

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA 01**



**Faculté de Technologie
Département Automatique**

Mémoire de Projet de Fin d'Études

Pour l'obtention du diplôme de Master

Option : Automatique Appliquée

Thème

**Automatisation d'un système de protection contre
les rayons ultraviolet**

Dirigé par :

M. BENCHABANE IBRAHIM

Réalisé par :

M. BOURAHLA ABDERRAOUF

BLIDA Juillet 2023

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers tous ceux qui m'ont soutenu et guidé tout au long de ce travail. Sans leur aide précieuse, ce projet n'aurait pas été possible.

Tout d'abord, je suis très reconnaissant envers mon promoteur, M. BENCHABANE IBRAHIM, pour son soutien constant, ses conseils inestimables et son expertise. Sa contribution a été essentielle dans le développement de ma recherche. Je souhaite également exprimer ma reconnaissance envers mes promoteurs à BOMARE COMPANY pour leurs commentaires perspicaces, leurs critiques constructives et pour m'avoir offert cette précieuse opportunité de mener à bien ce projet.

Mes remerciements vont également aux membres du jury pour leur temps, leur expertise et leur évaluation minutieuse de ma thèse. Je suis reconnaissant envers eux pour leur considération.

Enfin, je suis extrêmement reconnaissant envers ma famille pour leur soutien inconditionnel, leur amour et leurs encouragements tout au long de mes études. Leur confiance en moi et leur motivation constante ont été d'une importance capitale pour surmonter les obstacles et franchir cette étape importante dans ma vie.

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes proches.

À mes deux parents, sans leur amour et leur soutien, je ne serais
jamais arrivé(e) là où je suis dans ma vie.

À mon frère, À mes amis et leur soutien affectif tout au long de ce
parcours.

Et enfin, à vous, ceux d'entre vous qui avez pris le temps de lire ce
mémoire

ملخص

في سياق التطور الصناعي الحالي، أصبح من الضروري بشكل لازم إتقان برمجة والتحكم في واجهات البرمجة التطبيقية. ضمن إطار عملنا، قمنا بتطوير نظام آلي معتمد على واجهات البرمجة التطبيقية، بهدف تحسين بيئة العمل داخل شركة BOMAR COMPANY وحماية العمال في وحدة الإنتاج من الأشعة فوق البنفسجية التي تنبعث من أحد الأجهزة. يركز مشروعنا على تصميم باب آلي لهذا الجهاز، باستخدام وحدات تحكم قابلة للبرمجة، وحساسات، ومحركين خطوة بخطوة. لقد أنجزنا بنجاح المرحلة الأولى من هذا المشروع، ونحن واثقون أن عملنا سيساهم في تطوير آلات صناعية أكثر دقة وأمان، لتلبية متطلبات القطاع الصناعي.

Résumé :

Dans le contexte actuel de développement industriel, il est devenu essentiel de maîtriser la programmation et le contrôle des interfaces de programmation applicative. Dans le cadre de notre travail, nous avons développé un système automatisé basé sur des interfaces de programmation applicative, dans le but d'améliorer l'environnement de travail au sein de la société BOMAR COMPANY et de protéger les travailleurs de l'unité de production contre les rayons ultraviolets émis par l'un des dispositifs. Notre projet se concentre sur la conception d'une porte automatisée pour ce dispositif, en utilisant des modules de contrôle programmables, des capteurs et des moteurs pas à pas.

Nous avons réussi avec succès la première phase de ce projet et nous sommes confiants que notre travail contribuera au développement de machines industrielles plus précises et sécurisées pour répondre aux exigences du secteur industriel actuel.

Abstract:

In the current context of industrial development, it has become essential to master programming and control of application programming interfaces (API). Within our framework, we have developed an automated system based on APIs, with the aim of improving the working environment within BOMAR COMPANY and protecting the workers in the production unit from the ultraviolet radiation emitted by one of the devices. Our project focuses on designing an automated door for this device, using programmable control units, sensors, and step-by-step motors.

We have successfully completed the first phase of this project, and we are confident that our work will contribute to the development of more accurate and secure industrial machines to meet the requirements of the current industrial sector.

Table de matières

Remerciements	2
Dédicaces.....	3
Résumé	4
Table de matières	5
Liste des figures.....	8
Liste des abréviations	11
Introduction Générale.....	1
I Généralités sur l'entreprise et présentation de la problématique	2
Introduction	2
I.1 Définition BOMARE COMPANY.....	2
I.1.1 La marque commerciale.....	3
I.1.2 Certification.....	3
I.1.3 L'emplacement géographique	4
I.2 Département, unités et localisation de la machine	5
I.2.1 Département et unités.....	5
I.2.2 Unité de production des Barette de LED	6
I.3 Information sur la machine et les rayons ultraviolets	7
I.3.1 Description de la machine.....	7
I.3.2 Fonctionnement des lampes à vapeur de mercure.....	8
I.3.3 Les rayons ultraviolets	10
I.3.4 Les dangers des Rayon Ultraviolet	11
I.4 Conclusion.....	14
II Sélection des composants pour le système automatique	16
Introduction	16

II.1 Les besoins essentiels pour notre projet.....	16
II .2 Les Microcontrôleur	17
II.3 L'Arduino.....	17
II.3.1 Les entres sorties.....	18
II.4 Le Pic microcontrôleur	19
II.5 L'automate programmable	21
II.5.1Avantages des automates programmables	22
II.5.2Architecture des automates	23
II.5.3 Câblage des entrées / sorties d'un automate.....	26
II.5.4 Traitement du programme automate	28
II.5.5 Langages de programmation.....	29
II.5.6Critères de choix d'un automate.....	32
II.6 Les moteurs.....	33
II.6.1 Moteurs à courant alternatif.....	33
II.6.2 Moteurs à courant continu	34
II.6.3 Moteurs pas à pas.....	35
II.7 Les capteurs	38
II.8 Conclusion	42
III Réalisation du système automatique	45
Introduction	45
III.1 Le branchement PLC moteur.....	45
III.2 L'emplacement des composant.....	46
II.2.1 Capteur 1 ouverture porte d'entrée.....	46
III.2.2 Capteur 2 fermeture porte d'entrée	49
III.2.3 Capteur 3 ouverture porte de sortie	49
III.2.4 Capteur 4 fermeture porte de sortie	50
III.2.5 Les boutons poussoirs.....	51

III.2.6 Commutateur	53
III.2.7 Capteur fin de course.....	54
III.2.8 Le moteur avec le système pignon crémaillère	56
III.2.3 Branchement des capteurs avec le PLC.....	58
III.2.4 Programmation du PLC.....	59
III.2.4.1 Mode manuel.....	59
III.2.4.2 Mode Automatique	60
III.4.2.3 Compteur et comparateur des capteurs C1 et C4	60
Set Reset des capteurs C1 C2 C3 C4.....	62
III.2.5 Le fonctionnement du programme	63
III.2.6 Conclusion.....	66
Conclusion Générale	61
Référence bibliographie.....	61

Liste des figures

Figure 1 logo BOMARE COMPANY [2]	2
Figure 2 logo Stream système [3].....	3
Figure 3 vue 1 d'emplacement par satellite	4
Figure 4 vue 2 d'emplacement par satellite	4
Figure 5 unité de fabrication des cartes électronique [5].....	5
Figure 6 unité de fabrication des barrettes de LED	6
Figure 7 la machine de séchage UV	7
Figure 8 la machine a l'intérieur.....	8
Figure 9 lampe à vapeur de mercure.....	9
Figure 10 Les rayons émis par la machine	9
Figure 11 spectre des rayons.....	10
Figure 12 cellules ADN	11
Figure 13 effet UV sur les yeux.....	12
Figure 14 Les troubles de la pigmentation	13
Figure 15 ARDUINO COMPOSITION [1].....	17
Figure 16 structure interne d'un microcontrôleur	19
Figure 17 Le microcontrôleur PIC 16f84	20
Figure 18 Automate programmable PLC siemens.....	21
Figure 19 types des API compact et modulaire	23
Figure 20 structure interne des API	24
Figure 21 alimentation des entrées des API.....	27
Figure 22 alimentation des sorties des API.....	27
Figure 23 traitement du programme AUTOMATE	28
Figure 24 langage Instruction List.....	29
Figure 25 langage littéral structuré	30
Figure 26 langage ladder.....	30

Figure 27 langage FBD.....	31
Figure 28 stator et rotor moteur DC	34
Figure 29 pilote et contrôleur du moteur	35
Figure 30 la composition du moteur.....	36
Figure 31 cas d'un stator avec 8 bobines	37
Figure 32 fonctionnement du capteur	38
Figure 33 Les interrupteurs de position	38
Figure 34 Les détecteurs inductifs.....	39
Figure 35 Les détecteurs capacitifs.....	39
Figure 36 Les détecteurs photoélectriques	40
Figure 37 Le branchement PLC moteur	45
Figure 38 capteur photoélectrique	46
Figure 39 l'émetteur récepteur en absence d'objet.....	47
Figure 40 capteur en cas de détection d'un objet.....	47
Figure 41 l'emplacement de capteur 1	48
Figure 42 l'emplacement de capteur 2	49
Figure 43 l'emplacement de capteur 3 sortie	49
Figure 44 l'emplacement de capteur 4	50
Figure 45 bouton poussoir vert NO	51
Figure 46 symbole NO.....	51
Figure 47 bouton poussoir rouge	52
Figure 48 symbole bouton NC.....	52
Figure 49 commutateur symbole	53
Figure 50 la machine avec les boutons poussoir	53
Figure 51 symbole capteur fin de course.....	54
Figure 52 le capteur en contact avec la porte	54
Figure 53 capteur fin de course fonctionnement	55
Figure 54 pignon crémaillère.....	56
Figure 55 branchement moteur avec le système.....	56
Figure 56 moteur pas à pas branchées avec un pignon crémaillère.....	57
Figure 57 Branchement des input au module PLC.....	58
Figure 58 Programme du mode Manuel	59
Figure 59 Programme du mode Automatique.....	60
Figure 60 Programme du Compteur C1.....	60

Figure 61 Comparateur C1 & C4.....	61
Figure 62 Programme du Compteur C4.....	61
Figure 63 Programme de 'set reset' des quatre capteurs	62

Liste des abréviations

PLC	Programmable Logic Controller
CPU	Central Processing Unit
ROM	Read Only Memory
RAM	Random Access Memory
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
PROM	Programmable Read-Only Memory
TOR	Tout ou Rien
CAN	Conversion analogique-numérique
IL	Instruction List
ST	: Structured Text
LD	Ladder diagram
FBD	Function Bloc Diagram
SFC	Sequential Function Chart
NO	normalement ouverte

Introduction Générale

Introduction Générale

Dans l'industrie moderne, on observe une tendance croissante à automatiser la production, motivée par plusieurs raisons. Les tâches les plus pénibles et dangereuses peuvent ainsi être confiées à des machines automatisées spécifiques. Cela permet d'assurer une plus grande reproductibilité du processus de fabrication.

L'automatisation permet également d'augmenter les cadences de production. Elle devient indispensable pour la réalisation de tâches simples, en moyenne ou grande série. C'est pourquoi on constate un taux élevé d'automatisation dans des industries telles que l'électroménager et l'automobile, entre autres.

Le projet s'inscrit dans ce contexte et vise à développer un système automatique pour une machine qui présente un danger pour les travailleurs en raison des rayonnements qu'elle émet. Ce système consiste en deux portes pour l'entrée et la sortie de la machine, où les cartes entrent et sortent. Les deux portes s'ouvrent et se ferment en fonction des capteurs placés avec chaque porte. Si le capteur détecte une carte, la porte s'ouvre. Sinon, la porte se ferme. Dans ce cas, l'automatisation contribue à améliorer l'environnement de travail dans le domaine industriel.

Dans le premier chapitre, nous avons parlé de l'entreprise et des unités de production, en particulier l'unité 3 où se trouve la machine sur laquelle nous travaillons. Nous avons également abordé le grave danger que représente cette machine pour les travailleurs et l'environnement de travail.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des matériels que nous avons utilisés pour réaliser notre projet, notamment les différents types de microcontrôleurs et capteurs et les composants existants.

Le troisième chapitre présente les composants que nous avons choisis, ainsi que leur emplacement et leur rôle dans notre projet.

Chapitre 1

Généralités sur l'entreprise et présentation de la problématique

I Généralités sur l'entreprise et présentation de la problématique

Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons BOMARE COMPANY, son domaine d'activité et ses départements, en se concentrant sur L'unité de production des barrettes de LED. Analyse du problème lié aux rayons UV émis par l'une des machines dans cette Unité.

I.1 Définition BOMARE COMPANY

Bomare Company a été créée en 2001 par son fondateur et actuel directeur général, M. Ali Boumediene, avec un capital actuel de 1.023.000.000 DZD. Elle bénéficie donc d'une expérience de 21 ans d'histoire et d'une vitalité en tant qu'entreprise jeune et dynamique [1].

La société est spécialisée dans la fabrication et la commercialisation d'appareils électroniques grand public, notamment des téléviseurs, des smartphones, des tablettes et des ordinateurs portables, ainsi que des accessoires électroniques. Bomare Company est réputée pour son engagement en matière de recherche et développement et pour son innovation technologique en Algérie.

Elle dispose d'une usine moderne et bien équipée à Birtouta, avec une capacité de production annuelle de plus de 500 000 unités, et utilise des matières premières locales autant que possible.



Figure 1 logo BOMARE COMPANY [2]

I.1.1 La marque commerciale

La marque commerciale "Stream System" a été déposée en 2003 par Bomare Company pour commercialiser les produits électroniques qu'elle fabrique. L'entreprise a une forte présence à l'international, notamment en Afrique, en Europe et au Moyen-Orient, et a remporté de nombreux prix pour l'innovation et l'excellence en Algérie.



Figure 2 logo Stream système [3]

I.1.2 Certification

Du point de vue environnementale, BOMARE COMPANY applique depuis 2006 la directive ROHS relative à la restriction de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques. Bomare Company a accueilli d'autres certifications telles que :

- Certification CE : Produit conforme aux normes de l'UE en matière de santé, de sécurité et de protection de l'environnement.
- ISO 9001 versions 2015 : Management de la qualité.
- EUR 1 : Certificat de circulation des marchandises [4].

I.1.3 L'emplacement géographique

Bomare Company est située à Birtouta, une ville de la wilaya d'Alger en Algérie. Plus précisément, l'entreprise est située dans la zone industrielle de Birtouta, à environ 20 kilomètres à l'ouest d'Alger.

La zone industrielle de Birtouta est facilement accessible par la route nationale N11 qui relie Alger à Oran. Le site de production de Bomare Company à Birtouta s'étend sur plus de 100 000 mètres carrés, avec plusieurs unités de production et des centres de recherche et développement.



Figure 3 vue 1 d'emplacement par satellite



Figure 4 vue 2 d'emplacement par satellite

I.2 Département, unités et localisation de la machine

I.2.1 Département et unités

Bomare Company a organisé son activité de production en plusieurs départements distincts pour garantir un fonctionnement optimal. Parmi ces départements, on peut citer le département production le département maintenance, le département assurance qualité, le département technique, le département logistique et le service après-vente.

Le département de production est équipé de trois unités de production, chacune d'entre elles étant constituée d'une ou de plusieurs lignes de production. Les unités de production de l'entreprise sont les suivantes :

- Unité de fabrication de téléviseurs.
- Unité de production des cartes électroniques.
- Unité de production des barrettes de LED.

L'unité de fabrication de téléviseurs possède deux lignes d'assemblage.

L'unité de production des cartes électroniques possède plusieurs lignes de production, notamment une première ligne d'insertion automatique SMT installée en 2006 et remplacée par une nouvelle en 2017, une deuxième ligne de production installée en 2013, ainsi qu'une ligne manuelle pour l'insertion des composants et le test des cartes insérées.

Et l'unité numéro 3 dans laquelle se situe notre machine le four à mercure.



Figure 5 unité de fabrication des cartes électronique [5]

I.2.2 Unité de production des Barette de LED

Au sein de l'Unité 3, plusieurs machines sont disposées le long de la ligne de traitement, tout d'abord on trouve le LOADER qui fournit les cartes au DISPENSER. Cette machine applique de la colle aux endroits spécifiés pour placer les LENS, puis les envoie vers un CONVOYEUR qui les transmet à la machine PICK AND PLACE. Cette dernière place avec une grande vitesse les LENS à l'emplacement précis où la colle a été appliquée. Ensuite, les cartes sont transférées vers un autre CONVOYEUR qui les achemine jusqu'à la dernière machine, c'est le four à ultra-violet.



Figure 6 unité de fabrication des barrettes de LED

I.3 Information sur la machine et les rayons ultraviolets

I.3.1 Description de la machine

Le four à mercure UV est une machine de séchage UV utilisée dans l'industrie de l'impression pour durcir rapidement les encres, les vernis et les adhésifs.



Figure 7 la machine de séchage UV

Voici comment fonctionne généralement cette machine :

1. Le matériau à sécher est transporté à travers la machine sur un convoyeur.
2. Les lampes à vapeur de mercure émettent des rayons UV-C (longueur d'onde de 254 nm) qui traversent une fenêtre en quartz.
3. Les rayons UV sont absorbés par les molécules des matériaux qui sont en contact avec les lampes.
4. L'absorption de ces rayons par les molécules entraîne une réaction photochimique qui durcit ou polymérise le matériau.
5. Le convoyeur continue de transporter le matériau à travers la machine jusqu'à ce qu'il soit complètement polymérisé ou durci.
6. Une fois que le matériau est sorti de la machine, il est prêt à être utilisé ou à être traité davantage.



Figure 8 la machine a l'intérieur

Il convient de noter que la machine " four à mercure UV " peut être équipée de plusieurs lampes à vapeur de mercure en fonction de la vitesse de traitement souhaitée et de la taille du matériau à traiter. De plus, il est important de régler correctement la vitesse du convoyeur et la puissance des lampes pour obtenir les résultats souhaités et éviter tout endommagement du matériau.

I.3.2 Fonctionnement des lampes à vapeur de mercure

Les lampes à vapeur de mercure sont des lampes à décharge à haute pression qui contiennent du mercure sous forme de vapeur. Lorsque la lampe est allumée, un courant électrique passe à travers le gaz, ce qui provoque la vaporisation du mercure et l'émission de rayons UV.

