



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الهندسة الكهربائية

Département de Génie Électrique

MÉMOIRE

Pour obtenir le diplôme de

MASTER EN AUTOMATIQUE

Spécialité : Automatique et informatique industriel

Présenté par

KHOUIDMI Abdellah

Intitulé

Modélisation et conception d'un système de contrôle d'ascenseur à base d'Arduino Mega

Soutenu le 17/06/2026 devant le jury composé de :

Président	: M Azzedine Mohamed	MAA	Université de Mostaganem
Examineur	: M Djelti Benbella	MCB	Université de Mostaganem
Rapporteur	: M Larbi beklaouz Hadj.	MCB	Université de Mostaganem

Année Universitaire : 2025/2026

Remerciement

Nous tenons à remercier notre Dieu, le tout puissant, de nous avoir donné la santé et la volonté pour compléter ce modeste travail.

Nos remerciements les plus chaleureux vont à maman et mes sœurs mon oncle Lakhder mon ami Louhi et tous mes amis et toute ma famille pour leurs encouragements, leur patience, et leur grand soutien durant toutes ces années d'études.

Nos remerciements s'adressent également au docteur HADJ LARBI BAKLOUZ, pour son encadrement, sa motivation professionnelle, son orientation afin de donner notre mieux.

Nos profondes gratitudeux aux membres du jury monsieur AZZEDINE MOHAMED, DJELTI BENBELLA, qui ont l'honneur d'évaluer ce travail de fin d'études.

Tous nos vifs remerciements vont à tous les enseignants qui ont contribué à notre Formation durant notre cursus universitaire.

Enfin, nous tenons à remercier également tous ceux qui nous ont aidées de près ou de loin pour l'élaboration de ce mémoire. A tous ceux dont le soutien nous a été utile et nécessaire

Résumé

L'ascenseur est un système de transport vertical utilisé pour déplacer des personnes ou des marchandises entre les différents niveaux d'un bâtiment. Grâce aux progrès continus dans les domaines de l'automatisation, de l'électronique et des systèmes embarqués, les ascenseurs modernes sont devenus plus performants, plus sûrs et plus confortables pour les utilisateurs.

Ce travail a pour objectif l'étude, la conception et la réalisation d'un prototype d'ascenseur intelligent commandé par une carte 3. Le système développé est capable de gérer automatiquement le déplacement de la cabine, les demandes des utilisateurs ainsi que l'ouverture et la fermeture des portes, tout en garantissant un fonctionnement sûr et efficace.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres. Le premier chapitre présente une étude générale sur les ascenseurs, incluant leur définition, leur historique, leurs différents types ainsi que leurs principales familles. Le deuxième chapitre est consacré à l'étude de l'architecture générale d'un ascenseur électrique et à la présentation de ses différents composants électroniques, électriques, mécaniques et systèmes de commande. Le troisième chapitre décrit la conception et la réalisation du prototype proposé, les composants matériels et logiciels utilisés, la modélisation du système, les scénarios de fonctionnement, les mécanismes de sécurité adoptés ainsi que les résultats obtenus et leur analyse. Enfin, le quatrième chapitre présente une conclusion générale du travail réalisé ainsi que quelques perspectives et améliorations futures permettant d'optimiser les performances du système et d'intégrer des fonctionnalités plus avancées.

Ce projet nous a permis de mettre en pratique les connaissances acquises dans les domaines de l'automatisation, de la programmation, de l'électronique et des systèmes embarqués. Il a également démontré la possibilité de développer un prototype d'ascenseur intelligent capable de reproduire une partie importante des fonctionnalités des ascenseurs réels.

Mots-clés :

Ascenseur intelligent, automatisation industrielle, système embarqué, Arduino Mega 2560, API (Automate Programmable Industriel), capteurs, actionneurs, moteur DC, moteur BLDC, variateur de vitesse (VVVF), servomoteur, capteur infrarouge, encodeur de vitesse, cellule de charge, fin de course, cabine d'ascenseur, rails de guidage, contrepoids, machine à états finis (FSM), sécurité du système, optimisation des déplacements, boutons poussoirs, interface homme-machine (IHM), architecture système.

Abstract

An elevator is a vertical transportation system used to move people or goods between different floors of a building. With the continuous advancements in automation, electronics, and embedded systems, modern elevators have become more efficient, safer, and more comfortable for users.

The objective of this work is to study, design, and implement a smart elevator prototype controlled by an Arduino Mega 2560 board. The developed system is capable of automatically managing cabin movement, user requests, and door opening and closing operations while ensuring safe and efficient operation.

This dissertation is organized into four chapters. The first chapter presents a general study of elevators, including their definition, history, different types, and main families. The second chapter is devoted to the study of the general architecture of an electric elevator and the presentation of its

various electronic, electrical, mechanical, and control components. The third chapter describes the design and implementation of the proposed prototype, the hardware and software components used, the system modeling, operating scenarios, adopted safety mechanisms, as well as the obtained results and their analysis. Finally, the fourth chapter presents a general conclusion of the work and proposes several future perspectives and improvements aimed at enhancing system performance and integrating more advanced functionalities.

This project enabled us to apply the knowledge acquired in the fields of automation, programming, electronics, and embedded systems. It also demonstrated the feasibility of developing a smart elevator prototype capable of reproducing an important part of the functionalities of real elevator systems.

Keywords :

Smart elevator, industrial automation, embedded system, Arduino Mega 2560, PLC (Programmable Logic Controller), sensors, actuators, DC motor, BLDC motor, variable frequency drive (VVVF), servo motor, infrared sensor, speed encoder, load cell, limit switch, elevator cabin, guide rails, counterweight, finite state machine (FSM), system safety, movement optimization, push buttons, human-machine interface (HMI), system architecture

المخلص

المصعد هو نظام نقل يُستخدم لنقل الأشخاص أو البضائع بين مختلف طوابق المباني. ومع التطور المستمر في مجالات الأتمتة والإلكترونيات والأنظمة المدمجة، أصبحت المصاعد الحديثة أكثر كفاءة وأماناً وراحة للمستخدمين يهدف هذا العمل إلى دراسة وتصميم وإنجاز نموذج أولي لمصعد ذكي يتم التحكم فيه بواسطة أردوينو ميغا 2560 ، مع توفير نظام قادر على إدارة حركة المقصورة وطلبات المستخدمين وفتح وإغلاق الأبواب بشكل آلي، مع ضمان تشغيل آمن وفعال، يتكون هذا البحث من أربعة فصول. يتناول الفصل الأول دراسة عامة حول المصاعد من خلال عرض تعريفها وتاريخها وأنواعها المختلفة وعائلاتها الرئيسية. أما الفصل الثاني فيُخصص لدراسة البنية العامة للمصعد الكهربائي ومختلف مكوناته الإلكترونية والكهربائية والميكانيكية وأنظمة التحكم المستخدمة فيه. ويعرض الفصل الثالث تصميم وإنجاز النموذج المقترح، مع تقديم المكونات المادية والبرمجية المستعملة، ونمذجة النظام، وسيناريوهات التشغيل وآليات السلامة المعتمدة و عرض النتائج المتحصل عليها، ومناقشتها، وفي الفصل الرابع والآخر ثم تقديم خاتمة عامة للعمل مع اقتراح بعض الآفاق والتطويرات المستقبلية الممكنة لتحسين أداء النظام وإضافة وظائف أكثر تطوراً وقد مكن هذا المشروع من تطبيق المعارف المكتسبة في مجالات الأتمتة والبرمجة والإلكترونيات والأنظمة المدمجة، كما أظهر إمكانية تطوير نموذج مصعد ذكي قادر على محاكاة جزء مهم من وظائف المصاعد الحقيقية.

كلمات مفتاحية :

مصعد ذكي، الأتمتة الصناعية، نظام مدمج، أردوينو ميغا 2560، المتحكم المنطقي القابل للبرمجة، الحساسات، المشغلات، محرك تيار مستمر، محرك بدون فرش، متغير السرعة، محرك مؤازر، حساس الأشعة تحت الحمراء، مشفر السرعة، خلية قياس الحمل، مفتاح نهاية الشوط، كابينة المصعد، قضبان التوجيه، ثقل موازن، آلة الحالات المنتهية سلامة النظام، تحسين حركة المصعد، أزرار الضغط، واجهة الإنسان والآلة، معمارية النظام.

Table des matières

Listes des figures	1
Liste des tableaux.....	3
Listes des acronymes et abréviations	4
Introduction générale	6
Chapitre I : Etat de l'art.....	7
1.1 Introduction.....	8
1.2 Historique	8
1.3 Différent types d'ascenseur	9
1.3.1 Ascenseur pour passagers	9
1.3.2 Ascenseur de charge	10
1.3.3 Monte-charge	10
1.3.4 Monte-charge industriel.....	11
1.3.5 Monte voitures	11
1.3.6 Ascenseur pour le transport de personnes handicapées	12
1.3.7 Ascenseur sur plan incliné	13
1.3.8 Classification des ascenseurs selon la cabine et les commandes	13
1.4 Familles d'ascenseurs.....	14
1.4.1 Les ascenseurs hydrauliques	15
1.4.1.1 Principe de fonctionnement d'un ascenseur hydraulique	15
1.4.1.2 Description d'un ascenseur hydraulique	15
1.4.1.3 Avantages et inconvénients	15
1.4.2 Les ascenseurs à traction à câbles (électrique).....	16
1.4.2.1 Principe de fonctionnement d'un ascenseur électrique.....	16
1.4.2.2 Description d'un ascenseur électrique	16
1.4.2.3 Avantages et inconvénients	16
1.5 Conclusion	17
Chapitre II : Conception de l'architecture d'un ascenseur électrique pour passagers	18
2.1 Introduction.....	19
2.2 Architecture générale du système	19
2.2.1 Schéma fonctionnel de l'ascenseur électrique	19
2.2.2 Description générale de l'architecture	20
2.3 Composants du système	20
2.3.1 Partie électronique	20
2.3.1.1 Capteurs	20
2.3.1.1.1 Capteur de position (Proximité inductif).....	20
2.3.1.1.2 Capteur de vitesse (Encodeur rotatif)	21
2.3.1.1.3 Capteur de surcharge (Cellules de charge).....	21

2.3.1.1.4 Fin de course (Limit-Switch).....	21
2.3.1.2 Modules électroniques de commande	22
2.3.1.2.1 Driver pour moteur BLDC	22
3.3.2.1 Moteurs de traction (Moteur synchrone à aimants permanents PMSM)	23
2.3.2.2 Variateur de vitesse (Variateur VVVF)	24
2.3.2.3 Moteur de porte (Brushless DC).....	25
2.3.2.4 Frein électromagnétique (Frein électromagnétique à ressorts)	25
2.3.2.5 Alimentation.....	26
2.3.3 Système de commande	26
2.3.3.1 Contrôleur (L'automate Programmable Industriel)	26
2.3.4 Interfaces utilisateur (Boutons poussoirs).....	27
2.3.5 Partie mécanique	28
2.3.5.1 Cabine	28
2.3.5.2 Rails de guidage.....	29
2.3.5.3 Poulies et câbles.....	29
2.3.5.4 Contrepoids	30
2.3.5.5 Châssis	31
2.4 Conclusion	31
Chapitre III : Matériel, conception et assemblage du système d'ascenseur intelligent	33
3.1 Introduction.....	34
3.2 Architecture matérielle du système	34
3.2.1 Carte de commande Arduino Mega 2560	34
3.2.2 Système de détection des étages.....	35
3.2.2.1 Capteur infrarouge	35
3.2.3.2 Driver MOTOR DC 2 CH.....	36
3.2.4 Système d'ouverture et fermeture des portes	37
3.2.5 Circuit de prototypage et câblage	37
3.2.6 Interface utilisateur et commande	38
3.2.6.1 Boutons poussoirs.....	38
3.2.6.2 Module buzzer actif	38
3.3 Plateforme de développement.....	39
3.3.1 Arduino IDE.....	39
3.4 Modélisation et schéma du système de contrôle	39
3.4.1 Modélisation fonctionnelle du système d'ascenseur	39
3.4.2 Modélisation du déplacement de la cabine	40
3.4.3 Diagramme à états finis (FSM)	41
3.5 Sécurité et gestion des anomalies.....	41
3.5.1 Système d'alarme et bouton d'urgence.....	41
3.6 Sûreté de fonctionnement et optimisation du système	42

3.7 Scénarios de fonctionnement	42
3.7.1 Scénario a fonctionnement normale	43
3.7.2 Scénario a fonctionnement anormale	46
3.8 Conclusion	50
Chapitre IV : Conclusion Générale.....	52
Référence bibliographique	56
Web bibliographie commercial.....	57
Annexe	58
Annexe 01 : Prototype réalisé de l’ascenseur intelligent	59
Annexe 02 : Script d’Arduino.....	60

