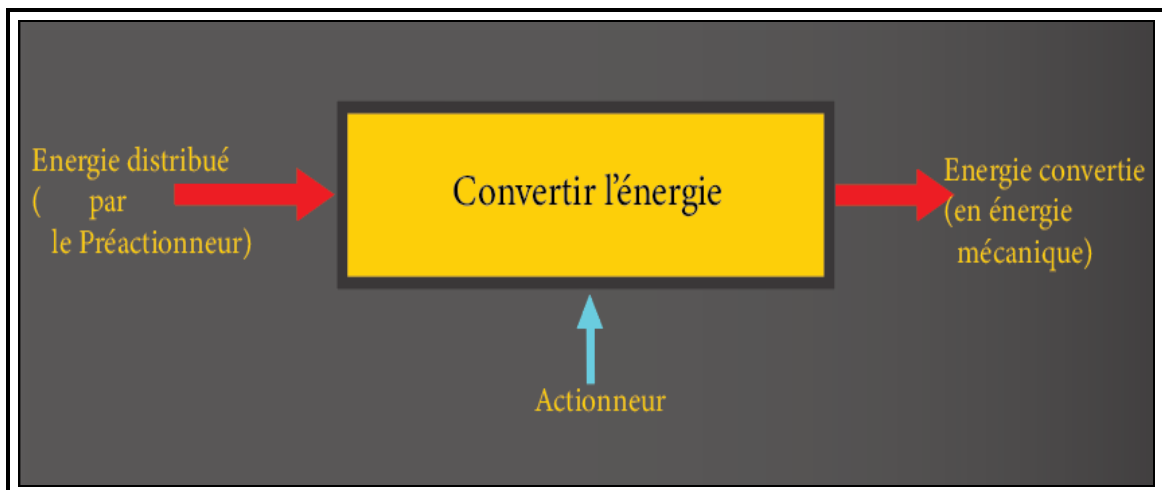


Figure 14 : Fonctionnement d'un Actionneur.

2.6.3 Les Transmetteurs (ou Adaptateurs)

Lorsque l'on veut que l'énergie mécanique produite par l'actionneur ait des caractéristiques bien précises (fréquence de rotation réduite, vitesse linéaire ...), on incorpore dans la chaîne d'énergie des adaptateurs d'énergie mécanique [12].

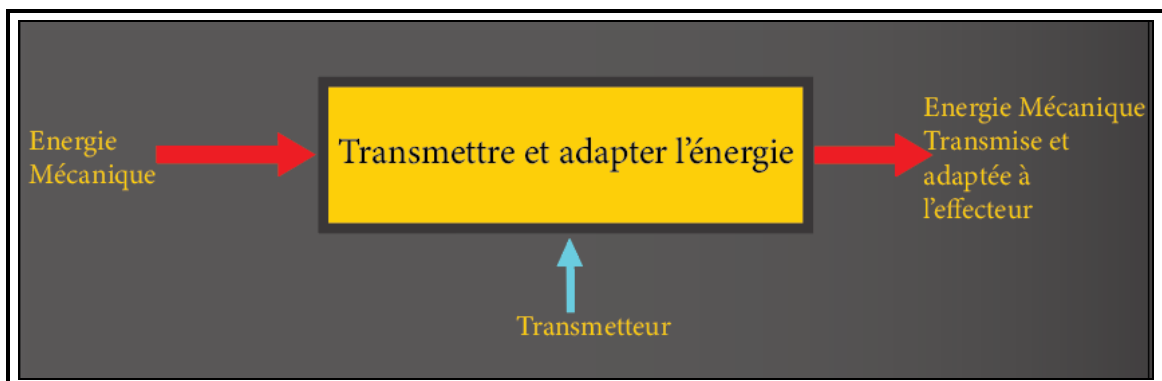


Figure 15 : Fonctionnement d'un Transmetteur

2.7 Les Effecteurs

2.7.1 Définition

Ce sont les éléments terminaux. Ils agissent directement sur la matière d'œuvre en vue de lui apporter une valeur ajoutée. Ils convertissent l'énergie reçue de l'adaptateur en une opération ou un effet sur la matière d'œuvre. (Voir figure 16).

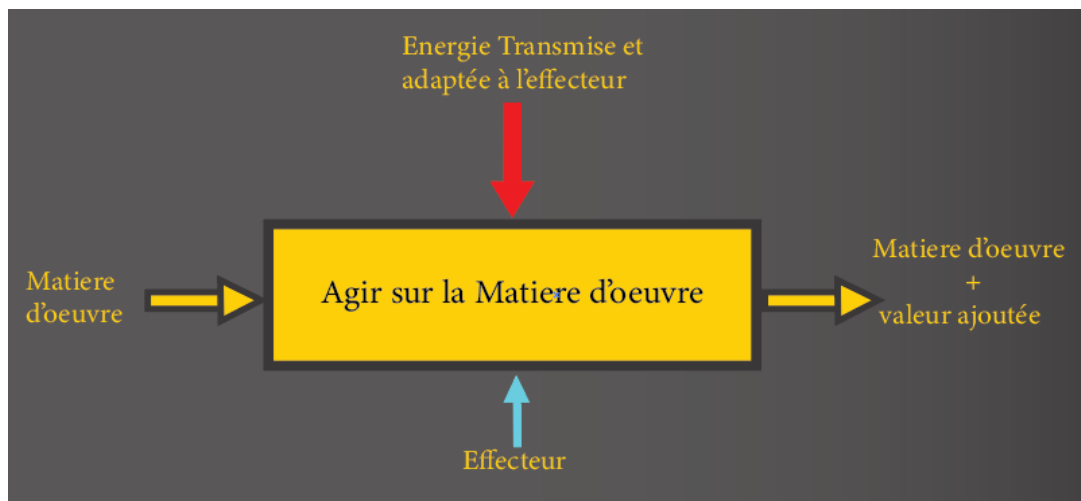


Figure 16 : Fonctionnement d'un Effecteur.

2.8 Constituants de la Chaîne d'information

2.8.1 Les Capteurs

a Définition

Le capteur est un appareil capable de détecter une information (phénomène) physique dans l'environnement (présence d'objet, chaleur, lumière, bruit, etc...) et de la retransmettre sous forme de signal exploitable, généralement un signal électrique, et enfin transmet ce signal à la PC [16] [12]. (Voir figure 17).

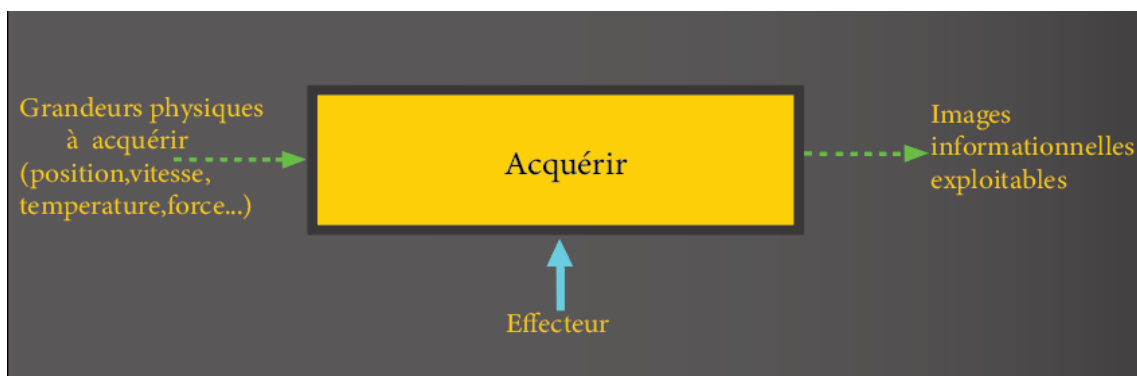


Figure 17 : Fonctionnement d'un Capteur

b Capteurs Actifs (ou capteurs directs)

On parle de capteur actif lorsque le phénomène physique qui est utilisé pour la détermination du mesurande effectue directement la transformation en grandeur électrique. C'est la loi physique elle-même qui relie mesurande et grandeur électrique de la sortie [16].

Les effets physiques classiques sont :

- ✓ **Effet thermoélectrique** : un circuit formé de deux conducteurs de nature chimique différente, dont les jonctions sont à température T1 et T2, est le siège d'une force électromotrice d'origine thermique e (T1, T2).
- ✓ **Effet piézo-électrique** : L'application d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézo-électrique entraîne l'apparition d'une déformation et d'une même charge électrique de signe différents sur les faces opposés.
- ✓ **Effet d'induction électromagnétique** : La variation du flux d'induction magnétique dans un circuit électrique induit une tension électrique (détection de passage d'un objet métallique).

La loi de Faraday-Lenz : • $e = - \frac{d\phi}{dt}$, où ϕ est le flux de B à travers le circuit.

B : champ magnétique variable ; **e** : force électromotrice (en volt).

Pour une bobine comportant N spires : • $e = -N \frac{d\phi}{dt}$

- ✓ **Effet photoélectrique** : La libération de charges électriques dans la matière sous l'influence d'un rayonnement lumineux ou plus généralement d'une onde électromagnétique.
- ✓ **Effet Hall** : Un barreau de semi-conducteur soumis à un champ magnétique uniforme B et traversé par un courant I, l'effet Hall est le siège d'une force électromotrice U_H entre deux de ses faces. Avec : R_H : constante de HALL
La tension de Hall U_H est définie par la relation ci-dessous : • $U_H = R_H \frac{I \cdot B}{c}$
- ✓ **Effet photovoltaïque** : Des électrons et des trous sont libérés au voisinage d'une jonction illuminée, leur déplacement modifie la tension à ses bornes [16].

| Grandeur physique mesurée | Effet utilisé | Grandeur de sortie |
|---------------------------|-----------------------------|--------------------|
| Température | Thermoélectricité | Tension |
| Flux rayonnement optique | Photoémission | Courant |
| | Effet photovoltaïque | Tension |
| | Effet photoélectrique | Tension |
| Force | Piézo-électricité | Charge électrique |
| Pression | | |
| Accélération | Induction électromagnétique | Tension |
| Vitesse | | |
| Position | Effet Hall | Tension |
| Courant | | |

Tableau 2 : Résumé des effets utilisés pour chaque mesurande.

c Capteurs Passifs

Il s'agit généralement d'impédance dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée. La variation d'impédance résulte :

- ✓ Soit d'une variation de la dimension du capteur, c'est le principe de fonctionnement d'un grand nombre de capteur de position, potentiomètre, inductance à noyaux mobile, condensateur à armature mobile.
- ✓ Soit d'une déformation résultant de force ou de grandeur s'y ramenant, pression accélération (armature de condensateur soumise à une différence de pression, jauge d'extensomètre liée à une structure déformable) [16].

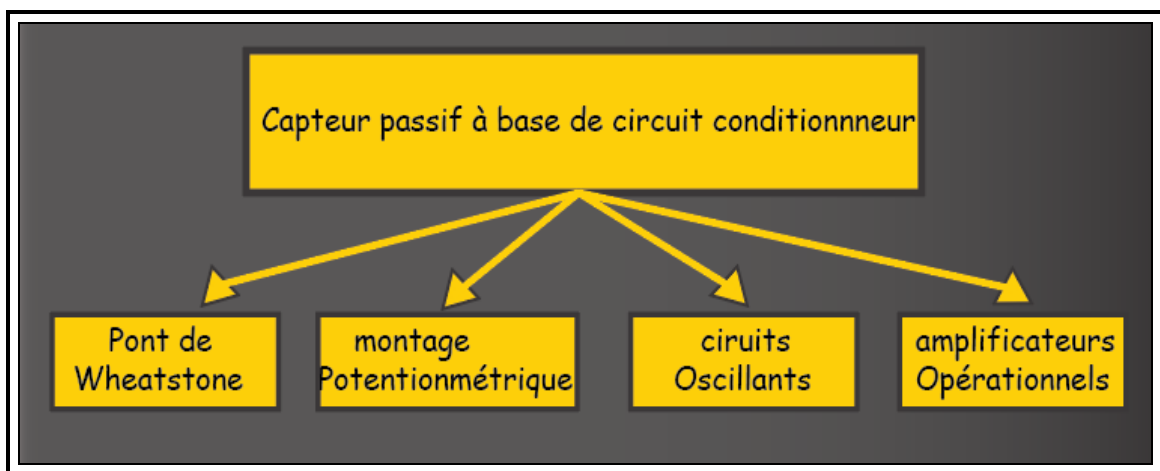


Figure 18 : Les instruments de mesure des capteurs passifs.

| Grandeur mesurée | Caractéristique électrique sensible | Type de matériaux utilisé |
|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| Température | Résistivité | Métaux : platine, cuivre... |
| Flux rayonnement optique | Résistivité | Semi-conducteur |
| Déformation | Résistivité | Alliage de Nickel |
| | Perméabilité magnétique | Alliage ferromagnétique |
| Position (aimant) | Résistivité | Matériaux magnéto résistants |
| Humidité | Résistivité | Chlorure de lithium |

Tableau 3 : Résumé des caractéristiques d'un capteur passif.

2.8.2 Classification des Capteurs

a Les Capteurs TOR (Tout Ou Rien) ou Capteurs Logiques

Ces capteurs transmettent une information de type binaire (donc deux états). Peu coûteux, ce sont généralement des capteurs de position. Par exemple, ils indiquent si une pièce est présente ou non, si une tige de vérin est sortie.... Ils ne permettent pas, en revanche, de mesurer sur toute une plage.

b Les Capteurs Analogiques (infinité de valeurs)

Ces capteurs transmettent une information prenant une infinité de valeurs. La grandeur de sortie est en relation directe avec la grandeur d'entrée. Le principe est de traduire une modification dimensionnelle (due à un effort, à une pression...) en variation de résistance électrique. Ces capteurs sont linéaires.

c Les Capteurs Numériques

La sortie est une séquence d'état logique qui, en se suivant, forme un nombre. La sortie peut prendre une infinité de valeurs discrètes. Le signal du capteur numérique peut être du type :

- Train d'impulsions.
- Code numérique binaire.
- Bus de terrain [16].

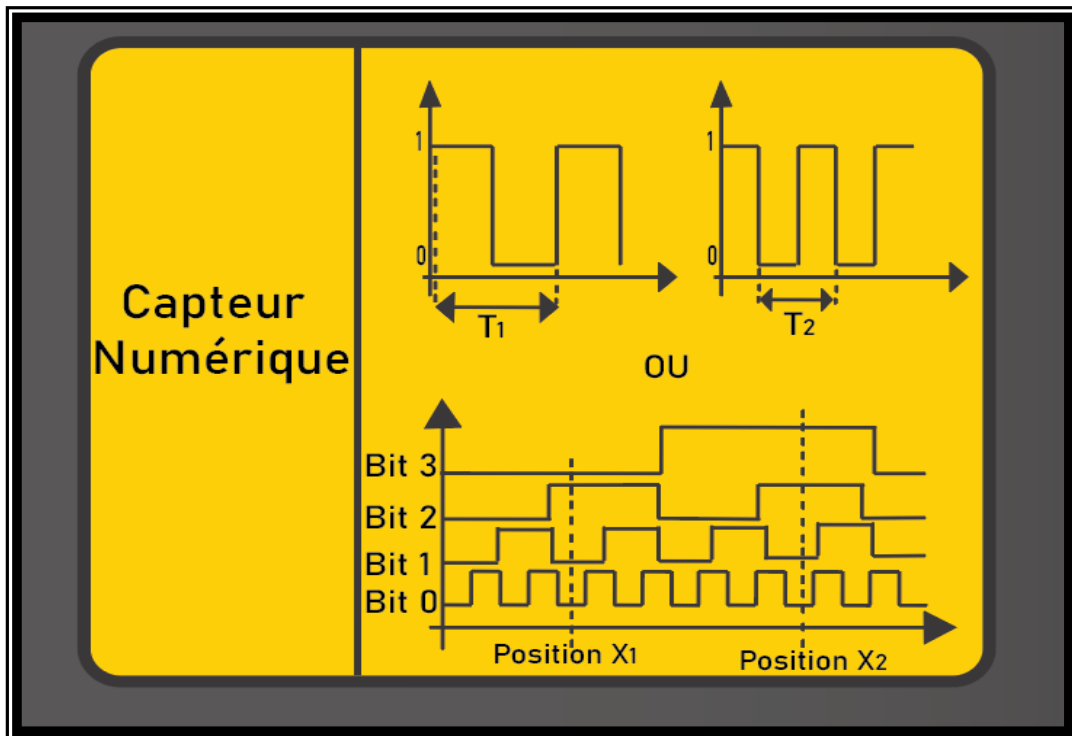


Figure 19 : schéma explicatif du signal d'un capteur numérique.

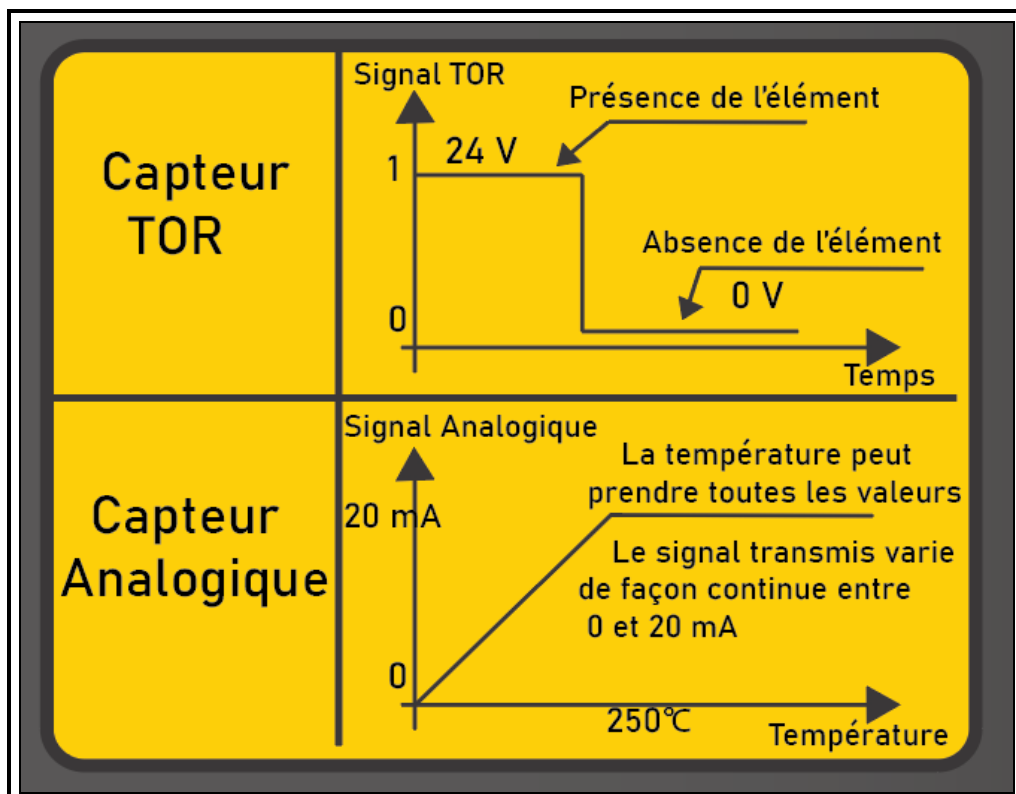


Figure 20 : schéma explicatif du signal d'un capteur analogique et d'un capteur TOR.

2.9 Automates Programmables Industriels (API)

2.9.1 Définition

Un automate programmable industriel (API) est une forme particulière de contrôleur à microprocesseur qui utilise une mémoire programmable pour stocker les instructions et qui implémente différentes fonctions, qu'elles soient logiques, de séquençement, de temporisation, de comptage ou arithmétiques, pour commander les machines et les processus [17].

C'est une machine électronique programmable par un personnel non informaticien et destiné à piloter en ambiance industrielle et en temps réel des procédés industriels.

Un automate programmable est adaptable à un maximum d'application, d'un point de vue traitement, composants, langage. C'est pour cela qu'il est de construction modulaire [12].

2.9.2 Structure d'un API

Cet ensemble électronique gère et assure la commande d'un système automatisé. Il se compose de plusieurs parties et notamment d'une mémoire programmable dans laquelle l'opérateur écrit, dans un langage propre à l'automate, des directives concernant le déroulement du processus à automatiser. Son rôle consiste donc à fournir des ordres à la partie opérative en vue d'exécuter un travail précis comme par exemple la sortie ou la rentrée d'une tige de vérin, l'ouverture ou la fermeture d'une vanne. La partie opérative lui donnera en retour des informations relatives à l'exécution du dit travail [12]. (Voir figure 21).