Plus précisément, lorsqu'un courant électrique traverse le gaz de la lampe, il ionise les atomes de mercure en les faisant passer de l'état liquide à l'état gazeux. Les atomes de mercure excités émettent ensuite une lumière à haute intensité dans l'ultraviolet, principalement à une longueur d'onde de 254 nm. Cette longueur d'onde est particulièrement efficace pour durcir les matériaux sensibles aux UV, tels que les encres et les vernis utilisés dans l'industrie de l'impression.

En général, les lampes à vapeur de mercure sont assez efficaces pour émettre des rayons UV, mais elles peuvent également produire une quantité importante de chaleur. C'est pourquoi les machines de séchage UV sont équipées de systèmes de refroidissement pour maintenir une température constante et éviter toute surchauffe qui pourrait endommager le matériau à sécher.



Figure 9 lampe à vapeur de mercure



Figure 10 Les rayons émis par la machine

Les rayons ultraviolets émis par les lampes à vapeur de mercure peuvent être dangereux pour les yeux et la peau. Il est essentiel de prendre des mesures de protection appropriées lors de l'utilisation de ces lampes et c'est ce qui se viendra prochainement.

I.3.3 Les rayons ultraviolets

Le rayonnement ultraviolet (UV) est une forme de rayonnement électromagnétique située juste au-delà de la partie violette du spectre visible de la lumière. Il est caractérisé par des longueurs d'onde plus courtes que celles de la lumière visible, allant d'environ 200 nanomètres (nm) à 400 nanomètres (nm). Le rayonnement UV est émis par le Soleil et peut également être produit artificiellement par des sources telles que les lampes UV.

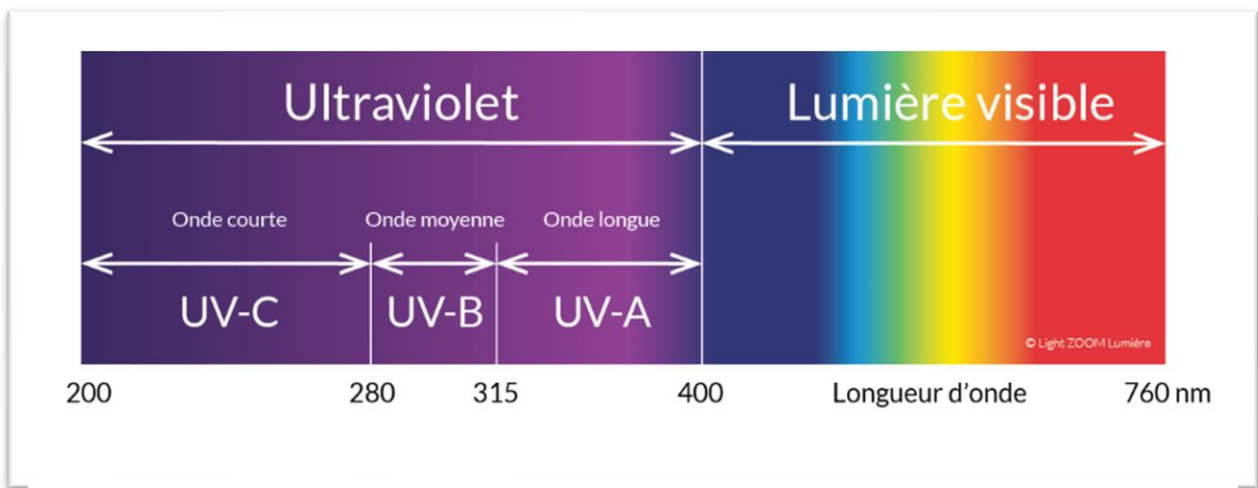


Figure 11 spectre des rayons

Le spectre UV est généralement divisé en trois catégories, en fonction de la longueur d'onde :

Les rayons UV-C (100 nm à 280 nm) : Ce sont les rayons UV les plus énergétiques et les plus dangereux. Heureusement, la grande majorité des rayons UV-C sont absorbés par l'atmosphère terrestre, en particulier par la couche d'ozone, et ne nous atteignent pas directement depuis le Soleil. Cependant, les rayons UV-C sont utilisés dans des applications telles que la stérilisation de l'eau et de l'air, ainsi que dans certaines méthodes de désinfection.

Les rayons UV-B (280 nm à 315 nm) : Les rayons UV-B sont partiellement filtrés par la couche d'ozone et sont donc moins présents sur la surface de la Terre que les rayons UV-A. Cependant, une exposition excessive aux rayons UV-B peut causer des dommages cutanés, tels que des coups de soleil, le vieillissement prématuré de la peau et un risque accru de cancer de la peau.

Les rayons UV-A (315 nm à 400 nm) : Les rayons UV-A sont les plus longs et les moins énergétiques du spectre UV. Ils représentent la majorité des rayons UV atteignant la surface de la Terre. Bien qu'ils soient moins nocifs que les rayons UV-B et UV-C, une exposition prolongée et répétée aux rayons UV-A peut également causer des problèmes sur la santé.

I.3.4 Les dangers des Rayon Ultraviolet

Les rayons ultraviolets (UV) peuvent présenter de nombreux risques pour la santé humaine, notamment :

1. Effets sur la peau : L'exposition excessive aux rayons UV peut causer des brûlures, un vieillissement prématuré de la peau, des taches de vieillesse, des rides et une diminution de l'élasticité de la peau. Les UV peuvent également endommager l'ADN des cellules cutanées, augmentant ainsi le risque de cancer de la peau, y compris le mélanome.

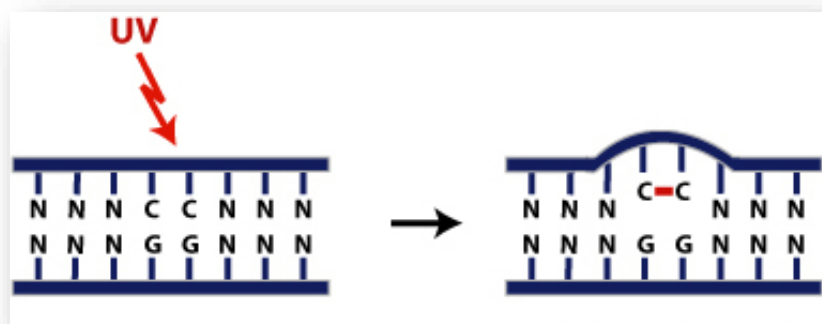


Figure 12 cellules ADN

Les rayons UV (UVB et UVC) entraînent la création de dimères de pyrimidines, illustrés en rouge sur la figure. Ces dimères altèrent la structure de l'ADN, ce qui entraîne des mutations lors de la réplication de l'ADN. Les rayons UV peuvent également induire d'autres types de mutations sur l'ADN.

2. Cancer de la peau : L'exposition aux rayons UV est le principal facteur de risque de développement du cancer de la peau. Les UV peuvent endommager l'ADN des cellules cutanées, entraînant des mutations génétiques qui favorisent la croissance de cellules cancéreuses. Les types les plus courants de cancer de la peau associés aux UV sont le carcinome basocellulaire, le carcinome épidermoïde et le mélanome.
3. Cataracte : Les rayons UV peuvent causer des dommages aux yeux, en particulier au cristallin. Une exposition prolongée aux UV peut augmenter le risque de développer une cataracte, une condition dans laquelle le cristallin devient trouble, entraînant une vision floue et une perte de vision.

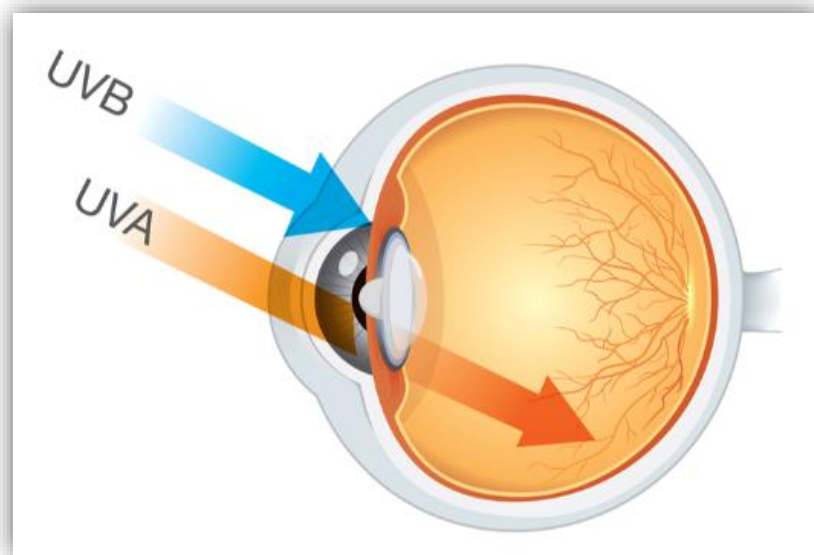


Figure 13 effet UV sur les yeux

4. Affaiblissement du système immunitaire : L'exposition excessive aux rayons UV affaiblit le système immunitaire de la peau, ce qui peut rendre le corps plus vulnérable aux infections, aux maladies et aux affections cutanées.
5. Suppression de la vitamine D : Bien que l'exposition modérée au soleil soit nécessaire pour la production de vitamine D par la peau, une exposition excessive aux UV peut supprimer la synthèse de cette vitamine. Un faible taux de vitamine D peut entraîner des problèmes de santé tels que l'ostéoporose, des problèmes immunitaires et des troubles métaboliques.
6. Les réactions allergiques : Certaines personnes peuvent développer des réactions allergiques à l'exposition aux UV, telles que des éruptions cutanées, des démangeaisons et des irritations.
7. Les troubles de la pigmentation : L'exposition excessive aux UV peut entraîner des troubles de la pigmentation de la peau, tels que des taches de vieillesse et une hyperpigmentation.



Figure 14 Les troubles de la pigmentation

I.4 Conclusion

En conclusion, dans le chapitre où nous avons discuté du problème rencontré dans l'unité de production des barrettes LED, nous avons identifié qu'une des machines de cette unité fonctionne avec des rayons UV. Nous avons également examiné les dangers associés à ces rayonnements ultraviolets.

Il est essentiel de prendre en compte les précautions nécessaires lors de l'utilisation de ces machines pour protéger la santé et la sécurité des travailleurs. Les rayons UV peuvent être nocifs pour la peau et les yeux s'ils ne sont pas correctement contrôlés et utilisés avec les équipements de protection appropriés.

La sécurité des travailleurs est une priorité absolue, et en reconnaissant les dangers potentiels des rayons UV dans l'unité de production des barrettes LED, des mesures appropriées peuvent être prises pour garantir un environnement de travail sûr et sain.

Chapitre 2

Sélection des composants pour le système automatique

II Sélection des composants pour le système automatique

Introduction

Dans ce chapitre, étude détaillée des microcontrôleurs, des automates programmables industriels (API) et des moteurs pas à pas, ainsi que des capteurs utilisés dans les systèmes automatisés.

II.1 Les besoins essentiels pour notre projet

Pour réaliser notre projet, qui est un système automatique de protection contre les rayons ultraviolets, nous avons besoin de plusieurs composants essentiels, notamment :

Microcontrôleur : Nous aurons besoin d'un microcontrôleur puissant et fiable pour contrôler le processus d'ouverture et de fermeture de la porte. Nous pouvons choisir un microcontrôleur tel que Arduino ou Raspberry Pi qui répondra aux besoins du projet.

L'utilisation d'un PLC peut être avantageuse dans les applications industrielles, notamment pour contrôler des processus complexes, gérer des entrées et des sorties multiples, et fournir une programmation flexible et évolutive. En fonction des besoins spécifiques de notre projet, un PLC peut être une option appropriée pour le contrôle de la porte automatique dans notre machine industrielle.

Moteur : Nous aurons besoin d'un moteur capable de déplacer la porte automatiquement. Nous pouvons utiliser des moteurs pas à pas des servomoteurs, en fonction du poids et de la taille de la porte, ainsi que de la force de déplacement requise.

Capteurs : Nous aurons besoin de capteurs pour détecter la présence de la carte électronique et déterminer précisément sa position. Nous pouvons utiliser des capteurs à distance utilisant des rayons ultraviolets ou des capteurs de mouvement tels que des capteurs de mouvement infrarouge passifs (PIR) pour détecter l'approche de la carte et actionner la porte.

Interface de contrôle : Nous aurons besoin d'une interface de contrôle conviviale permettant à l'opérateur d'interagir avec la porte. Cela peut inclure des boutons de contrôle d'ouverture et de fermeture, ou un écran tactile pour fournir une interface utilisateur intuitive.

II.2 Les Microcontrôleurs

Pour le composant principal des processus et des projets d'automatisation, le microcontrôleur est la base de ces processus. Il fonctionne comme le cerveau humain, en recevant les informations, les analysant, les comprenant, puis exécutant les commandes en fonction du programme qui y est programmé. Il existe plusieurs types de microcontrôleurs dont certains sont listés ci-dessous.

II.3 L'Arduino

Arduino est une plateforme de prototypage électronique open-source qui comprend à la fois du matériel (les cartes Arduino) et un environnement de développement logiciel. Elle est largement utilisée dans le domaine de l'automatisation, de l'électronique et de la robotique en raison de sa simplicité d'utilisation et de sa polyvalence.

Un microcontrôleur est un système qui ressemble à un ordinateur : il a une mémoire, un processeur, des interfaces avec le monde extérieur. Les microcontrôleurs ont des performances réduites, mais sont de faible taille et consomment peu d'énergie, les rendant indispensables dans toute solution d'électronique embarquée (voiture, porte de garage, robots, ...). La carte Arduino n'est pas le microcontrôleur le plus puissant, mais son architecture a été publiée en open-source

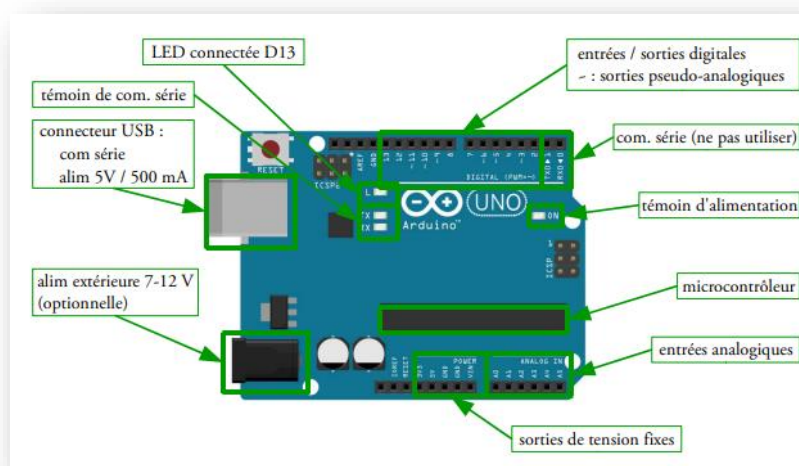


Figure 15 ARDUINO COMPOSITION [1]

La carte Arduino se relie à un ordinateur par un câble USB. Ce câble permet à la fois l'alimentation de la carte et la communication série avec elle.

II.3.1 Les entres sorties

Les entrées/sorties (E/S - input/output) jouent un rôle essentiel dans l'interaction entre la carte Arduino et le monde extérieur. Les sorties sont contrôlées par la carte, ce qui permet au microcontrôleur de déclencher des actions, telles que l'allumage ou l'extinction d'une LED, d'un ventilateur ou d'un moteur. Les entrées sont lues par le microcontrôleur, lui permettant ainsi de connaître l'état du système auquel il est connecté. Les E/S se déclinent en deux types : les E/S numériques et les E/S analogiques.

II.3.1.1 Entrés sorties numériques

Les broches d'entrée/sortie numériques sur Arduino sont basées sur une logique binaire. Elles peuvent prendre deux valeurs distinctes : LOW (équivalent à la masse ou 0 V) et HIGH (équivalent à environ 5 V). Ainsi, chaque broche numérique représente un bit, qui peut être codé en tant que 0 ou 1, true ou false.

La carte Arduino comporte 14 I/O numériques (appelées DIGITAL sur la carte), numérotées de 0 à 13 et appelées D0, D1, D2, ... D13. Chacun de ces ports peut être déclaré comme étant une entrée ou comme une sortie dans le programme du microcontrôleur. Les deux premiers ports (D0 et D1) sont réservés à la communication série, il ne faut pas les utiliser. Le dernier port, D13, possède un indicateur lumineux, une LED qui s'allume quand le port est HIGH, et qui s'éteint quand le port est LOW. Le port GND est la masse de la carte (0 V).

II.3.1.2 Les entres sorties analogiques

Une entrée analogique sur Arduino agit comme un voltmètre : elle mesure la tension appliquée à la broche. Cependant, le microcontrôleur ne peut travailler qu'avec des valeurs numériques, il est donc nécessaire de convertir la tension en une valeur numérique. C'est là que le convertisseur analogique/numérique (CAN), également appelé CAD, intervient. Son rôle est de prendre la tension analogique en entrée et de la convertir en une valeur numérique que le microcontrôleur peut traiter. Ainsi, le CAD permet au microcontrôleur de comprendre et de manipuler les signaux analogiques en les convertissant en valeurs numériques.

La carte Arduino ne possède pas de vraie sortie analogique, capable de produire une tension d'une valeur arbitraire choisie par l'utilisateur

La façon dont le microcontrôleur gère ses entrées / sorties est fixée par un programme, contenu dans le microcontrôleur. Ce programme doit être écrit par l'utilisateur. En pratique, l'utilisateur écrit le programme en langage C, en utilisant un environnement de développement

spécialisé (IDE) installé sur un ordinateur. Ce programme est ensuite compilé et téléversé dans le microcontrôleur par liaison série (USB) [1].