Listes des figures

Figure 1 : Elévateur Otis avec moteur à vapeur sortie 1862 .	8
Figure 2 : Ascenseur de la tour Eiffel	9
Figure 3 : Ascenseur pour passagers	10
Figure 4 : Ascenseur de charge	10
Figure 5 : Monte-charge	11
Figure 6: Monte-charge industriel .	11
Figure 7: Monte voitures	12
Figure 8: Ascenseur pour le transport de personnes handicapées .	12
Figure 9 Ascenseur sur plan incliné	13
Figure 10 : Les familles d'ascenseur.	14
Figure 11: Schéma fonctionnel d'un ascenseur électrique.	19
Figure 12 : Capteur de proximité inductif .	21
Figure 13 : Encodeur rotatif	21
Figure 14 : Cellule de charge	21
Figure 15 : Limit-Switch	22
Figure 16 : Barrière infrarouge.	22
Figure 17 : Pilote de moteur BLDC pour machine à coudre	23
Figure 18: Afficheur à LED	23
Figure 19 : Principe de fonctionnement d'un PMSM .	24
Figure 20 : Moteur synchrone à aimants permanents.	24
Figure 21: Variateur VVVF	25
Figure 22 : Brushless DC	25
Figure 23 Frein électromagnétique	26
Figure 24: Automate Programmable Industriel .	27
Figure 25 : Types de boutons intérieurs.	28
Figure 26 : Bouton d'appel extérieur.	28
Figure 27 : Cabine d'ascenseur .	29
Figure 28 : Rails de guidage	29
Figure 29: Poulie et câble	30
Figure 30: Contrepoids	31
Figure 31 : Châssis	31
Figure 32 : Carte Arduino Mega 2560.	34
Figure 33 : Capteur infrarouge .	35
Figure 34 : Fin de course optique infrarouge.	36
Figure 35: Moteur à engrenages de précision	36
Figure 36 : Driver MOTOR DC 2 CH .	37
Figure 37 : Servomoteur	37
Figure 38 : Bouton poussoir .	38
Figure 39: Module buzzer actif	39
Figure 40 : Programme sur Aruino_IDE.	39
Figure 41 : Modélisation des systèmes d'ascenseurs.	40
Figure 42 : Modélisation du déplacement d'ascenseur r+3.	41
Figure 43: Diagramme à états finis d'un ascenseur à R+3 étages.	41
Figure 44 : L'ascenseur au RDC.	43
Figure 45 : Appuyés sur BD2 et BD3.	43
Figure 46 : L'ascenseur déplace vers l'étage 2.	44
Figure 47: L'ascenseur déplace vers l'étage 3.	44
Figure 48 : L'ascenseur au l'étage 3.	45
Figure 49 : Appuyés sur APL0 et APL1.	45
Figure 50 : L'ascenseur déplace vers l'étage 1.	46
Figure 51 : L'ascenseur déplace vers RDC.	46

Figure 52 : L'ascenseur au RDC.....	47
Figure 53 : Appuyés sur BP3 et APL0.....	47
Figure 54 : L'ascenseur au l'étage 3.	48
Figure 55 : L'ascenseur au RDC.....	48
Figure 56 L'ascenseur au l'étage 2	49
Figure 57 : Appuyés sur BP1 et BP3.	49
Figure 58 : L'ascenseur au l'étage 3.	50
Figure 59 : L'ascenseur au l'étage 1.	50

.

Liste des tableaux

Table 1 : Classification des ascenseurs selon la cabine et les commandes.....	14
---	----

Listes des acronymes et abréviations

FSM : Machine à états finis

API : Automate programmable industriel

Arduino Mega 2560 : Carte de développement basée sur le microcontrôleur ATmega2560

BLDC : Moteur à courant continu sans balais

PMSM : Moteur synchrone à aimants permanents

VVVF : Variateur de tension et de fréquence

PWM : Modulation de largeur d'impulsion

CPU : Unité centrale de traitement

I/O (E/S) : Entrées / Sorties

UART : Émetteur-récepteur asynchrone universel

SPI : Interface périphérique série

I²C : Circuit inter-intégré (bus série à deux fils)

DC : Courant continu

LED : Diode électroluminescente

IR : Infrarouge

RDC : Rez-de-chaussée

Introduction générale

Introduction générale

Avec le développement rapide de l'urbanisation et l'augmentation du nombre de bâtiments à plusieurs étages, les ascenseurs sont devenus des équipements indispensables pour assurer le transport vertical des personnes et des charges. Ils jouent un rôle essentiel dans l'amélioration du confort, de l'accessibilité et de la mobilité au sein des immeubles résidentiels, commerciaux, administratifs et industriels. Grâce aux progrès réalisés dans les domaines de l'automatisation, de l'électronique et des systèmes embarqués, les ascenseurs modernes offrent aujourd'hui des performances élevées en matière de sécurité, de fiabilité et d'efficacité énergétique.

Dans ce contexte, notre projet s'inscrit dans le cadre de l'étude, de la conception et de la réalisation d'un prototype d'ascenseur intelligent commandé par une carte Arduino Mega 2560. L'objectif principal est de développer un système capable de gérer automatiquement les déplacements de la cabine entre plusieurs niveaux, de traiter les demandes des utilisateurs, de commander l'ouverture et la fermeture des portes, ainsi que d'assurer un fonctionnement sûr et optimisé grâce à une logique de contrôle basée sur une machine à états finis (FSM). Pour mener à bien ce travail, ce mémoire a été organisé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre présente une étude générale sur les ascenseurs, en abordant leur définition, leur évolution historique, leurs différents types ainsi que les principales familles d'ascenseurs utilisées dans les bâtiments modernes.
- Le deuxième chapitre est consacré à l'étude de l'architecture générale d'un ascenseur électrique pour passagers. Il décrit les différents composants électroniques, électriques, mécaniques et de commande intervenant dans le fonctionnement du système.
- Le troisième chapitre présente la conception et la réalisation du prototype proposé. Il détaille les composants matériels et logiciels utilisés, l'architecture du système, sa modélisation, les mécanismes de sécurité adoptés ainsi que les différents scénarios de fonctionnement permettant de valider les performances du système.
- Le quatrième et dernier chapitre est consacré à la conclusion générale du travail réalisé. Il présente une synthèse des résultats obtenus, les connaissances acquises au cours du projet ainsi que quelques perspectives et améliorations futures pouvant être apportées au système.

Enfin, ce mémoire se termine par une conclusion générale résumant les principales contributions du projet et les perspectives de développement envisagées pour rendre le système plus performant et plus proche des ascenseurs réels.

Chapitre I : Etat de l'art

1.1 Introduction

Avec le développement des bâtiments à plusieurs étages et l'évolution des techniques de construction, les ascenseurs sont devenus des équipements indispensables dans la vie quotidienne. Ils assurent le transport vertical des personnes et des charges tout en offrant confort, sécurité et accessibilité.

Dans ce chapitre, nous présentons une étude générale sur les ascenseurs. Nous abordons leur définition, leur évolution historique, leurs différents types ainsi que les principales familles d'ascenseurs utilisées dans les bâtiments modernes.

Un ascenseur est un appareil permettant un transport vertical des personnes et des charges dans un bâtiment à plusieurs étages. [1]

1.2 Historique

Les premiers ascenseurs sont apparus en Amérique dans les années 1850. Leurs plateformes actionnées par la vapeur servaient au transport de marchandises. Ils ont probablement été utilisés pour la construction des grandes pyramides d'Égypte il y a plus de quatre mille ans. Cette invention a vu le jour en 1852 grâce à Elisha Otis. Il a mis au point un ascenseur semblable à un parachute pour remédier au problème des chutes en cas de rupture du câble.

Le premier ascenseur conçu pour le transport de passagers a été installé le 23 mars 1857 à New York. Cet immeuble de cinq étages était alors considéré comme le plus haut. [2]

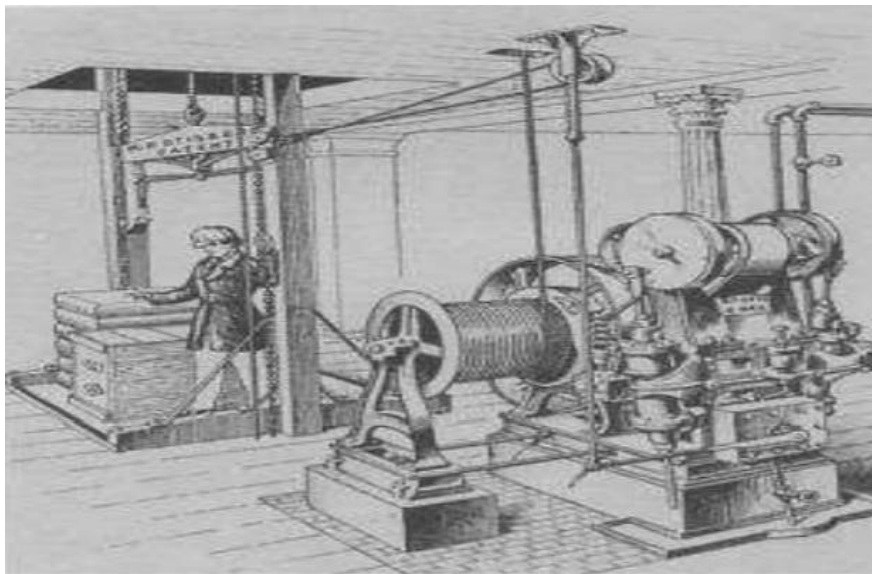


Figure 1 : Elévateur Otis avec moteur à vapeur sortie 1862 [2].

Depuis cette invention, la technologie n'a cessé d'évoluer. En 1878, Léon Édouard présenta un ascenseur hydraulique à l'Exposition universelle. Cet ascenseur pouvait transporter 80 personnes à une hauteur de 60 mètres.

Le premier ascenseur électrique a été construit par la société allemande Siemens pour l'Exposition industrielle de Mannheim en 1880. Il atteignait une hauteur de 22 mètres en 11 secondes et transportait 8 000 passagers en un mois.

Puis, en 1889, dans le cadre de l'Exposition universelle de Paris, la tour Eiffel fut équipée de quatre ascenseurs hydrauliques. [2]



Figure 2 : Ascenseur de la tour Eiffel [2].

En 1903 une mise au point de l'ascenseur électrique ouvre la voie à la construction d'immeubles plus conséquents et plus haut. En 1925, la technologie de l'ascenseur devient fiable, En 1980, grâce à l'informatique et à l'électronique, des améliorations ont été introduites, telles que la vitesse, la précision d'arrêt et les systèmes d'alarme. Enfin en 1990 les dernières techniques améliorent encore la sécurité, favorisent l'accès des appareils aux personnes à mobilité réduite. [2]

1.3 Différent types d'ascenseur

Il existe plusieurs types d'ascenseurs, chacun étant adapté à des besoins spécifiques en fonction de l'utilisation, de la capacité et de l'environnement d'installation. Parmi lesquels, on peut citer :

1.3.1 Ascenseur pour passagers

Conçu principalement pour le transport de personnes entre les étages. Utilisé dans les immeubles résidentiels, les hôtels et les hôpitaux.



Figure 3 : Ascenseur pour passagers [3].

1.3.2 Ascenseur de charge

Principalement destiné au transport de charges qui sont généralement accompagnés par des personnes [4]. Utilisé dans les entrepôts, commerce commercial et les hôtels.



Figure 4 : Ascenseur de charge [5].

1.3.3 Monte-charge

Conçu exclusivement pour le transport de marchandises, telles que des denrées alimentaires et des produits de consommation. Son utilisation est strictement interdite au transport de personnes. Utilisé dans les restaurants et les établissements hôteliers qui assurent un service de préparation et de livraison de repas aux clients. Il existe un type de petite dimension appelé monte-plat.



Figure 5 : Monte-charge [6].

1.3.4 Monte-charge industriel

Destiné exclusivement au transport de charges lourdes (les machines par exemple), le monte-charge industriel est un appareil de levage installé dans l'industrie et desservant des niveaux définis. Il comporte une cabine ou un plateau accessible aux personnes uniquement pour les opérations de chargement et de déchargement [4], sans autorisation ni aménagement pour le transport de personnes.

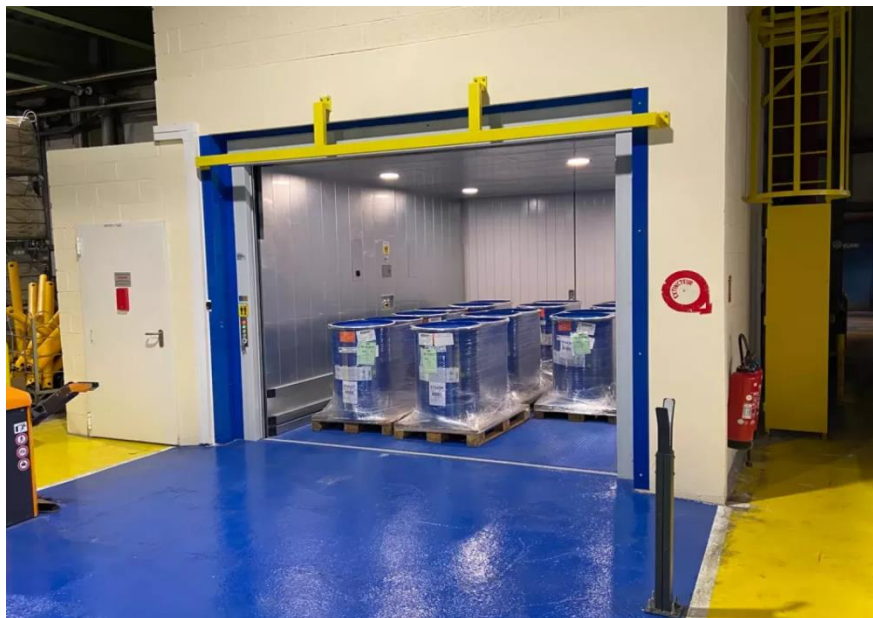


Figure 6: Monte-charge industriel [7].

1.3.5 Monte voitures

Ascenseur dont la cabine est dimensionnée pour le transport de véhicules automobiles de tourisme [4]. Il est utilisé dans les stationnements à plusieurs étages et les immeubles résidentiels de luxe afin d'optimiser l'espace et de faciliter l'accès aux différents niveaux de stationnement.