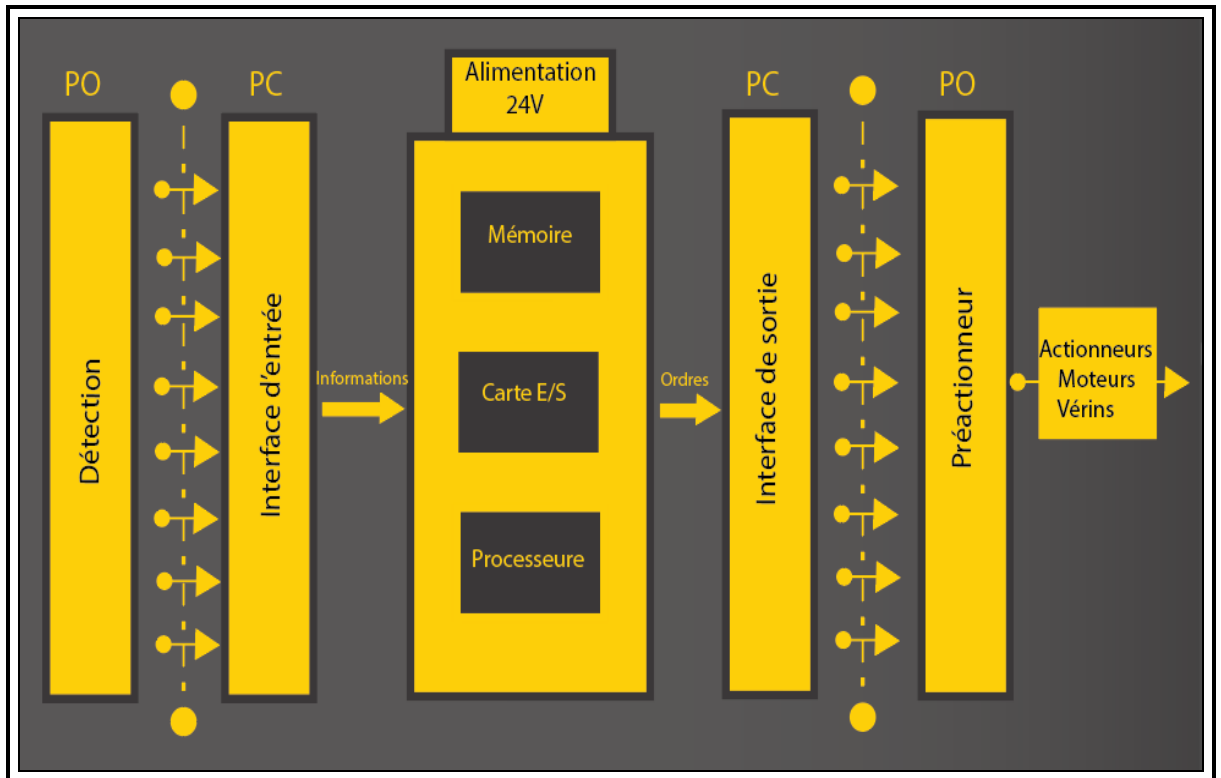


Figure 21 : Structure d'un API.

Les API comportent quatre parties principales :

- Une mémoire
- Un processeur
- Des interfaces d'Entrées/Sorties
- Une alimentation (240 Vac / 24 Vcc).

Ces quatre parties sont reliées entre elles par des bus (ensemble câblé autorisant le passage de l'information entre ces 4 secteurs de l'API). Ces quatre parties réunies forment un ensemble compact appelé automate.

La structure interne d'un automate programmable industriel (API) est assez voisine de celle d'un système informatique simple, L'unité centrale est le regroupement du processeur et de la mémoire centrale. Elle commande l'interprétation et l'exécution des instructions programme. Les instructions sont effectuées les unes après les autres, séquencées par une horloge.

Deux types de mémoire cohabitent :

- **La mémoire Programme** : Où est stocké le langage de programmation. Elle est en général figée, c'est à dire en lecture seulement. (ROM : mémoire morte)
- **La mémoire de données** : Utilisable en lecture-écriture pendant le fonctionnement c'est la RAM (mémoire vive). Elle fait partie du système entrées-sorties. Elle fige les valeurs (0 ou 1) présentes sur les lignes d'entrées, à chaque prise en compte cyclique de celle-ci, elle mémorise les valeurs calculées à placer sur les sorties.

2.9.3 Description des éléments d'un API

a Le processeur

Son rôle consiste d'une part à organiser les différentes relations entre la zone mémoire et les interfaces d'E/S et d'autre part à gérer les instructions du programme.

b La mémoire

Elle est conçue pour recevoir, gérer, stocker des informations issues des différents secteurs du système que sont le terminal de programmation (PC ou console) et le processeur, qui lui gère et exécute le programme. Elle reçoit également des informations en provenance des capteurs. Il existe dans les automates plusieurs types de mémoires qui remplissent des fonctions différentes :

- ✓ La conception et l'élaboration du programme font appel à la RAM et l'EEPROM
- ✓ La conservation du programme pendant l'exécution de celui-ci fait appel à une EPROM.

c L'alimentation

Tous les automates actuels utilisent un bloc d'alimentation alimenté en 240 Vac et délivrant une tension de 24 Vcc.

d Les interfaces

L'interface d'Entrées comporte des adresses d'entrée, une pour chaque capteur relié. L'interface de Sorties comporte des adresses de sorties, une pour chaque pré-actionneur. Le nombre d'E/S varie suivant le type d'automate.

Les cartes d'E/S ont une modularité de 8, 16 ou 32 voies. Elles admettent ou délivrent des tensions continues 0 - 24 Vcc.

2.9.4 Unité d'entrées-sorties E/S

- L'unité d'entrées-sorties (E/S) d'un API apporte le circuit d'interface entre le système et le monde extérieur.
- Chaque point d'entrée-sortie dispose d'une adresse unique, que le CPU peut utiliser.
- L'isolation électrique avec le monde extérieur est généralement réalisée par des photo-coupleurs (également appelés optocoupleurs).
- Un API élaboré peut ainsi accéder à des entrées dont les signaux numériques/discrets (c'est-à-dire tout ou rien) utilisent des tensions de 5 V, 24 V, 110 V et 240 V.
- Les sorties sont de type relais, transistor ou triac :
 - Avec le type relais, le signal issu d'une sortie de l'API est utilisé pour déclencher un relais et peut activer des courants de quelques ampères dans le circuit externe.
 - Avec le type transistor, la sortie se fonde sur un transistor pour commuter le courant dans le circuit externe. L'opération de commutation est donc extrêmement rapide. Les sorties de ce type sont adaptées uniquement à la commutation d'un courant continu.
 - Avec le type triac, et des photo-coupleurs pour l'isolation, les sorties peuvent servir à contrôler les charges externes connectées à une alimentation en courant alternatif [17].

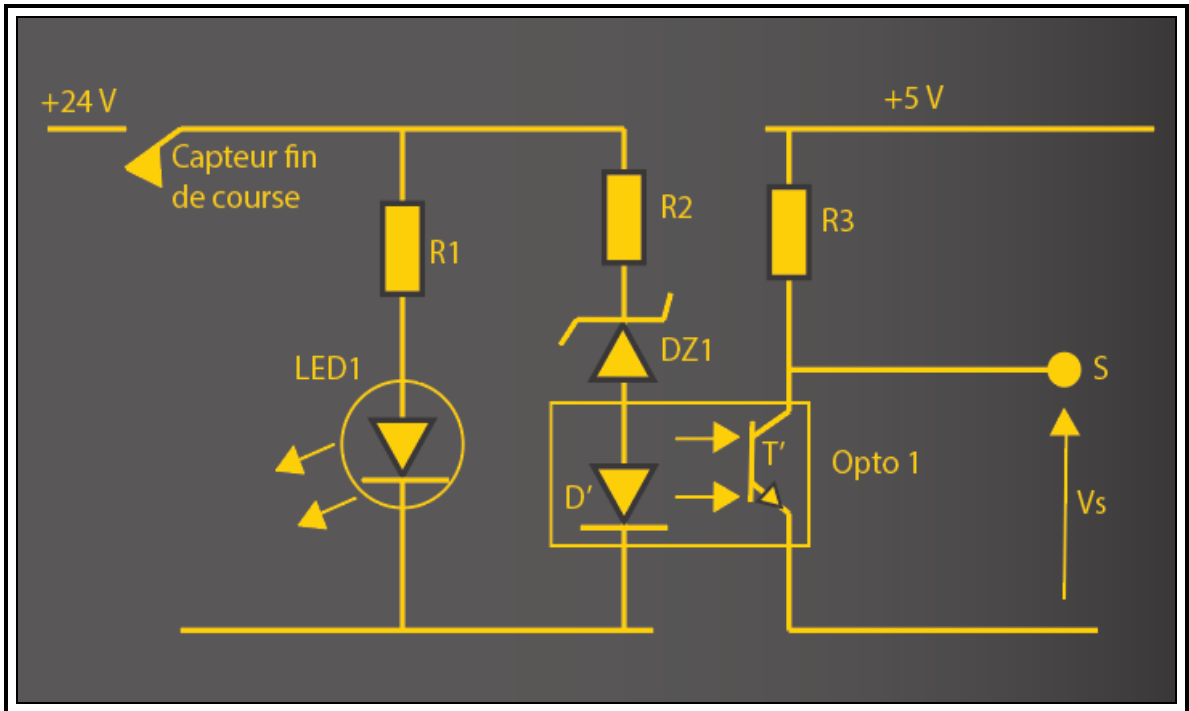


Figure 22 : Carte d'entrée TOR.

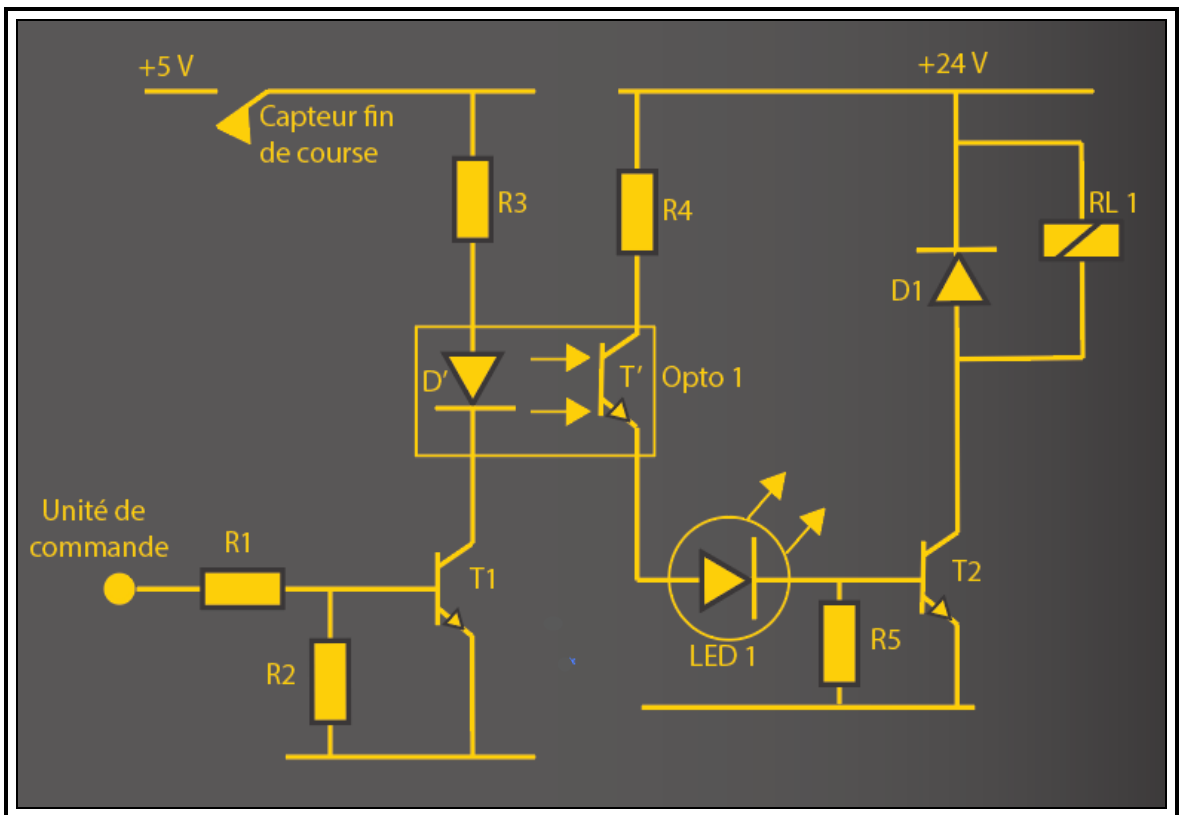


Figure 23 : Carte de sortie TOR.

2.9.5 Fonctionnement

Un API fonctionne en continu, exécutant son programme et réagissant aux signaux d'entrée. Cette boucle de fonctionnement est appelée cycle. Au début de chaque cycle du programme, le CPU scrute toutes les entrées et copie leur état aux adresses correspondantes dans la RAM. Pendant l'exécution du programme, les données d'entrées enregistrées sont lues à partir de la RAM et les opérations logiques sont réalisées. Les signaux de sortie résultants sont stockés dans la zone de mémoire réservée aux entrées-sorties. À la fin de chaque cycle du programme, toutes les sorties sont transférées depuis la RAM vers les canaux de sorties appropriés. Les sorties conservent ensuite leur état jusqu'à la prochaine actualisation. Cette solution est appelée copie en masse des E/S [12] [17]. Ceci est illustré par la figure ci-dessous.

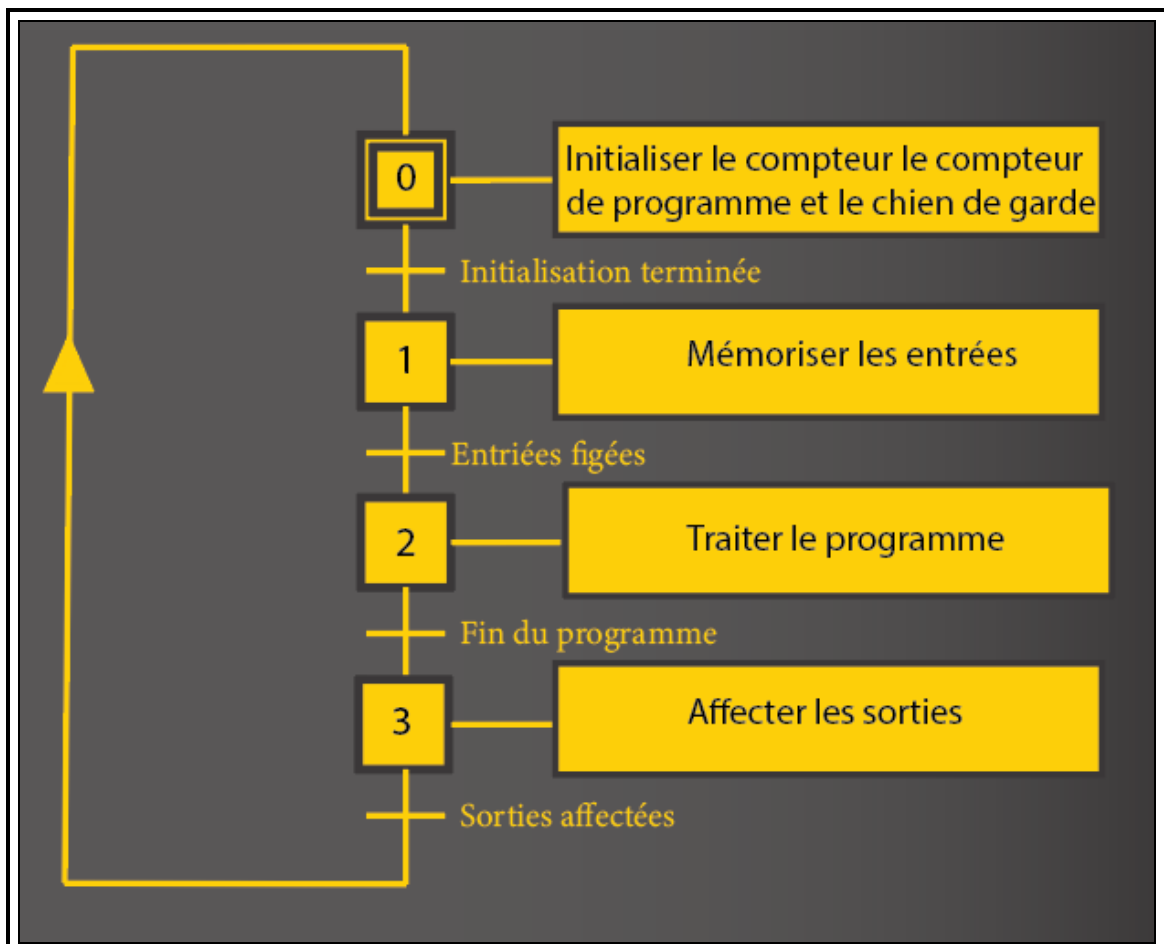


Figure 24 : Cycle de fonctionnement des API.

2.9.6 Langages de Programmation pour les API

Chaque automate possède son propre langage de programmation. Mais par contre, les constructeurs proposent tous une interface répondant à la norme CEI 11313. Cette norme définit cinq langages de programmation utilisables, qui sont :

GRAFSET ou SFC : Ce langage de programmation de haut niveau permet la programmation aisée de tous les procédés séquentiels.

Schéma par blocs ou FBD : Ce langage permet de programmer graphiquement à l'aide de blocs, représentant des variables, des opérateurs ou des fonctions. Il permet de manipuler tous les types de variables.

Langage à contacts LD (LADDER) : La programmation des API se fonde très souvent sur les schémas à contacts. Pour le tracé d'un schéma à contacts, on doit respecter les conventions suivantes :

- Les lignes verticales du schéma représentent les barres d'alimentation, entre lesquelles des circuits sont connectés. Le flux du courant part de la ligne verticale de gauche et traverse une ligne horizontale.
- Chaque ligne horizontale définit une opération du processus de commande. Les lignes sont lues de gauche à droite. La procédure de parcours de toutes les lignes du programme est appelée cycle.
- Chaque ligne doit commencer par une ou plusieurs entrées et doit se terminer par au moins une sortie.
- Les dispositifs électriques sont représentés dans leur condition normale. Ainsi, un interrupteur qui est normalement ouvert jusqu'à ce qu'un objet le ferme est représenté ouvert sur le schéma à contacts [17].

Texte structuré ou ST : Ce langage est un langage textuel de haut niveau. Il permet la programmation de tout type d'algorithme plus ou moins complexe.

Liste d'instructions ou IL : Ce langage textuel de bas niveau est un langage à une instruction par ligne. Il peut être comparé au langage assembleur.

Pour programmer l'automate, l'automaticien peut utiliser :

- Un PC avec lequel la programmation est plus conviviale, communiquant avec l'automate par le biais d'une liaison série RS232 ou RS485 ou d'un réseau de terrain.

2.10 La Supervision Industrielle

2.10.1 Définition

La supervision est une technique industrielle de suivi et de pilotage informatique de procédés de fabrication automatisés. La supervision concerne l'acquisition de données (mesures, alarmes, retour d'état de fonctionnement) et des paramètres de commande des processus généralement confiés à des automates programmables.

La supervision industrielle permet de suivre en temps réel une installation ou une machine industrielle. Elle permet d'avoir un affichage dynamique du processus avec les différentes alarmes, défauts et événements survenant pendant l'exploitation de la machine. Les procédés de supervision actuelle se basent sur les architectures de systèmes distribués permettant la surveillance ou le monitoring à distance [18].

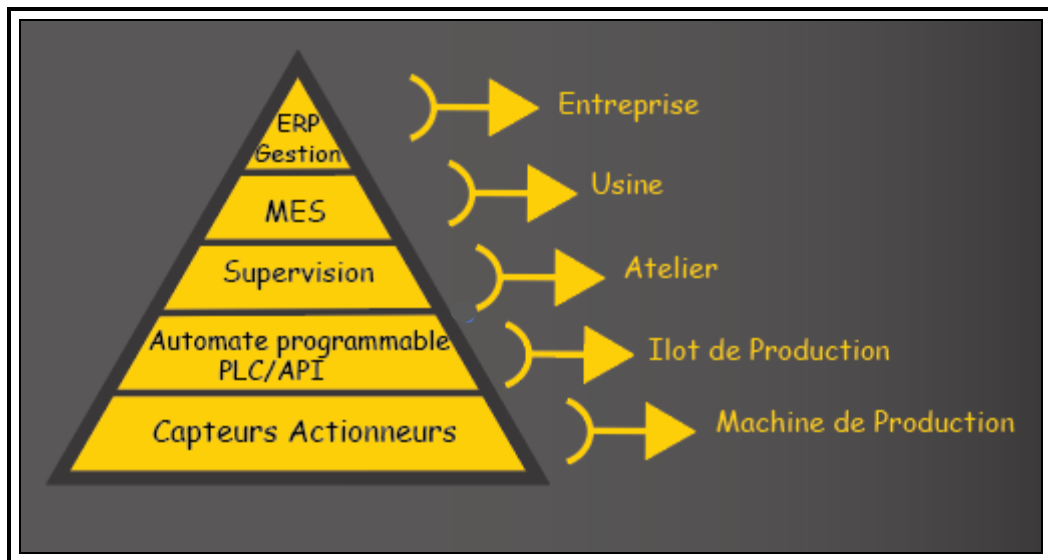


Figure 25 : La supervision dans la hiérarchie d'une entreprise manufacturière.

2.10.2 Les fonctions de la supervision

Les logiciels de supervision sont une classe de programmes applicatifs dédiés à la production dont les buts sont :

- L'assistance de l'opérateur dans ses actions de commande du processus de production (interface IHM dynamique...)
- La visualisation de l'état et de l'évolution d'une installation automatisée de contrôle de processus, avec une mise en évidence des anomalies (alarmes)
- La collecte d'informations en temps réel sur des processus depuis des sites distants (machines, ateliers, usines...) et leur archivage.
- Fournir des données pour l'atteinte d'objectifs de production (quantité, qualité, traçabilité, sécurité...) [18].

2.10.3 Les interfaces homme-machine ou IHM

Les interfaces homme machine permettent le contrôle et la commande d'automatismes industriels. On retrouve ainsi des interfaces homme machine sous forme de pupitre opérateur avec des boutons et des voyants permettant à l'utilisateur d'interagir avec les machines, les voyants lumineux correspondent à des alertes qui permettent d'avertir l'opérateur en cas de dépassement d'un seuil pré-réglé. On peut aussi avoir à la place d'un voyant lumineux une alarme sonore. D'un autre côté, on peut aussi retrouver des interfaces homme machine matérielle comme logicielle.

- ✓ **Interface homme-machine matérielle** : Il s'agit des panels de supervision qui peuvent être tactiles ou dotés de boutons permettant leur configuration. Ces panels peuvent être mobiles sans fil et connectés à distance à un automate ou bien reliés via un réseau de communication industriel au dispositif de commande.
- ✓ **Interfaces homme-machine logicielle** : L'opérateur peut visualiser en temps réel l'ensemble des alarmes, défauts et autres anomalies permettant une prise de décision rapide.