II.4 Le Pic microcontrôleur

Un microcontrôleur est un circuit intégré programmable qui combine les éléments essentiels d'un ordinateur dans un seul boîtier. Il est conçu pour effectuer des tâches spécifiques de manière autonome, donc c'est l'équivalent de la structure complète d'un micro-ordinateur. La figure montre quels sont ces éléments dont voici les fonctions

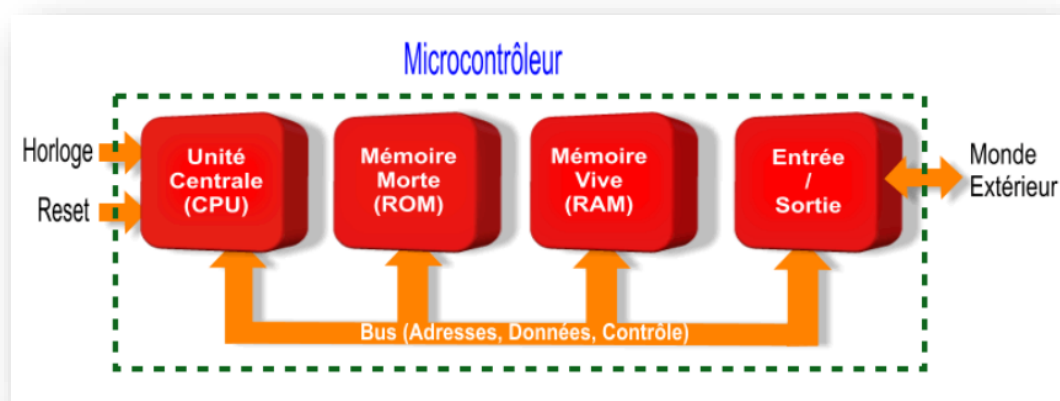


Figure 16 structure interne d'un microcontrôleur

L'unité centrale ou CPU est le composant central du microcontrôleur. Elle joue un rôle similaire au microprocesseur. L'unité centrale exécute le programme et contrôle tous les autres éléments du système. Elle est généralement dotée de deux connexions externes : une pour l'horloge et une pour la réinitialisation ou le reset.

La mémoire morte ou ROM est une mémoire qui conserve son contenu même en cas de coupure de courant. Elle contient le programme que l'unité centrale exécutera. Ainsi, la ROM personifie le circuit en définissant sa fonction, car c'est elle qui détermine le programme à exécuter.

La mémoire vive ou RAM est une mémoire dans laquelle l'unité centrale peut lire et écrire à tout moment. Elle est utilisée lors des phases de calcul du programme pour stocker des résultats intermédiaires et les variables d'une application.

Les entrées/sorties sont les interfaces qui permettent au microcontrôleur d'interagir avec le monde extérieur. C'est là que les périphériques tels que les afficheurs, les boutons poussoirs, les moteurs, les relais, etc., qui sont utilisés par l'application, sont connectés. Ainsi, les entrées/sorties fournissent les connexions nécessaires pour la communication entre le microcontrôleur et les différents composants externes.

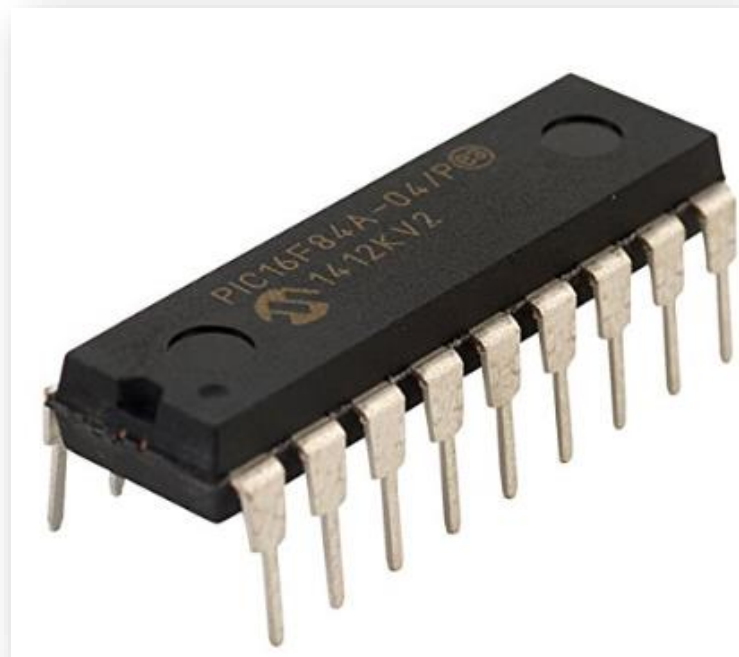


Figure 17 Le microcontrôleur PIC 16f84

II.5 L'automate programmable

Un automate programmable, également connu sous le nom d'automate programmable industriel (API), est un dispositif électronique utilisé pour contrôler et automatiser des processus industriels. Il est largement utilisé dans les usines et les installations de fabrication pour effectuer des tâches répétitives ou dangereuses de manière fiable et efficace.

L'automate programmable se compose généralement d'un boîtier électronique contenant un processeur, de l'électronique de commande et d'une interface de communication. Il est programmé à l'aide d'un logiciel spécifique qui permet à l'utilisateur de définir les instructions et les séquences d'opérations nécessaires pour accomplir une tâche particulière.

L'avantage principal d'un automate programmable réside dans sa capacité à être reprogrammé et reconfiguré pour différents processus ou applications. Cela offre une grande flexibilité aux entreprises, car elles peuvent facilement adapter l'automate à de nouvelles exigences ou opérations. De plus, les automates programmables permettent d'améliorer l'efficacité des opérations en réduisant les erreurs humaines et en accélérant les temps de production.



Figure 18 Automate programmable PLC siemens

Les automates programmables sont couramment utilisés dans de nombreux secteurs industriels, tels que l'automobile, la fabrication, la robotique, l'énergie, l'agriculture et bien d'autres. Ils peuvent être utilisés pour contrôler des machines, des robots, des systèmes de convoyage, des lignes de production, des systèmes de distribution d'énergie, des processus de traitement, etc.

II.5.1 Avantages des automates programmables

Les automates programmables offrent plusieurs avantages et présentent également certains inconvénients. Voici une liste des principaux points à considérer :

Avantages des automates programmables

1. **Flexibilité** : Les automates programmables peuvent être reprogrammés et reconfigurés pour s'adapter à différents processus ou applications, ce qui permet une grande flexibilité dans les opérations industrielles.
2. **Automatisation des tâches répétitives** : Ils sont spécialement conçus pour automatiser les tâches répétitives, ce qui réduit la charge de travail des opérateurs et augmente l'efficacité de la production.
3. **Sécurité améliorée** : Les automates programmables peuvent être utilisés pour effectuer des tâches dangereuses ou difficiles pour les humains, réduisant ainsi les risques d'accidents et d'erreurs humaines.
4. **Surveillance et contrôle précis** : Ils permettent de surveiller et de contrôler en temps réel les différentes variables du processus industriel, ce qui facilite la détection des problèmes et la prise de mesures correctives.
5. **Réduction des coûts** : L'automatisation avec des automates programmables peut entraîner une réduction des coûts de main-d'œuvre, une augmentation de la productivité et une optimisation des ressources.
6. **Intégration avec d'autres systèmes** : Les automates programmables peuvent être intégrés à d'autres équipements et systèmes, tels que des capteurs, des robots ou des systèmes de gestion, pour une automatisation plus complète.

II.5.2 Architecture des automates

II.5.2.1 L'aspect extérieur

Il existe deux types d'automates : compacts et modulaires.

Les automates compacts se distinguent par les modules de programmation tels que le LOGO de Siemens, le ZELIO de Schneider, le MILLENIUM de Crouzet.

Ils intègrent le processeur, l'alimentation, les entrées et les sorties. Selon les modèles et les fabricants, ils peuvent également offrir certaines fonctionnalités supplémentaires (comptage rapide, E/S analogiques, etc.) et recevoir des extensions en nombre limité.

Ces automates, conçus pour des opérations simples, sont généralement destinés à la commande de petits automatismes.

Quant aux automates modulaires, le processeur, l'alimentation et les interfaces d'entrées/sorties résident dans des unités séparées (modules) qui sont fixées sur un ou plusieurs racks contenant le "fond de panier" (bus et connecteurs).

Ces automates sont utilisés dans des systèmes automatisés complexes où puissance, capacité de traitement et flexibilité sont nécessaires [3].

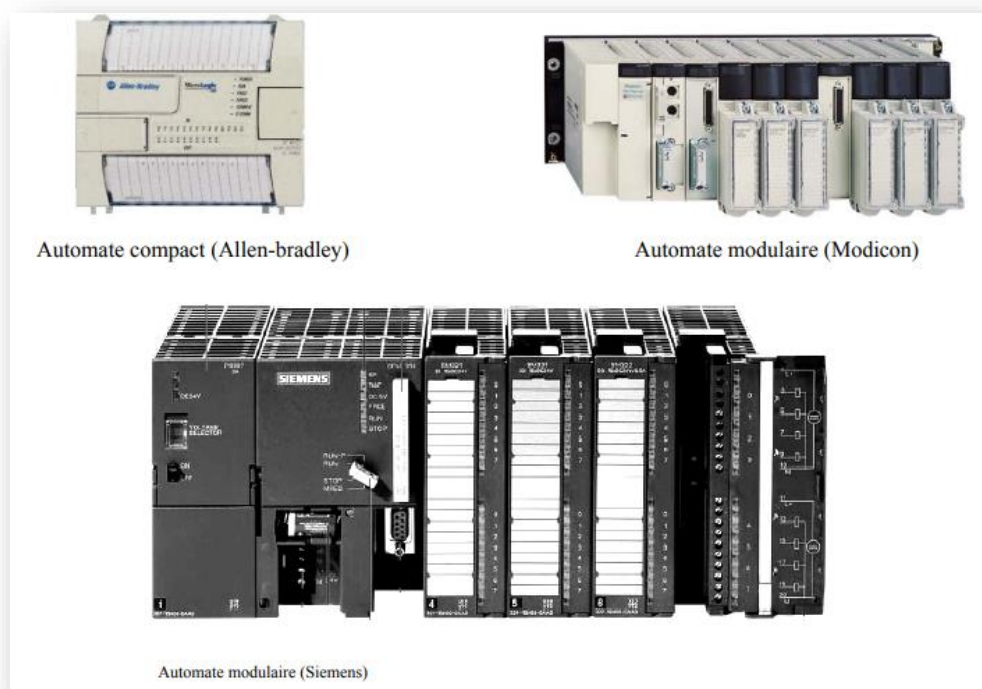


Figure 19 types des API compact et modulaire

II.5.2.2 Structure interne

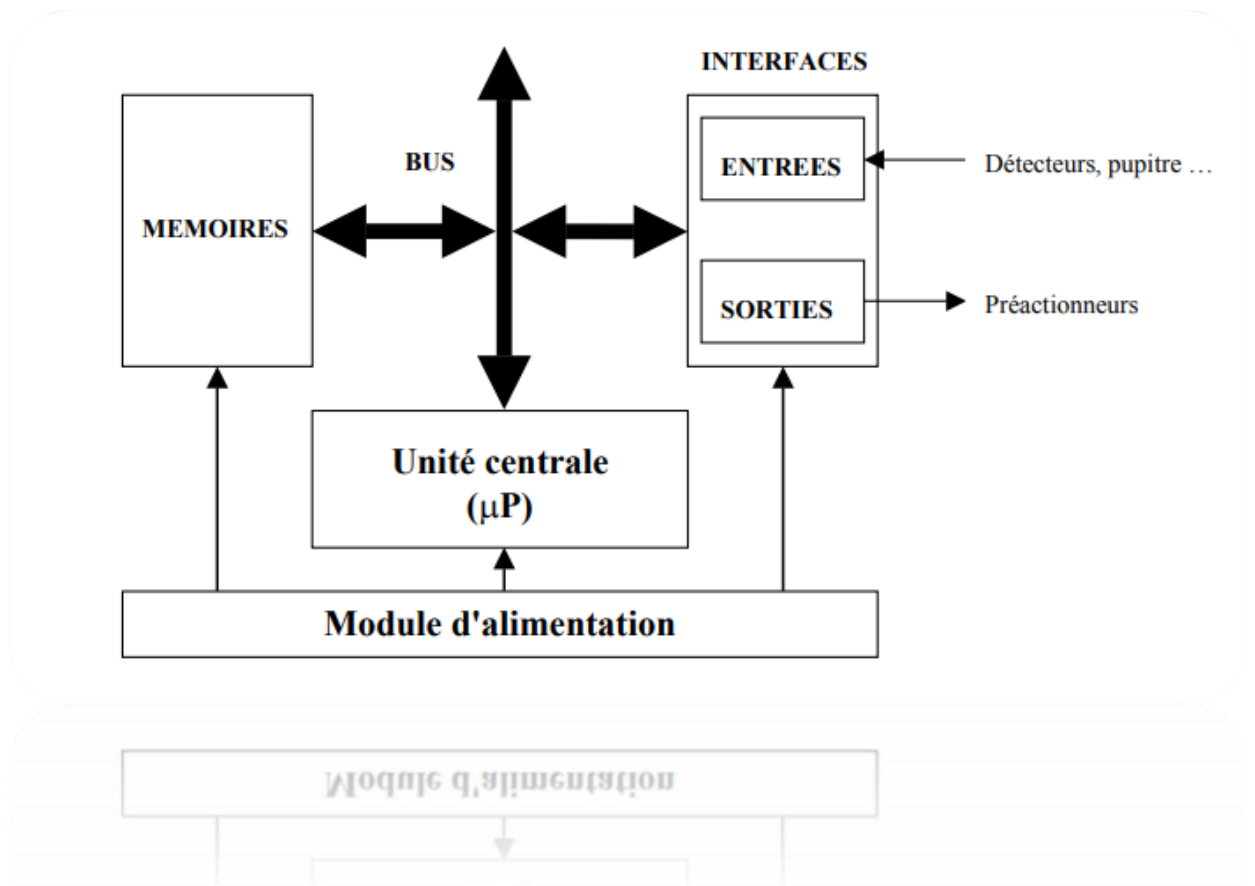


Figure 20 structure interne des API

Module d'alimentation : Il joue le rôle de fournir l'alimentation électrique aux différents modules.

Unité centrale : est responsable de l'exécution de toutes les opérations logiques, arithmétiques et de traitement numérique (telles que les transferts de données, le comptage, la temporisation, etc.).

Le bus interne : il permet la communication entre tous les blocs de l'automate ainsi que d'éventuelles extensions.

Mémoires : Ces mémoires ont pour fonction de stocker le système d'exploitation (ROM ou PROM), le programme (EEPROM) et les données système pendant le fonctionnement (RAM). La mémoire RAM est généralement sauvegardée par une pile ou une batterie pour maintenir son contenu en cas de coupure d'alimentation. En général, il est possible d'augmenter la capacité de mémoire en ajoutant des modules de mémoire de type PCMCIA.

Interfaces d'entrées / sorties :

f Interface d'entrée : elle permet de recevoir les informations du S.A.P. ou du pupitre et de mettre en forme (filtrage, ...) ce signal tout en l'isolant électriquement (optocouplage).

f Interface de sortie : elle permet de commander les divers préactionneurs et éléments de signalisation du S.A.P. tout en assurant l'isolement électrique.

II.5.2.3 Fonctions réalisées

Les automates compacts sont utilisés pour commander des sorties en technologie tout ou rien (T.O.R) et gèrent parfois des fonctions de comptage et de traitement analogique.

Les automates modulaires offrent de nombreuses autres fonctionnalités grâce à des modules intelligents qui sont installés sur un ou plusieurs racks. Ces modules ont l'avantage de décharger le travail du processeur principal (CPU) car ils sont souvent équipés de leur propre processeur [3].

II.5.2.4 Principales fonctions

f **Cartes d'entrées / sorties** : Disponibles en configurations de 4, 8, 16 ou 32, ces cartes peuvent être utilisées pour des fonctions d'entrées, de sorties, ou les deux à la fois.

Elles sont largement utilisées et les tensions disponibles sont normalisées (24, 48, 110 ou 230V en courant continu ou alternatif).

Les voies peuvent être indépendantes ou posséder des "communs".

Les cartes d'entrées sont utilisées pour collecter les informations provenant des capteurs, boutons, etc., qui y sont connectés, et pour les afficher sous forme d'un état binaire (bit image). Les cartes de sorties offrent deux types de technologies : les sorties à relais électromagnétiques (avec une bobine et un contact) et les sorties statiques (à base de transistors ou de triacs).

f **Cartes de comptage rapide** : sont conçues pour capturer des informations à des fréquences élevées qui ne sont pas compatibles avec le temps de traitement de l'automate. Un exemple courant est la réception d'un signal provenant d'un codeur de position.

f Cartes de commande d'axe : Ces cartes assurent un positionnement précis d'éléments mécaniques sur un ou plusieurs axes. Par exemple, elles peuvent piloter un servomoteur et recevoir les informations de positionnement à partir d'un codeur. L'asservissement de position peut être réalisé en boucle fermée pour garantir une précision optimale.

f Cartes d'entrées / sorties analogiques : Elles facilitent l'acquisition d'un signal analogique et sa conversion en signal numérique grâce à la conversion analogique-numérique (CAN), ce qui est essentiel pour permettre un traitement par le microprocesseur. De même, elles permettent la conversion inverse (sortie analogique) du signal. Les grandeurs analogiques couramment utilisées sont normalisées dans une plage de 0 à 10 volts ou de 4 à 20 milliampères.

II.5.3 Câblage des entrées / sorties d'un automate

II.5.3.1 Alimentation de l'automate

L'automate est généralement alimenté par un réseau monophasé de 230 volts et 50 hertz, mais d'autres types d'alimentation sont également possibles (par exemple, 110 volts, etc.). Pour assurer la protection, il est recommandé d'utiliser un dispositif de protection magnéto-thermique en fonction des spécifications de l'automate et des recommandations du fabricant. Il est également recommandé de contrôler l'alimentation de l'automate à l'aide d'un circuit de commande spécifique, tel qu'un contacteur KM1. De plus, les sorties de l'automate seront asservies au circuit de commande et alimentées après la validation du chien de garde [3].

II.5.3.2 Alimentation des entrées de l'automate

L'automate est généralement équipé d'une alimentation pour les capteurs/détecteurs (il convient de prêter attention au type de logique utilisée, qu'elle soit positive ou négative). Les entrées sont connectées au pôle commun (OV) de cette alimentation. Les informations provenant des capteurs/détecteurs sont ensuite traitées par les interfaces d'entrées de l'automate.