Figure 7: Monte voitures [8].

1.3.6 Ascenseur pour le transport de personnes handicapées

Toute installation fixée à demeure, conçue et utilisée principalement pour le transport des personnes handicapées, debout ou en fauteuil roulant, avec ou sans accompagnateur [4]. Il est utilisé dans les écoles, les universités et les établissements publics afin de faciliter l'accessibilité et le déplacement entre les différents niveaux.



Figure 8: Ascenseur pour le transport de personnes handicapées [9].

1.3.7 Ascenseur sur plan incliné

Tout ascenseur sur plan incliné utilisé principalement au transport de personnes à mobilité réduite. Cet appareil peut être équipée d'un siège et/ou d'une plate-forme pour le transport d'une personne en position debout ou d'une plate-forme pouvant recevoir un fauteuil roulant. Les ascenseurs sur plan incliné peuvent être installés dans des cages d'escalier droites ou présentant des virages. Ils peuvent également être installés à l'extérieur des bâtiments dans des rampes ou escalier d'accès. [4]



Figure 9: Ascenseur sur plan incliné [10]

1.3.8 Classification des ascenseurs selon la cabine et les commandes

Les ascenseurs se distinguent par le type de cabine et le système de commande utilisé. Chaque type présente des caractéristiques adaptées aux besoins d'utilisation et aux exigences de sécurité. Le tableau suivant présente les principaux types d'ascenseurs ainsi que leurs caractéristiques en termes de cabine et de commande.

Type	Forme/Cabine	Type des boutons
Ascenseur	Cabine fermée	Tableau de boutons à hauteur normale et pour chaque étage
Ascenseur de charge	Cabine plus grande	Boutons grands, souvent un seul panneau
Monte-charge	Plateforme ouverte	Bouton simple et interrupteur de sécurité
Monte-charge industriel	Grande cabine et très robuste	Bouton industriels grands et très résistants
Monte-voiture	Grande plateforme adaptée aux voitures	Bouton d'étage avec sélecteur à clé

Ascenseur de personnes handicapé	Petite cabine ouverte avec barrière de protection	Boutons grands et contrastés de position bases et signal sonore
Ascenseur sur plan incliné	Chariot sur rail incliné, avec petite cabine	Bouton à pression maintenue

Table 1 : Classification des ascenseurs selon la cabine et les commandes

1.4 Familles d'ascenseurs

On distingue essentiellement deux types de familles d'ascenseur :

- Les ascenseurs à traction à câble.
- Les ascenseurs hydrauliques.

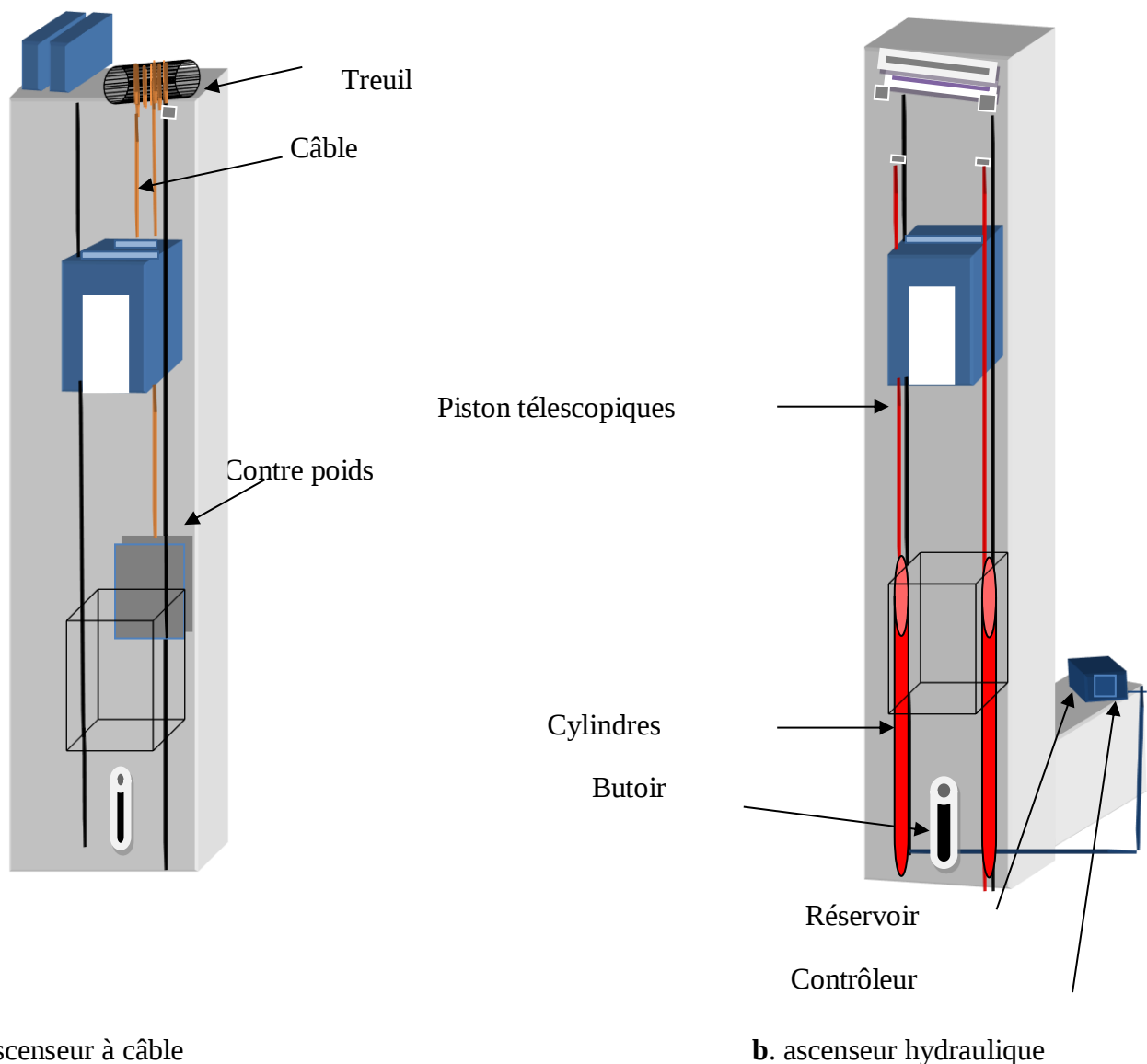


Figure 10 : Les familles d'ascenseur.

En règle générale, ces deux types utilisent l'énergie électrique pour déplacer les cabines verticalement (moteur électrique continu ou alternatif). [11]

1.4.1 Les ascenseurs hydrauliques

Les ascenseurs hydrauliques sont principalement utilisés dans les bâtiments de faible hauteur nécessitant un système simple et fiable. Leur fonctionnement repose sur l'utilisation d'un fluide hydraulique permettant de déplacer la cabine verticalement grâce à un piston. Ce type d'ascenseur est apprécié pour sa simplicité d'installation et son bon confort de déplacement.

1.4.1.1 Principe de fonctionnement d'un ascenseur hydraulique

Comme toute machine hydraulique la pompe met sous pression l'huile qui pousse le piston hors du cylindre vers le haut. Lorsque la commande de descente est programmée, le bypass (vanne) de la pompe permet de laisser sortir l'huile du cylindre vers le réservoir. [11]

1.4.1.2 Description d'un ascenseur hydraulique

Les ascenseurs hydrauliques sont utilisés en général pour satisfaire des déplacements relativement courts de l'ordre de 15 à 18 mètres maximum. Plusieurs modèles existent sur le marché. On citera les ascenseurs hydrauliques :

- À cylindre de surface,
- À cylindre enterré,
- Télescopiques à cylindre de surface.

Les ascenseurs hydrauliques se composent principalement :

- D'une cabine,
- De guides,
- D'un ensemble pistons-cylindres hydrauliques placé sous la cabine de l'ascenseur,
- D'un réservoir d'huile,
- D'un moteur électrique accouplé à une pompe hydraulique,
- D'un contrôleur. [11]

1.4.1.3 Avantages et inconvénients

Avantages

- Précision au niveau du déplacement (mise à niveau) ;
- Réglage facile de la vitesse de déplacement ;
- Ne nécessite pas de cabanon de machinerie ;
- Implantation facile dans un immeuble existant.

Inconvénients

- Course verticale limitée à une hauteur entre 15 et 18 m ;
- Risque de pollution des sous-sols ;
- Consommation énergétique importante ;

- Nécessiter de renforcer la dalle de sol. [11]

1.4.2 Les ascenseurs à traction à câbles (électrique)

Les ascenseurs électriques à traction sont les plus utilisés dans les bâtiments modernes de moyenne et grande hauteur. Ils se distinguent par leur performance élevée, leur rapidité de déplacement et leur efficacité énergétique. Ce type d'ascenseur assure un confort optimal aux usagers et permet de desservir un grand nombre d'étages, ce qui explique son utilisation très répandue dans les bâtiments résidentiels, commerciaux et administratifs.

1.4.2.1 Principe de fonctionnement d'un ascenseur électrique

Le fonctionnement d'un ascenseur électrique repose sur la transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique par un moteur électrique. Celui-ci entraîne une poulie de traction, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un réducteur. La rotation de cette poulie met en mouvement des câbles en acier reliant la cabine et le contrepoids. Ainsi, selon le sens de rotation du moteur, la cabine se déplace verticalement vers le haut ou vers le bas.

1.4.2.2 Description d'un ascenseur électrique

Les ascenseurs électriques sont les types d'ascenseurs que l'on rencontre le plus, notamment dans les bâtiments tertiaires. [11]

Ils se différencient entre eux selon le type de motorisation :

- À moteur-treuil à vis sans fin,
- À moteur-treuil planétaire,
- À moteur à attaque directe (couramment appelé "Gearless" ou sans treuil),

Quel que soit le type, les ascenseurs à traction à câbles comprennent généralement

- Une cabine,
- Un contre poids,
- Des câbles reliant la cabine au contre poids,
- Des guides,
- Un système de traction au-dessus de la cage de l'ascenseur,

1.4.2.3 Avantages et inconvénients

Avantages

- Course verticale pas vraiment limitée ;
- Suivant le type de motorisation précision au niveau de la vitesse et du déplacement ;
- Rapidité de déplacement ;

- Efficacité énergétique importante ;
- Pas de souci de pollution ;

Inconvénients

- En version standard, nécessite un cabanon technique en toiture ;
- Exigence très importante sur l'entretien. [11]

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une étude générale sur les ascenseurs, en commençant par leur définition et leur évolution historique. Nous avons également présenté les différents types d'ascenseurs selon leurs domaines d'utilisation.

Ensuite, nous avons étudié les deux principales familles d'ascenseurs, à savoir les ascenseurs hydrauliques et les ascenseurs électriques à traction, ainsi que leur principe de fonctionnement, leurs composants et leurs caractéristiques principales.

Cette étude nous permet de mieux comprendre le fonctionnement des ascenseurs et constitue une base pour la réalisation de notre système d'ascenseur intelligent dans les chapitres suivants.

Chapitre II : Conception de l'architecture d'un ascenseur électrique pour passagers

2.1 Introduction

Après avoir présenté les ascenseurs de manière générale ainsi que leurs différents types, il convient à présent d'orienter notre étude vers une catégorie spécifique d'appareils de levage, à savoir les ascenseurs électriques pour passagers.

2.2 Architecture générale du système

Dans cette partie, nous présentons l'architecture générale d'un ascenseur électrique ainsi que les principaux éléments assurant son fonctionnement.

2.2.1 Schéma fonctionnel de l'ascenseur électrique

Voici un schéma qui présente l'architecture générale du système de commande d'un ascenseur électrique pour passagers.

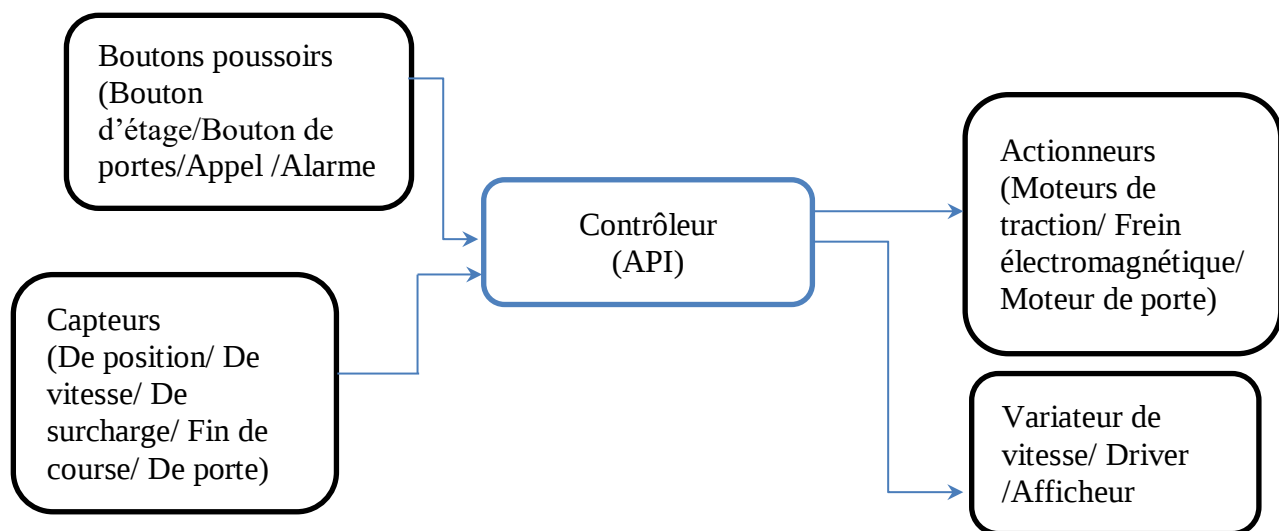


Figure 11: Schéma fonctionnel d'un ascenseur électrique

Les boutons poussoirs constituent l'interface directe entre l'utilisateur et le système de l'ascenseur. Ils permettent d'envoyer des commandes au contrôleur, que ce soit pour appeler la cabine depuis un étage, sélectionner une destination à l'intérieur de la cabine, ou encore commander l'ouverture et la fermeture des portes. Un bouton d'alarme est également prévu pour les situations d'urgence. Une fois activé, chaque bouton transmet un signal au système de commande qui analyse la demande et déclenche l'action correspondante.