2.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé une étude sur les systèmes automatisés. Ici, nous nous sommes basés sur l'architecture et la structure d'un système de production automatique, sa chaîne d'énergie et d'information, sa constitution, plus une explication bien définie des pré-actionneurs et actionneurs ainsi les capteurs. Ensuite, nous avons présenté les automates programmables industriels (API) et les systèmes de supervision industrielle avec IHM.

A travers cette étude, nous avons acquis une bonne connaissance de l'étude théorique des systèmes automatiques, et une maîtrise du fonctionnement des machines. Nous avons ainsi conclu toutes les étapes nécessaires à la construction de notre machine.

Le prochain chapitre sera consacré à l'étude conceptuelle de notre système.

3.1 Introduction

Après les généralités sur les API et les systèmes automatisés industriels, respectivement aux premiers et deuxièmes chapitres, nous consacrons ce chapitre à la conception de notre automate programmable et de notre système automatique.

La conception d'un système automatisé passe, impérativement, par la modélisation du procédé. Cela se fait par différents outils précis et relativement simple à mettre en œuvre. Parmi ces outils, on trouve ceux établis par les chercheurs (réseaux de pétri) et d'autres mis en œuvre par des industriels (GRAFCET).

Nous allons, dans ce chapitre, présenter l'outil GRAFCET et diagramme fonctionnel, et vers la fin, dresser l'organigramme et le GRAFCET de notre système. Après nous allons concevoir cette API qu'on va construire on expose le schéma synoptique général du système, ensuite nous détaillerons les différents blocs constituant le dispositif.

3.2 Définition

Le GRAFCET (Graphe Fonctionnel de Commande des étapes et transition) est un outil graphique pour l'automatisme séquentiel, en tout ou rien. Il est, également, utilisé dans beaucoup de cas combinatoires, dans le cas où il y a une séquence à respecter et où l'état des capteurs suffirait pour résoudre le problème en combinatoire.

Ce graphe fonctionnel, de commande étape transition, décrit tout système dont les évolutions peuvent s'exprimer séquentiellement c'est-à-dire, dont la décomposition en étapes est possible. C'est un outil clair, strict et sans ambiguïté, permettant, par exemple, au réalisateur de montrer au donneur d'ordre comment il a compris le cahier des charges. C'est un Système Dynamique à Événements Discrets.

- Système dynamique : dont l'état dépend des entrées passées et présentes (en opposition aux systèmes statiques)
- Système à événements discrets :
 - L'état du système est discret : à valeur dans un ensemble fini (en marche, à l'arrêt, etc.)
 - Le système répond à des événements (capteur de fin de course, mise en marche, arrêt d'urgence, etc.). (En opposition aux systèmes (à états) continus) [12].

3.3 Les éléments de base de GRAFCET

Un grafcet est un graphe orienté biparti défini par :

- des étapes E
- des transitions T
- des arcs A
- un marquage initial M0

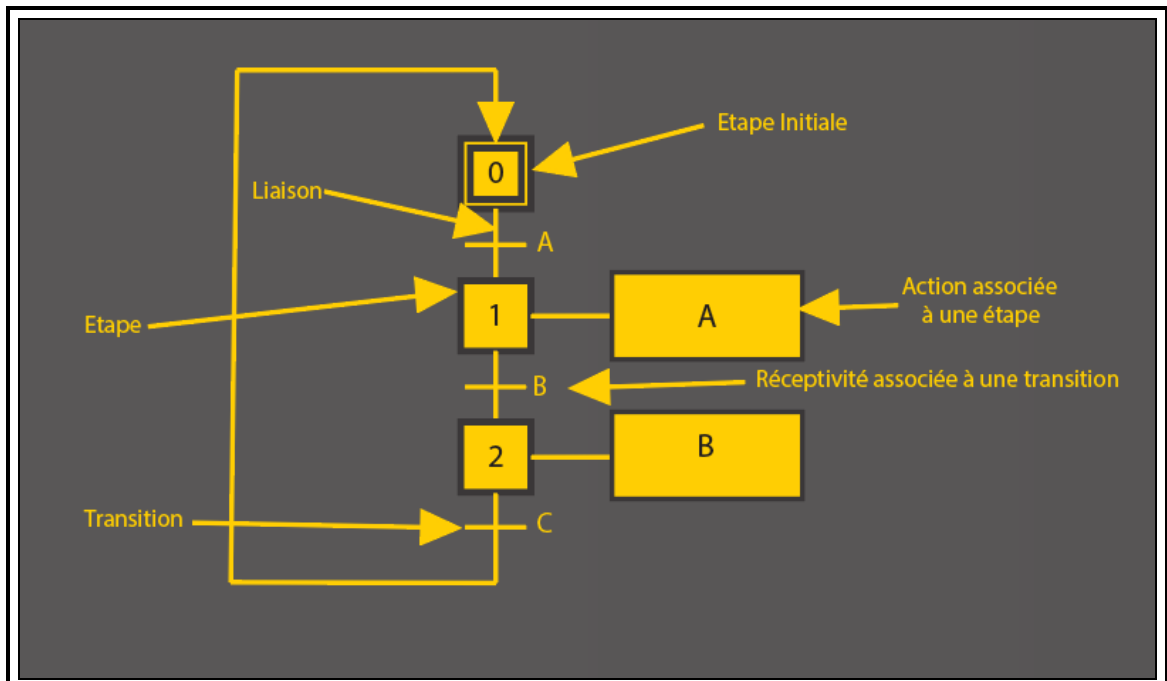


Figure 26 : Eléments de base d'un GRAFCET.

3.3.1 Etape initiale

L'étape initiale caractérise l'état du système au début du fonctionnement. Cette étape est repérée sur le GRAFCET par un double carré.

3.3.2 Transition

Une transition se trouve entre 2 étapes et :

- Est représentée par un trait horizontal.
- Est validée si l'étape amont est active.
- Représente les possibilités d'évolution du système.

3.3.3 Réceptivité

Une réceptivité est associée à chaque transition. C'est la condition logique pour l'évolution du GRAFCET. Si la réceptivité est vraie (=1) le cycle peut évoluer.

Les réceptivités proviennent du pupitre de commande, des fins de courses ou des informations provenant de la partie opérative.

3.3.4 Liaison

Les liaisons orientées relient les étapes aux transitions et les transitions aux étapes. Elles indiquent les voies suivant lesquelles se font les évolutions. Elles sont représentées par des lignes verticales et horizontales.

3.3.5 Etape

Un grafcet comporte un nombre fini d'étapes. Une étape se trouve entre 2 transitions, elle est représentée par un carré et représente l'état du système.

On définit un vecteur d'état booléen X :

$X_i = 0$, si l'étape i est inactive

$X_i = 1$, si l'étape i est active

3.4 Les règles d'évolution du GRAFCET

Cinq règles fondamentales permettent de faire évaluer les situations du GRAFCET.

1^{ère} Règle : situation initiale

La situation initiale d'un GRAFCET caractérise le comportement initial de la partie commande vis à vis de la partie opérative, de l'opérateur et/ou des éléments extérieurs. Elle correspond aux étapes actives au début du fonctionnement. Elle traduit, généralement, un comportement de repos.

2^{ème} Règle : franchissement d'une transition

Une transition est soit validée, soit non validée. Elle est franchie lorsque l'étape associée est active et la réceptivité associée à cette transition est vraie.

3^{ème} Règle : évolution des étapes actives

Le franchissement d'une transition provoque simultanément :

- La désactivation de toutes les étapes immédiatement précédentes reliées à cette transition,
- L'activation de toutes les étapes immédiatement suivantes reliées à cette transition.

4^{ème} Règle : évolution simultanée

Plusieurs transitions simultanément franchissables sont simultanément franchies.

5^{ème} Règle : activation et désactivation simultanées d'une étape

Si, au cours du fonctionnement, une même étape doit être désactivée et activée simultanément, elle reste active.

3.5 Structures de base

3.5.1 Divergence et convergence en ET (séquences simultanées)

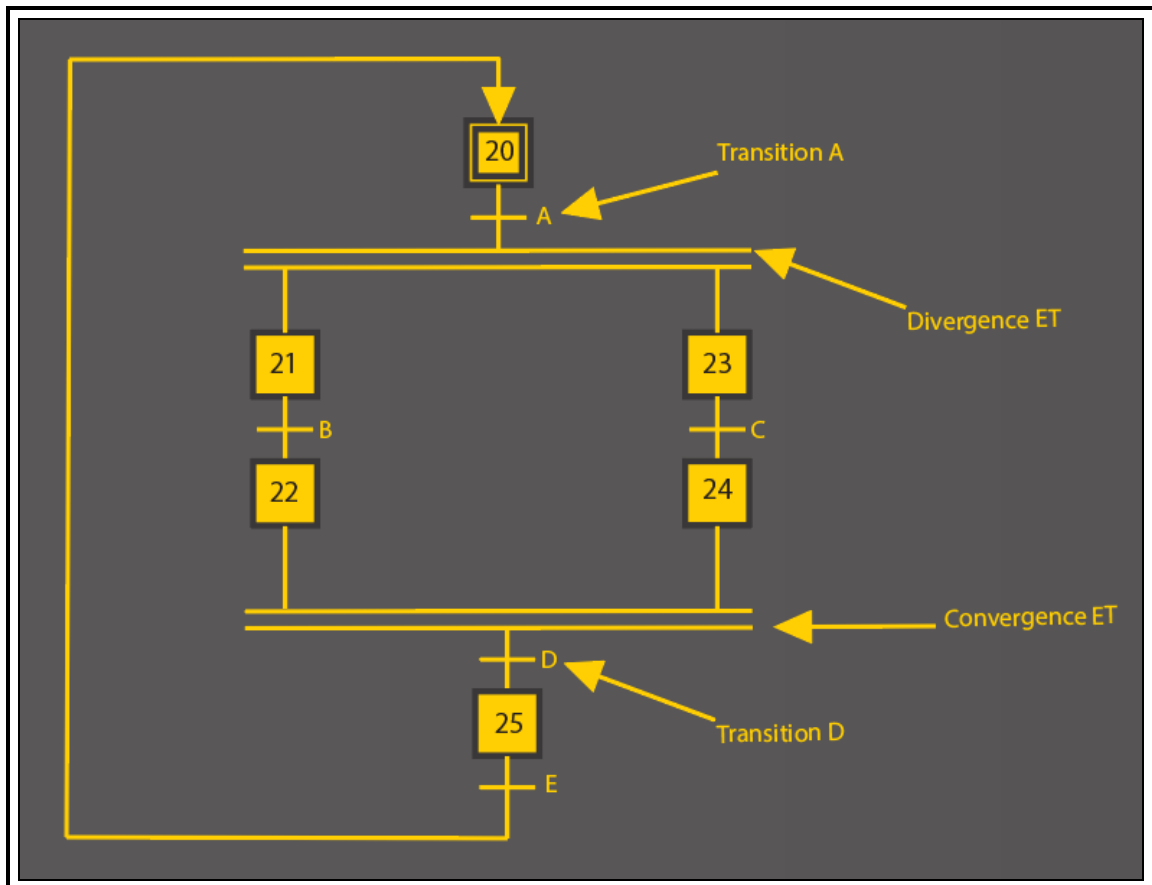


Figure 27 : Divergence et convergence en ET (séquence simultanée).

- I. **Divergence en ET** : lorsque la transition A est franchie, les étapes 21 et 23 sont actives.
- II. **Convergence en ET** : la transition D sera validée lorsque les étapes 22 et 24 seront actives. Si la réceptivité associée à cette transition est vraie, alors celle-ci est franchie.

3.5.2 Divergence et convergence en OU (séquence aiguillage)

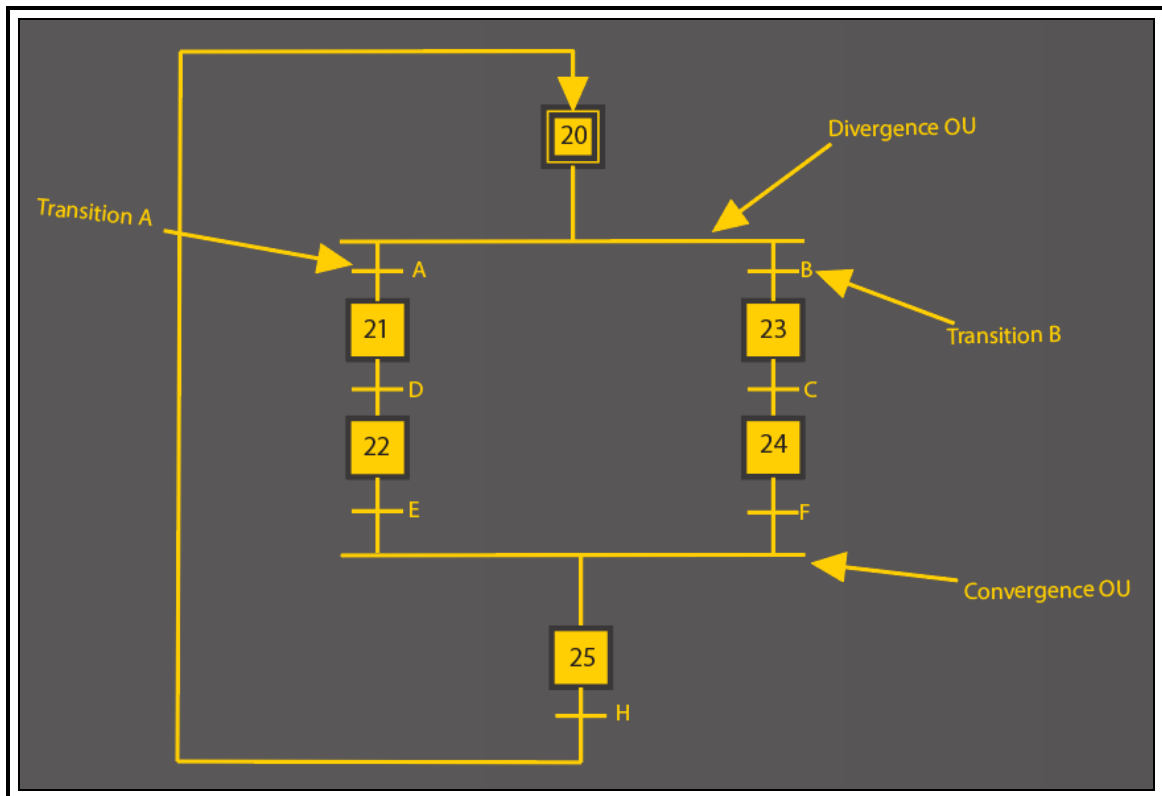


Figure 28 : Divergence et convergence en OU (séquence aiguillage).

- I. **Divergence en OU** : l'évolution du système vers une branche dépend des réceptivités A et B associées aux transitions.
- II. **Convergence en OU** : après l'évolution dans une branche, il y a convergence vers une étape commune.

3.6 Niveaux du GRAFCET

Le GRAFCET est réalisé selon deux niveaux de représentation, qui sont définies comme suit [12] :

3.6.1 Niveau 1

Appelé aussi GRAFCET fonctionnel. Il décrit, sous forme de spécifications fonctionnelles, le comportement de la partie commande vis-à-vis de la partie opérative et du monde extérieur. Les réceptivités sont décrites sous forme littérale par des mots et non pas par des abréviations. A ce niveau, on ne définit pas les actionneurs ni les capteurs mais uniquement les actions à effectuer et leurs enchaînements, pour permettre de comprendre l'évolution de l'automatisme.

3.6.2 Niveau 2

Ce GRAFCET ajoute, aux exigences fonctionnelles, les précisions indispensables aux conditions de fonctionnement, grâce aux spécifications technologiques et opérationnelles, compte tenu de la technologie de la partie commande et de la partie opérative, ainsi que la prise en compte de la technologie des actionneurs et des capteurs de l'automatisme. Il est utilisé pour la réalisation et l'exploitation des systèmes automatisés. La description des actions et des réceptivités est par abréviations.

3.7 DIAGRAMME FONCTIONNEL (ORGANIGRAMME)

3.7.1 Définition

Les diagrammes fonctionnels permettent de décrire le fonctionnement des systèmes automatisés plus simplement qu'avec un texte.

L'organigramme est une représentation graphique ordonnée des différentes opérations de traitement d'un problème, ainsi que des liaisons qui existent entre les différentes opérations. Il obéit à des règles d'écriture très simples, et il assemble des symboles normalisés et des textes.

3.8 Organigramme de notre Système Automatique

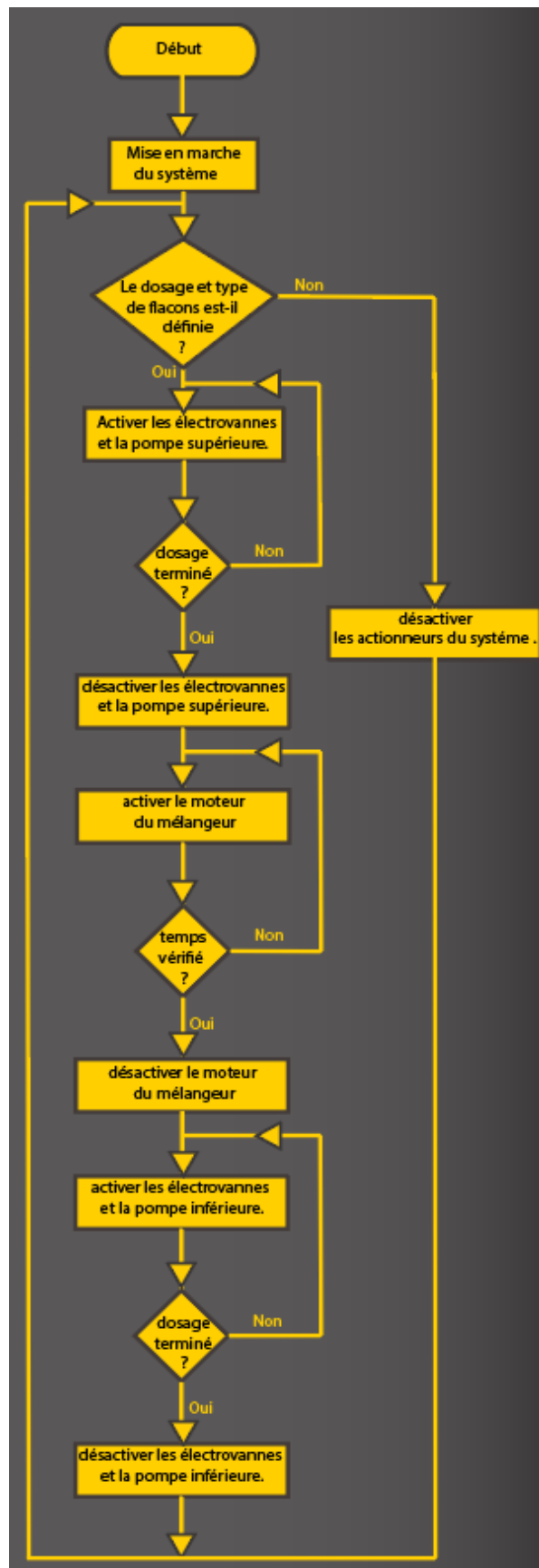


Figure 29: Organigramme de notre système automatique.

3.9 GRAFCET de notre Système du Point de vue Partie Opérative

La figure ci-dessous, montre la nomination des capteurs et actionneurs utilisée dans notre GRAFCET :

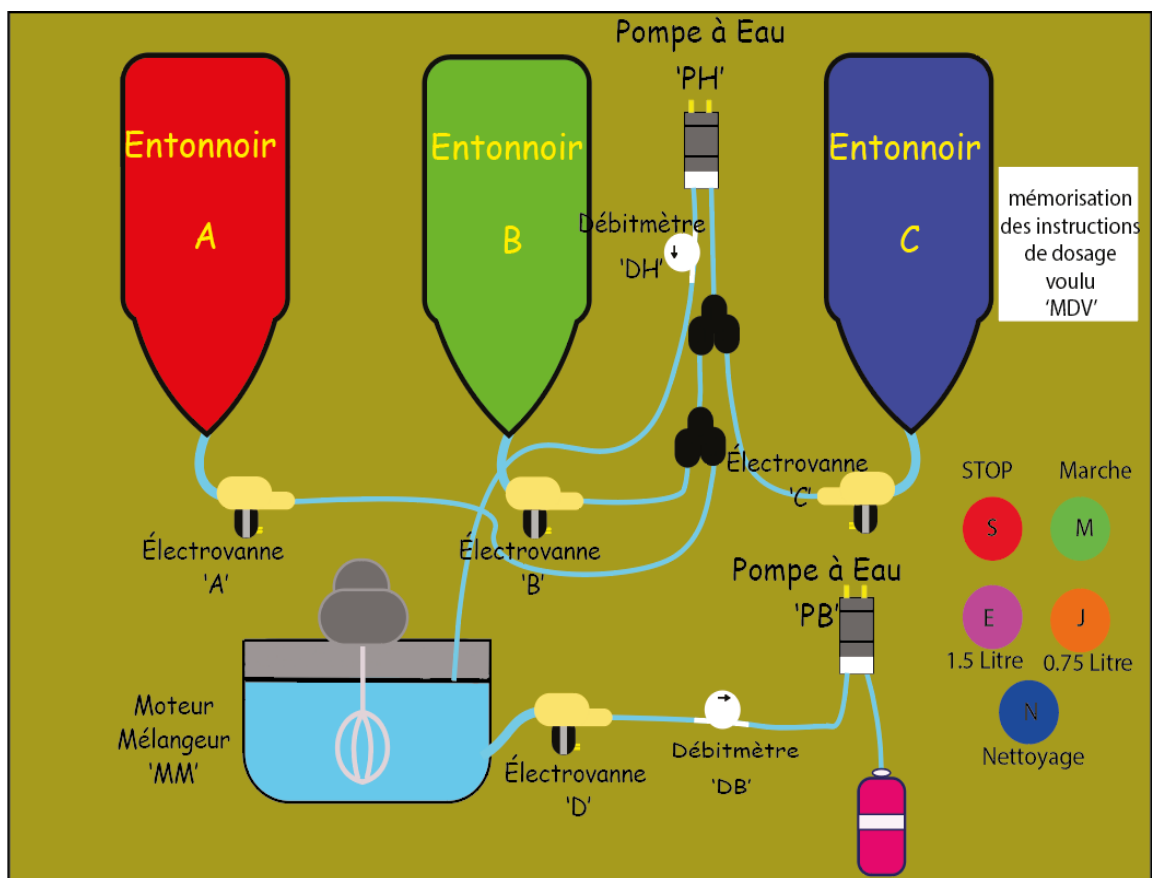


Figure 30:photo anime de notre système automatique.