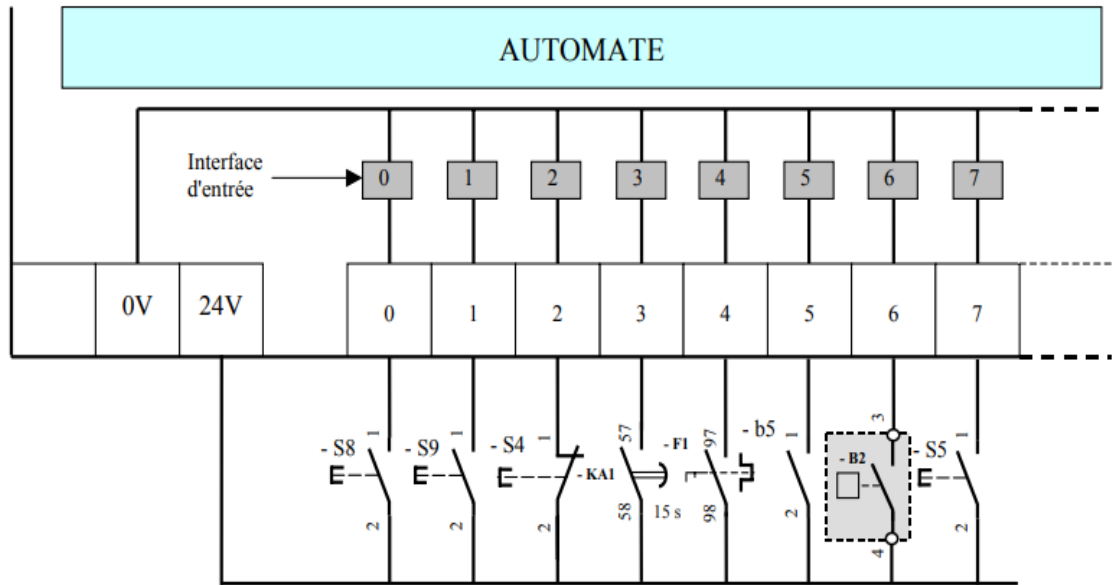


Figure 21 alimentation des entrées des API

II.5.3.3 Alimentation des sorties de l'automate

Les interfaces de sorties sont utilisées pour alimenter les différents préactionneurs. Il est recommandé d'équiper chaque préactionneur avec des relais de circuits RC pour assurer un fonctionnement optimal.

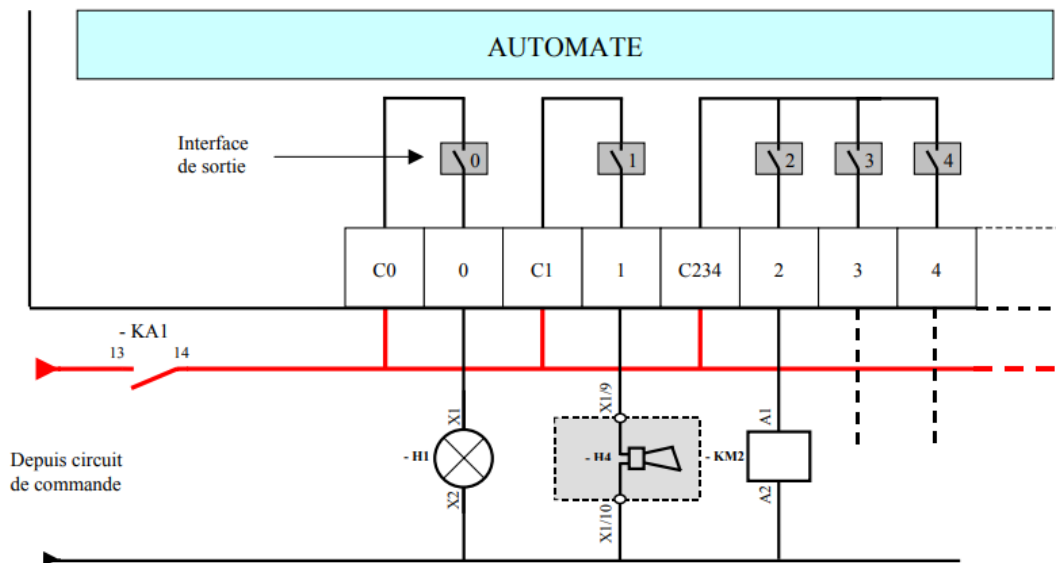


Figure 22 alimentation des sorties des API

II.5.4 Traitement du programme automate

Tous les automates utilisent le même mode opératoire de fonctionnement :

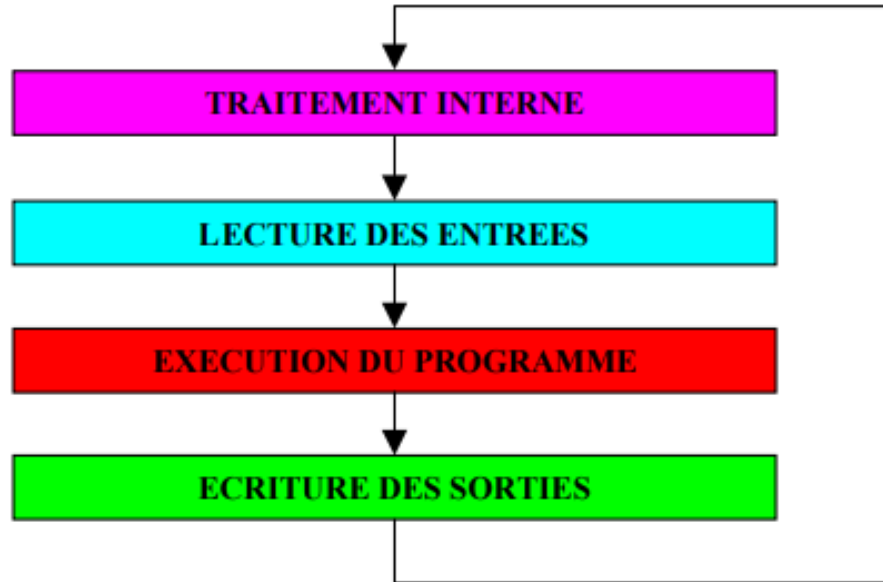


Figure 23 traitement du programme AUTOMATE

Traitement interne : L'automate exécute des opérations de contrôle et met à jour divers paramètres du système (détection des transitions entre les modes RUN / STOP, mise à jour des valeurs de l'horodateur, etc.).

Lecture des entrées : L'automate effectue une lecture synchrone des entrées et les enregistre dans la mémoire image des entrées.

Exécution du programme : L'automate exécute le programme instruction par instruction et écrit les sorties dans la mémoire image des sorties.

Ecriture des sorties : L'automate bascule les différentes sorties (de façon synchrone) aux positions définies dans la mémoire image des sorties.

Ces quatre opérations sont effectuées continuellement par l'automate (fonctionnement cyclique).

On appelle scrutation l'ensemble des quatre opérations réalisées par l'automate.

Le temps de scrutation correspond au temps nécessaire à l'automate pour traiter une partie spécifique du programme. Dans les applications standards, ce temps de scrutation est généralement de l'ordre de quelques dizaines de millisecondes.

II.5.5 Langages de programmation

Il existe quatre langages de programmation normalisés au niveau mondial pour les automates, conformément à la norme CEI 61131-3.

Chaque automate peut être programmé à l'aide d'une console de programmation spécifique ou d'un logiciel propriétaire fourni par le fabricant, soit directement sur l'automate lui-même, soit via un ordinateur.

II.5.5.1 Liste d'instructions IL

Langage textuel de même nature que l'assembleur (programmation des microcontrôleurs). Très peu utilisé par les automaticiens.

```
! %L0: LD      %I1.0
      ANDN   %M12
      OR (   %TM4.Q
      AND   %M17
      )
      AND   %I1.7
      ST    %Q2.5
! %L5: LD      %I1.10
      ANDN   %Q2.5
      ANDN   %M27
      IN    %TM0
      LD    %TM0.Q
      AND   %M25
      AND   %M000:Q5
      [%M005 := %M000+S00]
```

Figure 24 langage Instruction List

II.5.5.2 Langage littéral structuré ST

De même nature que le langage Pascal, ce langage informatique utilise des fonctions telles que "if...then...else..." (si...alors...sinon...). Cependant, il est peu utilisé par les automaticiens.

```

IF %M0 THEN
  FOR %M0099 := 0 TO 31 DO
    IF %M00100 [%M0089] < 0 THEN
      %M0010 := %M00100 [%M0089];
      %M0011 := %M0099;
      %M1 := TRUE;
      EXIT;      (*Sortie de la boucle FOR*)
    ELSE
      %M1 := FALSE;
    END_IF;
  END_FOR;
ELSE
  %M1 := FALSE;
END_IF;

```

Figure 25 langage littéral structuré

II.5.5.3 Langage à contacts Ladder Diagram LD

Le langage graphique développé pour les électriciens, Il utilise les symboles tels que des contacts, des relais et des blocs fonctionnels, et il s'organise en réseaux avec des labels. C'est le langage le plus largement utilisé.

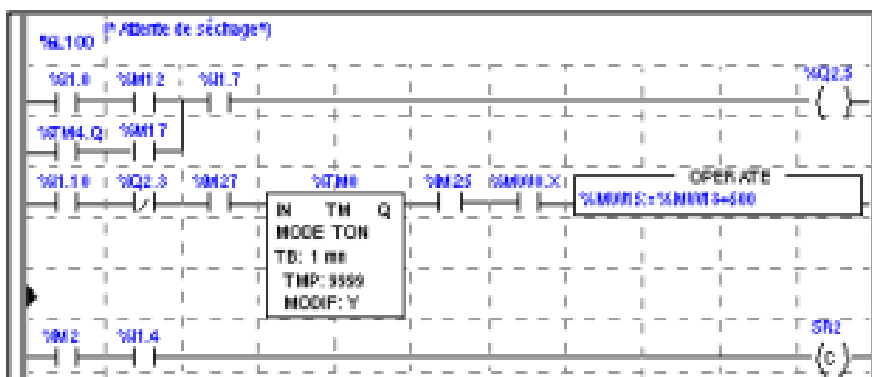


Figure 26 langage ladder

II.5.5.4 Function Bloc Diagram FBD

Le langage graphique utilise des rectangles pour représenter des fonctions, avec les entrées à gauche et les sorties à droite. Les blocs sont programmés(bibliothèque) ou programmables. Utilisé par les automaticiens.

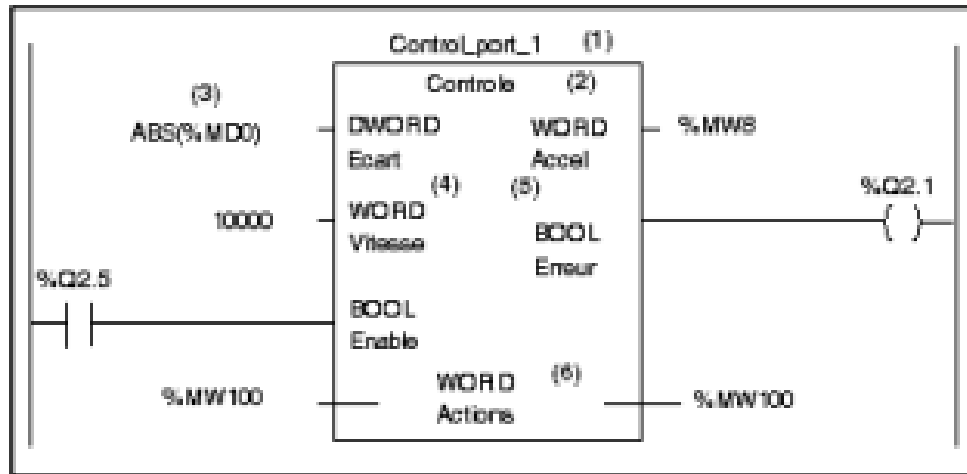


Figure 27 langage FBD

II.5.5.5 Programmation à l'aide du GRAFCET SFC

Le GRAFCET est un langage de spécification utilisé par certains constructeurs d'automates (comme Schneider, Siemens) pour la programmation. Il peut être associé à un autre langage de programmation et permet une programmation facile des systèmes séquentiels, facilitant la mise au point des programmes ainsi que le dépannage des systèmes. On peut également traduire un GRAFCET en langage à base de contacts et l'implémenter sur n'importe quel type d'automate.

Certains logiciels permettent une programmation totale en langage GRAFCET et permettent de s'adapter à la plupart des automates existants (logiciels CADEPA ou AUTOMGEN) [3].

II.5.6 Critères de choix d'un automate

La sélection d'un automate programmable dépend principalement de l'entreprise ou du groupe, et les contacts commerciaux et les expériences passées constituent déjà un point de départ. Les grandes sociétés préfèrent souvent choisir deux fabricants afin de stimuler la concurrence et pouvoir se tourner vers l'autre en cas de ralentissement de l'un d'entre eux.

Il est essentiel que le personnel de maintenance soit formé sur ces équipements, et une diversité excessive peut avoir de graves répercussions. Dans ce contexte, il est préférable d'opter pour un automate utilisant des langages de programmation de type GRAFCET, ce qui facilitera les mises au point et les dépannages dans les meilleures conditions [3].

Il faut ensuite quantifier les besoins :

Nombre d'entrées/sorties : Il est important de déterminer le nombre d'entrées et de sorties nécessaires pour le système à automatiser. Cela déterminera le nombre de cartes d'E/S et de racks requis.

Type de processeur : Le choix du processeur dépend de la taille de la mémoire, de la vitesse de traitement et des fonctionnalités spéciales requises. Il existe une gamme variée de processeurs offrant différentes capacités.

Logiciel de programmation : La disponibilité d'un logiciel de programmation convivial et puissant est un critère important. Il doit être facile à utiliser et offrir des fonctionnalités avancées pour programmer et configurer l'automate.

Coût : Le coût global de l'automate, y compris le matériel, le logiciel, doit être pris en compte pour déterminer la faisabilité du projet.

II.6 Les moteurs

Les moteurs jouent un rôle essentiel dans l'industrie, car ils permettent de convertir l'énergie électrique en énergie mécanique pour alimenter différents types de machines et équipements. Voici quelques-uns des moteurs couramment utilisés dans l'industrie.

II.6.1 Moteurs à courant alternatif

Les moteurs AC sont généralement classés en deux catégories principales : les moteurs asynchrones (ou moteurs à induction) et les moteurs synchrones. Les moteurs asynchrones sont les plus couramment utilisés et représentent une grande majorité des moteurs AC industriels.

Les moteurs asynchrones fonctionnent en utilisant un rotor en court-circuit et un stator qui génère un champ magnétique tournant. Lorsque le courant alternatif est appliqué au stator, il crée un champ magnétique tournant qui induit un courant dans le rotor. Ce courant induit crée à son tour un champ magnétique qui interagit avec le champ magnétique du stator, ce qui entraîne le mouvement du rotor. Les moteurs asynchrones sont dits "asynchrones" car la vitesse de rotation du rotor est légèrement inférieure à la vitesse de rotation du champ magnétique du stator. Cet écart de vitesse est connu sous le nom de glissement et permet au moteur de produire un couple de rotation.

Les moteurs synchrones, quant à eux, fonctionnent à une vitesse constante et synchronisée avec la fréquence du courant alternatif d'alimentation. Ils nécessitent une source de courant alternatif de fréquence et de phase constante pour maintenir leur synchronisation.

II.6.2 Moteurs à courant continu

Le fonctionnement d'un moteur à courant continu repose sur les principes fondamentaux de l'électromagnétisme. Il est composé de deux parties principales : le stator (partie fixe) et le rotor (partie mobile). Le stator est constitué d'aimants permanents ou de bobines de cuivre formant des pôles magnétiques. Le rotor, quant à lui, est constitué d'une bobine de fil de cuivre enroulée autour d'un noyau ferromagnétique. La bobine du rotor est également appelée l'induit.

Lorsqu'un courant électrique continu est appliqué aux bornes de l'induit, un champ magnétique est créé autour de celui-ci. Ce champ magnétique interagit avec le champ magnétique du stator, ce qui génère un couple qui fait tourner le rotor. La direction du courant électrique dans l'induit détermine la direction de rotation du moteur.

Pour contrôler la vitesse et le couple du moteur à courant continu, un dispositif de commande appelé contrôleur de vitesse est utilisé. Le contrôleur de vitesse régule la quantité de courant électrique qui circule dans l'induit, ce qui affecte la vitesse de rotation du moteur. En augmentant ou en diminuant le courant, il est possible de modifier la vitesse de rotation du moteur à courant continu de manière précise.

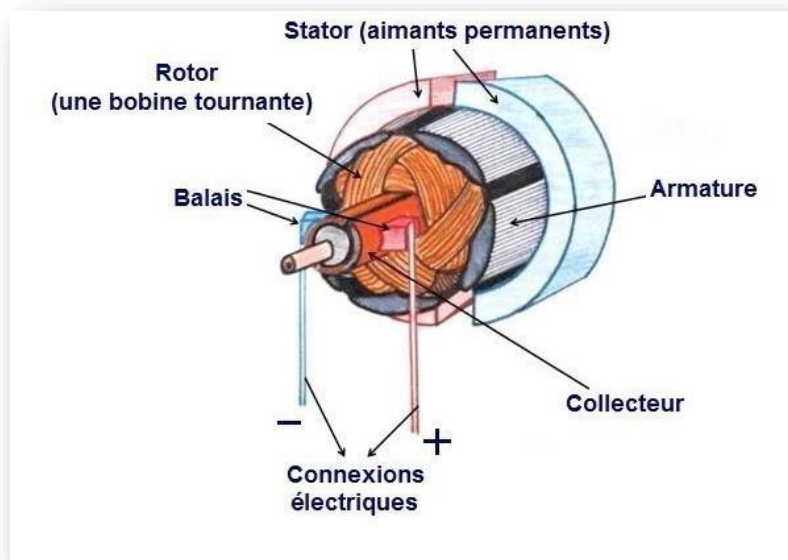


Figure 28 stator et rotor moteur DC

II.6.3 Moteurs pas à pas

Un moteur pas à pas est un dispositif qui convertit l'énergie électrique en mouvement mécanique. On lui fournit un courant continu dans une certaine séquence contrôlée, ce qui provoque la rotation du moteur. La rotation peut être continue, soit en marche avant, soit en marche arrière, ou nous pouvons contrôler la rotation par petits pas pour un contrôle de haute précision. De plus, le moteur peut s'arrêter à un point souhaité et maintenir cette position.

Les moteurs pas à pas sont beaucoup plus utiles dans l'automatisation et la fabrication, car ils offrent un contrôle de précision. C'est pourquoi nous trouvons des moteurs pas à pas utilisés partout, que ce soit dans les imprimantes 3D, les machines CNC, les scanners d'imprimante et même les soupapes d'expansion électronique dans les systèmes de réfrigération de précision.



Figure 29 pilote et contrôleur du moteur

Le moteur pas à pas est fixé à un entraînement qui contient essentiellement des commutateurs électroniques capables de s'activer et de se désactiver à grande vitesse. Un contrôleur détermine à quel moment ces interrupteurs doivent être activés et désactivés. Le contrôleur peut être une carte de circuit imprimé dédiée spécialement conçue pour cette application, telle qu'une carte PLC, ou même un petit Arduino simple et peu coûteux [6].