Les capteurs assurent la surveillance continue du fonctionnement de l'ascenseur et jouent un rôle essentiel dans la sécurité. Ils permettent de connaître la position de la cabine, de limiter ses déplacements afin d'éviter tout dépassement des extrémités, de vérifier la bonne fermeture des portes et de détecter la présence d'obstacles. Ils contrôlent aussi la charge transportée afin d'empêcher le fonctionnement en cas de surcharge.

Le contrôleur programmable reçoit toutes les informations issues des boutons et des capteurs. Il les traite selon un programme prédéfini et envoie ensuite les ordres nécessaires aux différents éléments du système afin d'assurer un fonctionnement cohérent et sécurisé de l'ascenseur.

Les actionneurs sont responsables de l'exécution des ordres envoyés par le contrôleur. Ils comprennent le moteur de traction qui assure le déplacement de la cabine, le frein électromagnétique qui garantit son immobilisation en toute sécurité, ainsi que le moteur des portes qui permet leur ouverture et leur fermeture.

Le variateur de vitesse permet de contrôler la vitesse du moteur de traction. Il assure des démarrages et des arrêts progressifs, ce qui améliore le confort des passagers tout en réduisant les efforts mécaniques et la consommation énergétique du système.

2.2.2 Description générale de l'architecture

Le système d'ascenseur électrique est composé de plusieurs éléments interconnectés, notamment les capteurs, les actionneurs, le contrôleur et les interfaces utilisateur. Les capteurs envoient des informations au contrôleur, qui traite les données et commande les différents actionneurs afin d'assurer le déplacement sécurisé de la cabine.

2.3 Composants du système

Cette partie est consacrée à la présentation des différents composants utilisés dans un ascenseur électrique.

2.3.1 Partie électronique

Dans cette section, nous présentons les composants électroniques assurant la détection, la commande et l'affichage des informations.

2.3.1.1 Capteurs

Cette partie décrit les différents capteurs utilisés pour surveiller et sécuriser le fonctionnement de l'ascenseur.

2.3.1.1.1 Capteur de position (Proximité inductif)

Ce type de capteur est réservé à la détection sans contact d'objets métalliques, [12] afin de déterminer la position de la cabine. Il est installé sur la cabine ou dans la gaine. La technologie des détecteurs de proximité inductifs est basée sur la variation d'un champ électromagnétique à l'approche d'un objet conducteur du courant électrique [13] ce qui permet au contrôleur de déterminer la position exacte de la cabine.



Figure 12 : Capteur de proximité inductif [14].

2.3.1.1.2 Capteur de vitesse (Encodeur rotatif)

La vitesse de la cabine est déterminée à partir des impulsions générées par l'encodeur, convertissant la rotation du moteur en un déplacement linéaire. Installé sur l'arbre du moteur d'entraînement ou sur la poulie de traction [15], il transmet des signaux électriques au contrôleur, permettant une estimation précise de la vitesse et de la position de la cabine.



Figure 13 : Encodeur rotatif [14]

2.3.1.1.3 Capteur de surcharge (Cellules de charge)

La cellule de charge mesure avec précision la charge transportée par la cabine. [16] (avec contact). Elle est montée sous la cabine de l'ascenseur, Lorsque la charge nominale de l'ascenseur est dépassée, le système émet un avertissement et l'ascenseur ne se met pas en marche [17], cela permet d'éviter les situations dangereuses.



Figure 14 : Cellule de charge [18].

2.3.1.1.4 Fin de course (Limit-Switch)

Le capteur de fin de course est un dispositif électromécanique utilisé pour détecter l'état de la porte : complètement ouverte ou complètement fermée, ainsi que la position limite d'un mécanisme par contact physique. Il est installé dans la gaine de l'ascenseur Lorsque la partie mobile atteint cette position, l'interrupteur envoie un signal électrique au système de contrôle.



Figure 15 : Limit-Switch [19].

2.3.1.1.5 Capteur de porte (Capteur infrarouge)

Capteur infrarouge est un dispositif de sécurité numérique utilisé pour détecter la présence d'une personne (sans contact). Ils sont généralement placés sur les côtés de la porte. Un émetteur projette un faisceau de lumière infrarouge invisible vers un récepteur placé en face. La fermeture de la porte est interdite tant que des passagers se trouvent dans le rayon d'action du capteur [20]

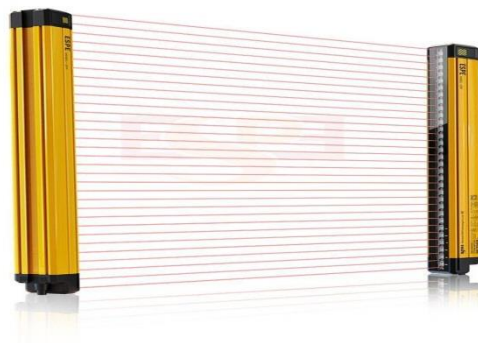


Figure 16 : Barrière infrarouge.

2.3.1.2 Modules électroniques de commande

Cette partie regroupe les dispositifs électroniques utilisés pour la commande et l'affichage.

2.3.1.2.1 Driver pour moteur BLDC

Le driver BLDC est principalement responsable de commander le moteur brushless, ce qui permet de contrôler directement l'ouverture et la fermeture des portes de l'ascenseur. Il est un circuit électronique conçu pour contrôler le fonctionnement des moteurs à courant continu sans balais. Il contrôle la vitesse, le couple et la direction du moteur en fournissant un courant et une tension précis aux enroulements du moteur. [21]

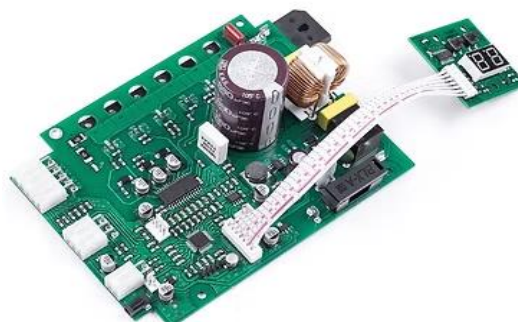


Figure 17 : Pilote de moteur BLDC pour machine à coudre [21].

2.3.1.2.2 Ecran d'afficheur

Un écran LED, également appelé écran à diodes électroluminescentes, est une surface plane ou flexible composée de plusieurs modules LED disposés en matrice. Chaque module contient de nombreuses diodes qui émettent de la lumière lorsqu'un courant électrique les traverse. L'ensemble de ces diodes forme un écran capable d'afficher du texte, des images, des vidéos ou des animations. [26] Dans les ascenseurs, cet écran est utilisé pour afficher des informations aux usagers, telles que l'étage actuel de la cabine, la direction du mouvement (montée ou descente) et parfois des messages d'information.



Figure 18: Afficheur à LED [22].

2.3.2 Partie électrique

Dans cette section, nous présentons les équipements électriques assurant le déplacement et l'alimentation du système.

3.3.2.1 Moteurs de traction (Moteur synchrone à aimants permanents PMSM)

Responsable du déplacement de la cabine de manière verticale. Communément appelée machine de traction sans engrenage, elle est installée dans la salle des machines de l'ascenseur ou dans la cage d'ascenseur, généralement au-dessus du dernier étage du bâtiment ou à l'intérieur de la cage, et constitue l'unité de puissance de l'ascenseur. La machine de traction synchrone à aimant permanent entraîne directement la poulie à câble sans boîte de vitesses. [23] Ce qui permet de déplacer la cabine de l'ascenseur avec précision.

Moteur synchrone à aimants permanents compose, comme le moteur asynchrone, d'un stator et d'un rotor séparés par un entrefer. La seule différence se situe au niveau de la conception du rotor. La figure ci-dessous montre un rotor à pôles saillants constitués d'aimants permanents ou d'électro-aimants alimentés en courant continu.

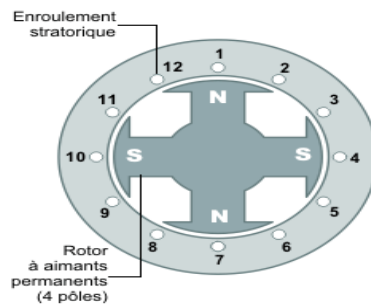


Figure 19 : Principe de fonctionnement d'un PMSM [24].

PMSM (Moteur synchrone à aimants permanents)

Après le démarrage, le moteur tourne en synchronisme avec le champ tournant. A vide les axes des pôles du champ tournant et du rotor sont confondus. En charge, les axes sont légèrement décalés. La vitesse du moteur synchrone est constante quelle que soit la charge.

On notera aussi que : La charge (le système d'ascenseur) ne doit pas dépasser l'effort de démarrage entre le rotor et le champ tournant. Le couple moteur est proportionnel à la tension à ses bornes [11] il est contrôlé par un variateur de vitesse.



Figure 20 : Moteur synchrone à aimants permanents [16].

2.3.2.2 Variateur de vitesse (Variateur VVVF)

Le VVVF est principalement responsable de la régulation de la vitesse du moteur de traction, ce qui contrôle directement la vitesse du déplacement de la cabine dans la gaine. Il est un système permettant de contrôler la vitesse de rotation des moteurs électriques à courant alternatif en ajustant la fréquence d'alimentation. Le système comprend un moteur, un contrôleur et une interface opérateur, et utilise des techniques de modulation pour produire une tension et une fréquence variables. Il le fait en convertissant l'entrée de puissance AC en DC, puis en utilisant un onduleur pour la reconvertir en AC à une tension et une fréquence variable. Cela permet un contrôle précis de la vitesse du moteur. [25]



Figure 21: Variateur VVVF [26].

VVVF (Variateur de tension et de fréquence)

2.3.2.3 Moteur de porte (Brushless DC)

Le moteur à courant continu sans balais (moteur BLDC) est un type de moteur synchrone qui fonctionne en courant continu mais nécessite un contrôleur électronique [27]. Il est utilisé pour entraîner le mécanisme d'ouverture et de fermeture des portes de l'ascenseur.

Comme tous les moteurs, un moteur brushless possède un stator et un rotor comme pièces principales. Le rotor est fabriqué à partir d'aimants permanents et la partie extérieure, le stator, comporte plusieurs enroulements en cuivre en fonction du nombre de pôles magnétiques sur le rotor. Ces enroulements sont placés dans des fentes qui sont coupées axialement le long de la périphérie intérieure du stator.

Le moteur tourne lorsque le rotor tourne à l'intérieur du stator. L'électronique fait tourner le rotor en induisant une série de champs magnétiques dans les enroulements en cuivre qui peuvent pousser et tirer les aimants permanents dans une séquence qui assure une rotation continue. [28]



Figure 22 : Brushless DC [29].

BLDC (Moteur à courant continu sans balais)

2.3.2.4 Frein électromagnétique (Frein électromagnétique à ressorts)

Le frein d'ascenseur est un dispositif de sécurité installé sur le moteur de traction d'un ascenseur, conçu pour arrêter et maintenir la cabine immobile. Lorsque le moteur est à l'arrêt ou en cas de coupure de courant, les ressorts appliquent une pression sur les garnitures de frein, ce qui maintient la roue de frein immobile et empêche la rotation du moteur. Lorsque le moteur de traction est alimenté, la bobine de l'électroaimant est excitée, créant un champ magnétique qui attire le noyau et comprime les ressorts, ce qui libère le frein et permet au moteur de tourner. En cas de coupure de courant, la force magnétique disparaît et les ressorts appliquent en cas de coupure de courant, la force magnétique disparaît et les ressorts appliquent le frein, empêchant ainsi la rotation du moteur.



Figure 23: Frein électromagnétique [22]

2.3.2.5 Alimentation

Dans les ascenseurs réels, l'alimentation électrique la plus utilisée est le 380V triphasé pour le moteur principal, car elle permet d'assurer une puissance et une stabilité élevées. Cette alimentation est ensuite adaptée en différentes tensions pour alimenter les circuits de commande, les capteurs et les dispositifs de sécurité.

2.3.3 Système de commande

Dans cette section, nous présentons le système chargé de superviser et contrôler l'ensemble des opérations de l'ascenseur.

2.3.3.1 Contrôleur (L'automate Programmable Industriel)

L'automate Programmable Industriel (API) est un appareil électronique, adapté à l'environnement industriel, qui réalise des fonctions d'automatisme pour assurer la commande du système à partir d'informations logiques, analogiques ou numériques. [30]

Il est le plus utilisé dans les systèmes d'ascenseurs pour assurer la gestion de toutes les opérations, telles que le déplacement de la cabine, l'ouverture et la fermeture des portes, la lecture des signaux des capteurs, ainsi que la supervision de l'ascenseur afin de garantir un fonctionnement sûr et efficace.