Le GRAFCET de notre système est illustré par la figure ci-dessous :

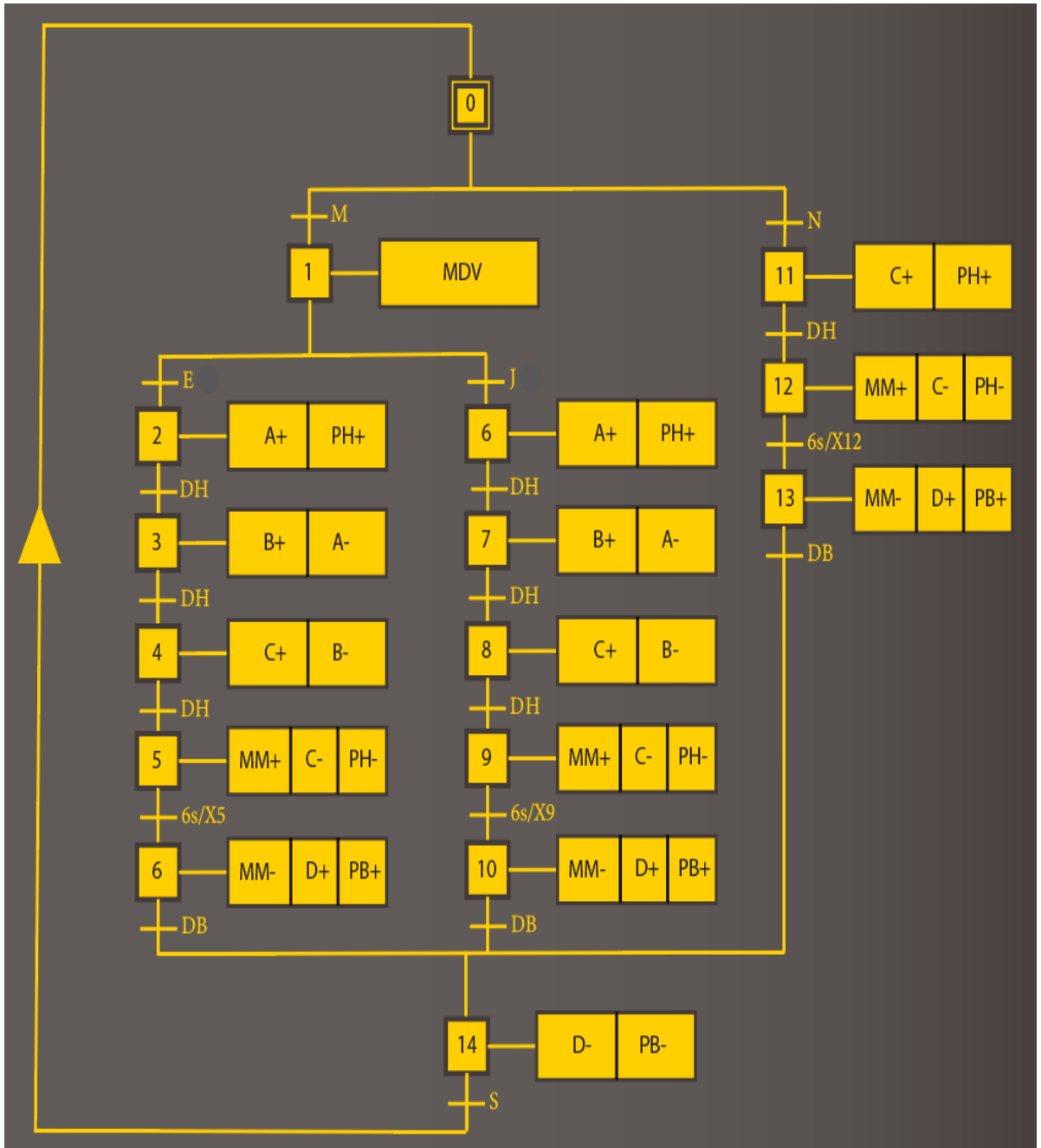


Figure 31:GRAFCET de notre système automatique.

3.10 Conception de notre Automate Programmable Industriel

3.10.1 Schéma synoptique du système de commande (API)

Le système proposé est construit autour d'une carte Méga Pro Embed CH340G. Il est constitué de plusieurs modules d'entrées sorties avec une alimentation générale du dispositif. Le schéma synoptique du système proposé est présenté ci-dessous :

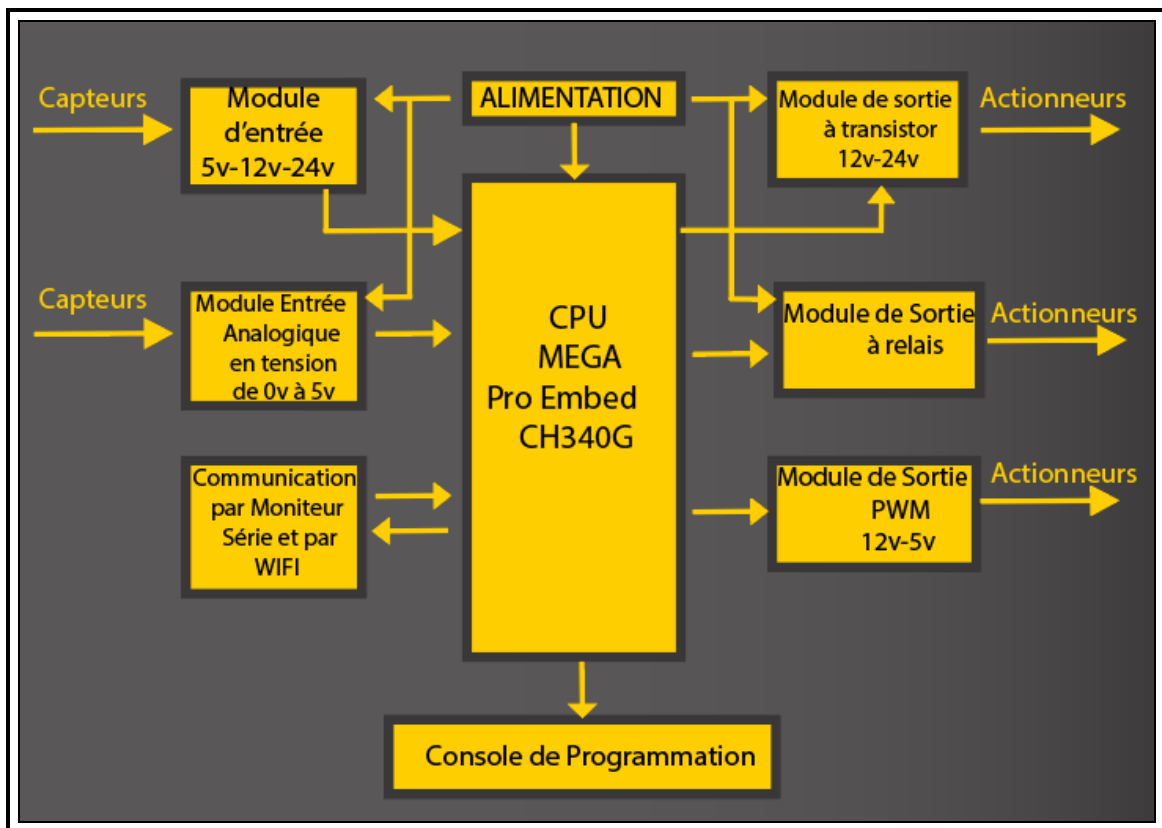


Figure 32 : Schéma synoptique du Système de Commande.

3.10.2 Principe de Fonctionnement

Le système que nous proposons est un API dont son principe de fonctionnement repose sur la CPU conçue à base de la carte Méga Pro Embed CH340G.

L'API reçoit des données par ses entrées (analogiques/numériques), à travers les modules d'entrées élaborés, celles-ci sont ensuite traitées par un programme défini installé à l'aide d'un PC ou d'un appareil androïde. Le résultat obtenu après traitement sera délivré par ses sorties à travers les différents modules de sortie conçus.

Le temps de cycle de l'API varie selon la taille du programme et la tâche assignée à ce dernier.

3.10.3 Les Différents Modules de l'API

En suivant la structure de l'API qu'on a mentionnée dans le chapitre 2, nous sommes parvenus à déterminer les différents modules à concevoir.

Ces derniers sont les suivants :

- Module Alimentation.
- La CPU.
- Module d'entrée numérique.
- Module de sortie numérique.
- Module de sortie à relais.

3.11 Conception et simulation de l'API sur EasyEDA

3.11.1 Présentation du Logiciel EasyEDA

EasyEDA est un outil de CAO pour l'électronique (*EDA= Electronic design automation*) **gratuit** pour les particuliers et **fonctionnant dans un navigateur web**, donc **sans installation**. Il a été conçu pour permettre aux amateurs d'électronique, aux ingénieurs, aux professeurs, aux élèves ingénieurs... d'accéder facilement et gratuitement à la CAO électronique.

Ces Fonctionnalités sont :

- ✓ Saisie simple de schémas
- ✓ Simulation de circuits
- ✓ Conception de circuits imprimés sur le web

3.11.2 Conclusion sur le Logiciel EasyEDA

Au cours de mes essais qui ont duré plusieurs heures, EasyEDA s'est montré stable, fiable et relativement facile à maîtriser car il est assez intuitif.

La disponibilité d'un grand nombre de modules en open source est un plus non négligeable, ainsi que l'accès à des milliers de projets partagés comme les horloges ou les contrôleurs de vitesse....

3.11.3 Module Alimentation

Cette alimentation doit permettre de fournir l'énergie nécessaire au bon fonctionnement de la CPU, ainsi qu'aux autres modules constituant le dispositif. L'alimentation est à découpage a une entrée qui varie de 85-264V AC, et une Sortie de 12V DC (réglable : +/- 10%) avec un Courant de sortie de 10A pour une Température d'opération : 0 – 45°C.

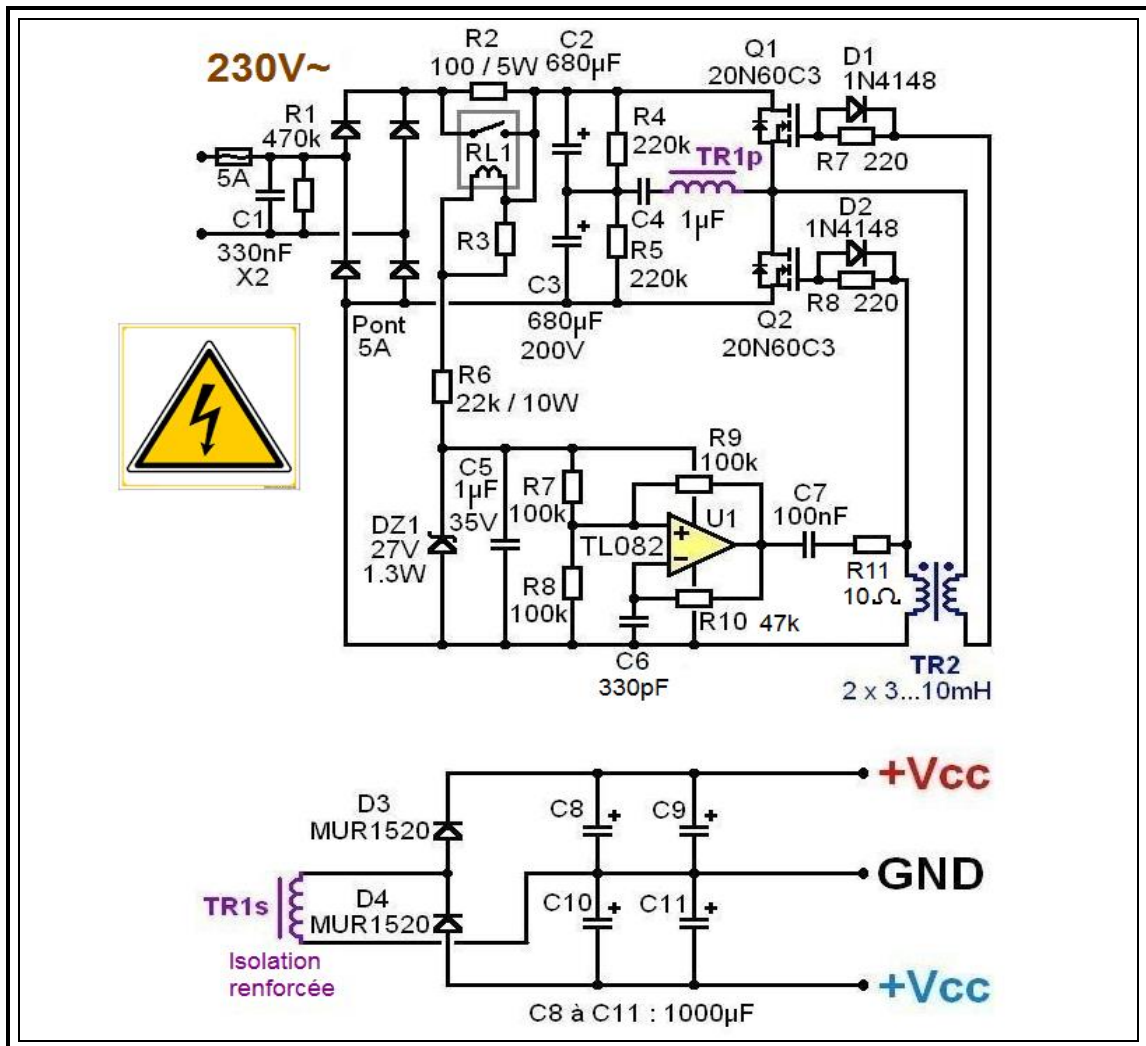


Figure 33 : schéma du module d'alimentation.

3.11.4 La CPU

Le module CPU va contenir la carte Méga Pro Embed CH340G qui est l'organe essentiel de notre API, et lui permettra de communiquer avec les autres modules par un système d'assemblage par des pines femelles, Il contiendra aussi une carte ESP8622-01 qui servira à établir une communication avec notre CPU via WIFI, Ceci est illustré par les figures ci-dessous :

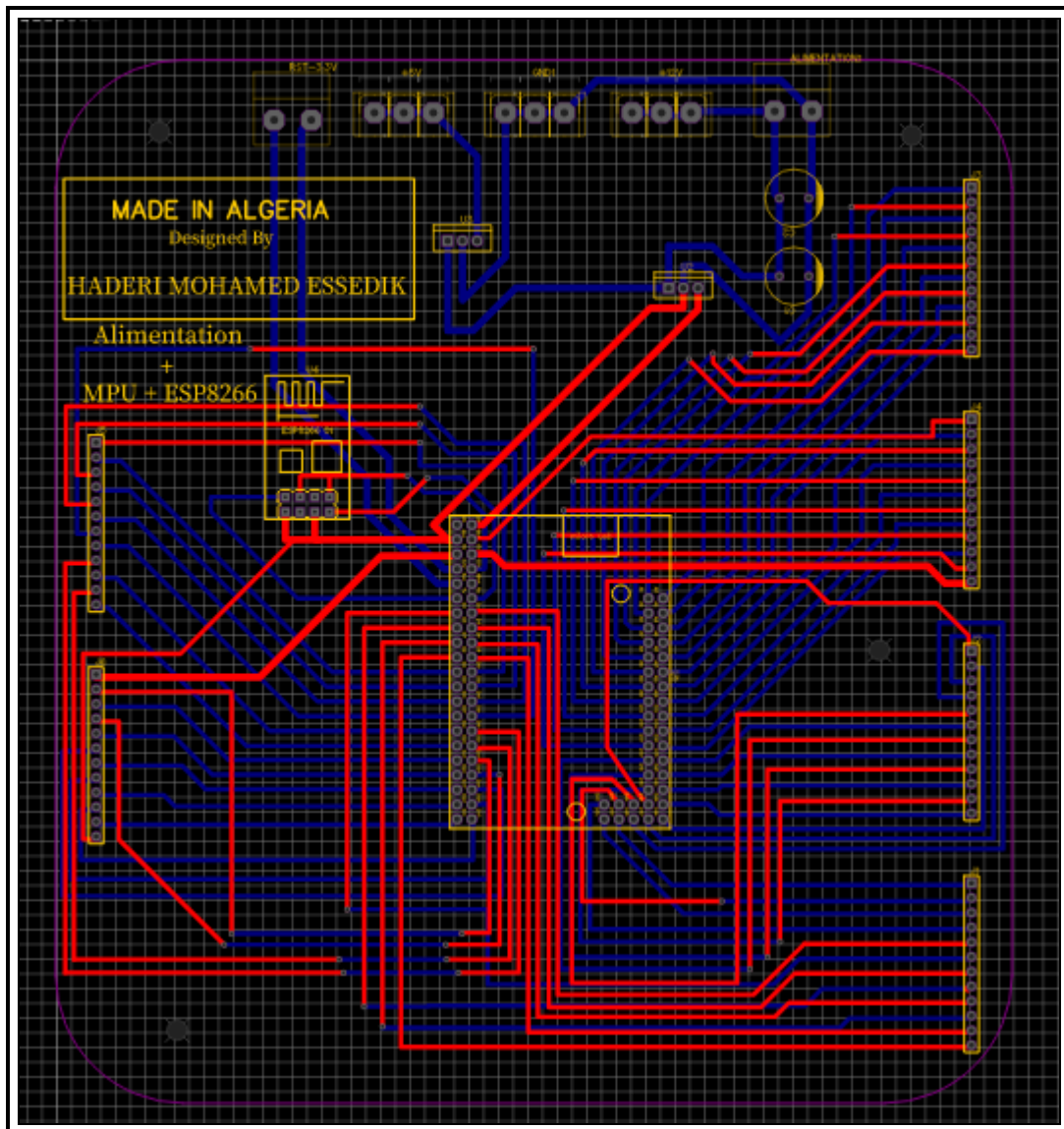


Figure 34 : conception de la carte PCB du module CPU par logiciel « EasyEDA »

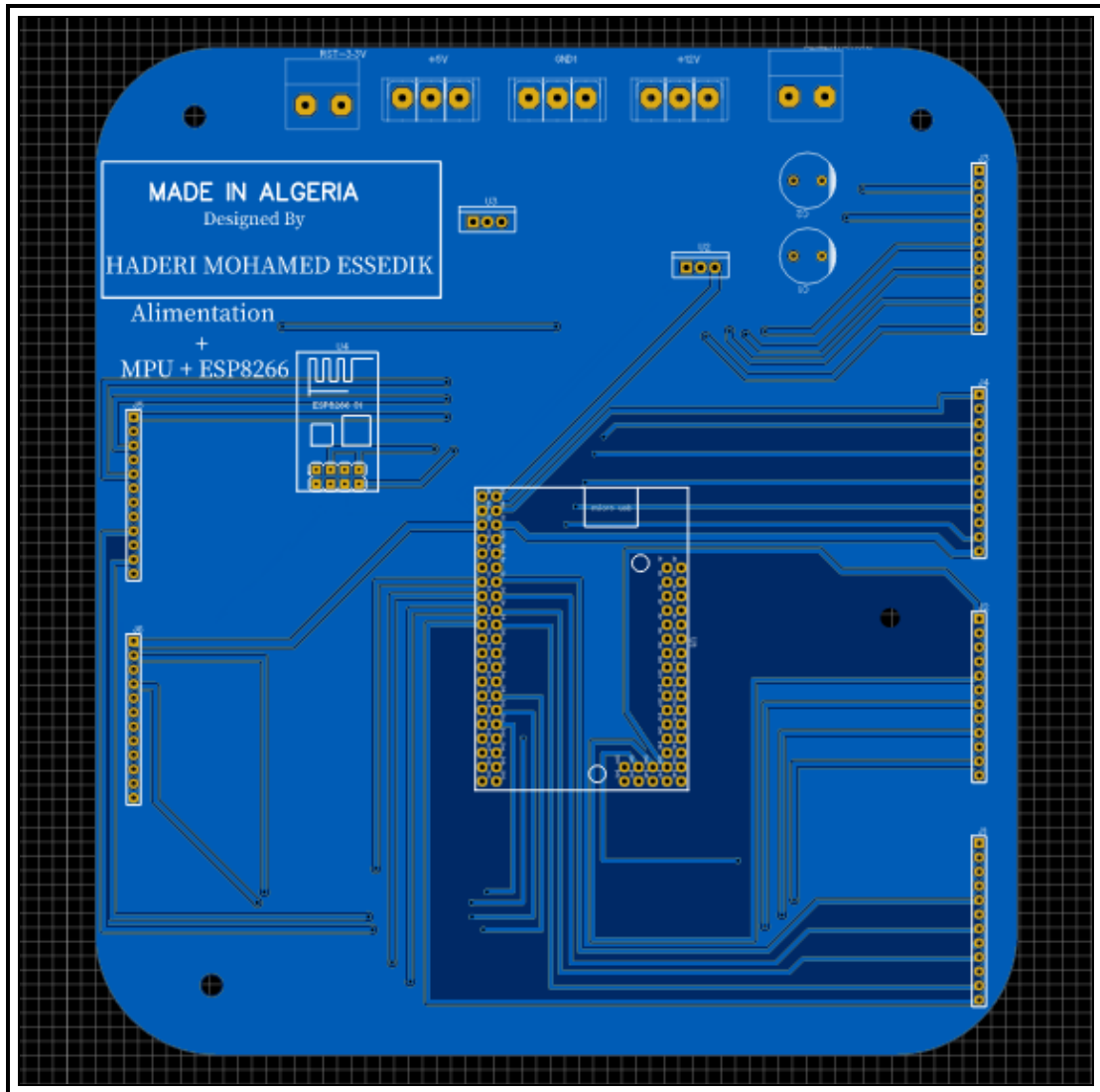


Figure 35 : Simulation de la carte PCB du Module CPU avec logiciel « EasyEDA ».