Les commutateurs permettent à l'électricité de circuler par impulsion dans les bobines du moteur. Chaque impulsion reçue fait tourner le moteur d'un pas. Un moteur pas à pas typique est conçu pour avoir 200 pas, ce qui signifie qu'il faut 200 impulsions pour effectuer une rotation complète de l'arbre. Chaque étape fait donc tourner l'arbre de 1,8 degrés.

La vitesse de commutation, c'est-à-dire l'ordre dans lequel les interrupteurs sont commandés, détermine la vitesse de rotation et le sens de rotation du moteur.

Il existe différents types de moteurs pas à pas. Le moteur hybride est le plus couramment utilisé. Il se compose de deux embouts et d'un corps principal. L'arbre dépasse d'une extrémité, et les connexions électriques se trouvent généralement à l'autre extrémité. À l'intérieur du moteur, deux roulements sont fixés à chaque extrémité de l'arbre pour maintenir l'arbre en place et assurer une rotation en douceur. Le rotor, qui est un aimant permanent, est fixé à l'arbre. Il est composé de deux moitiés appelées coupelles, l'une étant le pôle Nord et l'autre le pôle Sud. Les coupelles ont des dents décalées, ce qui permet un alignement magnétique avec les dents du stator [7].

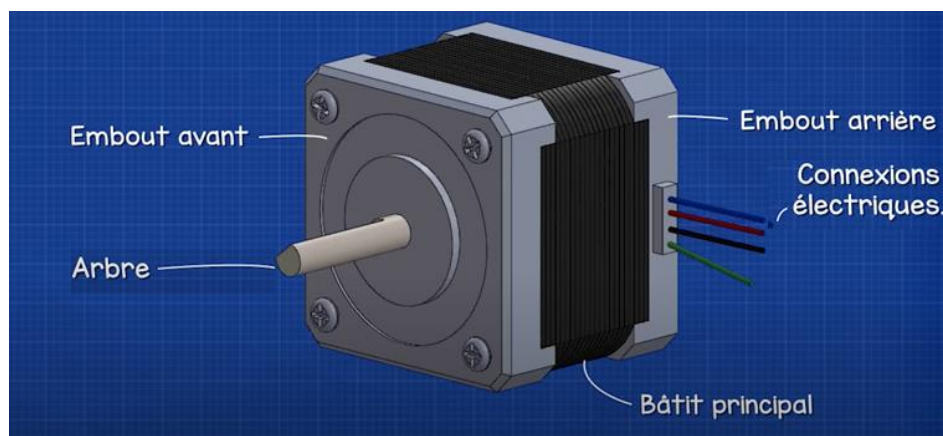


Figure 30 la composition du moteur

Le stator entoure le rotor et reste immobile. Il est composé d'un certain nombre de bobines de fil qui entourent le rotor. Les bobines ne sont pas toutes connectées ensemble. Par exemple, dans cet exemple (figure ci-dessus), 8 bobines sont connectées en deux groupes de 4. Le contrôleur contrôle le moment où le courant électrique peut circuler dans ces bobines, créant ainsi un champ électromagnétique qui provoque la rotation du moteur. Les dents présentes sur le périmètre interne du stator sont utilisées pour améliorer la précision du moteur et créer un alignement magnétique.

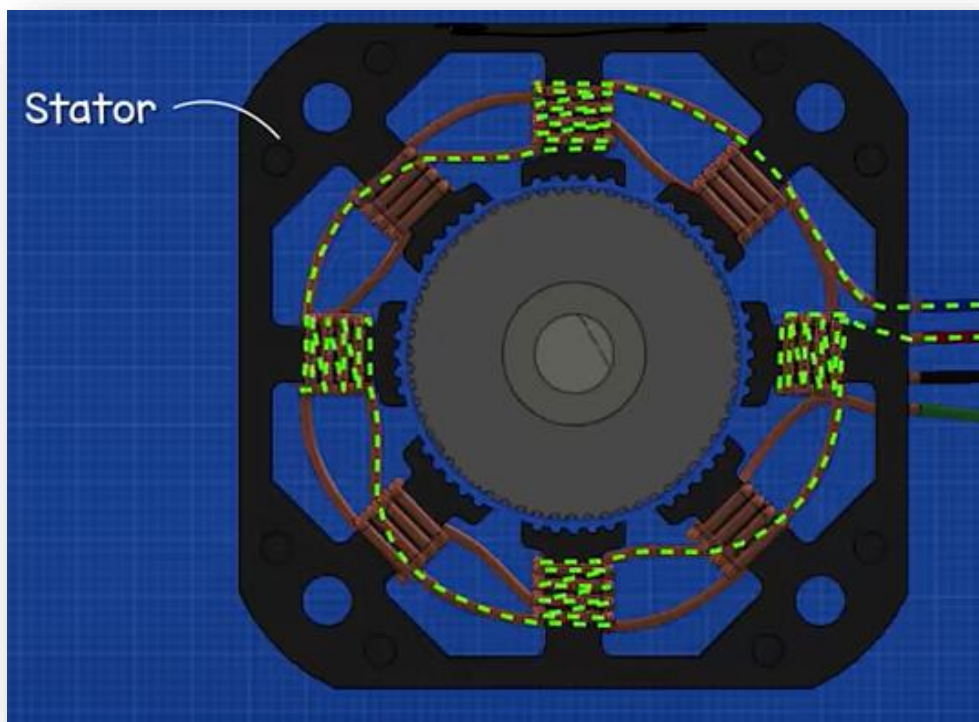


Figure 31 cas d'un stator avec 8 bobines

Ainsi, le moteur pas à pas est un composant essentiel dans de nombreuses applications où un contrôle précis du mouvement est nécessaire. Son fonctionnement basé sur des impulsions électriques permet un positionnement précis et une rotation contrôlée, le rendant idéal pour l'automatisation et la fabrication, **C'est pourquoi nous avons choisi de travailler avec ce moteur dans notre projet.**

II.7 Les capteurs

Les capteurs et les détecteurs ont pour rôle d'acquérir et de traiter des informations. Ils sont regroupés en quatre grandes familles, réparties en deux types : la détection avec contact et la détection sans contact.

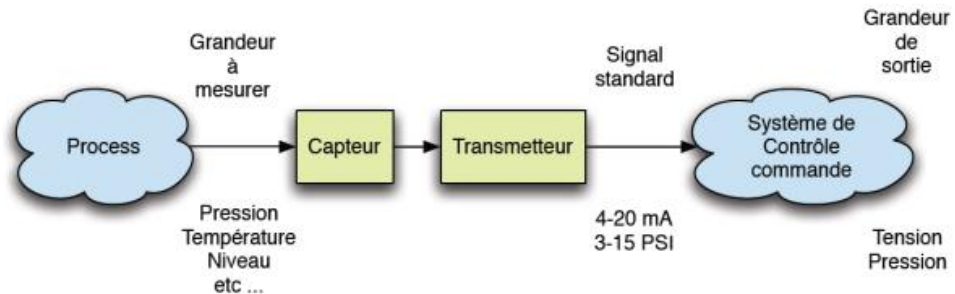


Figure 32 fonctionnement du capteur

II.7.1 Les interrupteurs de position

Fournissent une information lorsqu'ils entrent en contact avec un objet. Leurs avantages sont leur fiabilité, leur mise en œuvre simple et leur grande résistance aux conditions industrielles. Cependant, leur durée de vie peut être un inconvénient. Ils se composent de trois parties : un corps, une tête et un dispositif d'attaque.

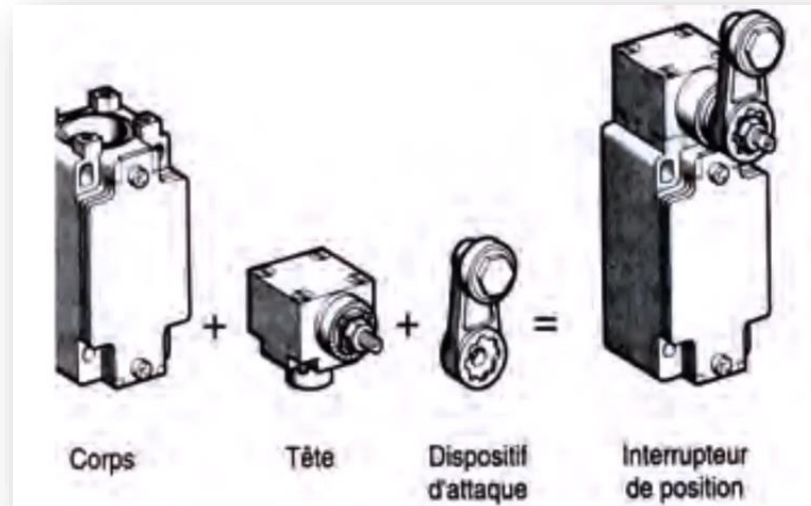


Figure 33 Les interrupteurs de position

II.7.2 Les détecteurs inductifs

Détectent les objets métalliques. Le principal avantage de cette technologie est l'absence de contact physique, ce qui évite l'usure et prolonge la durée de vie. Cependant, le prix élevé et la possibilité d'accumulation de poussière sont deux inconvénients de cette technologie.

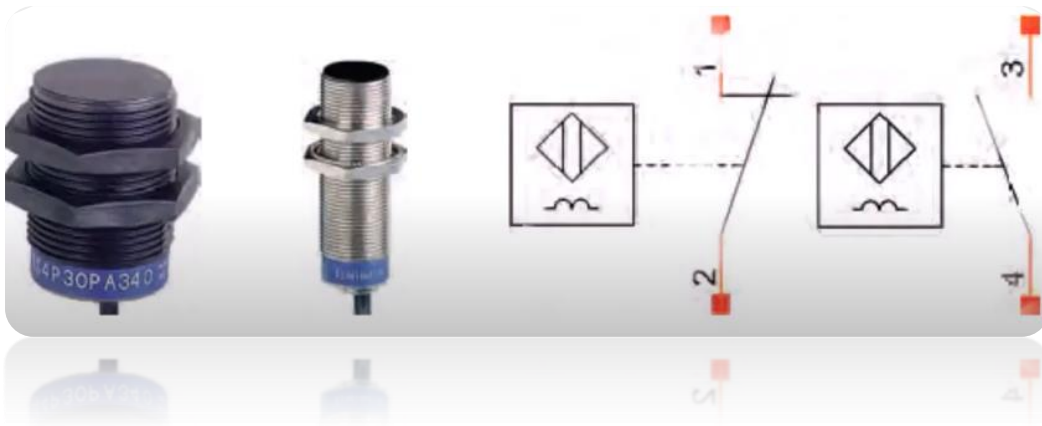


Figure 34 Les détecteurs inductifs

II.7.3 Les détecteurs capacitifs

Permettent la détection de tout type d'objets. Ils sont couramment utilisés pour le contrôle de remplissage de bouteilles ou de flacons. L'avantage de ces détecteurs est leur capacité à détecter différents matériaux sur de courtes ou de longues distances.

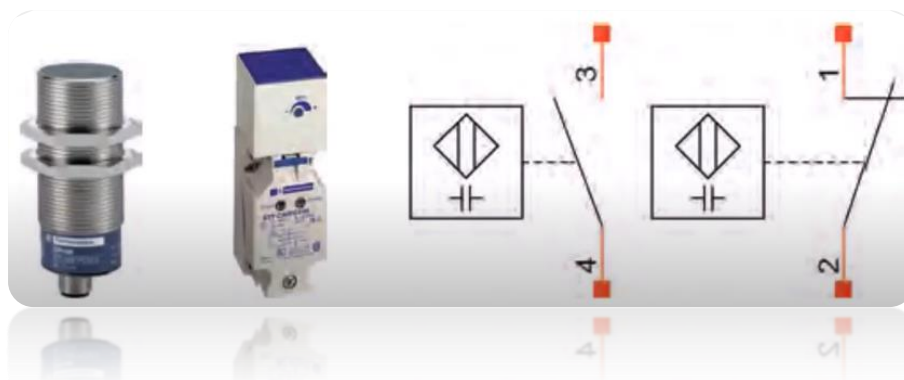


Figure 35 Les détecteurs capacitifs

II.7.4 Les détecteurs photoélectriques

Largement utilisés dans les environnements industriels et tertiaires, notamment pour le convoyage et la robotique. Ils permettent la détection de tous les matériaux, à courte ou longue distance. Cependant, leur prix élevé et leur sensibilité à la poussière peuvent affecter leur fonctionnement.

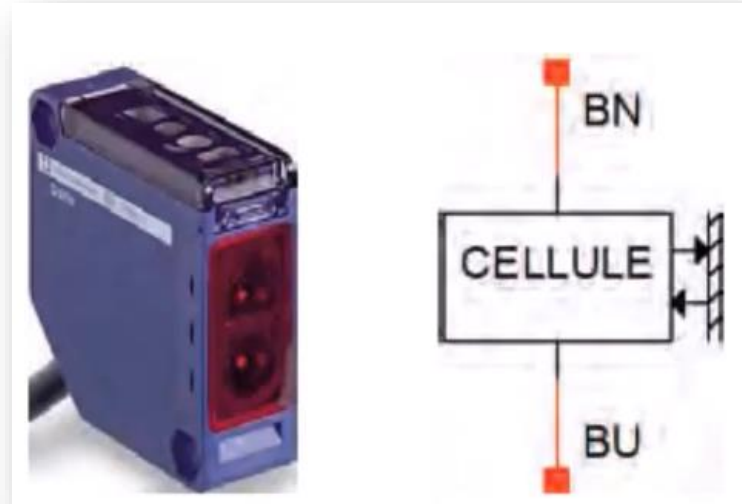


Figure 36 Les détecteurs photoélectriques

Il existe trois types d'utilisation pour ce type de détecteur :

Utilisation en barrages : Un émetteur et un récepteur sont situés dans deux boîtiers séparés, permettant la détection sur une distance pouvant aller jusqu'à 30 mètres.

Utilisation en système de proximité : L'émetteur et le récepteur sont regroupés dans un même boîtier, permettant la détection sur une distance pouvant aller jusqu'à 5 mètres. Cette configuration est couramment utilisée au début des convoyeurs.

Utilisation en détection à longue distance : Les émetteurs et récepteurs sont regroupés dans un même boîtier, permettant la détection sur une distance pouvant aller jusqu'à 10 mètres [9].

D'autres capteurs mesurent la pression (pressostat), la dépression (vacuostat), la température (thermostat), et il existe également des capteurs à fibre optique et à ultrasons utilisés pour le contrôle d'accès de zones dangereuses ou interdites.

II.7.5 Le choix d'un capteur

Pour choisir le capteur approprié, il faut prendre en compte certaines conditions, parmi les plus importantes :

Nature de la grandeur à mesurer : Il est essentiel de déterminer quelle grandeur physique doit être mesurée. Dans notre cas, nous pouvons travailler avec un capteur capacitif, car il détecte tous types d'objets, y compris les objets non métalliques. La plaque à détecter n'est pas en métal, donc un capteur capacitif serait approprié dans cette situation.

Plage de mesure : Il faut déterminer la gamme de valeurs dans laquelle la grandeur physique doit être mesurée. Certains capteurs ont des plages de mesure spécifiques, il est donc important de choisir un capteur adapté à la plage de valeurs requise, dans notre cas un capteur avec une plage de détection environ 5 centimètres.

Précision : La précision de la mesure est un critère important. Certains capteurs offrent une précision plus élevée que d'autres, il convient donc de choisir celui qui répond aux exigences de précision de l'application.

Environnement d'utilisation : Il est important de prendre en compte les conditions environnementales dans lesquelles le capteur sera utilisé. Cela inclut des facteurs tels que la température, l'humidité, la présence de poussière, les vibrations, etc. Certains capteurs sont conçus pour fonctionner dans des environnements difficiles, tandis que d'autres peuvent être sensibles à ces conditions.

II.8 Conclusion

En conclusion, nous avons examiné en détail tous les composants, y compris le microcontrôleur, les capteurs et les moteurs nécessaires pour notre projet "la porte automatique de la machine".

Nous avons également souligné l'importance de chaque composant dans la réalisation de ce projet.

Chapitre 3

Réalisation du système automatique

III Réalisation du système automatique

Introduction

L'objectif de ce chapitre est de comprendre le rôle essentiel de chaque composant et comment ils contribuent à la réalisation de notre projet. Nous aborderons le choix des capteurs et leur emplacement crucial pour une performance optimale. Ensuite, nous étudierons en détail le PLC, les moteurs et les boutons poussoirs, et leur impact sur le système global de la porte automatique. Préparez-vous à découvrir comment ces composants forment une solution intégrée efficace.

III.1 Le branchement PLC moteur

Pour contrôler le moteur, nous utilisons un driver moteur que nous avons sélectionné et le connectons au PLC choisi.

Le driver moteur permet de réguler le sens de rotation du moteur en fonction des signaux émis par le PLC. Le branchement de ces composants est effectué selon le schéma présenté ci-dessous, assurant ainsi une connexion appropriée et un fonctionnement optimal du système.

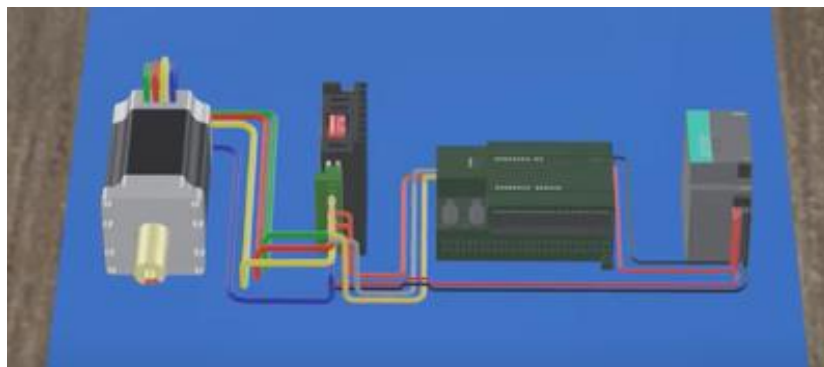


Figure 37 Le branchement PLC moteur

Le driver moteur est conçu pour recevoir les signaux de commande du PLC et les convertir en signaux électriques adaptés pour le moteur. Il régule le sens de rotation du moteur, permettant ainsi à la porte de s'ouvrir ou de se fermer selon les instructions du système.