Il se trouve généralement dans l'armoire de commande de l'ascenseur, située soit dans la salle des machines, soit près de la gaine de l'ascenseur. Il comporte trois modules, à savoir : le module CPU, le module d'alimentation et un ou plusieurs modules d'entrée/sortie (E/S). De même, des protocoles de communications et des interfaces hommes machines viennent compléter le fonctionnement global de l'automate programmable. [31]

- **Module CPU ou unités centrales de traitement** : Les unités centrales de traitement, ou CPU, agissent comme le cerveau d'un automate programmable. Elles lisent et interprètent les données d'entrée pour produire des résultats et des commandes qui sortent des modules de sortie sous forme de signaux. [31]
- **Module d'alimentation électrique** : Le circuit informatique des automates programmables fonctionne sur une sortie de 5 ou 24 VDC, qui est fournie par le module d'alimentation électrique. Il s'agit essentiellement du module responsable de la mise sous tension du

système. Il reçoit le courant alternatif et le convertit en courant continu que les deux autres modules (unité centrale et modules d'entrée/sortie) utilisent. [31]

- **Modules d'entrée/sortie :** Les modules d'entrée/sortie sont chargés de connecter les capteurs et les actionneurs aux automates programmables pour détecter les différents paramètres tels que la pression, la température et le débit. Les modules d'entrée/sortie peuvent être numériques ou analogiques. Et plus précisément :
- **Modules d'entrée :** Un automate programmable doit recueillir des informations avant même de pouvoir commencer à traiter des données. Il y a deux sources principales d'entrées : celles qui proviennent des relevés de l'équipement et celles qui sont facilitées par l'homme. Les modules d'entrée relient l'automate programmable à des dispositifs sur l'équipement tels que des capteurs, des détecteurs de niveau et d'autres instruments de mesure. Ces modules d'entrée peuvent également se connecter à des entrées facilitées par l'homme, comme des boutons, des interrupteurs et des cadrans.
- **Modules de sortie :** Après avoir traité les données, un automate programmable doit traduire ses résultats en actions externes correspondantes pour l'équipement lié. Des modules de sortie relient l'automate à des dispositifs de sortie tels que des relais, des lumières, des vannes et d'autres composants. [31]

Dans un système d'ascenseur, l'Automate communique avec les différents équipements du système (capteurs, variateur de vitesse, moteurs et interface de supervision) grâce à des protocoles de communication tels que PROFINET, EtherCAT et CC-Link, afin d'assurer l'échange rapide et fiable des données pour le bon fonctionnement de l'ascenseur.



Figure 24: Automate Programmable Industriel [32].

2.3.4 Interfaces utilisateur (Boutons poussoirs)

Dans cette section, nous présentons les dispositifs permettant l'interaction entre l'utilisateur et l'ascenseur. Les boutons d'ascenseur sont des dispositifs de commande permettant la communication entre l'utilisateur et le système de contrôle de l'ascenseur. Ils s'agissent des interrupteurs électriques (Switch) reliés à un système de commande qui enregistre la demande de l'utilisateur. Lorsqu'un bouton est enfoncé, un signal est envoyé à l'unité de commande centrale de l'ascenseur. [33]. Ils sont installés à l'intérieur de la cabine pour sélectionner l'étage souhaité, et à

l'extérieur sur chaque palier pour appeler l'ascenseur en indiquant le sens de déplacement (montée ou descente).

Les boutons d'ascenseur se déclinent en différents types et modèles, répondant à différentes fonctionnalités et aux besoins des utilisateurs [34]

Parmi les boutons utilisés, on distingue :

- Bouton d'étage
- Bouton des portes et d'alarme
- Bouton d'appel extérieur



a Bouton d'étage



b Bouton des portes et d'alarme

Figure 25 : Types de boutons intérieurs.



Figure 26 : Bouton d'appel extérieur.

2.3.5 Partie mécanique

Cette section est consacrée aux éléments mécaniques assurant la structure et le déplacement de l'ascenseur.

2.3.5.1 Cabine

C'est l'espace clos qui transporte des passagers d'un niveau à un autre dans un bâtiment. Les cabines d'ascenseur modernes sont conçues pour répondre à des normes et réglementations de sécurité strictes. Ils sont équipés de diverses fonctions de sécurité, notamment des boutons d'arrêt d'urgence, des capteurs pour détecter les obstructions et des systèmes d'alimentation de secours en cas de panne de courant. Les cabines d'ascenseur sont également conçues pour être durables, capables de résister à une utilisation répétée au fil des années sans ne se briser ni montrer de signes d'usure [35].



Figure 27 : Cabine d'ascenseur [22].

2.3.5.2 Rails de guidage

Les rails de guidage d'ascenseur constituent des éléments de sécurité essentiels permettant le déplacement vertical de la cabine dans la gaine. Ils sont installés le long des parois du puits et fixés solidement au mur à l'aide de supports spécifiques. Ces rails assurent le guidage précis de la cabine lors des mouvements de montée et de descente, tout en garantissant sa stabilité. Les rails les plus couramment utilisés dans les ascenseurs sont les guides en forme de T [16].

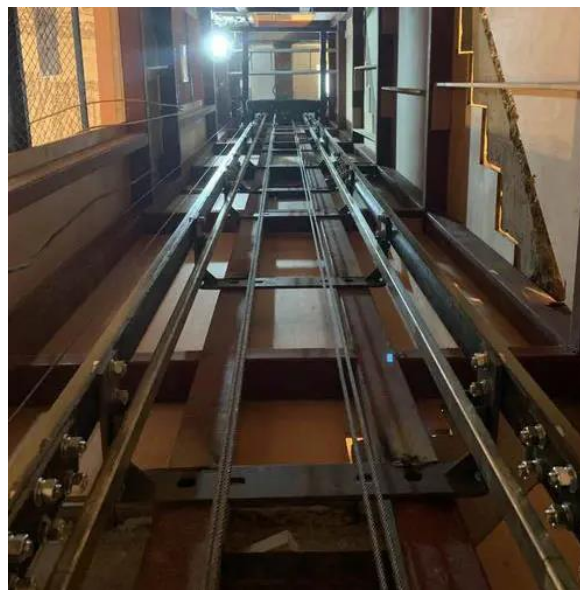


Figure 28 : Rails de guidage [36].

2.3.5.3 Poulies et câbles

Une poulie d'ascenseur est un dispositif mécanique sur lequel circulent les câbles de l'installation. Elle peut être classée en poulie de traction ou en poulie de renvoi selon sa fonction dans le système. La poulie de traction est montée directement sur la machine de levage et assure la transmission du mouvement aux câbles, permettant ainsi le déplacement de la cabine et du contrepoids.

Les poulies de renvoi sont quant à elles installées le long du trajet des câbles afin de guider leur passage vers la cabine et le contrepoids. Elles se divisent généralement en deux types : les poulies pleines, caractérisées par une structure fermée, et les poulies à rayons. Les poulies pleines sont principalement utilisées dans les installations hydrauliques, tandis que les poulies à rayons sont plus courantes dans les systèmes à câbles, bien que les deux puissent être utilisées selon les configurations.



Figure 29: Poulie et câble [37].

2.3.5.4 Contrepoids

Les contrepoids sont utilisés uniquement dans les ascenseurs à traction. Ils constituent une masse additionnelle permettant d'équilibrer le système de l'ascenseur, ce qui facilite la montée et la descente de la cabine et réduit l'effort demandé au système de levage. Ils se déplacent en sens opposé à celui de la cabine de l'ascenseur. Ils sont installés dans la gaine d'ascenseur, soit sur le côté, soit à l'arrière de la cabine, selon la configuration des ouvertures des portes [38].



Figure 30: Contrepoids [39].

2.3.5.5 Châssis

Un châssis d'ascenseur est une structure robuste, généralement en acier, qui sert de support à la cabine de l'ascenseur. Ce composant essentiel assure la stabilité et la sécurité de l'installation. Il est relié soit directement au piston dans les ascenseurs hydrauliques, soit aux points d'attache des câbles dans les ascenseurs électriques. [40]



Figure 31 : Châssis [41].

2.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'architecture générale d'un ascenseur électrique pour passagers ainsi que les différents composants constituant le système. Nous avons étudié les principales parties électroniques, électriques, mécaniques et de commande, en mettant en évidence le rôle de chaque élément dans le fonctionnement, la sécurité et le contrôle de l'ascenseur.

Nous avons également présenté les différents capteurs, actionneurs, moteurs, dispositifs de commande et interfaces utilisateur utilisés dans les ascenseurs modernes, ainsi que leurs principes de fonctionnement et leurs interactions au sein du système.

Au cours de cette étude, nous avons présenté et compris l'ensemble des parties et des composants essentiels les plus utilisés dans les ascenseurs réels et modernes. Cette étude nous a permis d'analyser le rôle de chaque élément dans le fonctionnement global du système, avant de passer à l'utilisation de nos propres composants dans notre projet.

Chapitre III : Matériel, conception et assemblage du système d'ascenseur intelligent

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons l'étude des différents composants matériels et logiciels utilisés pour la réalisation du système d'ascenseur intelligent, ainsi que leur rôle dans le contrôle. Nous abordons également la modélisation du système, les scénarios de fonctionnement et les mécanismes de sécurité et de sûreté mis en œuvre afin d'assurer un fonctionnement fiable et efficace de l'ascenseur.

3.2 Architecture matérielle du système

Cette partie présente l'ensemble des composants matériels utilisés dans la réalisation du prototype d'ascenseur ainsi que leur rôle dans le fonctionnement du système.

3.2.1 Carte de commande Arduino Mega 2560

Nous avons utilisé la carte Arduino Mega 2560 comme système de contrôle (figure 3.1) afin de piloter un ascenseur, en lisant les boutons et les capteurs, puis en commandant le moteur et le servomoteur de manière organisée. Cette carte est conçue pour des projets plus complexes et offre une grande capacité mémoire pour les programmes, ce qui apporte à notre projet davantage de flexibilité et de possibilités d'évolution.

- **Paramètre technique de la carte Arduino Mega 2560 :** Les paramètres techniques de la carte sont présentés ci-dessous :
 - Tension d'alimentation : 5 V (USB), 7-12 V (adaptateur secteur)
 - Tension des broches d'E/S : 5 V
 - Microcontrôleur : ATmega2560
 - o Fréquence d'horloge maximale : 16 MHz
 - o Mémoire flash : 256 Ko (8 Ko sont réservés au bootloader)
 - o Ports E/S : 54
 - o Sorties PWM : 15
 - o Nombre d'entrées analogiques : 16 (canaux du convertisseur A/C)
 - o Interfaces série : UART, SPI, I2C
 - o Interruptions externes [42]



Figure 32 : Carte Arduino Mega 2560 [42].

3.2.2 Système de détection des étages

Cette partie présente les capteurs utilisés pour détecter la position de la cabine et assurer un arrêt précis à chaque étage.

3.2.2.1 Capteur infrarouge

Le système repose sur le capteur infrarouge pour détecter la position de la cabine aux différents niveaux de l'ascenseur (figure 3.2), afin d'assurer un arrêt précis et un bon positionnement au niveau de chaque étage. En capturant le signal de la plaque. Nous avons alimenté le capteur à l'aide d'une source externe de 5 V, en connectant les broches VCC et GND. Ensuite, nous avons relié la broche de sortie (OUT) aux entrées numériques 22, 26 et 30 (pour 3 étages) de l'Arduino Mega 2560 afin de récupérer les signaux de détection.

- **Caractéristiques du capteur infrarouge :** Le capteur infrarouge utilisé dans notre système possède les caractéristiques suivantes :
 - Tension de fonctionnement: 3V - 5.5V
 - Plage de détection : 2cm – 40cm
 - Niveau de sortie : Niveau logique bas lorsqu'un obstacle est détecté
 - Courant de travail: 20mAh
 - Interface IO: 4 lignes (-/+ / S / EN)
 - Signal de sortie: Niveau TTL
 - Angle effectif: 35 ° [1]



Figure 33 : Capteur infrarouge [42].

3.2.2.2 Fin de course optique infrarouge

Nous avons utilisé ce capteur (figure 3.3) pour le rez-de-chaussée. Il possède le même usage et le même principe de fonctionnement que les autres capteurs infrarouges. Relié avec l'alimentation et le pin 24 de la carte Arduino.

- **Caractéristiques du fin de course optique infrarouge :** Le capteur optique de fin de course se caractérise par les éléments suivants :
 - LED active au contact : oui
 - Tension d'entrée: 5V
 - Tension du signal: 5V binaire (0 ou 1)
 - Connexion : connecteur Dupont 3 pin [1]



Figure 34 : Fin de course optique infrarouge [42].

3.2.3 Système d'entraînement de la cabine

Cette section présente les éléments responsables du déplacement de la cabine de l'ascenseur.

3.2.3.1 Moteur à courant continu à engrenages

Nous avons mis en œuvre un moteur dc à engrenages de précision (figure 3.4) ainsi qu'une petite pièce jouant le rôle de poulie, associée à un fil, afin d'assurer la montée et la descente de la cabine.

- **Description du moteur à engrenages :** Voici une description du moteur à engrenages utilisé dans notre système :
 - Taille du moteur : longueur 18 mm, largeur 16 mm
 - Longueur de l'arbre: 6mm
 - Plage de tension : 1,5 à 6 V
- **Paramètres du moteur à engrenages :** Voici les paramètres techniques du moteur :
 - Lorsque la puissance est de 3V, le courant est de 11mA, environ 49 rpm
 - Lorsque l'alimentation est de 6 V, le courant est de 15 mA, environ 98 tr/min [42]



Figure 35: Moteur à engrenages de précision [42].