3.11.5 Module d'Entrée/Sortie Numérique (12v-24v)

Il sera composé de 10 entrées Numérique et 8 Sorties Numérique et 4 Sortie PWM, ce module servira à convertir les tensions fournies par les capteurs présents sur la machine vers la tension supportée par la CPU, donc convertir du 24V ou 12v en 5V. Pour cela, nous avons utilisé un régulateur LM7805 et un optocoupleur PC817 qui permettra d'assurer l'isolation galvanique, entre la puissance et la commande. Il servira aussi à amplifier les sorties PWM de faible tension générée par notre CPU. Et ce, en utilisant un transistor de puissance de référence « TIP122 », et pour les sorties numériques nous utilisons des relais commandés par une tension fournie du CPU. Ceci est illustré par les figures ci-dessous :

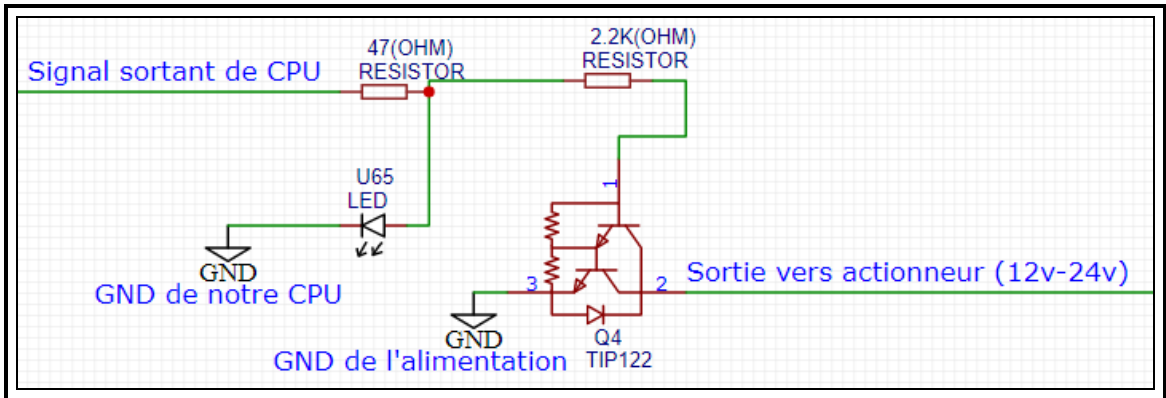


Figure 36 : Schéma conçu pour le module de Sortie PWM à Transistor.

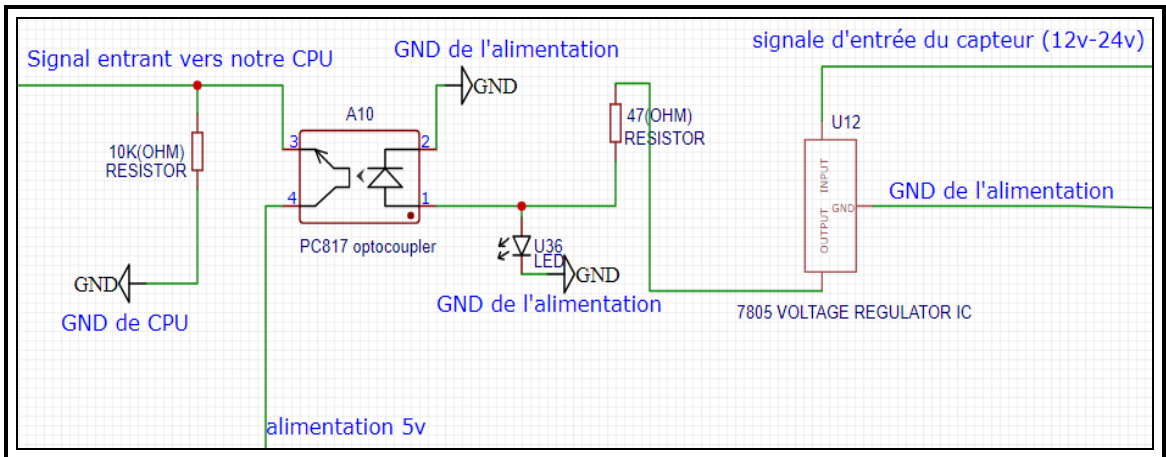


Figure 37 : Schéma conçu pour le module d'Entrée (12v-24v).

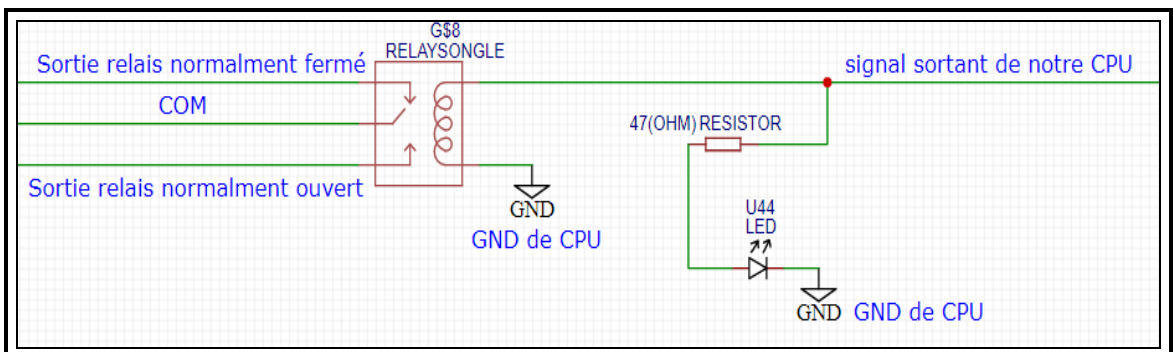


Figure 38 : Schéma conçu pour le module de sorties numériques via relais.

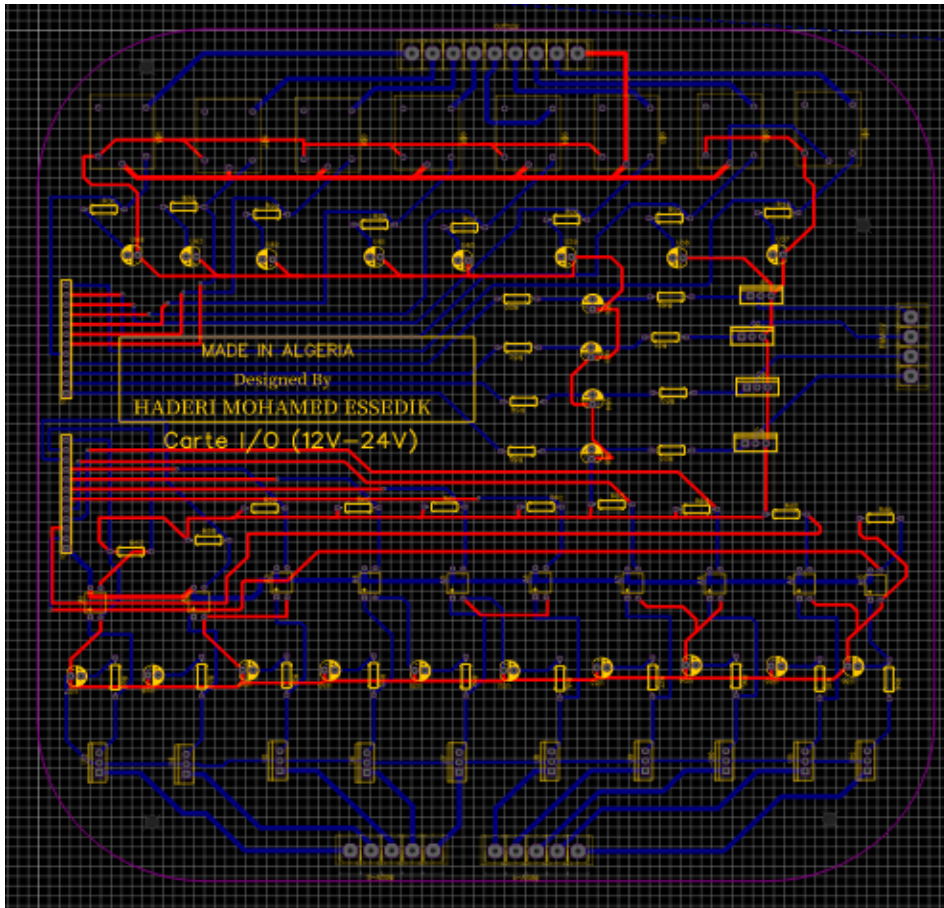


Figure 39: Conception de la carte PCB du Module I/O(12v-24v) avec logiciel «EasyEDA».

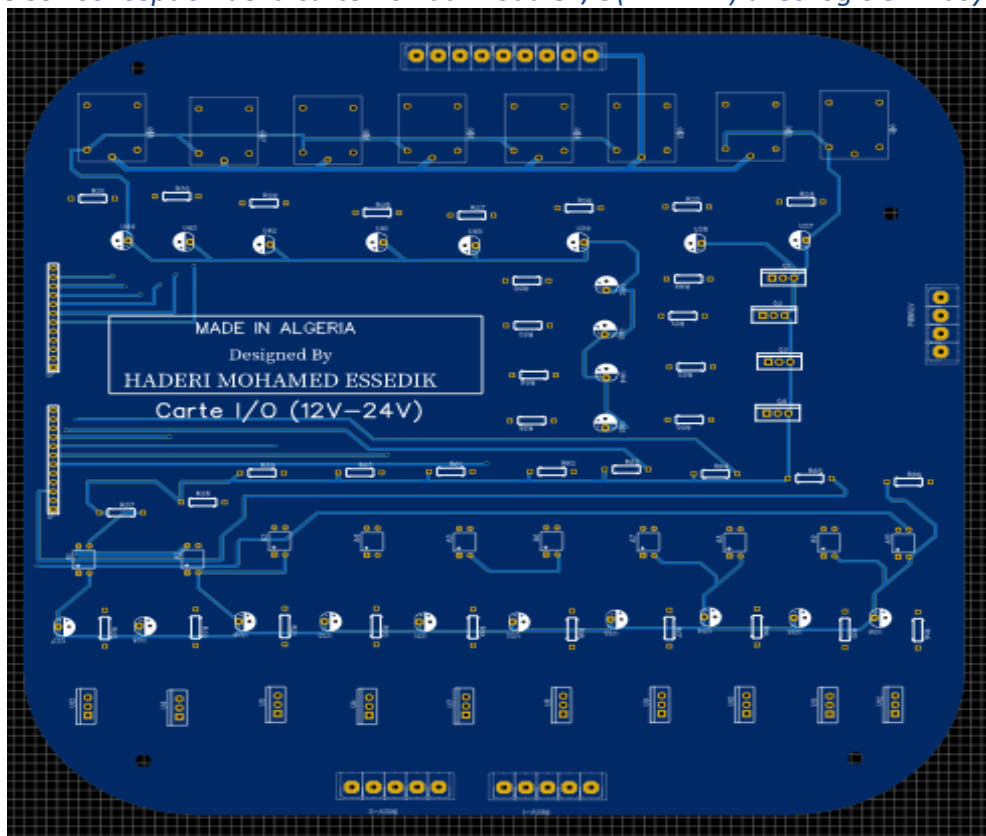


Figure 40 : Simulation de la carte PCB du Module I/O (12v-24v) avec logiciel « EasyEDA ».

3.11.6 Module d'Entrée/Sortie (5v) et module sortie à relais

Ce dernier module comporte 16 entrées Analogiques et 30 entrée/sortie numérique et un module à relais externe qui sera assemblé avec notre carte en utilisant des pines femelles. (Voir figure 40,41 et 42).

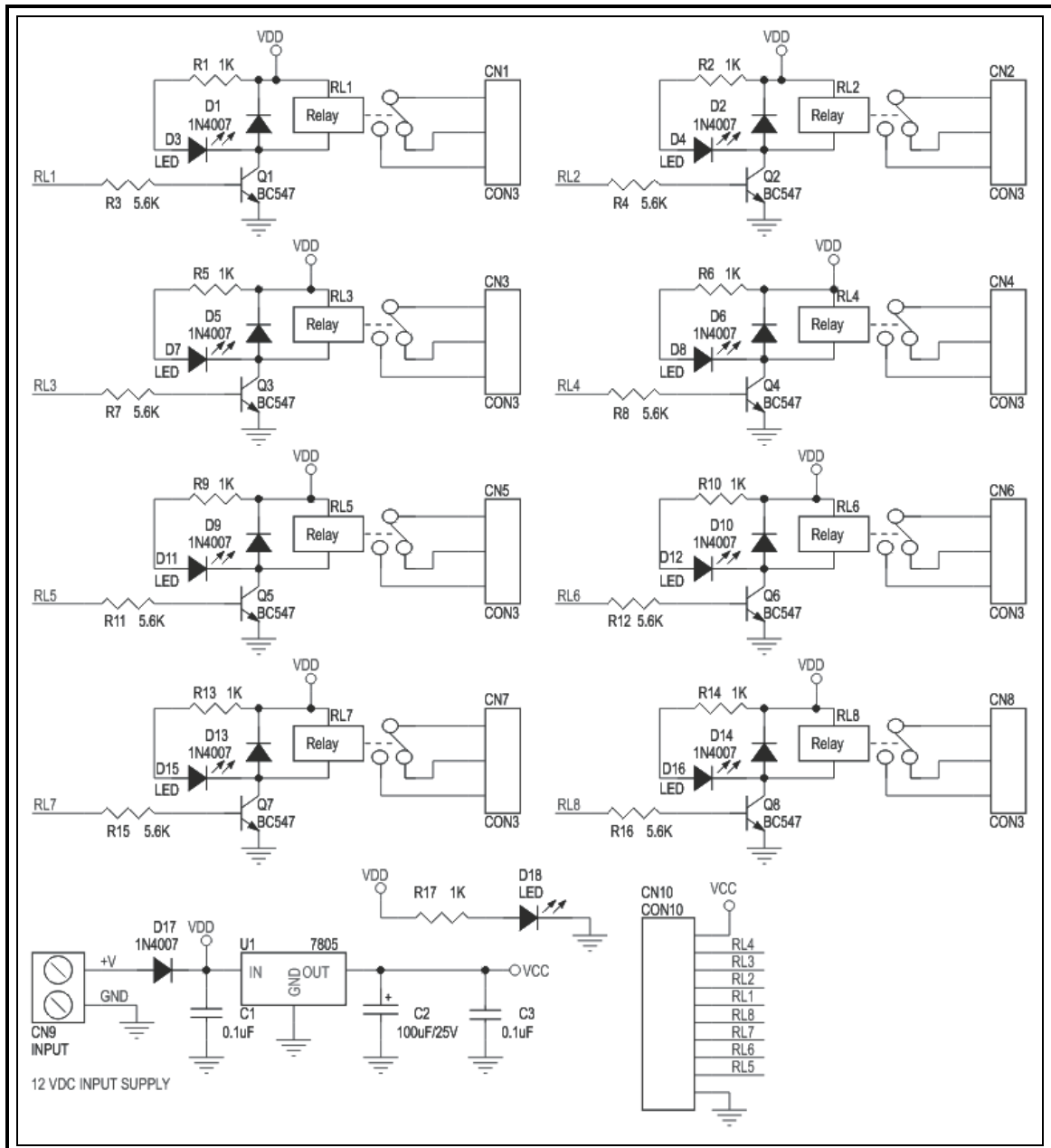


Figure 41 : Schéma conçu pour le module à relais.

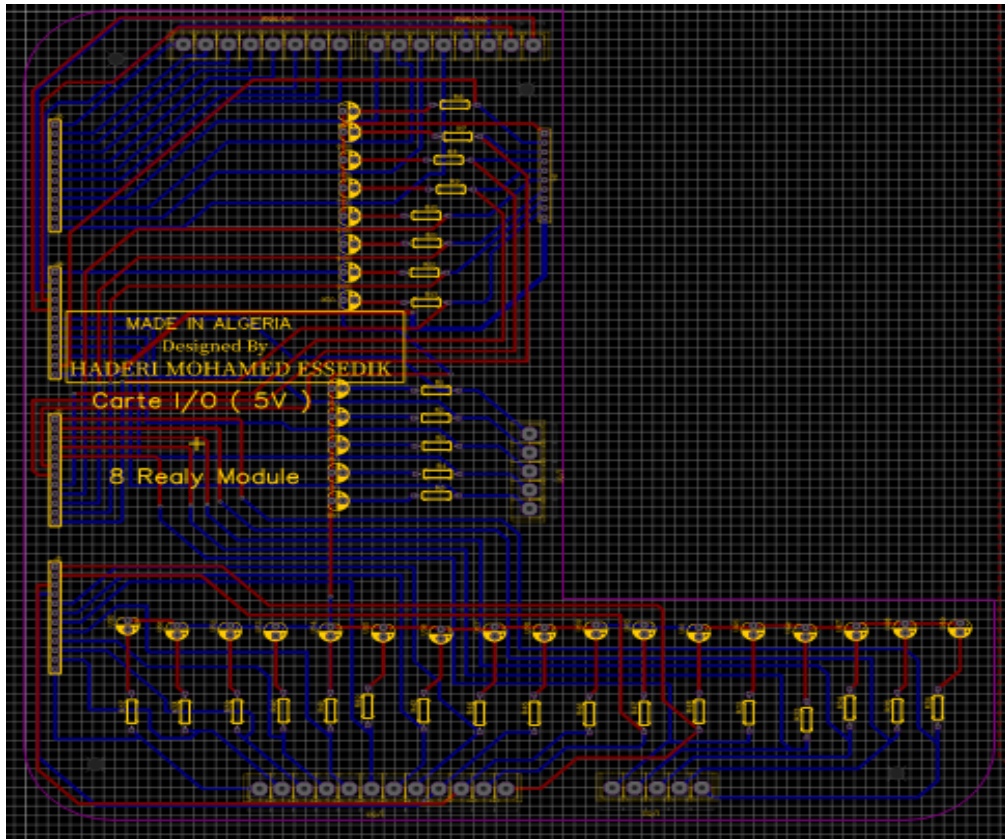


Figure 42 : Conception de la carte PCB du Module I/O (5v) avec logiciel «EasyEDA».

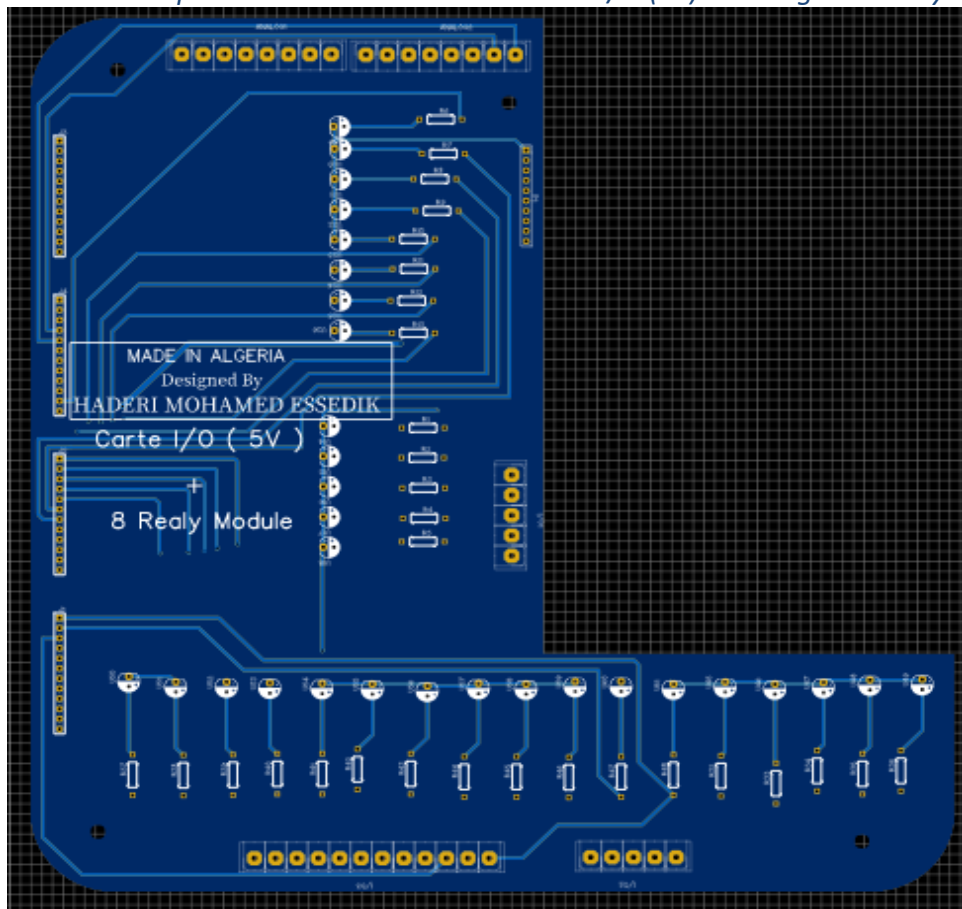


Figure 43 : Simulation de la carte PCB du Module I/O (5v) avec logiciel « EasyEDA ».