La sélection d'un driver moteur approprié est cruciale pour assurer une compatibilité avec le moteur utilisé et garantir un contrôle précis et fiable. Des facteurs tels que la capacité de courant, la tension de fonctionnement et les fonctionnalités de protection doivent être pris en compte lors du choix du driver moteur.

III.2 L'emplacement des composant

II.2.1 Capteur 1 ouverture porte d'entrée

Dans le cadre de notre projet, nous avons sélectionné le capteur photoélectrique carré Sick (représenté ci-dessous) pour détecter la présence de la carte à l'entrée et à la sortie de la machine.



Figure 38 capteur photoélectrique

Son rôle essentiel est de détecter la présence de la carte et, dès que celle-ci est détectée, le PLC émet un ordre pour activer le moteur. Le moteur, lorsqu'il est en rotation, entraîne le système de pignon-crémaillère (qui sera détaillé dans les prochaines pages), ce qui permet l'ouverture de la porte.

Lorsqu'il est activé, le capteur émet un faisceau de lumière, généralement infrarouge, et surveille si ce faisceau est interrompu ou réfléchi par un objet à proximité. Lorsque l'objet se trouve à une distance prédéterminée du capteur, il bloque le faisceau lumineux, ce qui déclenche une réponse du capteur.

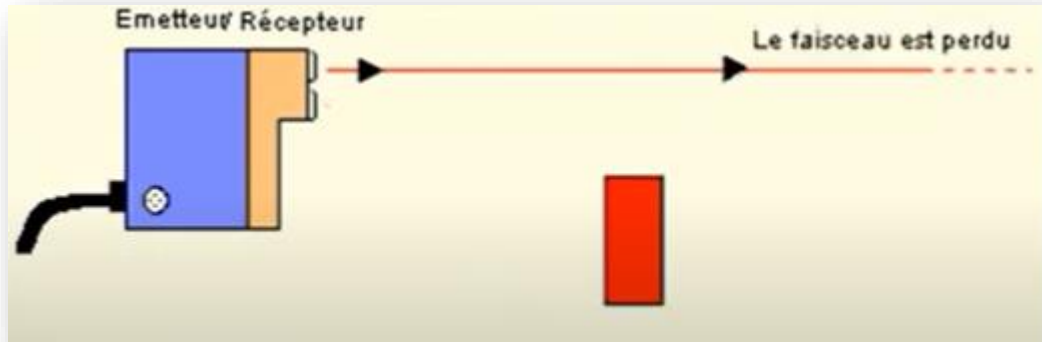


Figure 39 l'émetteur récepteur en absence d'objet

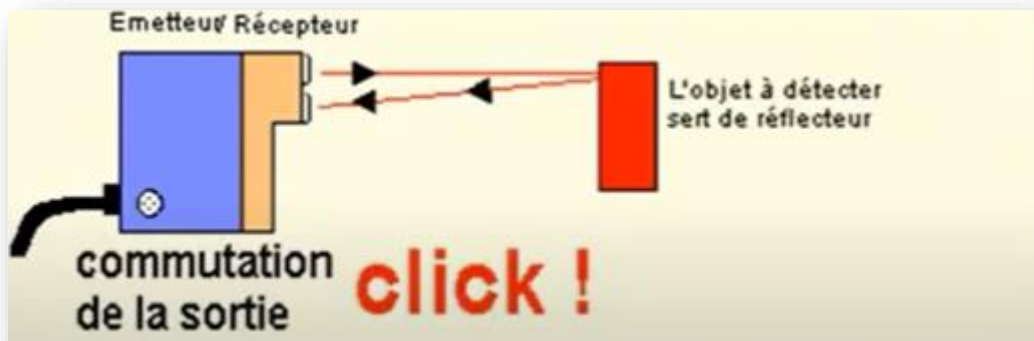


Figure 40 capteur en cas de détection d'un objet

Les capteurs photoélectriques de proximité fonctionnent selon le principe de détection de la lumière réfléchié ou diffusée par un objet. Voici un aperçu général de leur fonctionnement

Émission de lumière : Le capteur photoélectrique de proximité émet une lumière généralement infrarouge (IR) à partir d'une diode émettrice de lumière. Cette lumière est dirigée vers la zone de détection.

Réflexion ou diffusion de la lumière : Lorsque la lumière émise par le capteur rencontre un objet dans sa zone de détection, elle peut être réfléchié par l'objet en direction du capteur. Dans certains cas, la lumière peut également être diffusée par l'objet.

Réception du signal : Le capteur photoélectrique possède une diode réceptrice sensible à la lumière, généralement placée à côté de la diode émettrice. Lorsque la lumière réfléchié ou diffusée atteint la diode réceptrice, elle génère un courant électrique proportionnel à l'intensité de la lumière détectée.

Conversion du signal : Le courant électrique généré par la diode réceptrice est converti en un signal électrique correspondant à la présence ou à l'absence d'un objet dans la zone de détection. Ce signal ensuite sera utilisé pour la mise en marche d'un moteur.

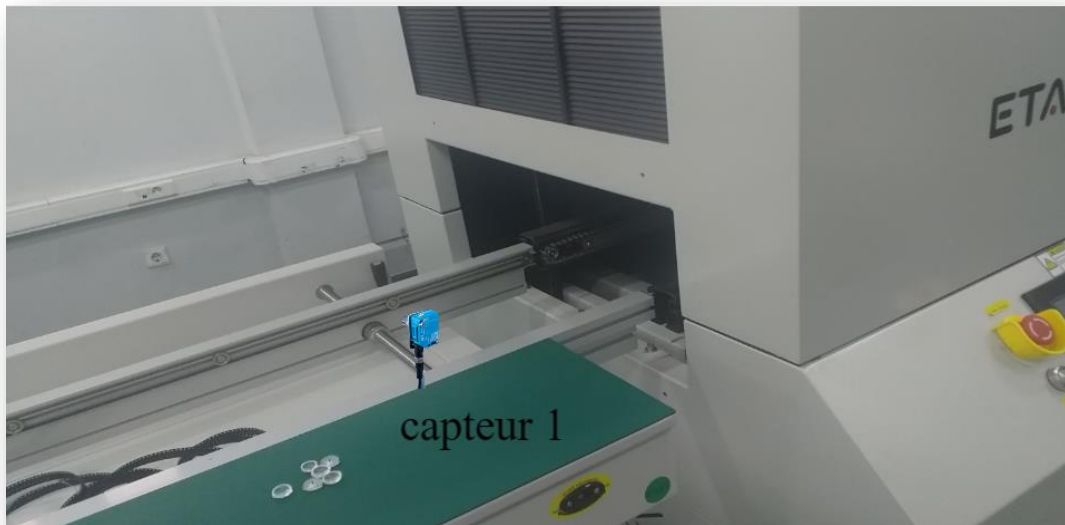


Figure 41 l'emplacement de capteur 1

Pour permettre l'ouverture de la porte, Ces conditions doivent être remplies. Tout d'abord, la carte doit être présente. Dans notre configuration, nous utilisons un capteur pour détecter la présence de la carte à proximité de la porte. Lorsque la carte est détectée, un signal est envoyé au système de contrôle pour déclencher l'ouverture de la porte.

Cependant, il existe une autre condition nécessaire. La machine doit être vide à l'intérieur, c'est-à-dire qu'il ne doit pas y avoir de cartes présentes. Pour s'assurer de cela, nous avons mis en place un compteur dans le programme qui compte le nombre de cartes entrant et sortant de la machine. Si le nombre de cartes entrantes et sortantes est égal, cela signifie qu'il n'y a pas de cartes à l'intérieur de la machine.

Lorsque ces deux conditions sont satisfaites, c'est-à-dire que la carte est présente et que la machine est vide, le capteur sera activé pour détecter les objets et déclencher l'ouverture de la porte.

Cette configuration garantit que la porte ne s'ouvre que lorsque les conditions requises sont remplies, assurant ainsi un fonctionnement sûr et efficace du système de porte automatique.

III.2.2 Capteur 2 fermeture porte d'entrée

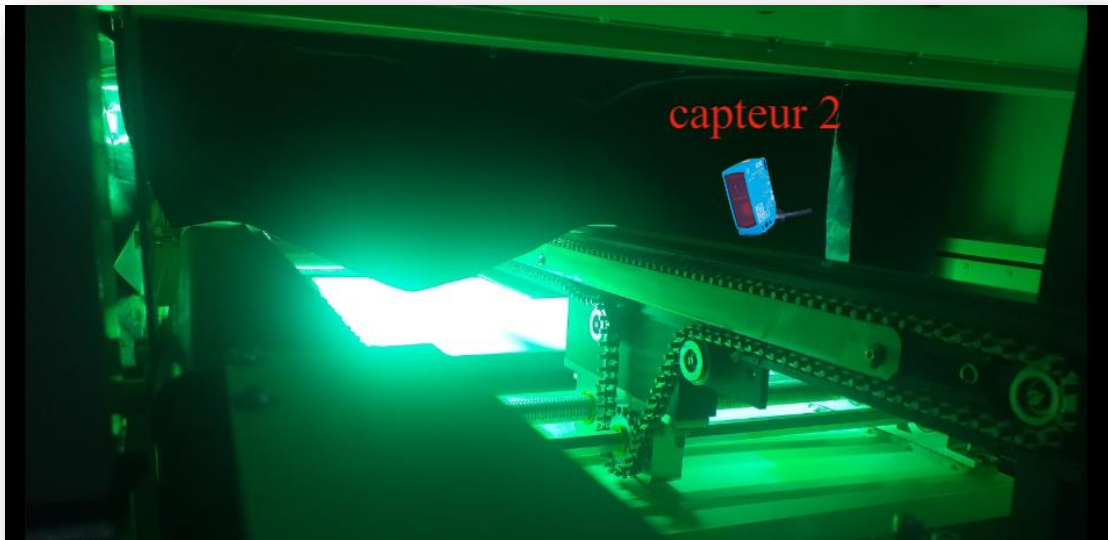


Figure 42 l'emplacement de capteur 2

Pour le deuxième capteur, il s'agit toujours du même type, mais cette fois il est utilisé pour transmettre l'ordre à l'automate de faire tourner le moteur dans le sens opposé (fermeture de la porte) lorsque la carte est détectée par le capteur, indiquant ainsi qu'elle est entrée dans la machine.

III.2.3 Capteur 3 ouverture porte de sortie

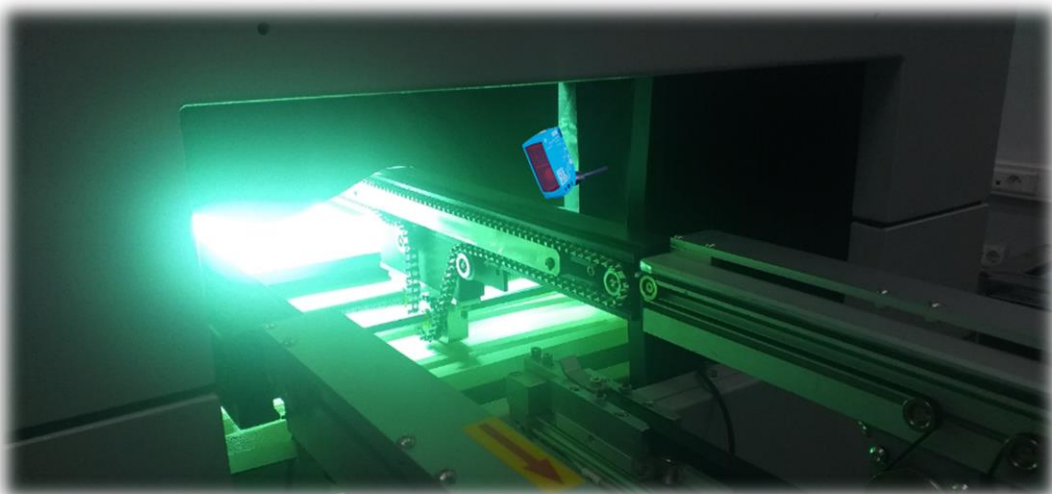


Figure 43 l'emplacement de capteur 3 sortie

Le capteur 3, positionné à la sortie des cartes de la machine, détecte lorsque la carte se rapproche de la porte de sortie à une distance de 5 cm. Lorsque la carte est détectée, le capteur transmet un signal à l'automate, lui ordonnant de faire tourner le deuxième moteur dans le sens normal, ce qui entraîne l'ouverture de la porte de sortie.

III.2.4 Capteur 4 fermeture porte de sortie

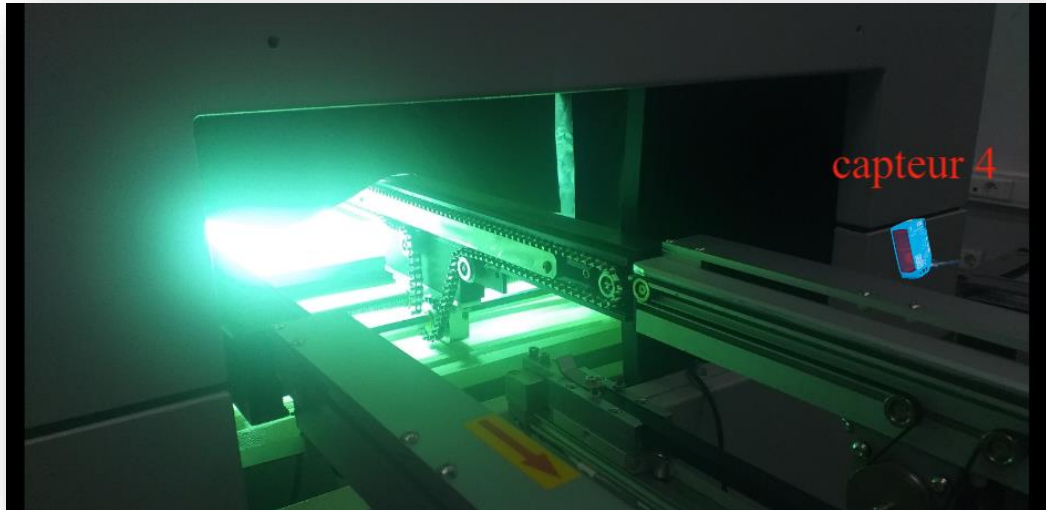


Figure 44 l'emplacement de capteur 4

Le capteur 4 est positionné à la sortie de la machine. Lorsqu'il détecte la présence de la carte, il émet un signal qui déclenche le mouvement du moteur 2 dans le sens de fermeture, entraînant ainsi la fermeture de la porte de sortie.

III.2.5 Les boutons poussoirs

Dans le mode manuel nous utilisons des boutons poussoir pour contrôler la porte



Figure 45 bouton poussoir vert NO

Dans notre configuration, nous avons choisi d'utiliser deux types de boutons poussoirs pour contrôler l'ouverture et la fermeture de la porte. Le premier type est un bouton poussoir normalement ouvert de couleur verte. Lorsque nous souhaitons ouvrir la porte, nous appuyons sur ce bouton poussoir normalement ouvert. Cela permet le passage du courant électrique et envoie un signal au contrôleur programmable (PLC). En fonction du programme, le PLC active le premier moteur dans le sens de l'ouverture de la porte.



Figure 46 symbole NO



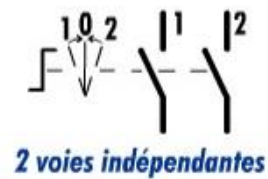
Figure 47 bouton poussoir rouge

Et pour activer la fermeture de la porte, nous utilisons un deuxième type de bouton poussoir, qui est normalement fermé et de couleur rouge. Lorsque nous appuyons sur ce bouton poussoir normalement fermé, le circuit électrique est interrompu, ce qui envoie un signal au contrôleur programmable (PLC). En fonction du programme, le PLC active le moteur dans le sens de la fermeture de la porte. Ce mécanisme assure une fermeture sécurisée et contrôlée, garantissant ainsi un fonctionnement fiable du système de porte.

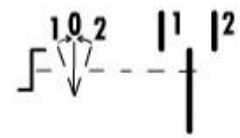


Figure 48 symbole bouton NC

III.2.6 Commutateur



2 voies indépendantes



2 voies avec borne commune

3 positions (seule la position 0 est fixe) :
position 0- position repos, aucun contact actionné
position 1- contact 1 fermé
position 2- contact 2 fermé

Figure 49 commutateur symbole

Nous utilisons un commutateur pour permettre la sélection entre le mode manuel et le mode automatique. Ce commutateur offre la flexibilité de choix en fonction des besoins et des préférences de l'utilisateur. En position "manuelle", l'utilisateur a un contrôle direct sur les actions, telles que l'ouverture et la fermeture de la porte, en activant les boutons poussoirs appropriés. En position "automatique", le système est configuré pour fonctionner de manière autonome, en se basant sur les signaux des capteurs et les instructions programmées dans le contrôleur. Ainsi, l'utilisation du commutateur permet de passer facilement d'un mode à l'autre, offrant une plus grande flexibilité d'utilisation et s'adaptant aux besoins spécifiques de chaque situation.



Figure 50 la machine avec les boutons poussoir

III.2.7 Capteur fin de course

Dans notre configuration, nous avons décidé d'utiliser des capteurs fin de course pour contrôler le mouvement de la porte.

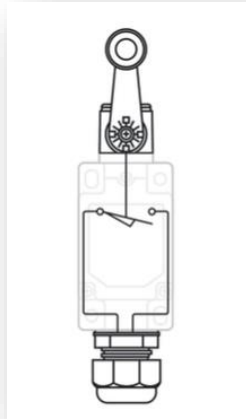


Figure 51 symbole capteur fin de course

Lorsque le moteur est en marche, le système de pignon et crémaillère est activé, ce qui permet à la porte de s'ouvrir ou de se fermer jusqu'à ce qu'elle entre en contact avec le capteur fin de course correspondant.



Figure 52 le capteur en contact avec la porte

Chaque porte est équipée de deux capteurs fin de course : un capteur en position haute pour détecter lorsque la porte est entièrement ouverte, et un capteur en position basse pour détecter lorsque la porte est entièrement fermée. Lorsque l'un de ces capteurs entre en contact avec la porte, il envoie un signal au contrôleur programmable (PLC) pour arrêter le moteur, assurant ainsi un positionnement précis et sécurisé de la porte. Au total, nous utilisons donc quatre capteurs fin de course, deux pour chaque porte, afin de garantir un fonctionnement fiable et contrôlé du système de porte.