3.2.3.2 Driver MOTOR DC 2 CH

Nous avons adopté le driver MOTOR DC 2 CH (figure 3.5) afin de contrôler le sens de rotation et la vitesse du moteur, tout en protégeant la carte Arduino, qui ne peut pas fournir le courant nécessaire au fonctionnement direct du moteur. Avec une tension d'alimentation de 2 V à 10 V et une protection thermique intégrée.



Figure 36 : Driver MOTOR DC 2 CH [42].

Nous avons connecté les deux fils du moteur (rouge et noir) aux bornes de sortie du driver (moteur A), puis nous avons relié les bornes d'alimentation (+ et -) du driver à la source d'alimentation, et les entrées IN1 et IN2 au pin 32 et 34 d'Arduino pour contrôler le sens de rotation.

3.2.4 Système d'ouverture et fermeture des portes

Cette partie présente le mécanisme utilisé pour commander automatiquement l'ouverture et la fermeture des portes de la cabine.

Le servomoteur assure la commande des portes de la cabine en offrant un positionnement angulaire précis. Il est programmé pour tourner entre deux positions : 0° (porte fermée) et 120° (porte ouverte), garantissant ainsi un fonctionnement automatique et fiable du système. (Figure 3.6). Nous avons connecté les deux fils d'alimentation au module (VCC et GND), puis nous avons relié la troisième broche (sortie) à la broche numérique 11 de l'Arduino (PMW).

– **Caractéristiques du servomoteur :** Le servomoteur présente les caractéristiques suivantes :

- Dimension: 40mm x 19mm x 43mm
- Vitesse d'utilisation: 0.17sec / 60 degrés (4.8V sans charge)
- Couple d'arrêt: 13 kg-cm (180,5 oz-in) à 4,8 V
- Tension d'opération: 4.8 - 7.2Volts
- Type d'engrenage: tous les engrenages en métal



Figure 37 : Servomoteur [42].

3.2.5 Circuit de prototypage et câblage

Cette partie présente les différents éléments utilisés pour assurer les connexions électriques entre les composants du système. Le breadboard est une plaque de prototypage permettant de réaliser des montages électroniques sans soudure. Afin d'assurer les différentes connexions du

circuit, nous avons utilisé des fils jumper mâle-mâle ainsi que des câbles Ethernet. Le montage électronique du système a été réalisé à l'aide de deux breadboards.

3.2.6 Interface utilisateur et commande

Cette section présente les dispositifs permettant à l'utilisateur d'interagir avec le système d'ascenseur.

3.2.6.1 Boutons poussoirs

Le système comporte neuf boutons poussoirs : quatre boutons internes destinés à la sélection des étages à l'intérieur de la cabine, quatre boutons externes permettant l'appel de la cabine depuis les différents niveaux et bouton pour l'alarme. (Figure 3.7). Nous avons connecté une borne de chaque bouton à la masse (GND), tandis que l'autre borne a été reliée aux broches numériques 1 à 9 de l'Arduino.



Figure 38 : Bouton poussoir [42].

3.2.6.2 Module buzzer actif

Dans notre projet d'ascenseur, nous avons utilisé un buzzer actif comme dispositif d'alarme et de sécurité (figure 3.8). Il permet d'émettre un signal sonore en cas de problème, de danger ou de situation anormale dans le système. Lorsqu'un utilisateur appuie sur le bouton d'alarme, le buzzer produit un son afin d'avertir les personnes présentes et d'indiquer qu'une intervention est nécessaire. Ce composant contribue ainsi à renforcer la sécurité et la fiabilité du fonctionnement de l'ascenseur.

Nous avons relié les deux broches d'alimentation ainsi que la troisième broche à la broche 36 de la carte.

- **Description du module buzzer :** Voici une description du module buzzer utiliser dans notre système :
 - Modèle: KY-012
 - Haut-parleur actif
 - Tension: 5V



Figure 39: Module buzzer actif [42].

3.3 Plateforme de développement

Cette rubrique est consacrée à programmer et tester le système de contrôle.

3.3.1 Arduino IDE

Nous avons utilisé la plateforme Arduino pour programmer et contrôler les différents composants de l'ascenseur. Ainsi que d'exécuter l'algorithme de commande assurant le déplacement de la cabine et l'ouverture et la fermeture des portes. Afin de valider notre partie expérimentale, nous avons implémenté nos programmes en langage C++ à l'aide de la plateforme Arduino IDE. Les différents programmes réalisés sont présentés en annexe.

Cette figure illustre l'interface de la plateforme Arduino IDE et un extrait du programme utilisé pour contrôler le système d'ascenseur.

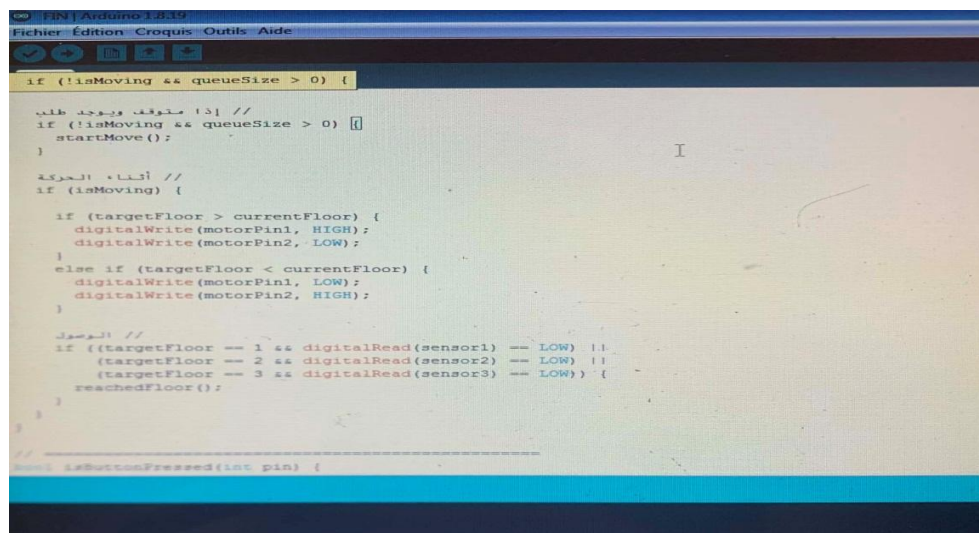


Figure 40 : Programme sur Aruino_IDE.

3.4 Modélisation et schéma du système de contrôle

3.4.1 Modélisation fonctionnelle du système d'ascenseur

La figure suivante représente une modélisation fonctionnelle du système d'ascenseur automatisé. Elle illustre les principaux composants du système.

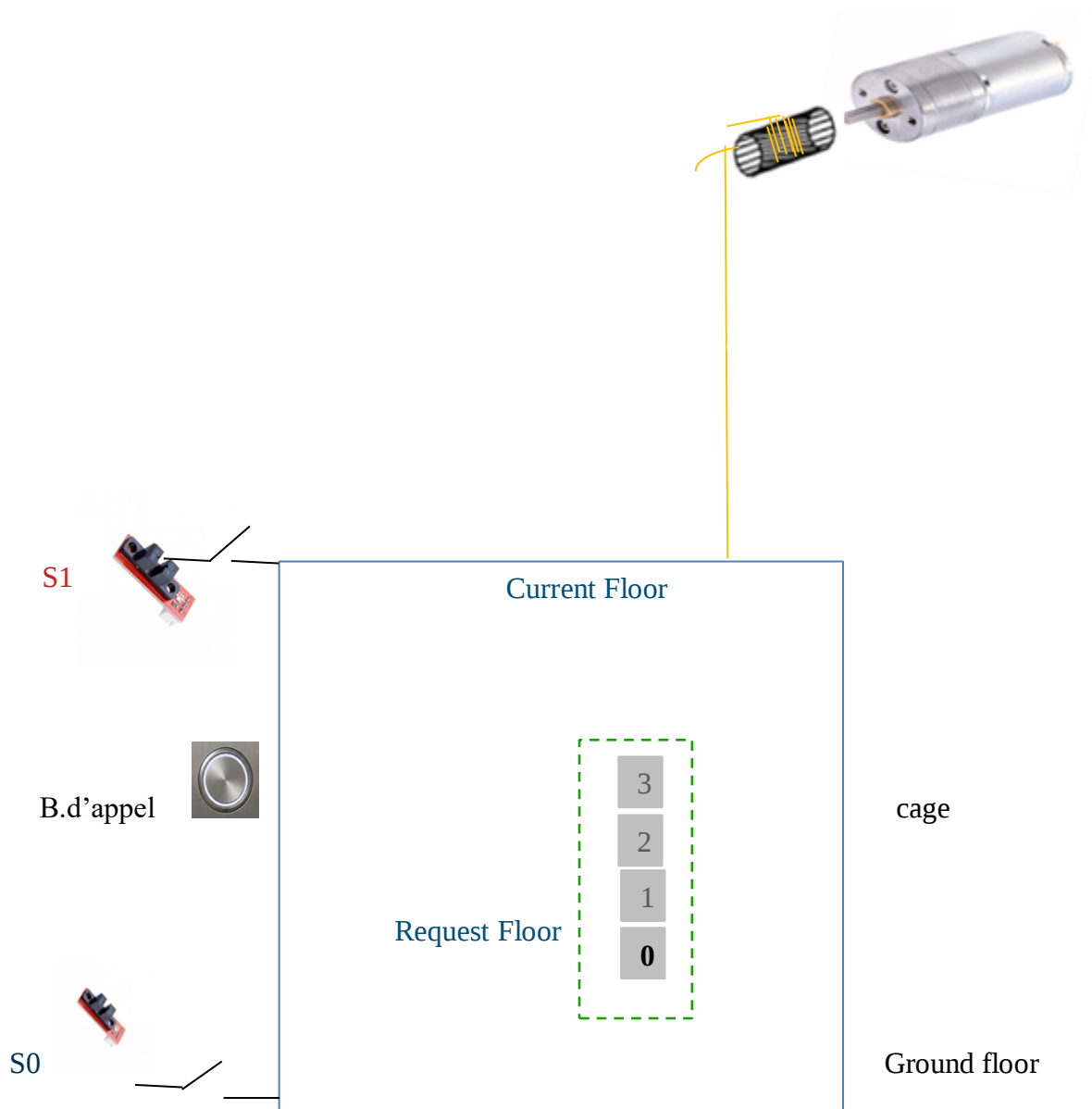


Figure 41: Modélisation des systèmes d'ascenseurs.

Avec :

BP0 à BP3 : bouton-poussoir pour demander l'étage

S0_S1: capteur infrarouge pour détecter l'étage

BD0 à PD3 : bouton d'appel

Ecran d'affichage pour l'étage actuel

M : moteur électrique est utilisé pour monter et descendre de la cabine.

BA : bouton d'alarme

3.4.2 Modélisation du déplacement de la cabine

La figure suivante représente une modélisation du déplacement de la cabine d'un ascenseur entre les différents étages. Elle illustre les directions de déplacement de la cabine dans le système. Dans chaque étage, il existe un capteur de détection permettant de localiser la cabine de l'ascenseur.

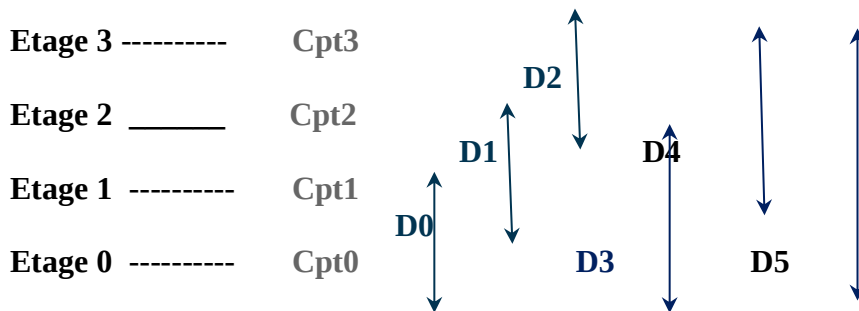


Figure 42 : Modélisation du déplacement d'ascenseur r+3.

Avec :

- D0 : distance entre le rez-de-chaussée (étage 0) et le premier étage.
- D1 : distance entre le premier étage et le deuxième étage.
- D2 : distance entre le deuxième étage et le troisième étage.
- D3 : distance entre le rez-de-chaussée et le deuxième étage.
- D4 : distance entre le premier étage et le troisième étage.
- D5 : distance entre le rez-de-chaussée et le troisième étage

3.4.3 Diagramme à états finis (FSM)

On représente dans cette figure un diagramme à états finis (FSM) du système d'ascenseur. Il illustre l'ensemble des scénarios possibles de fonctionnement du système.

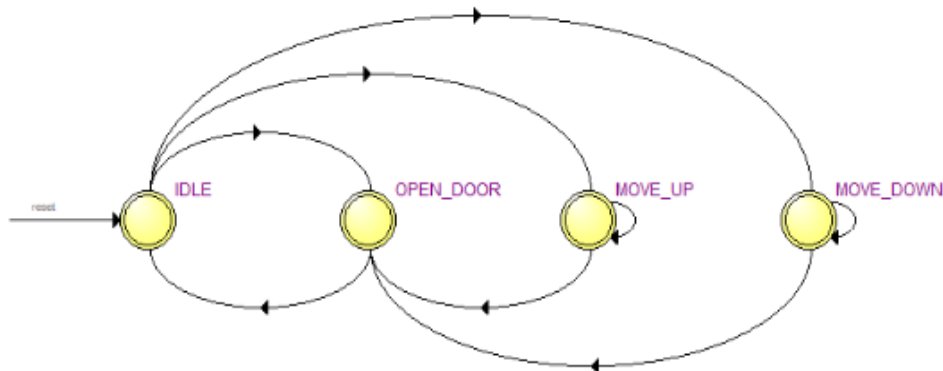


Figure 43: Diagramme à états finis d'un ascenseur à R+3 étages.