3.12 Conclusion

Le but de ce chapitre est de modéliser notre système automatique, et pour cela nous devons d'abord déterminer l'organigramme, puis le GRAFCET de notre système.

Pour finir, nous avons développé une étude théorique des différents modules constituant notre automate. Nous avons présenté les différents schémas de conception et de simulations avec le logiciel EASYEDA ainsi que le schéma électrique de chaque module.

Le chapitre suivant sera consacré à la réalisation pratique de notre machine automatique.

Chapitre 4 Réalisation et Résultats

4.1 Introduction :

Les chapitres précédents ont porté sur l'étude des principaux composants d'un système automatique qui représentent les piliers de la réalisation de notre machine.

Dans ce chapitre, on va présenter les différentes parties de notre machine automatique (partie opérative, partie commande, partie pupitre).

Réunir la conception et la réalisation dans un seul chapitre n'est pas le fruit du hasard.

La conception de n'importe quel système et qui est une machine automatique dans notre cas est faite dans le but de la réaliser. Elle doit donc impérativement tenir compte des contraintes de terrain et des moyens disponibles au risque de voir tout le processus de réalisation échouer.

Une fois réalisé, la machine sera mise en service et devra effectuer diverses tâches et qui sont généralement très laborieuses. La durée de vie de la machine devra donc être la plus longue possible pour pouvoir amortir son coût de revient.

4.2 Description du Fonctionnement :

Notre machine a des tâches précises telles que, doser le liquide contenu dans les entonnoirs, effectuer un mélange complet de ces derniers et remplir le produit final, tout cela à l'aide d'actionneurs et de capteurs précis et en utilisant un programme contenu dans notre carte CPU.

4.3 Structure Générale de notre Système Automatisé

Comme tout système automatique notre machine est structurée en trois parties, les voici :

4.3.1 Partie Opérative

Cette partie regroupe l'ensemble du matériels électroniques utiliser dans notre machine :

***a* Actionneurs :**

❖ Electrovanne :

Une électrovanne est un dispositif électromécanique d'un circuit hydraulique, qui utilise un courant électrique pour générer un champ magnétique et actionner ainsi un solénoïde qui contrôle l'ouverture du flux de fluide dans une vanne. (Voir figure 43).

Ses caractéristiques sont :

| Spécifications | |
|----------------------------|--|
| Matière : | Polypropylène (PP) |
| Tension de Service : | 220V-230V AC |
| Puissance nominale : | 9W |
| Modèle de fonctionnement : | Normalement Fermé (N / C) |
| Pression : | 0,2 – 1.4 Mpa |
| Température de fluide : | 0 à 100 ° C |
| Utilisation : | L'eau et les fluides de faible viscosité |

Tableau 4:Caractéristiques de l'électrovanne utilisée dans notre machine.



Figure 44: Electrovanne utilisée dans notre machine.

❖ **Pompe à eau :**

Cette pompe permet de faire circuler, par l'intermédiaire de canalisations, un fluide hydraulique qui déplacera des charges grâce à des vérins ou à des moteurs hydrauliques. (Voir figure 44). La pompe joue un rôle de premier plan, car c'est elle qui fournit l'énergie dans un circuit hydraulique. Ses caractéristiques sont :

| Spécifications | |
|------------------------|---------------|
| Modèle : | R385 |
| Matière : | Plastique |
| Tension de Service : | 6V-12V DC |
| Diamètre de sortie : | 6mm / 0.24" |
| Puissance de Travail : | 5W/H |
| Flux : | 1.6 -17 l/min |

Tableau 5: Caractéristiques de la pompe utilisée dans notre machine.



Figure 45: Pompe à eau utilisée dans notre machine.

❖ **Mélangeur :**

Appareil composé d'un moteur électrique rotatif récipient muni d'un fouet et d'un couvercle, que l'on fixe sur un bloc-moteur à plusieurs vitesses, et qui sert à mélanger des produits liquide. (Voir figure 45 et 46). Ses caractéristiques sont :

| Spécifications | |
|---------------------------|---|
| Modèle : | HDZ-14045B |
| Tension de Service : | 110V-220V AC |
| Type : | Universel |
| Puissance : | 450 W (0.60346 hp) |
| Autres Caractéristiques : | Économie d'énergie, faible vibration, haute précision |

Tableau 6 : Caractéristiques du mélangeur utilisée dans notre machine.

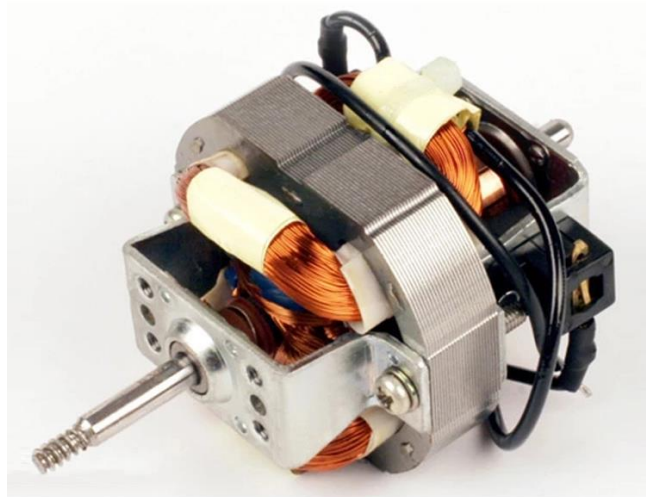


Figure 46 : Moteur sans boîtier utilisée dans notre machine.



Figure 47: Moteur dans son boîtier équipée d'un fouet utilisé dans notre machine.

b Capteurs :

❖ **Débitmètre :**

Ce capteur de débit est constitué d'un rotor et d'un capteur à effet hall. Lorsque l'eau passe dans le capteur, la rotation du rotor génère des impulsions en fonction du débit. La fréquence de sortie varie en fonction de la vitesse du rotor. Il est utilisé pour mesurer la quantité et la vitesse d'écoulement d'un liquide. (Voir figure 47).

Ses caractéristiques sont :

| Spécifications | |
|-----------------------------|---------------|
| Type : | Yfs 401 |
| Alimentation : | 5 à 24 V DC |
| Plage de Mesure : | 0,3 à 6 l/min |
| Pression max : | 2 Mpa |
| Température d'utilisation : | 0 à 80°C |
| Humidité d'utilisation : | 35% à 90% |
| Diamètre du filet : | 1/8" |

Tableau 7: Caractéristiques du débitmètre utilisée dans notre machine.



Figure 48: débitmètre utilisée dans notre machine.

❖ **Détecteur niveau d'eau :**

Le capteur de niveau de liquide Intelligent sans contact adopte une technologie avancée de traitement du signal et une puce de traitement du signal à grande vitesse, et il ne sera pas influencé par l'épaisseur de la paroi du conteneur lors de la détection du niveau de liquide dans un conteneur hermétique. Il peut détecter le niveau de liquide de diverses substances toxiques, acide, alcali et toutes sortes de liquides dans le récipient hermétique à haute pression. (Voir figure 48). Ses caractéristiques sont :

| Spécifications | |
|--|-------------|
| Type : | XKC Y25 |
| Tension d'entrée : | 5 ~ 24 V DC |
| Consommation de courant : | 5mA |
| Temps de réponse : | 500 mS |
| Température de fonctionnement : | 0 ~ 100 °C |
| Plage d'épaisseur de détection (sensibilité) : | 0 ~ 20mm |
| Communication : | RS485 |

Tableau 8: Caractéristiques du Détecteur niveau d'eau utilisée dans notre machine.



Figure 49: Détecteur niveau d'eau utilisée dans notre machine.

c *Vue d'ensemble de la partie opérative :*



Figure 50:Photo d'ensemble de la Partie Opérative.

4.3.2 **Partie commande**

Cette partie peut se composer de plusieurs modules. Dans notre cas elle se compose d'un automate programmable industriel (API) que nous avons construit nous-mêmes. Après avoir fait l'étude théorique dans les chapitres précédents, nous passons aux tests sur lab d'essai puis à la réalisation de notre API.

a *Test des différents circuits sur lab d'essai :*

Avant de procéder à la réalisation, on commence par le test du fonctionnement des différents modules sur Lab d'essai. Pour cela, on implante les composants constituant chaque module sur le Lab d'essai, puis on effectue les liaisons entre les composants en suivant le schéma de simulation présent dans le chapitre précédent.

Le module d'Entrée (12v-24v) est donné par la figure ci-dessous :

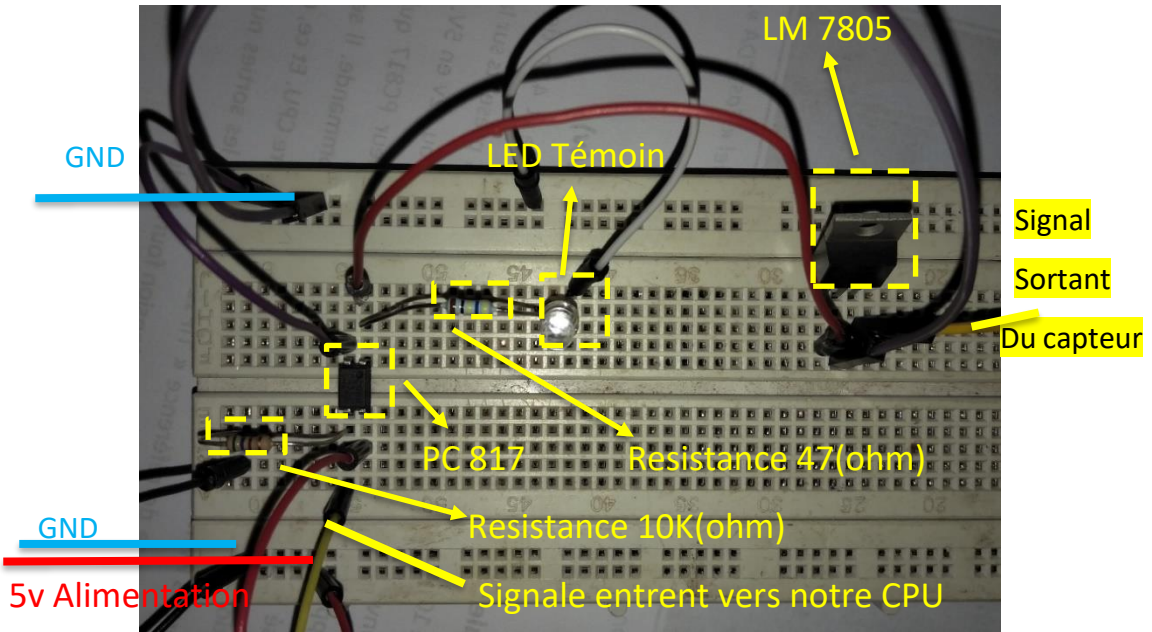


Figure 51: Module d'Entrée (12v-24v).

La figure suivante montre le module de sortie PWM à Transistor :

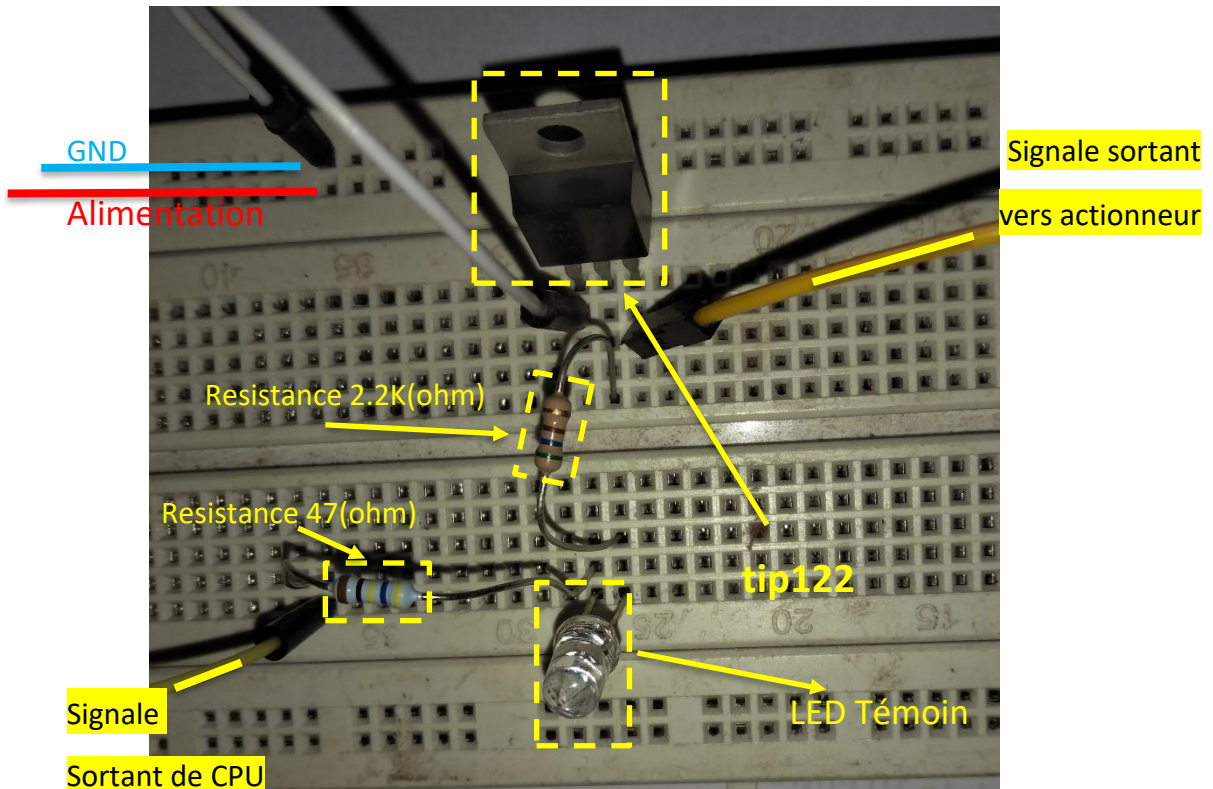


Figure 52: Module de Sortie PWM à Transistor.

Le module de sorties numériques via relais est illustré dans la figure ci-dessous :

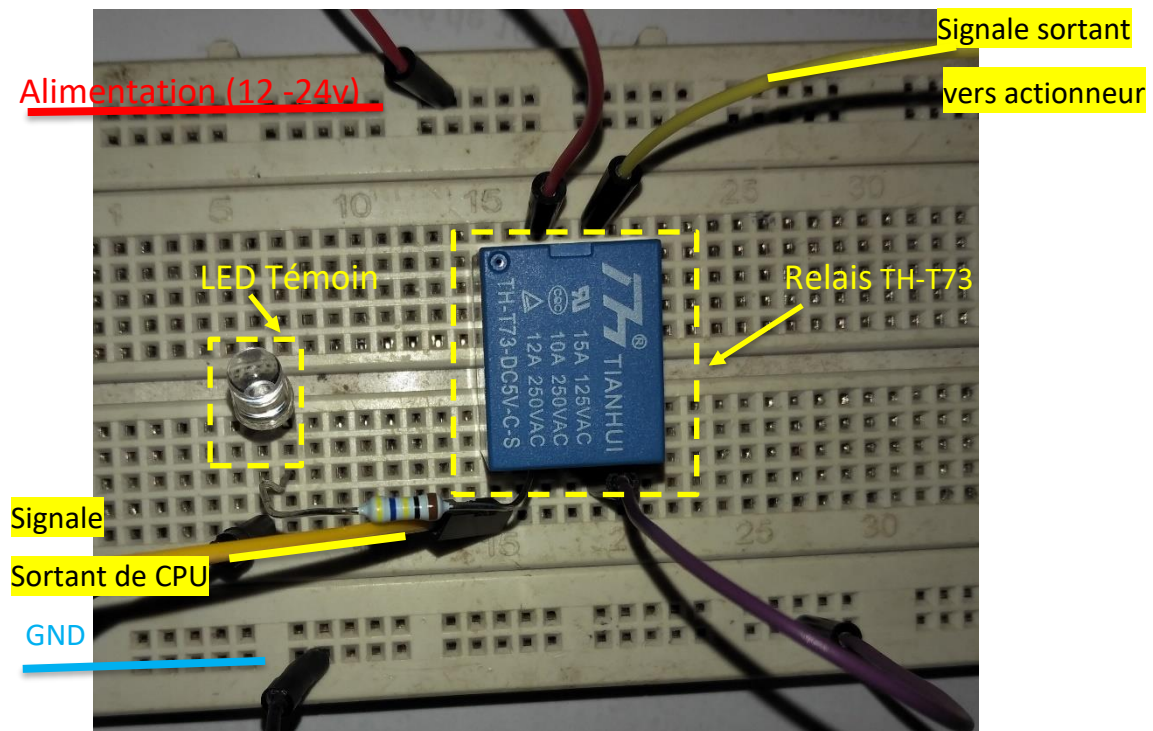


Figure 53: module de sorties numériques via relais.

Fabrication des Circuits Imprimés

Après les tests sur lab d'essai, on passe à la réalisation du circuit imprimé. Ce circuit imprimé ne peut être réalisé que si on possède un typon. Ce dernier est un dessin des pistes et des pastilles imprimées sur un support transparent (calque). La figure ci-dessous représente le typon du module CPU.

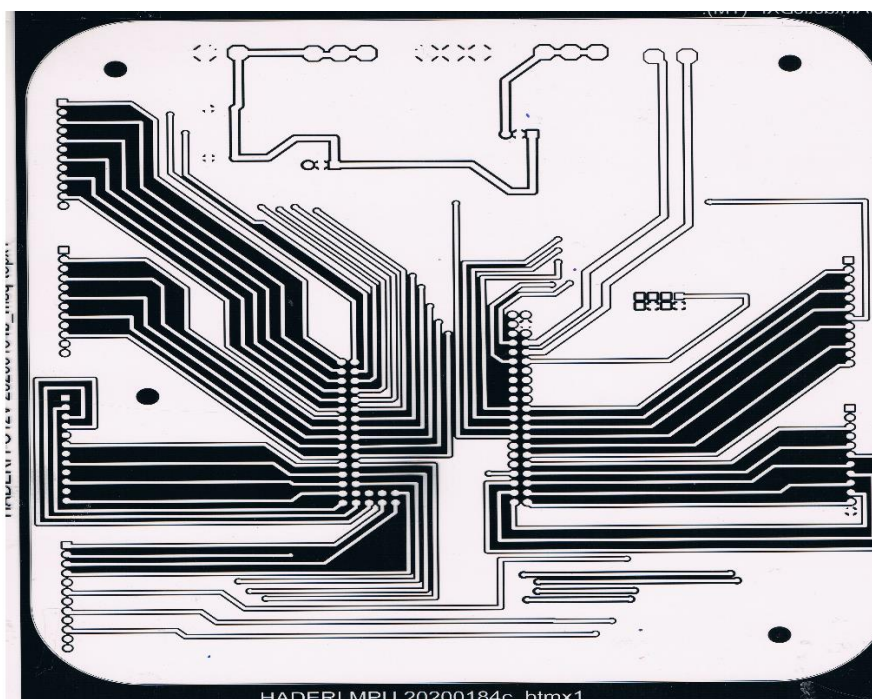


Figure 54: Typon Module CPU.

La figure ci-dessous représente le Typon Module d'Entrée/Sortie (5V).

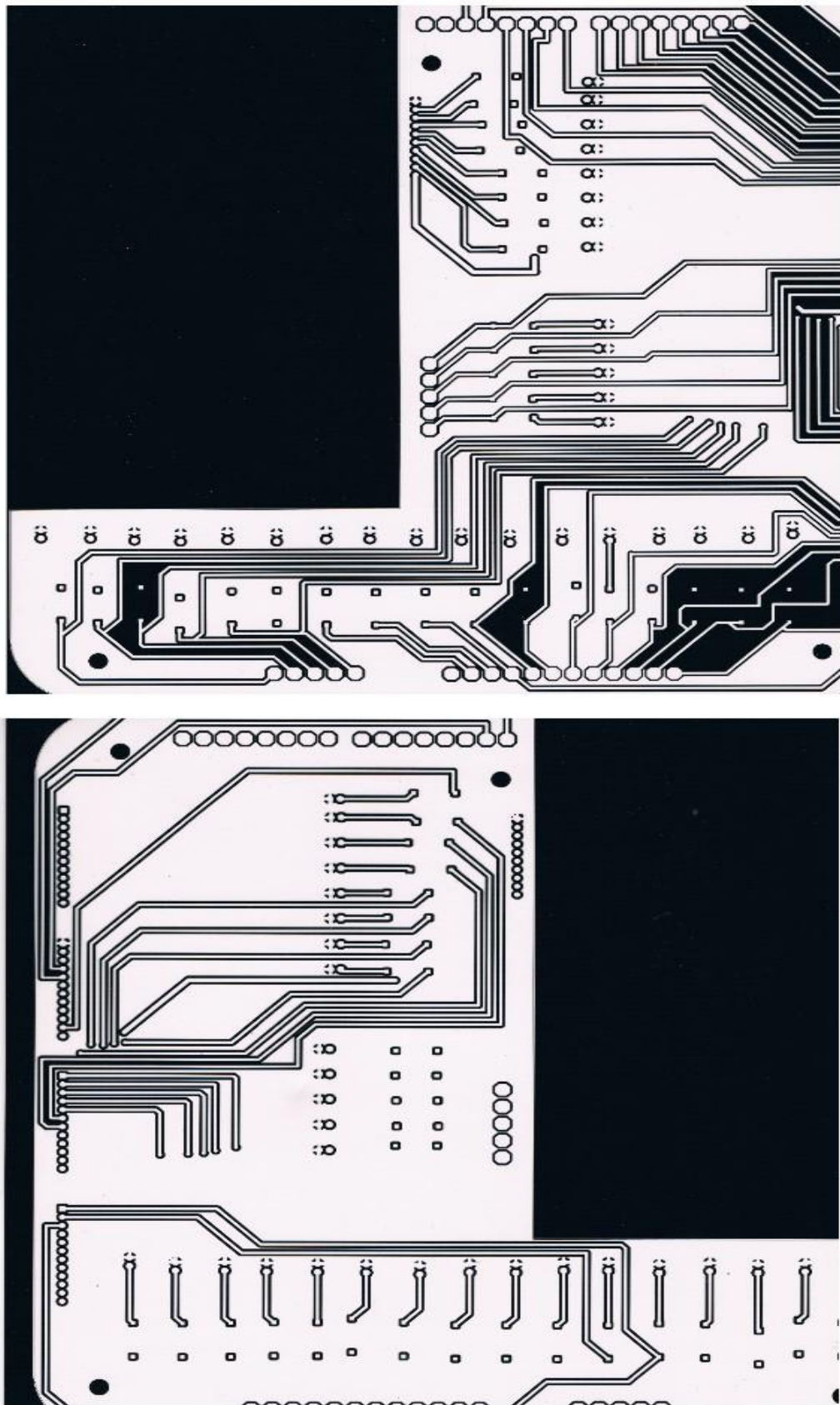


Figure 55:Typon Module d'Entrée/Sortie (5V).