Figure 53 capteur fin de course fonctionnement

Lors de l'étalonnage, nous procédons à des réglages précis des capteurs fin de course afin de déterminer avec précision les positions exactes où la porte est complètement ouverte et complètement fermée. Cela implique d'ajuster les seuils de détection des capteurs pour qu'ils correspondent aux positions physiques réelles de la porte.

Une fois l'étalonnage effectué, les capteurs fin de course sont prêts à fonctionner de manière fiable et précise. Lorsque la porte se déplace, les capteurs détectent avec précision le contact de la porte avec les positions haute et basse préalablement déterminées

III.2.8 Le moteur avec le système pignon crémaillère

Dans notre système, nous avons utilisé un système de pignon et crémaillère pour convertir le mouvement de rotation du moteur en un mouvement de translation permettant à la porte de se déplacer de haut en bas, c'est-à-dire de s'ouvrir et de se fermer. La porte a une longueur de 30 cm, ce qui signifie que la crémaillère doit avoir une longueur double, soit 60 cm.

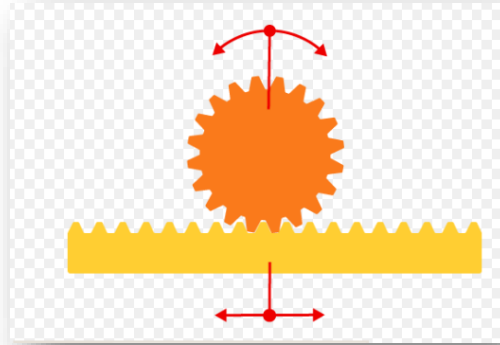


Figure 54 pignon crémaillère

Le pignon, attaché à l'arbre du moteur, s'engage avec la crémaillère qui est fixée à la porte. Lorsque le moteur est en marche, la rotation du pignon entraîne le déplacement de la crémaillère dans un mouvement de translation. Ce mouvement de translation permet à la porte de se déplacer le long de son axe, lui permettant ainsi de s'ouvrir ou de se fermer selon les besoins.

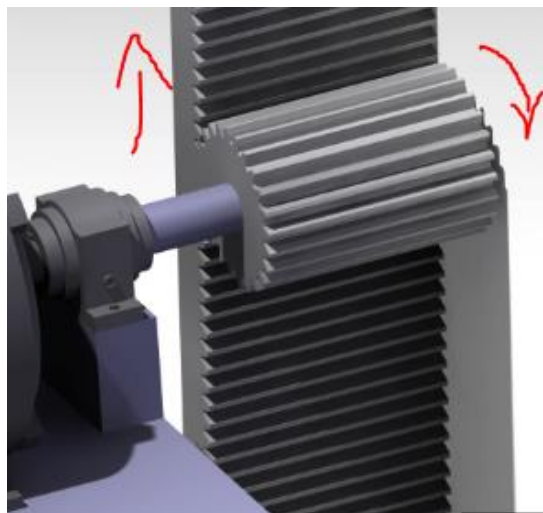


Figure 55 branchement moteur avec le système

Il est essentiel que la longueur de la crémaillère soit adaptée à la longueur de la porte pour assurer un mouvement fluide et efficace. La crémaillère de 60 cm assure une correspondance appropriée avec la longueur de la porte de 30 cm, garantissant ainsi un mouvement de porte précis et sans à-coups.

Ce système de pignon et crémaillère est couramment utilisé dans les applications de contrôle de porte en raison de sa simplicité, de sa fiabilité et de son efficacité. Il offre une transmission de mouvement efficace du moteur vers la porte, permettant ainsi un fonctionnement fluide et précis du système de porte.



Figure 56 moteur pas à pas branchées avec un pignon crémaillère

Pour notre système, nous avons opté pour l'utilisation d'un moteur pas à pas Nema 17 en raison de ses caractéristiques avantageuses. Ce type de moteur offre une précision élevée, ce qui est essentiel pour assurer un positionnement précis de la porte. La rotation du moteur pas à pas se fait par incréments, ce qui permet un contrôle précis du mouvement de la porte, notamment lors de l'ouverture et de la fermeture.

III.2.3 Branchement des capteurs avec le PLC

Un PLC (Contrôleur Logique Programmable) contient quatre types de modules pour connecter les capteurs et les actionneurs. Il existe des modules d'entrée numérique et de sortie numérique, qui sont utilisés pour des signaux tout ou rien (TOR). Il y a également des modules d'entrée analogique et de sortie analogique.

Dans notre cas, nous travaillons avec des capteurs qui détectent si un objet est présent ou non, ce qui nécessite une logique tout ou rien. Par conséquent, nous utilisons des modules d'entrée numérique et de sortie numérique. Le branchement des modules d'entrée avec nos composants se fait comme indiqué sur la photo ci- dessous.

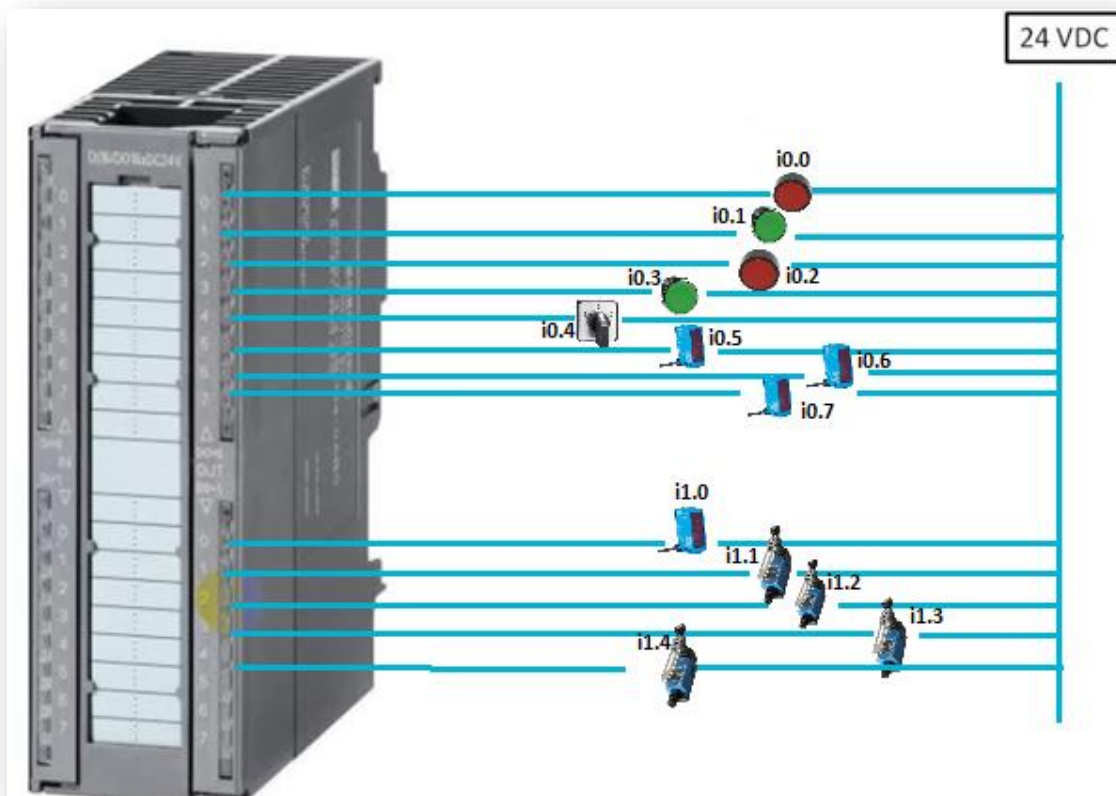


Figure 57 Branchement des input au module PLC

III.2.4 Programmation du PLC

Pour la programmation du PLC, nous utilisons le langage LADDER, qui est un langage simple et largement utilisé.

Le programme est comme suite.