3.5 Sécurité et gestion des anomalies

Cette partie présente les principaux mécanismes de sécurité intégrés dans notre système d'ascenseur ainsi que les différentes méthodes utilisées pour gérer certaines situations anormales ou erreurs de fonctionnement, afin d'assurer un fonctionnement fiable et sécurisé du système.

3.5.1 Système d'alarme et bouton d'urgence

Afin d'assurer la sécurité des utilisateurs en cas de problème ou de situation d'urgence, nous avons intégré un bouton d'alarme relié à un buzzer sonore.

Lorsqu'un utilisateur appuie sur le bouton d'urgence, le système détecte immédiatement cette action et active le buzzer afin d'émettre un signal sonore pour avertir les personnes présentes. Ensuite, la machine à états finis (FSM) entre dans un état d'alerte temporaire pour gérer cette situation. Après le traitement de l'alerte, le système reprend automatiquement son fonctionnement normal.

3.6 Sûreté de fonctionnement et optimisation du système

Dans cette section, nous présentons les principes clés qui garantissent la sûreté de fonctionnement et l'optimisation du système d'ascenseur. L'objectif est d'assurer à la fois la fiabilité technique, le confort des passagers et l'efficacité énergétique, tout en se rapprochant du comportement observé dans les ascenseurs réels.

- Gestion intelligente des déplacements grâce à la mémorisation des demandes.
- Continuité du mouvement dans le même sens afin d'éviter les changements inutiles de direction.
- Priorité accordée aux commandes intérieures pour améliorer le confort des passagers.
- Réduction des temps d'attente grâce à l'optimisation des trajets.
- Prévention des mouvements inutiles lorsque l'utilisateur sélectionne l'étage actuel.
- Ouverture automatique de la porte lorsque la cabine se trouve déjà à l'étage demandé.
- Réduction de l'usure mécanique du moteur et des composants.
- Amélioration de la stabilité et de la fiabilité du système.
- Fonctionnement plus proche des ascenseurs réels grâce à une logique FSM structurée.
- Gestion sécurisée des commandes et des transitions entre les états.
- Diminution des erreurs de fonctionnement et des commandes inutiles.
- Optimisation de la consommation d'énergie en évitant les activations inutiles du moteur.
- Intégration d'un système d'alerte pour améliorer la sécurité des utilisateurs.

3.7 Scénarios de fonctionnement

Afin de valider le comportement du système d'ascenseur et de vérifier l'efficacité de la logique de commande adoptée, plusieurs scénarios de fonctionnement ont été étudiés et testés. Ces scénarios permettent d'analyser les différentes situations possibles auxquelles le système peut être confronté, telles que la gestion des appels multiples, la mémorisation des demandes, le respect du sens de déplacement et le traitement des commandes simultanées. Cette étude permet également d'évaluer la stabilité, la fiabilité et les performances globales du système dans des conditions de fonctionnement proches d'un ascenseur réel.

3.7.1 Scénario a fonctionnement normale

▪ Scénario 1 : Montée avec mémorisation des demandes

Dans ce scénario, nous testons le fonctionnement de l'ascenseur lors d'une montée avec mémorisation des demandes. L'objectif est de vérifier que le système enregistre correctement les appels des différents étages et les traite dans un ordre logique afin d'assurer un déplacement fluide et efficace de la cabine.

Avec : Le passager se trouve au RDC (ÉTAT 0) et $D_x \approx 3$ mètres (La distance entre deux étages).



Figure 44 : L'ascenseur au RDC.

- Les boutons des étages 2 puis 3 sont appuyés.

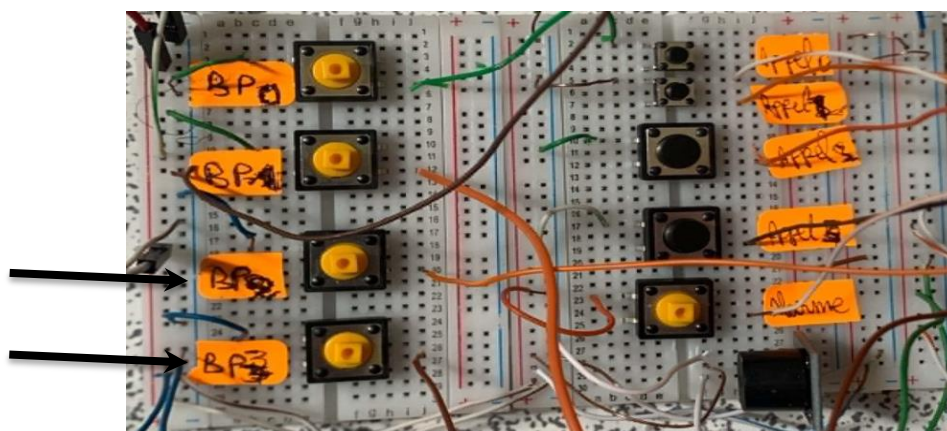


Figure 45 : Appuyés sur BD2 et BD3.

L'ascenseur démarre en montée et se dirige d'abord vers le 2^e étage où il s'arrête. La porte s'ouvre pour permettre l'entrée ou la sortie des passagers puis se referme automatiquement.

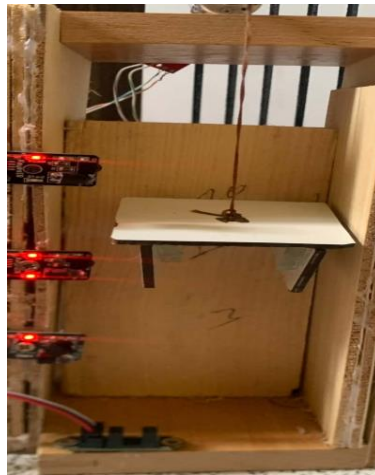


Figure 46 : L'ascenseur déplace vers l'étage 2.

Ensuite, l'ascenseur reprend son déplacement vers le 3^e étage où il s'arrête à nouveau.

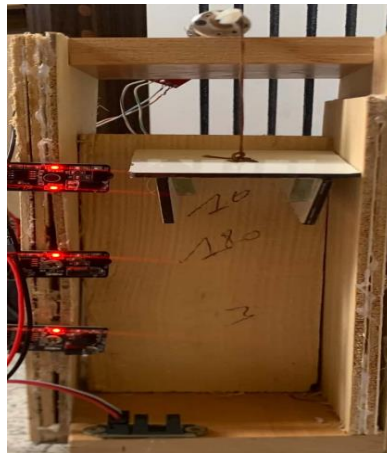


Figure 47: L'ascenseur déplace vers l'étage 3.

Ce scénario a permis de valider le bon fonctionnement du système de mémorisation des demandes lors de la montée de l'ascenseur. Les appels des étages ont été pris en compte correctement, avec un arrêt au 2^e étage avant de poursuivre vers le 3^e étage, garantissant ainsi un déplacement ordonné et efficace de la cabine. La distance totale parcourue est : $D_{\text{total}} = D_3 + D_2$.

▪ Scénario 2 : Descente avec mémorisation des demandes

Dans ce scénario, nous vérifions le fonctionnement de l'ascenseur lors d'une descente avec prise en compte des différentes demandes enregistrées.

- Le passager se trouve au 3^e étage (ÉTAT 3)

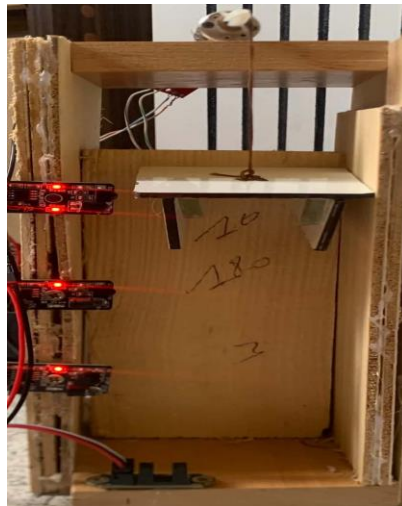


Figure 48 : L'ascenseur au l'étage 3.

- Les boutons d'appel des étages 1 puis RDC sont appuyés. Comme montré la figure suivante.

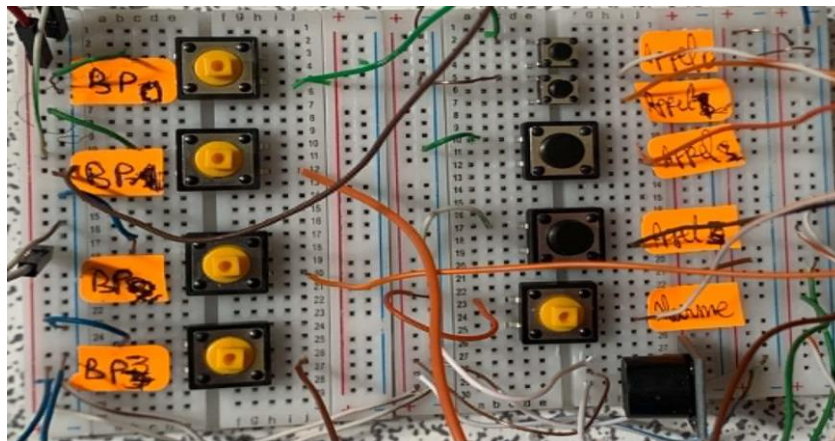


Figure 49 : Appuyés sur APL0 et APL1.

L'ascenseur démarre en descente et se dirige d'abord vers le 1er étage où il s'arrête pour répondre à la première demande mémorisée.



Figure 50 : L'ascenseur déplace vers l'étage 1.

Ensuite, il reprend son déplacement vers le RDC afin de traiter la seconde demande enregistrée.



Figure 51: L'ascenseur déplace vers RDC.

Comme dans le scénario précédent, l'ascenseur a traité correctement les demandes mémorisées en effectuant les arrêts nécessaires jusqu'à atteindre le RDC. La distance totale parcourue est : $D_{total}=D4+D0$.

3.7.2 Scénario a fonctionnement anormale

▪ Scénario 1 : Appels simultanés sur les boutons intérieurs et extérieurs

Dans ce scénario, nous étudions le fonctionnement de l'ascenseur lorsque des commandes intérieures et extérieures sont envoyées au même moment. L'objectif est de vérifier la capacité du système à organiser et traiter les demandes selon la priorité définie.

- Le passager se trouve au 1er étage.



Figure 52 : L'ascenseur au RDC.

Un utilisateur à l'intérieur demande le 3^e étage tandis qu'au même instant, un utilisateur extérieur demande le RDC.

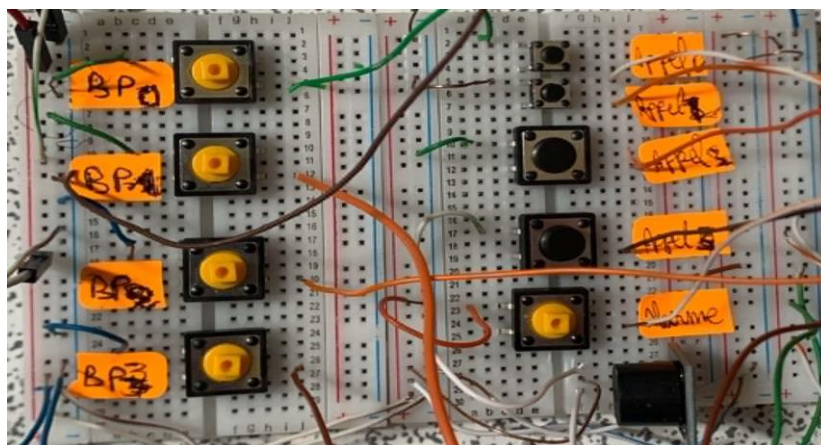


Figure 53 : Appuyés sur BP3 et APL0.

Le système donne la priorité à la commande intérieure, ainsi l'ascenseur monte d'abord vers le 3^e étage où il s'arrête.



Figure 54 : L'ascenseur au l'étage 3.

Après la fin de ce trajet, la demande extérieure mémorisée est ensuite traitée et l'ascenseur descend vers le RDC.



Figure 55 : L'ascenseur au RDC.

Les résultats obtenus montrent que l'ascenseur a correctement pris en charge les commandes simultanées en exécutant d'abord la demande intérieure, puis la demande extérieure, assurant ainsi une gestion cohérente et efficace des déplacements. La distance totale parcourue est : $D_{total} = D4 + D5$

▪ **Scénario 2 : Appels simultanés depuis les étages inférieurs et supérieurs**

Dans ce scénario, nous analysons le comportement de l'ascenseur lors de la réception d'appels simultanés provenant des étages inférieurs et supérieurs pendant son déplacement.

L'objectif est de vérifier la bonne gestion des demandes ainsi que la continuité du mouvement dans le même sens avant le changement de direction.

- Le passager se trouve au 1er étage (ÉTAT 1) et se déplace en montée vers le 2^e étage (ÉTAT 2).