La figure ci-dessous représente le Typon Module d'Entrée/Sortie (12-24V).

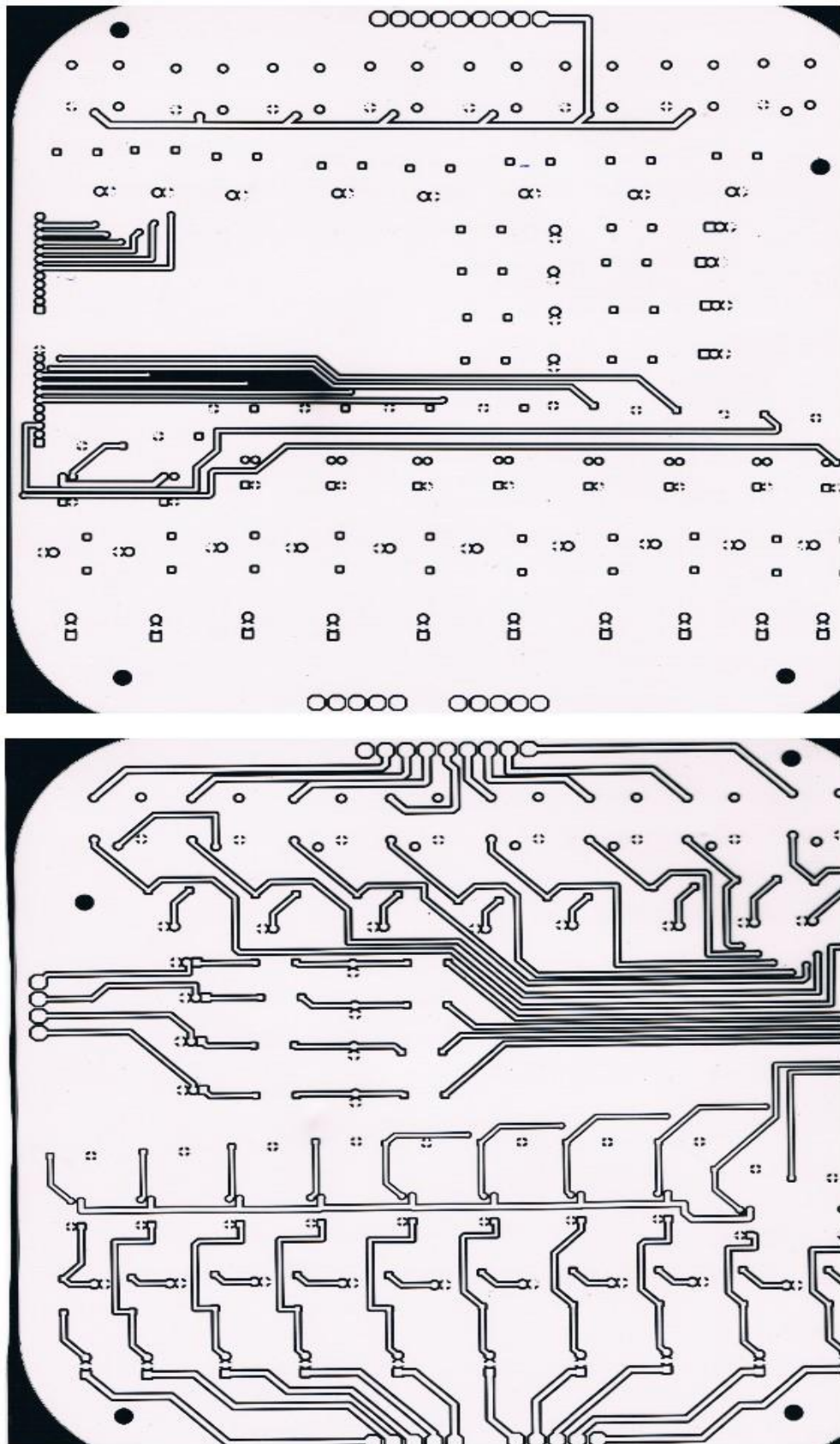


Figure 56: Typon Module d'Entrée/Sortie (12-24V).

b Les étapes de la fabrication des plaques

❖ Insolation

On place le typon sur la plaque pré sensibilisée au contact de la résine photosensible. L'ensemble est placé dans une insoleuse UV pour une exposition pendant quelques minutes à une lumière ultraviolette.

❖ La révélation

En second lieu, on met la plaque insolée dans un bac contenant du révélateur. Les zones de résine fragilisées par la lumière ultraviolette seront détruites.

❖ La gravure

Après l'étape révélation, on place la plaque dans un bac contenant du perchlorure de fer qui va dissoudre les parties de la couche de cuivre non protégées par la résine.

❖ Implantation des composants

Une fois les plaques sont prêtes, on passe au perçage sur les pastilles présentes dans chaque module. Pour pouvoir ensuite implanter les composants en suivant les schémas donnés par les figures ci-dessous, et on effectue les soudures.

La figure ci-dessous représente le schéma d'implantation de la CPU :

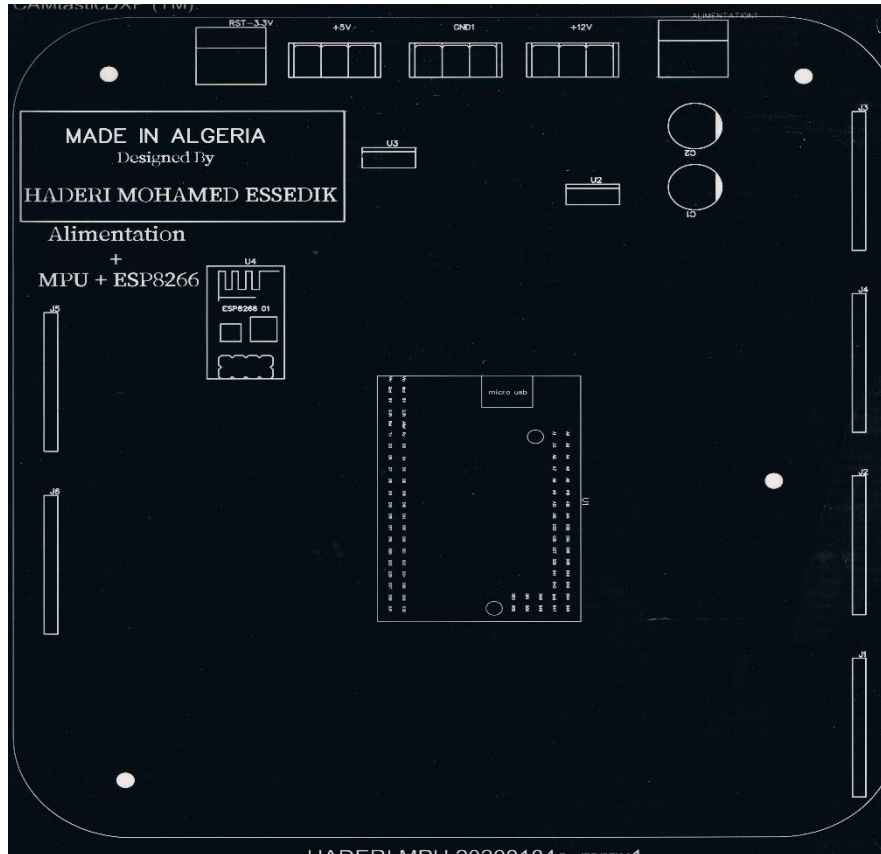


Figure 57: Schéma d'Implantation de la CPU.

La figure ci-dessous représente le schéma d'implantation du module d'entrée/sortie 5v:

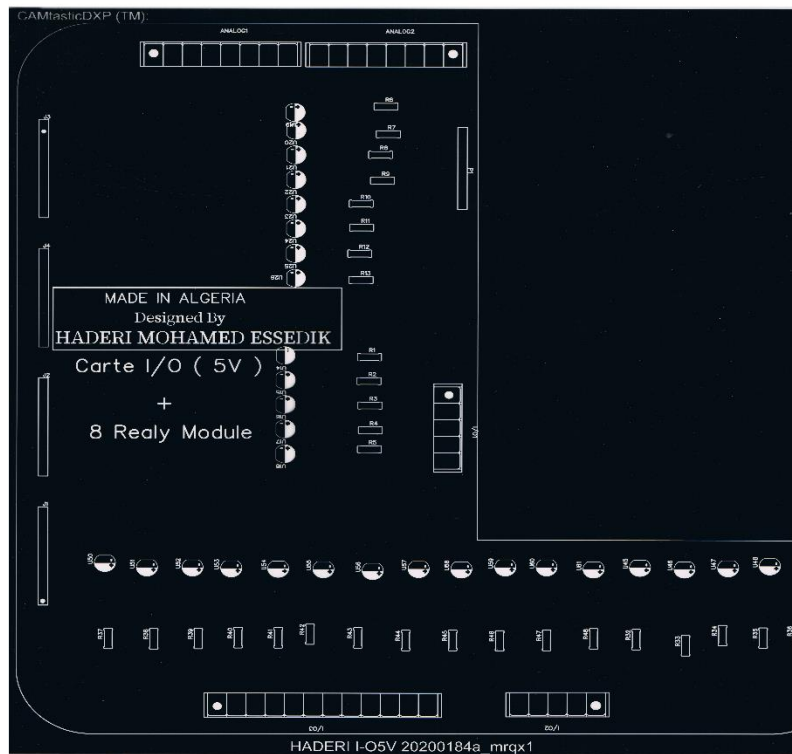


Figure 58: Schéma d'Implantation du Module d'Entrée/Sortie 5v.

La figure ci-dessous représente le schéma d'implantation du module d'entrée/sortie (12-24v) :

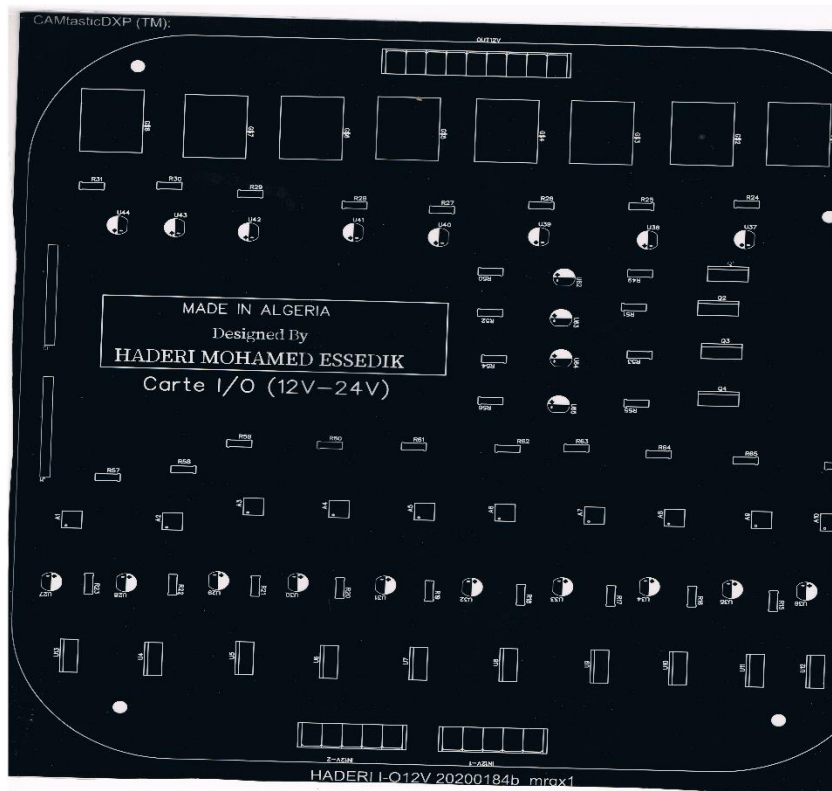


Figure 59: Schéma d'Implantation du module d'entrée/sortie (12-24v).

Résultat Carte de la CPU

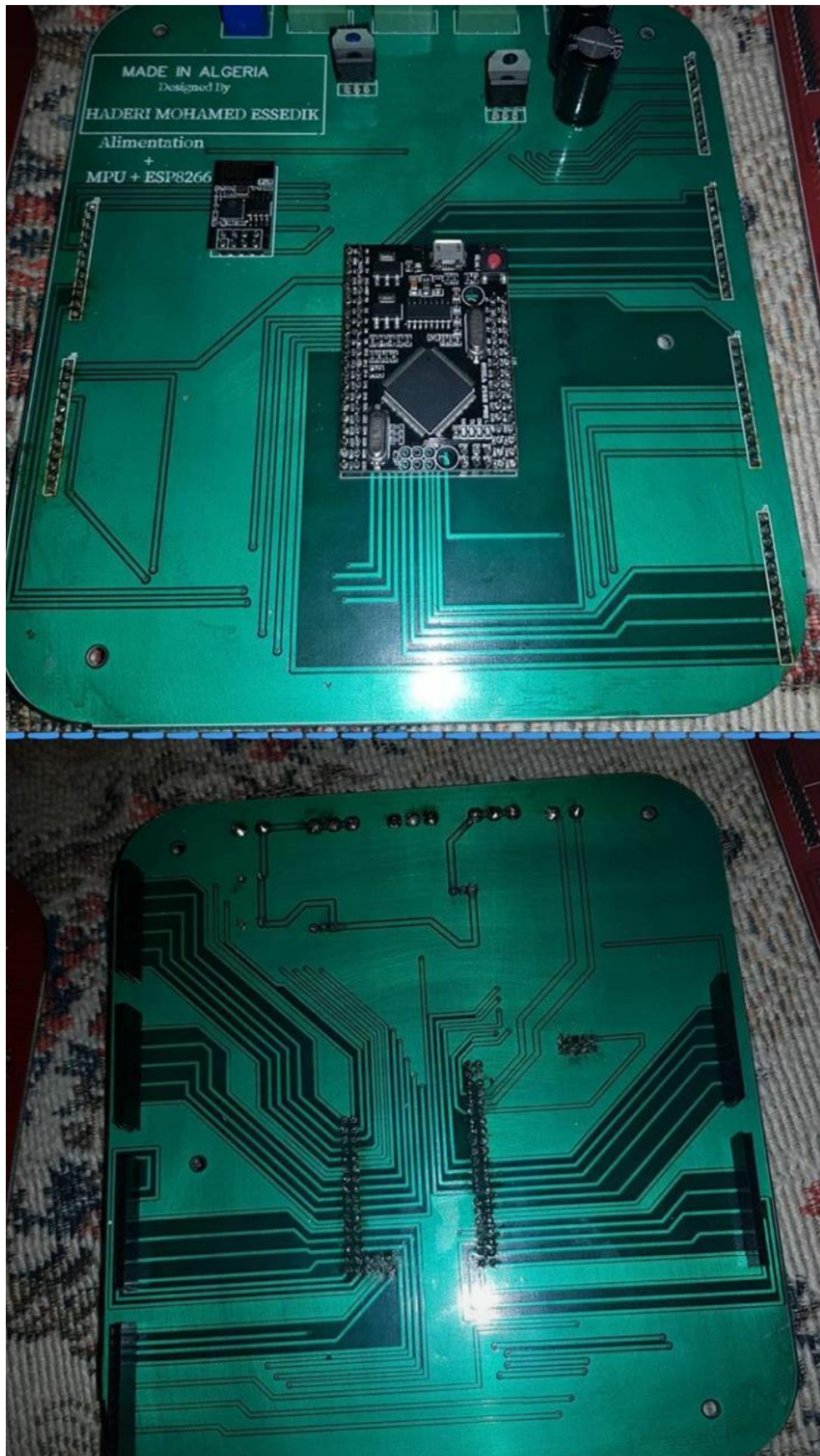


Figure 60: Photo de la Carte de CPU+ESP8266+Alimentation.

Résultat Carte d'Entrée/Sortie(5V)

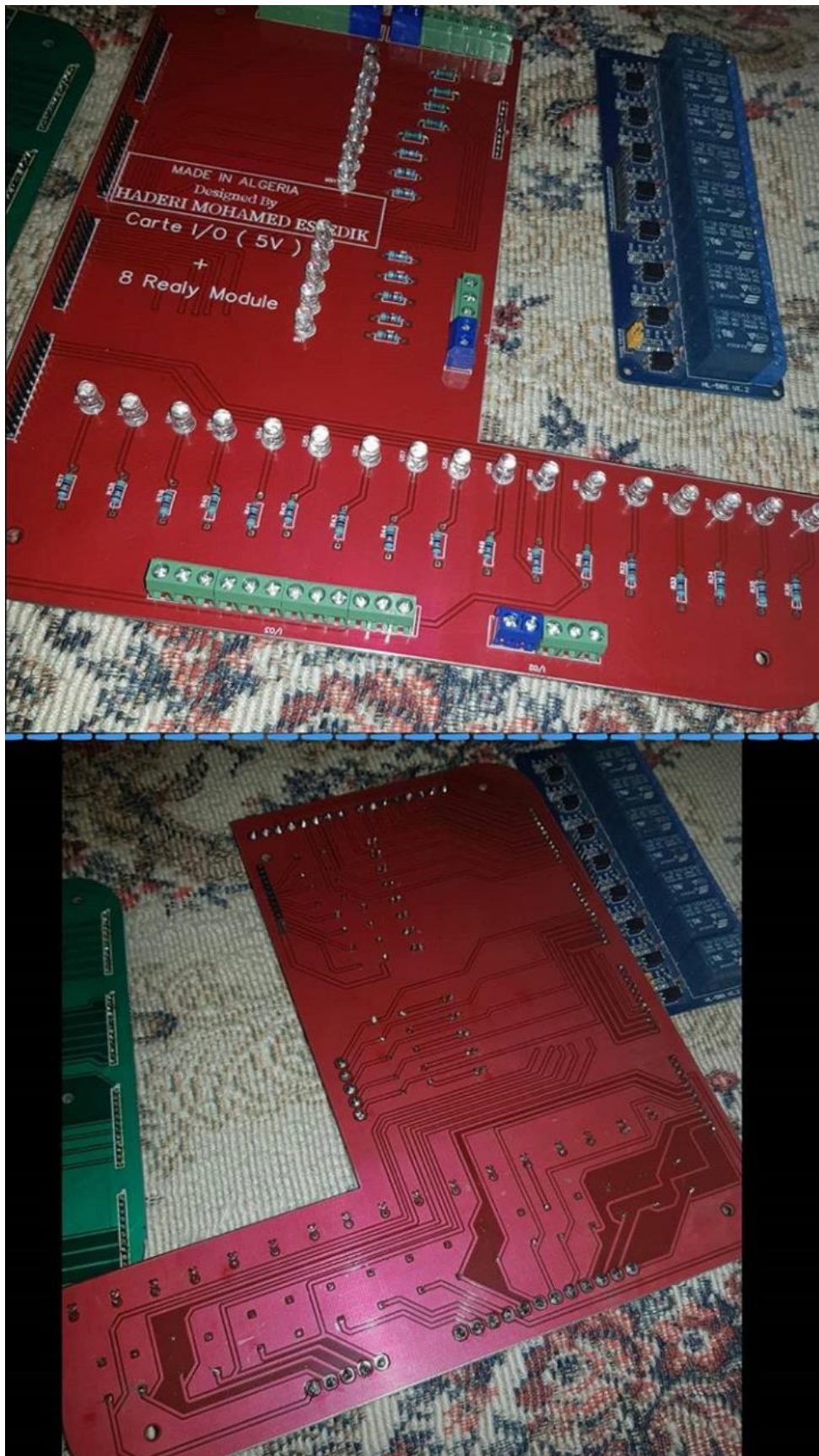


Figure 61: Photo de la Carte I/O (5V).

Résultat Carte d'Entrée/Sortie (12V-24V)



Figure 62:Photo de la Carte I/O (12V-24V).

c Tableau comparatif

Dans le tableau suivant, on a fait une comparaison entre l'API qu'on a réalisé et l'API S7-300 de Siemens :

| | Siemens S7-300 | Notre API |
|--|---|--|
| Fréquence d'horloge | 1 MHz | 16 MHz |
| RAM | Optionnelle (de 8Kbit à 2 Mo) Non extensible | 8 Kbit extensible |
| Mémoire flash | Optionnelle | 256 Kbit extensible |
| EEPROM | 20 Ko | 4 Kbit extensible |
| Tension de fonctionnement de la CPU | 20.4v à 28.8v DC | 7v à 12v DC |
| Logiciel de programmation | Step 7 | -MicroLadder -LabVIEW -plusieurs autres logiciels |
| Nombre d'entrées | Dépend du module | -16 entrées analogiques -17 entrées numériques extensibles |
| Nombre de sorties | Dépend du module | -8 sorties relais -4 sorties analogiques extensibles - 12 sorties numériques extensibles |
| Signal d'entrée | Une seule tension qui dépend du type de module. | -De 5v à 24v DC |
| Signal de sortie | Une seule tension qui dépend du type de module. | -De 0v à 120v DC |

Tableau 9: Tableau comparatif entre l'API qu'on a réalisé et l'API S7-300 de Siemens.