III.2.4.1 Mode manuel

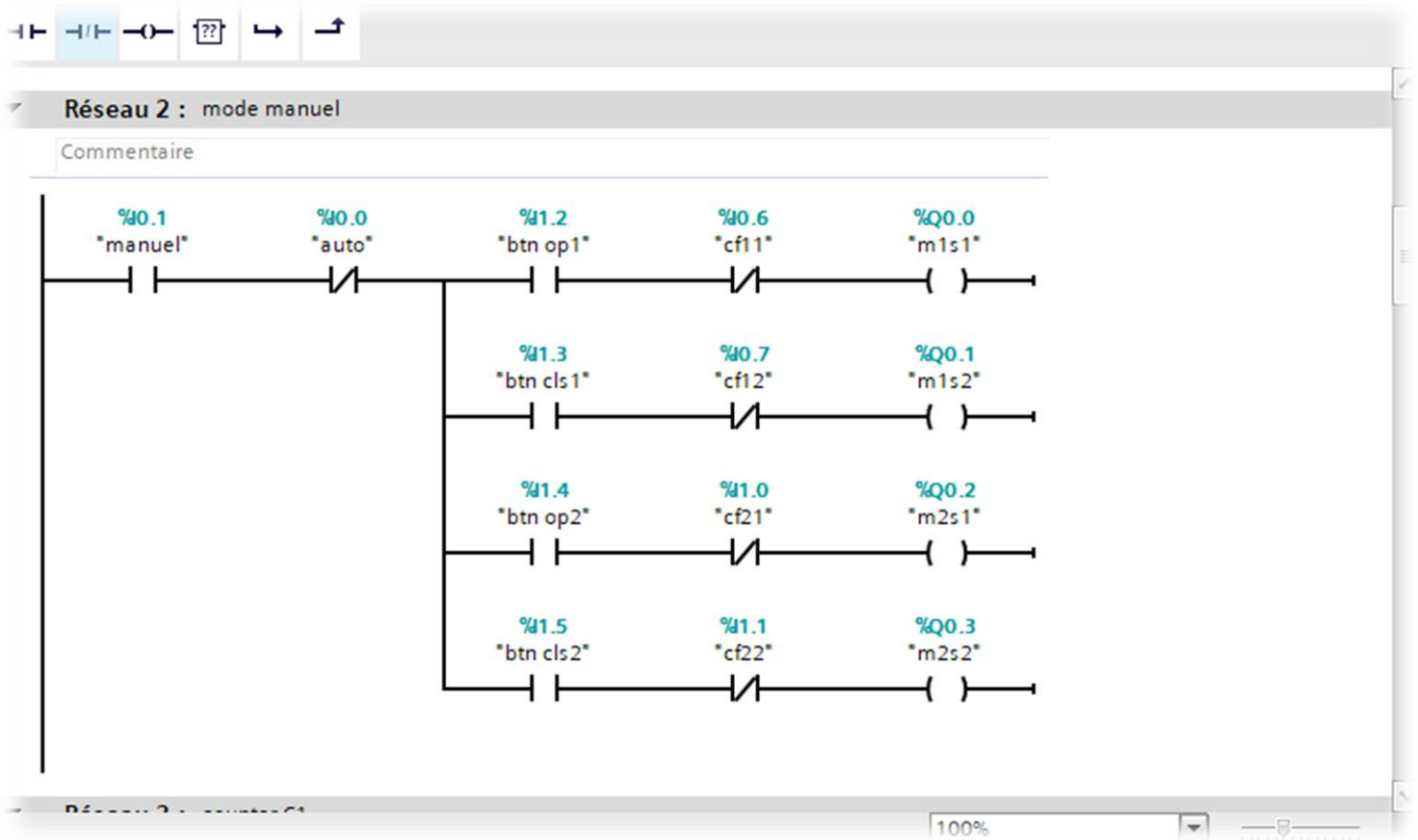


Figure 58 Programme du mode Manuel

III.2.4.2 Mode Automatique

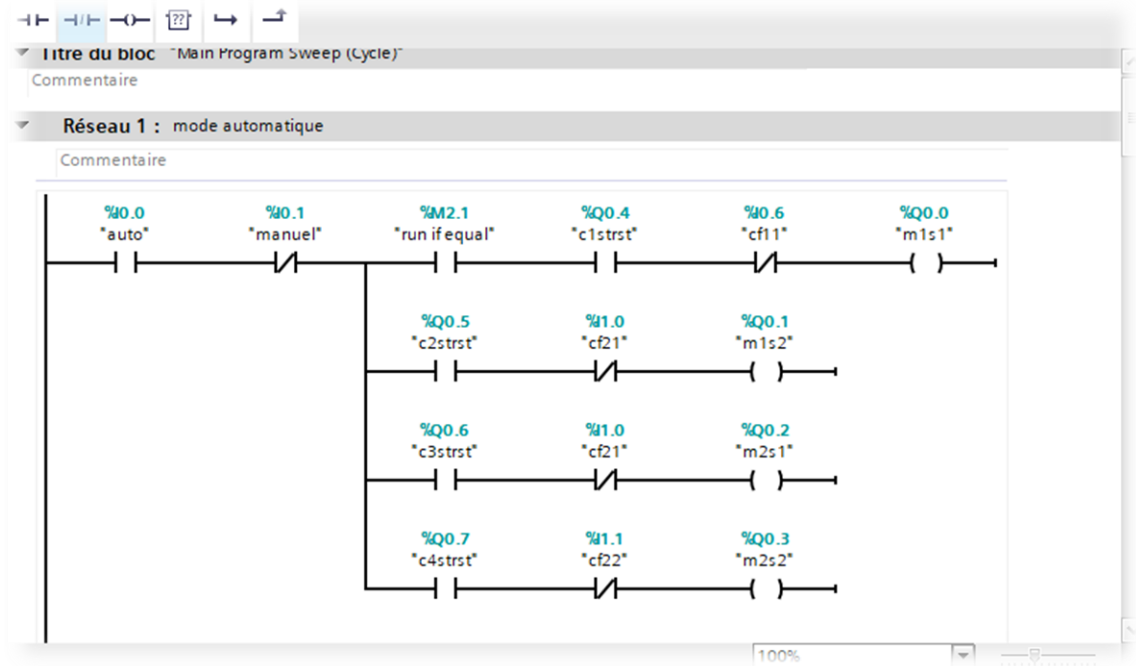


Figure 59 Programme du mode Automatique

III.4.2.3 Compteur et comparateur des capteurs C1 et C4

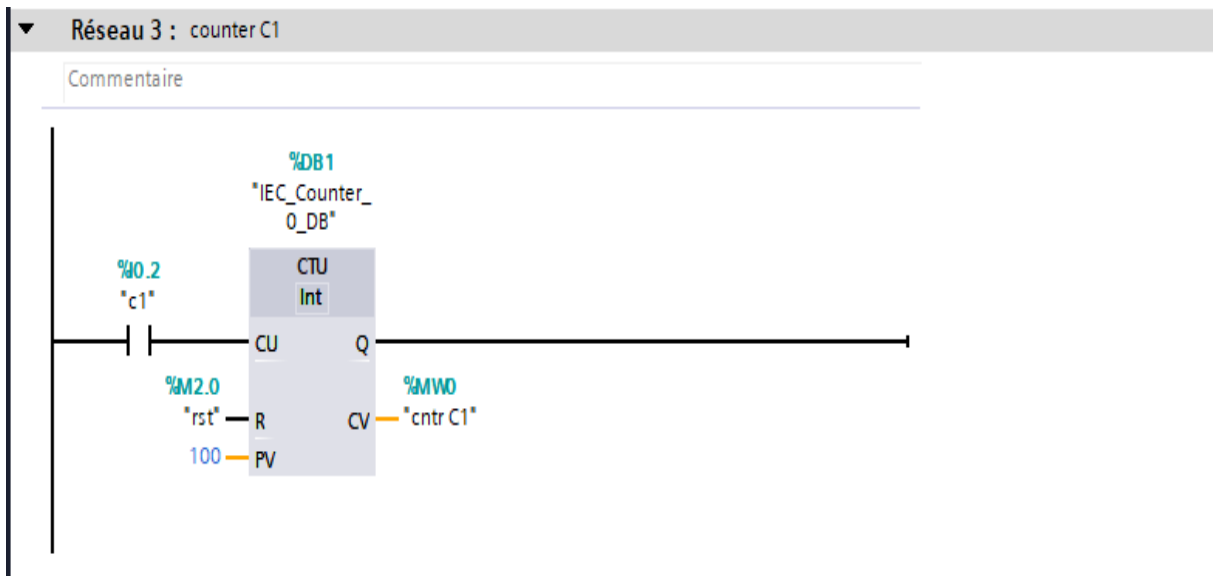


Figure 60 Programme du Compteur C1

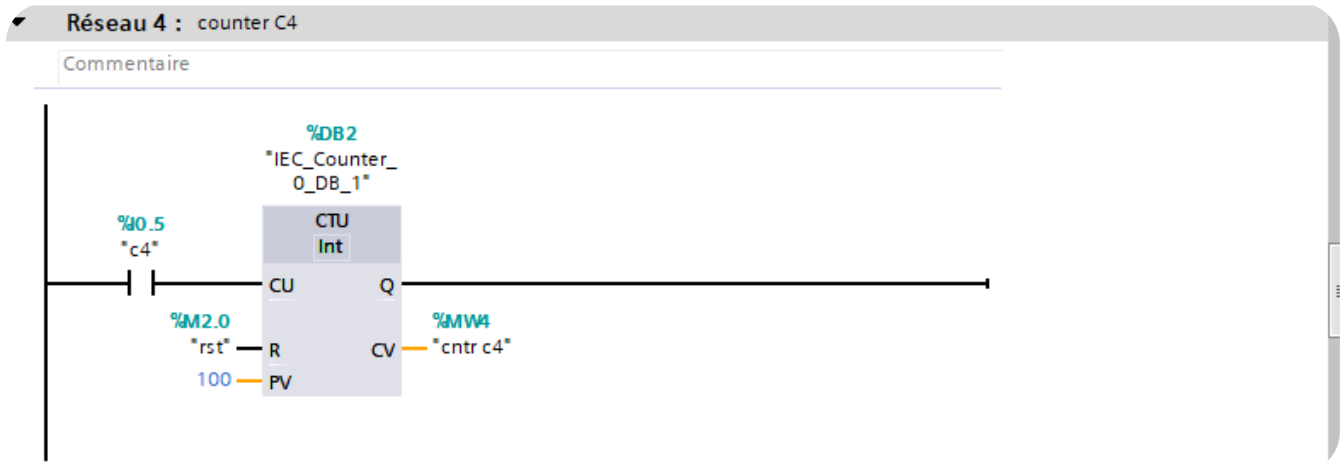


Figure 62 Programme du Compteur C4

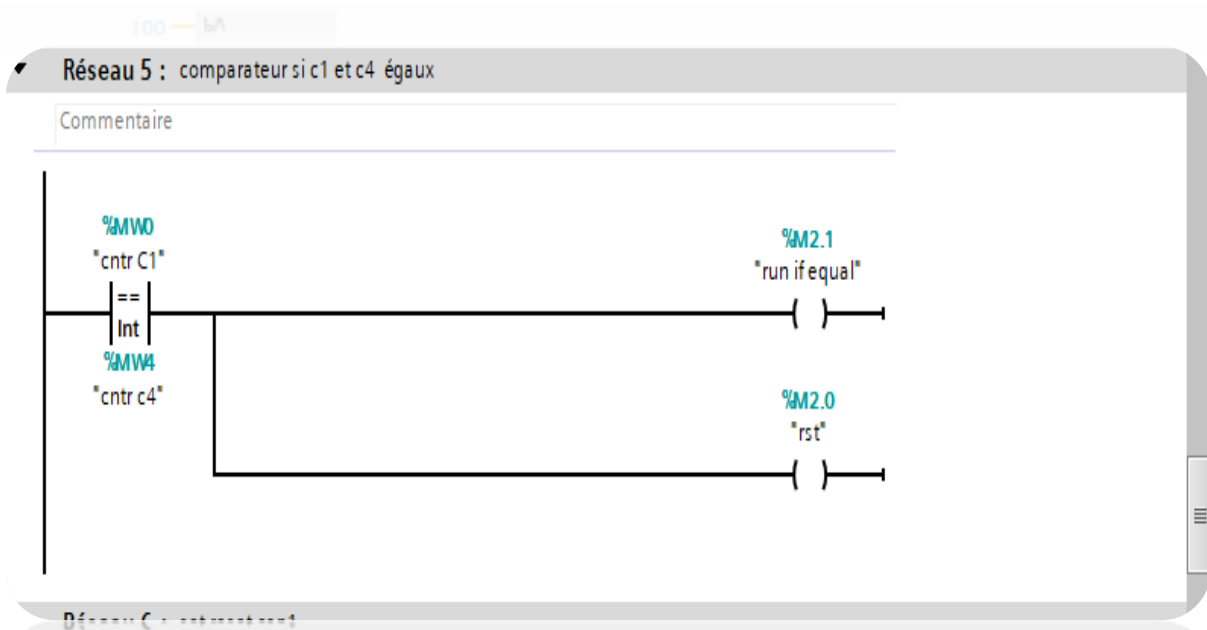


Figure 61 Compateur C1 & C4

Set Reset des capteurs C1 C2 C3 C4

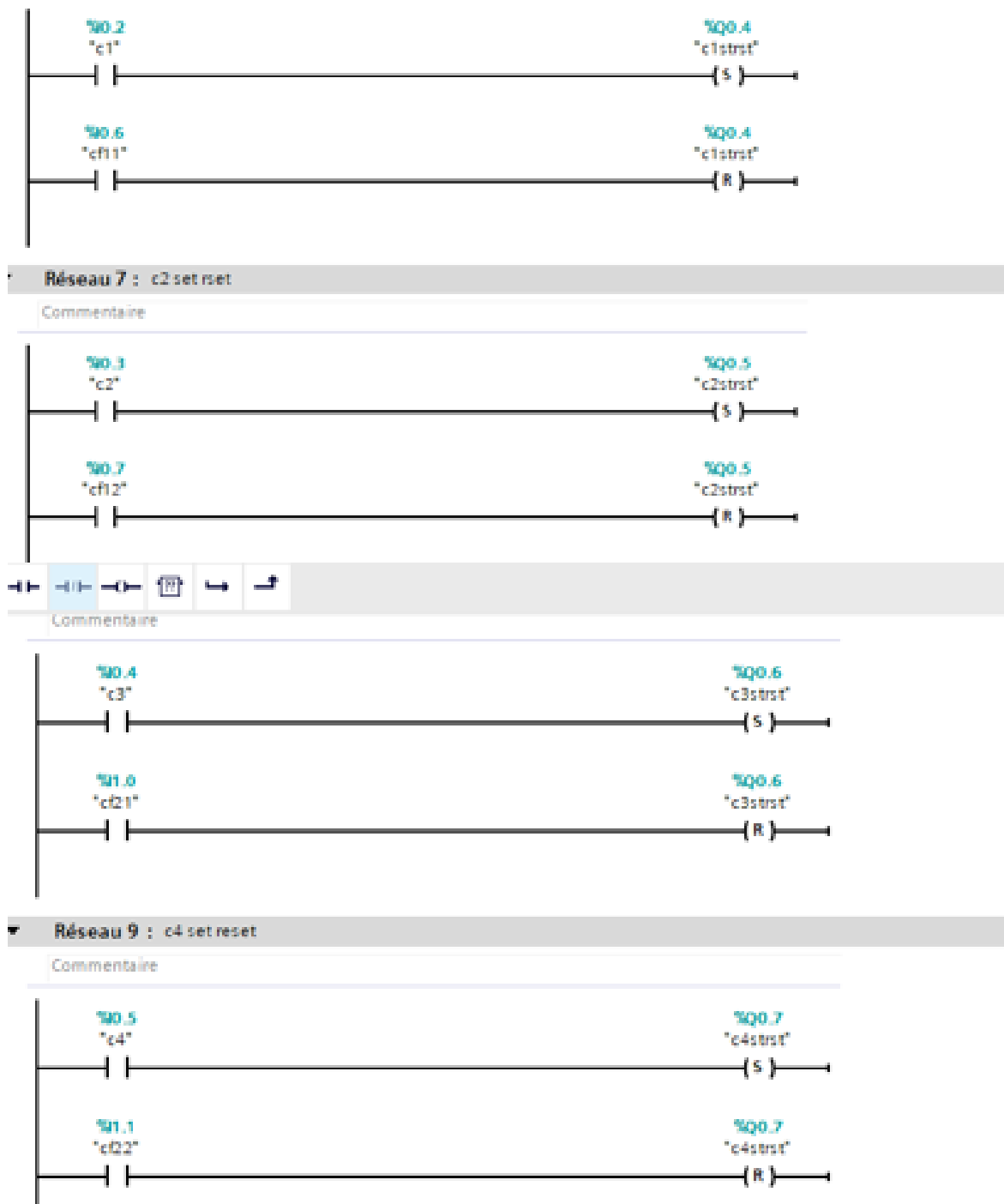


Figure 63 Programme de 'set reset' des quatre capteurs

III.2.5 Le fonctionnement du programme

Notre programme commence par le choix du mode automatique ou manuel à l'aide d'un commutateur. Si le commutateur est positionné en mode manuel, nous avons accès à 4 boutons poussoirs. En appuyant sur le bouton 1 Le moteur relié à la porte 1 tourne dans le sens 1, ce qui signifie que la porte s'ouvre, c'est-à-dire qu'elle monte jusqu'à toucher le capteur fin de cours 1

. En appuyant sur le bouton 2 Le moteur1 tourne dans le sens 2, ce qui signifie que la porte se ferme, c'est-à-dire qu'elle descend jusqu'à toucher le capteur fin de cours 2

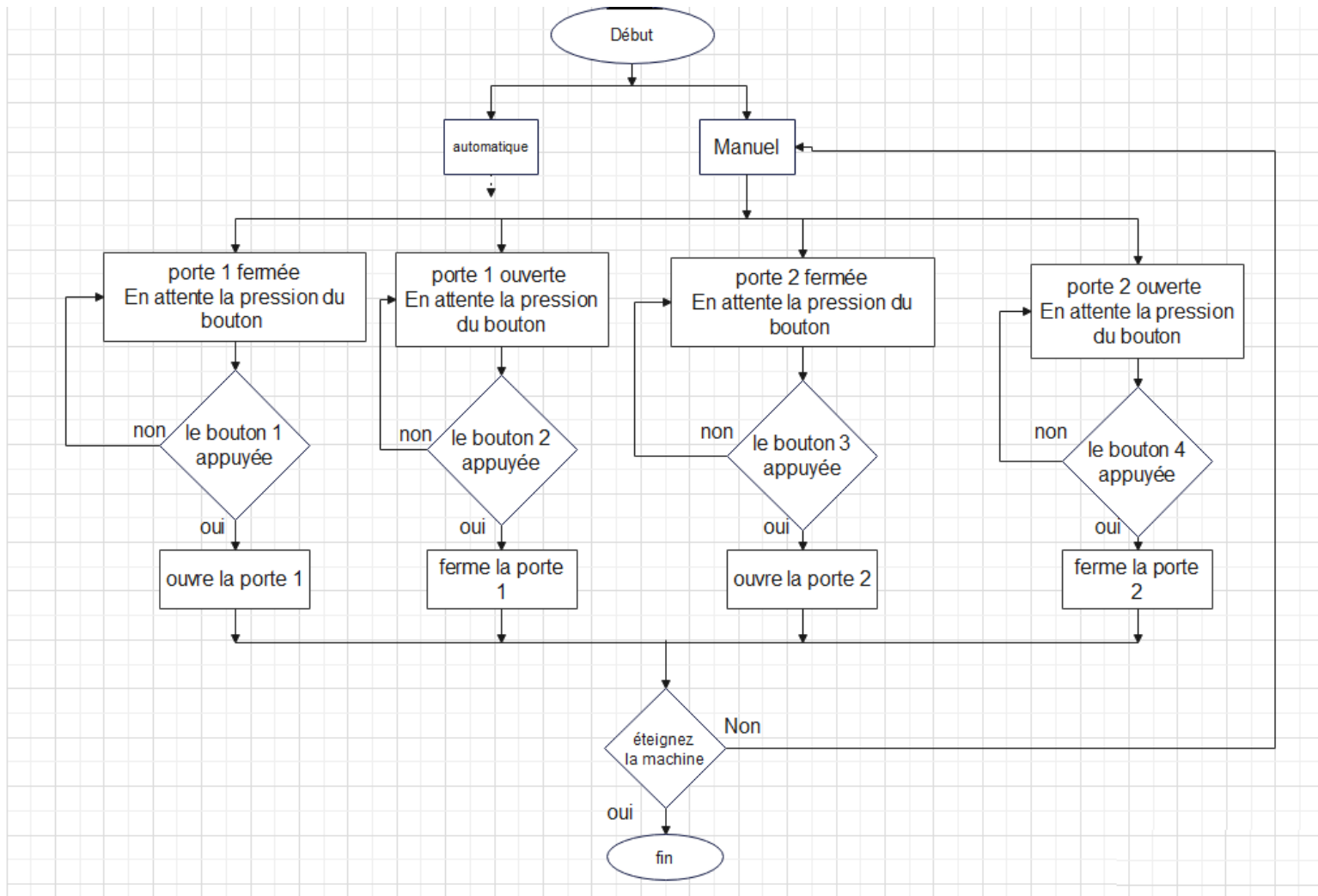
. En appuyant sur le bouton 3, Le moteur relié à la porte2 tourne dans le sens 1, ce qui signifie que la porte s'ouvre, c'est-à-dire qu'elle monte jusqu'à toucher le capteur fin de cours 3

. En appuyant sur le bouton 4, Le moteur2 tourne dans le sens 2, ce qui signifie que la porte se ferme, c'est-à-dire qu'elle descend jusqu'à toucher le capteur fin de cours 3

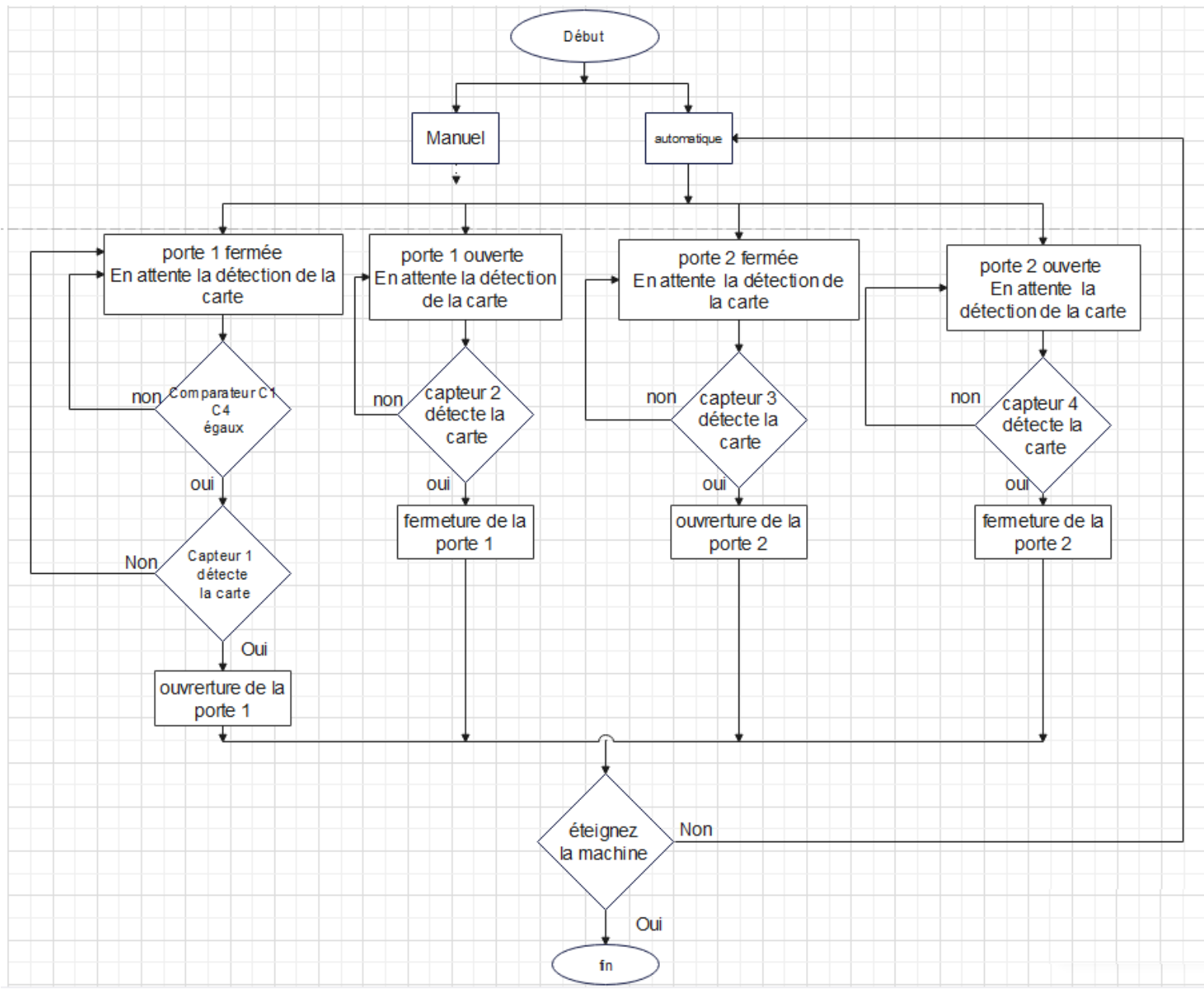
Si le commutateur est positionné en mode automatique, le compteur commence à compter le nombre de cartes captées par les capteurs C1 qui est placée à l'entrer et C4 placée à la sortie. Si les deux capteurs ne sont pas égaux, rien ne se passe.

Si les capteurs C1 et C4 sont égaux, le processus se déroule comme suit : si le capteur C1 détecte une carte, la porte 1 s'ouvre. Si le capteur C2 détecte une carte, la porte 1 se ferme. Si la carte continue et est captée par le capteur C3, la porte 2 s'ouvre. Si le capteur C4 détecte une carte, la porte 2 se ferme. Ensuite, le processus recommence depuis le début en mode automatique.

III.2.6 L'organigramme Mode manuel



III.2.7 L'organigramme Mode automatique



III.2.8 Conclusion

En conclusion, nous avons exploré en détail le rôle essentiel de chaque composant dans notre projet de porte automatique. Nous avons mis l'accent sur l'importance du choix et de l'emplacement des capteurs pour garantir une performance optimale. De plus, nous avons étudié attentivement le PLC, les moteurs et les boutons poussoirs, en comprenant leur impact sur le système global. Cette analyse approfondie nous a permis de découvrir comment ces composants forment une solution intégrée efficace, contribuant ainsi à la réussite de notre projet d'automatisation.

Conclusion générale

Conclusion Générale

Avec l'utilisation des automates programmables, le domaine de l'industrie connaît un développement accru dans tous les aspects. Cela aide à accélérer les processus de production et à augmenter la quantité de production, tout en rendant l'environnement de travail plus sûr. Dans notre projet, nous avons créé un système de protection pour une machine, à savoir une porte automatique qui protège contre les rayons ultraviolets, permettant ainsi aux travailleurs d'évoluer dans un environnement de travail sécurisé.

L'entreprise BOMARE COMPANY nous a offert l'opportunité de réaliser notre stage pratique, pendant lequel nous avons pu mettre en pratique les connaissances acquises au cours de notre cursus universitaire. Ce projet portait sur la réalisation d'une porte automatique à l'aide d'un automate programmable, de capteurs et de moteurs pas à pas, dans le but de résoudre le problème des rayons ultraviolets émis par cette machine.

En conclusion, cette étude a apporté une compréhension précieuse en résumant les résultats, en mettant en évidence leurs implications, ainsi qu'en reconnaissant les limites et les orientations de recherche future. Nous avons ainsi établi l'importance et la pertinence de ce travail. J'espère que ces résultats inspireront davantage d'innovation et de changement positif dans le domaine de l'automatisation industrielle.

Référence bibliographie

- [1]: BOMARE COMPANY .(s.d). Récupéré sur bomarecompany.com:
<https://www.bomarecompany.com/about.php>
- [2]: BOMARE COMPANY Récupéré sur fr.linkedin.com/company/bomarecompany
- [3]: Stream systeme Récupéré sur streamsystem.com
- [4]: https://streamsystem.com/activite_mondiale.php
- [5]: <https://www.dzadvisor.com/listing/sarl-bomare-company-stream-system-11794>
- [6]: <http://moteurindustrie.com/moteurs-pas-a-pas/technique/>
- [7]:Livre Stepper Motors Fundamentals, Applications and Desing ,par David W.Danseau
- [8]:Livre PIC Microcontroller and Embedded Systems: Using Assembly and C for PIC18"
par Muhammad Ali Mazidi, Rolin D. McKinlay et Danny Causey
- [9]:Livre Practical Electronics for Invertors par Paul Scherz et Simon Monk
- [10]:Livre Automating Manufacturing Systéms with PLCs par Hugh Jack