***d* Installation de l'API dans l'armoire**

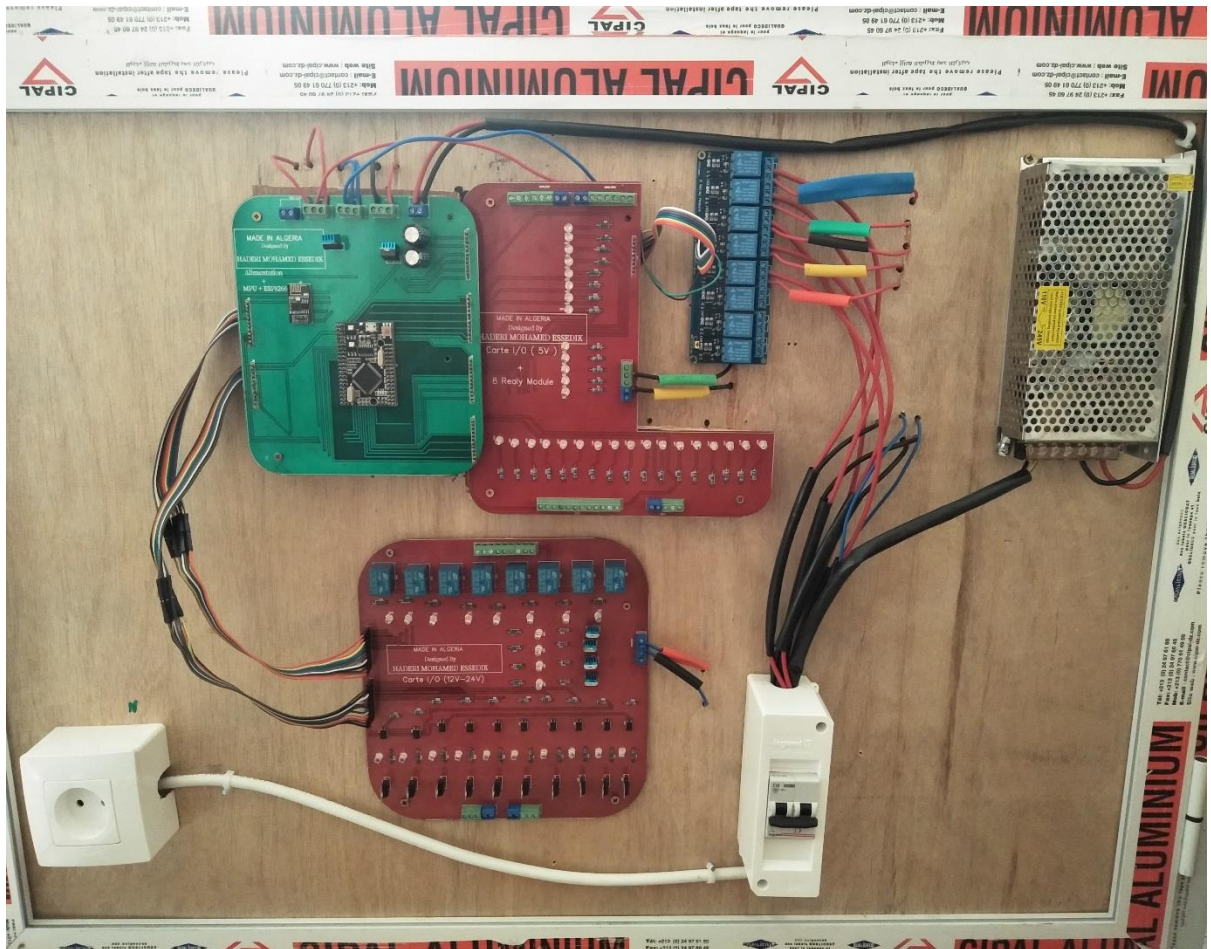


Figure 63:Photo d'Installation de l'API dans l'armoire.

4.3.3 La Partie Pupitre :

Cette partie doit assurer un dialogue entre l'opérateur et la machine, et pour cela nous avons construit un IHM qui va servir à commander, contrôler et superviser notre système. Notre IHM sera sous forme d'une application Android qui sera installer sur une tablette.

a Développement d'une application Androïde

❖ Le système Androïde :

Androïde est un système d'exploitation développé initialement pour les Smart phones. Il utilise un noyau Linux qui est un système d'exploitation libre pour PC et intègre tous utilitaires et les périphériques nécessaires à un smart phone. Il est optimisé pour les outils Gmail. Aussi, l'androïde est libre et gratuit et a été ainsi rapidement adopté par des fabricants.

❖ Application Android dans les Smartphones :

Pour faciliter l'accès aux résultats sur un Smartphone nous avons ajouté une application sur Android qui s'appelle " App Inventor".

App Inventor est un outil de développement des applications en ligne pour les smart phones sous androïde et permet à chacun de créer son application personnelle pour le système d'exploitation Androïde qui est développée par Google.

La plateforme de développement est offerte à tous les utilisateurs possédant un compte Gmail. Elle rappelle certains langages de programmation simplifiés basés sur une interface graphique similaire à Scratch. Les informations des applications sont stockées sur des serveurs distants.

Elles sont actuellement entretenues par le Massachusetts Institute of Technologie (MIT).

b Structure de notre Application

Une application développée sous App Inventor est constituée de deux parties distinctes mais étroitement liées.

❖ L'interface graphique :

Pour créer l'application sous App Inventor l'interface graphique contient nos propriétés (taille, couleurs, position, textes).

Cette interface graphique contient quatre parties :

- ✓ **Partie 1** : Une palette sous App Inventor contenant tous les éléments qui peuvent être positionnés sur l'écran du téléphone.
- ✓ **Partie2** : C'est la surface du téléphone ajusté automatiquement par App inventer ou manuellement par nous-même en utilisant le composant « Screen arrangement ».
- ✓ **Partie 3** : La liste des éléments et des médias utilisés sur l'écran.

- ✓ **Partie 4** : Les propriétés des différents éléments utilisés par exemple la couleur et la taille du bouton ou texture.

Après l'assemblage des différents composants qui constituent notre application, on peut résumer cette phase « Scratch » par la figure qui suit.

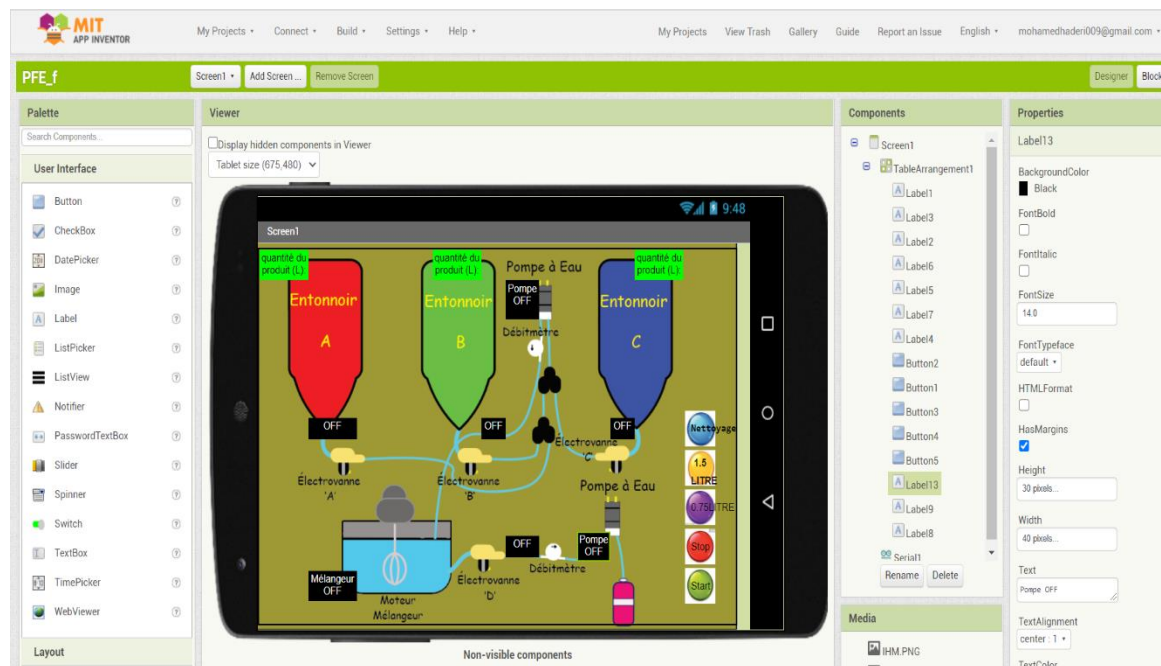


Figure 64: Photo de l'interface Graphique de notre application "IHM".

❖ **Editeur de blocs (Fenêtre Scratch) :**

Une fois les composants de l'écran de téléphone mis en place et désigné, nous passons à la deuxième phase de développement d'une application via App Inventor : l'interface Scratch, pour cela, il faut cliquer sur « Open the Blocks Editor » en haut à droite de la page. L'interface Scratch permet d'imbriquer des éléments graphiques entre eux pour effectuer la partie programmation de l'application à développer. De cette partie, on peut assembler les différents blocs de l'application et indiquer comment les composants doivent se comporter et qui s'affichent dans l'émulateur virtuel. La figure ci-dessous illustre la partie logique de notre application.

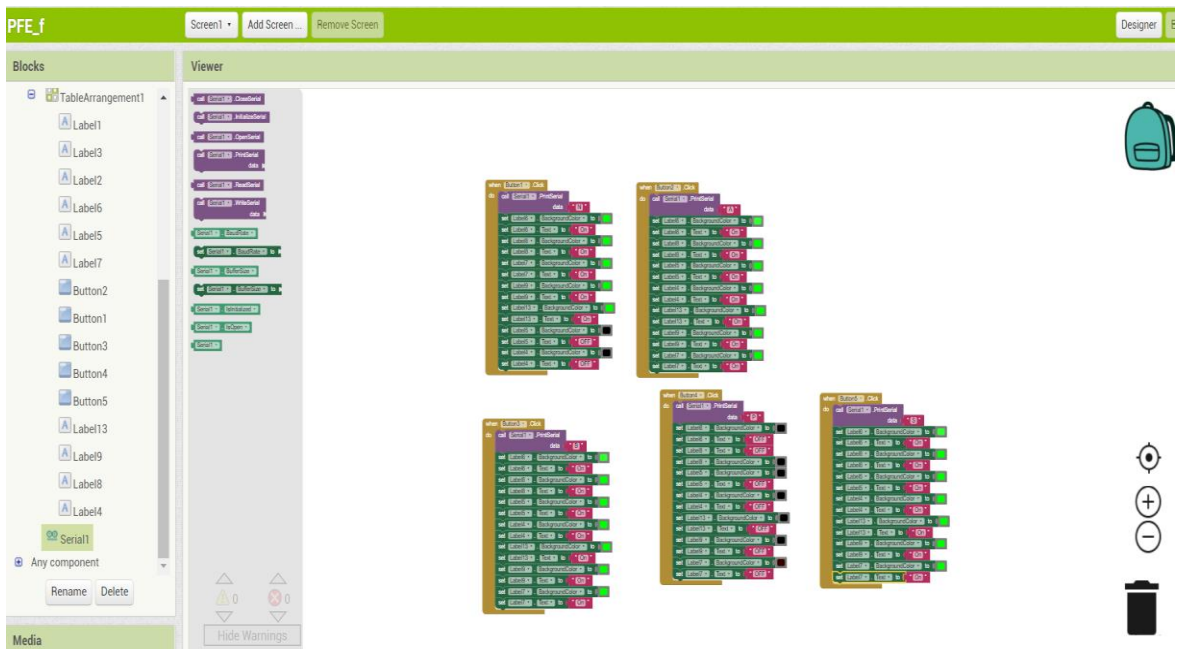


Figure 65: Photo des Blocks logiques de notre Application "IHM".

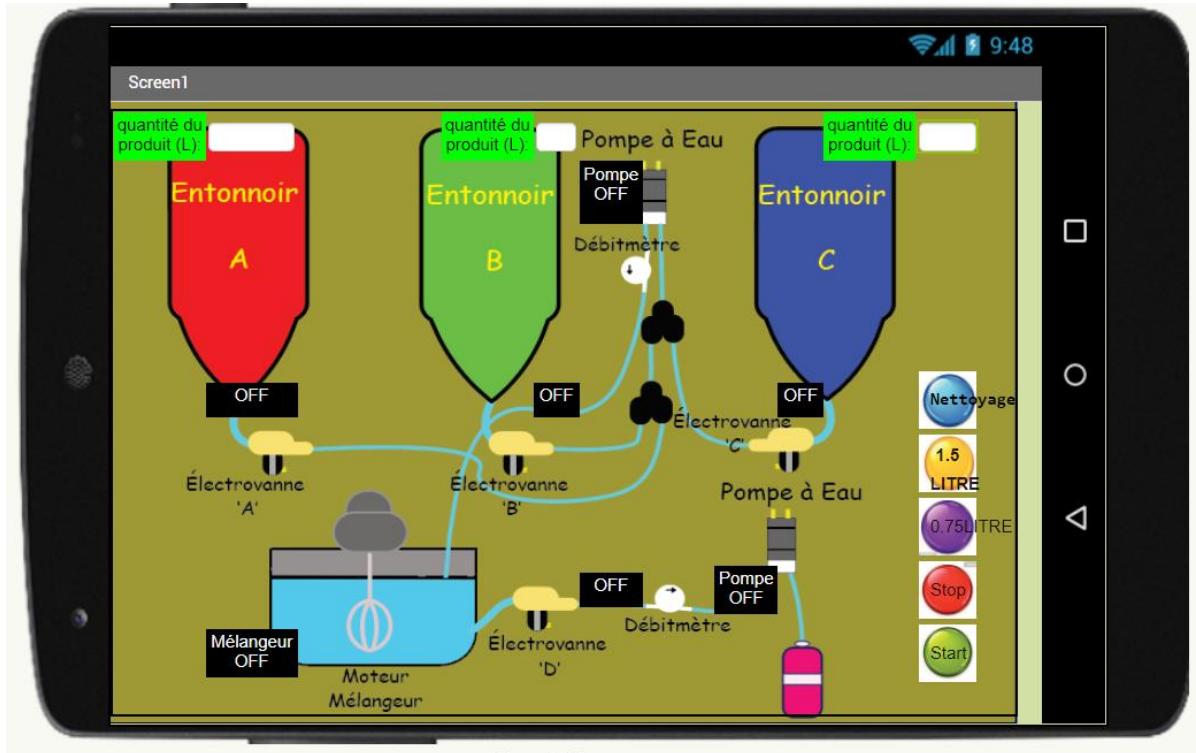


Figure 66: Photo Finale de notre IHM sur une tablette.

4.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu donner une explication détaillée de notre stratégie pour construire notre machine.

Tout d'abord, nous avons spécifié et expliqué l'utilité de chaque actionneur et capteurs utilisés dans ce projet.

Ensuite, après avoir effectué un test pour vérifier le bon fonctionnement et les performances de chaque module, nous avons abordé les différentes phases de développement de la construction de notre API.

Enfin, nous avons expliqué les étapes de construction d'une IHM pour cette machine automatique.

Conclusion Générale

Lors de ce projet de fin d'étude, nous avons pu concrétiser notre idée qui consiste à réaliser une machine automatique de dosage, mélange et remplissage de produits liquides, construire un automate programmable industriel et créer une IHM pour ce dernier.

De nos jours, l'utilisation des machines automatiques dans le monde industriel est devenue indispensable, étant donné que les besoins humains augmentent, il faut donc augmenter la production industrielle et c'est en apportant vitesse, qualité et quantité à nos systèmes de production, ce qui revient à notre projet de fabrication d'une machine souvent utilisée dans l'industrie des boissons, le but de notre machine est de faire un dosage très précis pour toute recette utilisée, et d'assurer un mélange total du produit et enfin de remplir le produit fini dans des bouteilles de vente sans aucune interférence humaine.

Pour y parvenir, nous devons d'abord nous assurer que la structure mécanique est adaptée à nos besoins, ensuite nous devons choisir les actionneurs et capteurs idéaux.

La deuxième étape consiste à construire notre système de contrôle, qui est un automate programmable industriel. L'automate que nous avons conçu et réalisé nous a permis de comprendre plus finement les concepts de l'automatisation.

Les conceptions des schémas électroniques ont été faites et simulées sur le logiciel EASY EDA avant la mise en œuvre. Ensuite, nous avons validé ce travail par des tests sur Lab d'essai.

La dernière étape vise à assurer la communication homme-machine, pour cela nous avons créé une application Android sur le logiciel MIT APP INVETOR, notre IHM est sous forme d'une interface graphique qui assure le contrôle et la supervision de notre machine en temps réel de travail.

Malgré les difficultés rencontrées lors de la réalisation de ce modeste projet, le résultat final est un succès étant donné que l'objectif visé est atteint.

Bibliographie

- [1] BOUIZANE, Samir. Histoire de l'automatique et de l'informatique industrielle **[En ligne]**. Bejaïa: Université de Bejaïa, cours 03 MST1, 2003, 8p. Disponible sur : <https://elearning.univbejaia.dz/pluginfile.php/312979/mod_resource/content/1/cours%20%2003%20MST1.pdf> (Consulté le 21/04/2020)
- [2] ADNANE, Ahmidani. Introduction automatisme industriel. In : Education **[En ligne]**. (Publié le 6 mars 2013.) Disponible sur : <<https://www.slideshare.net/adnaneahmidani/introduction-automatisme-industriel>> (Consulté le 25/05/2020).
- [3] NIZAR FASSI. Usine (définition) **[En ligne]**. **In** : Encyclopédie financière. Gabès, Tunisie, 2016. Disponible sur : <<https://www.rachatducredit.com/usine-definition>> (Consulté le 20/04/2020).
- [4] Netrevolution. L'outillage industriel : c'est quoi exactement ? **[En ligne]**. (Publié le 24 Avril 2017) Disponible sur : <<http://www.netrevolution.com/blog/l-outillage-industriel-c-est-quoi-exactement-805797.html>> (Consulté le 20/04/2020).
- [5] EXA-ECS. Automatisme industriel **[En ligne]**. (Crée le 31 juillet 2019) Disponible sur : <<https://www.exa-ecs.com/automatisme-industriel-quels-secteurs-activite/>> (Consulté le 25/05/2020).
- [6] Mathias Damour. Révolution industrielle **[En ligne]**. **In** : Vikidia. Annecy, France, novembre2006. Disponible sur : <https://fr.vikidia.org/wiki/R%C3%A9volution_industrielle> (Consulté le 21/04/2020).

- [7] Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (CCHST).
Chapitre 65 - L'industrie des boissons **[En ligne]. In** : Encyclopédie de sécurité et de santé au travail. Hamilton, Canada, 2018. Disponible sur :
< http://www.ilocis.org/fr/documents/ILO065.htm#JD_figure65.2 >
(Consulté le 22/04/2020).
- [8] MachinePoint Engineering. Boissons non gazeuses **[En ligne]**.
(Publié en Septembre 2018). Disponible sur :
<https://www.machinepoint.com/foodtechnologies/machinery.nsf/beverage_technology/boissons_non_gazeuses.html> (Consulté le 23/04/2020).
- [9] MachinePoint Engineering. Unités de mélange **[En ligne]**.
(Publié en Septembre 2018). Disponible sur :
<https://www.machinepoint.com/foodtechnologies/machinery.nsf/beverage_technology/unites_de_melange.html> (Consulté le 23/04/2020).
- [10] ACE Solutions. Technique de dosage **[En ligne]**.
(Publié en Mars 2019). Disponible sur :
<https://acesolutions.fr/Technique_de_dosage> (Consulté le 24/04/2020).
- [11] Direct Industry. Bien choisir une remplisseuse **[En ligne]**.
(Publié en 2018). Disponible sur : < <http://guide.directindustry.com/fr/bien-choisir-une-remplisseuse/> > (Consulté le 24/04/2020).
- [12] TLILI, Kais. Support du cours automatisme industrielle. Génie électrique. Sousse : Institut Supérieure des Etudes Technologique de Sousse, 2017, 56p.
- [13] DOYEN, Arnaud. STRUCTURE GENERALE D'UN SYSTEME AUTOMATISE **[En ligne]**.
Reims : Lycée polyvalent Georges-Brière, 2016, 7p. Disponible sur :
< http://meidoyen.openelement.fr/Files/Other/Structure%20generale_prof.pdf >
(Consulté le 05/05/2020).

[14] Webcommerce B.V. Partie opérative **[En ligne]. In** : L'encyclopédie Française. Niebert, Pays-Bas, 2015. Disponible sur :

< https://www.encyclopedie.fr/definition/Partie_op%C3%A9rative>

(Consulté le 05/05/2020).

[15] FAS, Mohamed Lamine. Les actionneurs. Génie électrique. Blida : Université Saad Dahleb Blida 1, 2017, 39p.

[16] FAS, Mohamed Lamine. Capteurs et chaines de mesure. Génie électrique. Blida : Université Saad Dahleb Blida 1, 2017, 38p.

[17] BENNILA, Nour-Eddine. Programmation Avancée des Automates Programmables Industriels. Automatique et informatique industrielle. Blida : Université Saad Dahleb Blida 1, 2018, 106p.

[18] BENNILA, Nour-Eddine. Supervision Industrielle. Automatique et informatique industrielle. Blida : Université Saad Dahleb Blida 1, 2018, 105p.