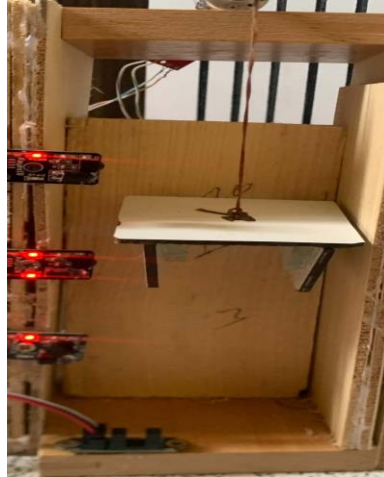


Figure 56 : L'ascenseur au l'étage 2

Pendant ce déplacement, les boutons d'appel du 1er et du 3^e étage sont appuyés simultanément.

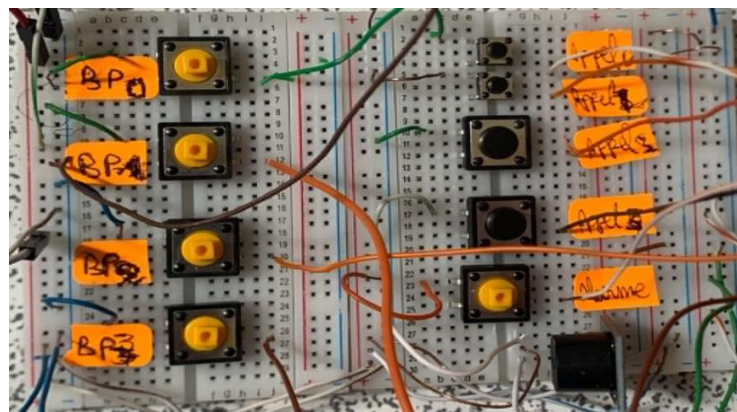


Figure 57 : Appuyés sur BP1 et BP3.

Le système maintient le sens de déplacement actuel afin d'éviter un changement inutile de direction, ainsi l'ascenseur poursuit sa montée jusqu'au 3^e étage (ÉTAT 3). Après avoir traité cette demande.

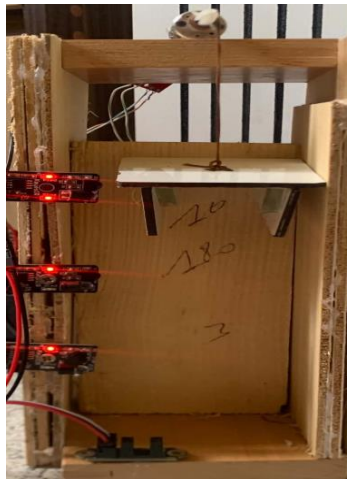


Figure 58 : L'ascenseur au l'étage 3.

Il redescend ensuite vers le 1er étage (ÉTAT 1) pour répondre au second appel mémorisé.



Figure 59 : L'ascenseur au l'étage 1.

Ce scénario a permis de montrer que l'ascenseur traite correctement les appels simultanés en poursuivant d'abord sa montée vers le 3^e étage avant de redescendre vers le 1^{er} étage. Les temps mesurés $T_1=6.76$ s et $T_2=6.71$ s confirment un fonctionnement stable et cohérent du système. La distance totale parcourue est : $D_{total}= D_2+D_4$.

3.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'architecture générale de notre système d'ascenseur ainsi que les différents composants utilisés dans sa réalisation, tels que les capteurs de détection, les boutons de commande intérieurs et extérieurs, le moteur, le driver et les dispositifs de sécurité. Nous avons également étudié plusieurs scénarios de fonctionnement afin d'analyser le comportement du système lors des déplacements, de la mémorisation des demandes et du traitement

des appels simultanés. Enfin, une attention particulière a été accordée aux aspects liés à la sûreté de fonctionnement, notamment l'arrêt d'urgence, la détection d'obstacles, la sécurité des commandes et l'optimisation des déplacements, dans le but d'assurer un fonctionnement fiable, sécurisé et efficace de l'ascenseur.

Chapitre IV : Conclusion Générale

4.1 Conclusion générale

Au terme de ce travail, nous avons réalisé une étude complète portant sur la conception et la réalisation d'un système d'ascenseur intelligent commandé par Arduino. Ce projet nous a permis d'approfondir nos connaissances dans plusieurs domaines liés à l'automatisation industrielle, l'électronique, la programmation embarquée et les systèmes de transport vertical.

Dans un premier temps, nous avons présenté une étude générale sur les ascenseurs, en abordant leur définition, leur évolution historique ainsi que les différents types utilisés selon les domaines d'application. Nous avons également étudié les principales familles d'ascenseurs, notamment les ascenseurs hydrauliques et les ascenseurs électriques (à traction à câble), en analysant leur principe de fonctionnement, leurs composants, leurs avantages et leurs limites. Cette étude théorique nous a permis de mieux comprendre l'organisation et le fonctionnement des ascenseurs modernes.

Ensuite, nous avons étudié l'architecture générale d'un ascenseur électrique pour passagers ainsi que les principaux composants qui assurent son fonctionnement. Nous avons présenté les capteurs, les actionneurs, les moteurs, les dispositifs de commande, les interfaces utilisateur et les éléments mécaniques constituant le système. Cette partie nous a permis de comprendre le rôle de chaque composant dans la sécurité, le contrôle et la gestion des déplacements de la cabine.

Dans la partie pratique, nous avons conçu et réalisé un prototype d'ascenseur intelligent basé sur la carte Arduino Mega 2560. Le système développé intègre plusieurs fonctionnalités inspirées du fonctionnement réel des ascenseurs modernes, telles que :

- la mémorisation des demandes
- la gestion des déplacements selon le sens de circulation
- l'ouverture et la fermeture automatiques des portes
- la gestion des appels intérieurs et extérieurs
- l'optimisation des trajets
- ainsi qu'un système d'alarme et de sécurité.

Nous avons également développé une logique de commande basée sur une machine à états finis (FSM), permettant d'assurer un fonctionnement organisé, stable et fiable du système. Les différents scénarios de fonctionnement réalisés ont permis de vérifier le bon comportement du prototype dans plusieurs situations normales et anormales, notamment lors des appels simultanés et des changements de direction et la sécurité.

Au cours de la phase de réalisation, plusieurs difficultés techniques et mécaniques ont été rencontrées. Parmi les principales contraintes rencontrées, nous pouvons citer :

- Difficultés liées au réglage du capteur infrarouge, dont la détection du signal n'était pas toujours précise, nécessitant plusieurs essais d'ajustement.
- Contraintes mécaniques liées au moteur utilisé, notamment la difficulté de trouver une poulie de diamètre compatible avec celui de l'axe du moteur.
- Glissement et usure du câble de traction, pouvant entraîner une perte de stabilité lors du déplacement de la cabine.
- Manque de stabilité de la cabine, provoquant parfois un mauvais alignement avec les capteurs et affectant la détection des étages.
- Difficulté d'intégration et de fixation des capteurs sur les côtés de la maquette, en raison de l'espace réduit disponible.
- Risques de collision entre la cabine et les capteurs, causés par les mouvements latéraux de la structure pendant le fonctionnement.

Ces difficultés nous ont permis de développer notre capacité d'analyse et de résolution des problèmes techniques tout au long du projet, tout en améliorant progressivement la fiabilité et les performances du prototype réalisé.

Les résultats obtenus montrent que le système réalisé répond correctement aux objectifs fixés. Le prototype assure un déplacement cohérent de la cabine, une bonne gestion des commandes et un fonctionnement sécurisé. Cette réalisation nous a permis d'acquérir une expérience pratique importante dans le domaine des systèmes automatisés et des ascenseurs intelligents.

Malgré les performances obtenues, plusieurs améliorations peuvent encore être apportées afin de rapprocher davantage notre prototype des ascenseurs industriels réels. Parmi les perspectives possibles, nous pouvons citer :

- Ajout d'un système de portes automatiques avec détection d'obstacle pour améliorer la sécurité.
- Ajout d'un contrepoids afin de réduire l'effort fourni par le moteur, d'améliorer l'équilibrage de la cabine et de diminuer la consommation d'énergie.

- Remplacement des capteurs infrarouges par un système de détection plus fiable afin d'améliorer la précision du positionnement de la cabine et d'éviter les erreurs dues à la poussière.
- Remplacement du bouton d'appel unique par deux boutons (montée et descente) aux étages intermédiaires afin d'améliorer la gestion des demandes et optimiser les déplacements de la cabine, tandis que les étages extrêmes conservent un seul bouton adapté au sens de déplacement.
- Ajout d'un afficheur LCD indiquant l'étage courant et le sens de déplacement.
- Intégration d'un système de contrôle à distance via Bluetooth à l'aide du module HC-05 ou via Wi-Fi grâce au module ESP32, permettant la commande et la supervision du système d'ascenseur depuis un smartphone.
- Ajout d'un système de détection de surcharge basé sur une cellule de charge (Load Cell) associée au module HX711 afin de garantir la sécurité des utilisateurs et empêcher le fonctionnement en cas de dépassement de la charge maximale.
- Mise en place d'un système sonore d'annonce des étages, émettant un signal ou message audio lors de l'arrivée de la cabine à chaque niveau.

Enfin, ce projet constitue une base intéressante pour le développement futur de systèmes d'ascenseurs plus intelligents, plus sûrs et plus performants. Il représente également une expérience enrichissante qui nous a permis de relier les connaissances théoriques aux applications pratiques dans le domaine de l'automatisation, des systèmes embarqués et du contrôle des systèmes de transport vertical.

Référence bibliographique

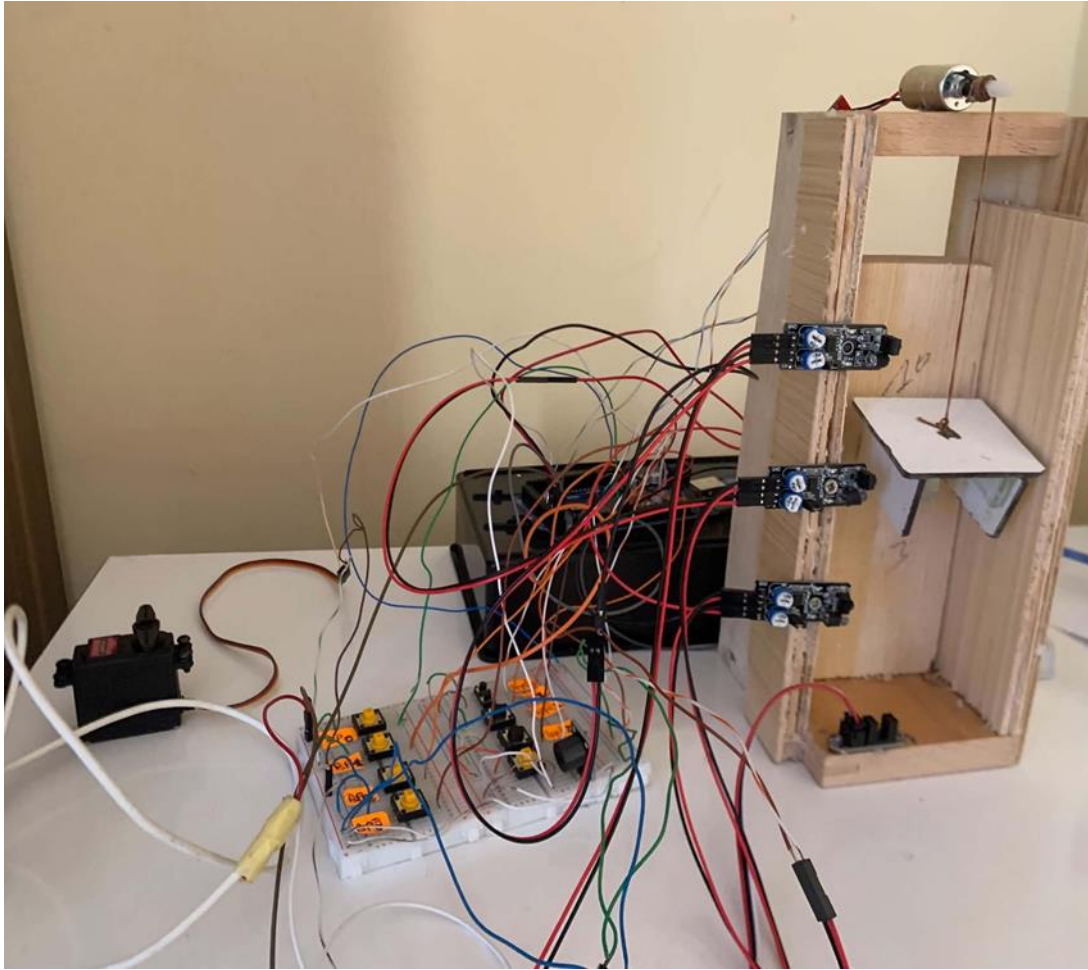
- [1] : Linternaute, Ascenseur : définition, Le Dictionnaire Linternaute , 2025.
- [2] : MOMO FRANCK HERMANN, « Etude Et Réalisation D'un Prototypé De Commande D'un Ascenseur », 2015
- [4] : projet de fin d'étude de AKKOUCHE Fani, 2021
- M. Lbouhmadi, J. Laayoun «Etude d'ascenseur commandé par automate programmable » Université sidi Mohammed ben Abdallah, Fès, Maroc 2007
- [11] : <https://energieplus-lesite.be>, consulté le 25 septembre 2007.
- [12] : PROJET DE FIN D'ETUDES, Etude, innovation, conception et simulation d'un prototype d'ascenseur pour personnes à mobilité réduite, Commandé par API- Automates programmables. Présenté par : Zeddami Hichem & Taleb Sidi Mohamed Amine
- [13] :Jean-Louis HU, Détecteurs de position et de proximité, 2004
- [15]: Safe Elevator (Zhejiang), Elevator position sensor, 12 décembre 2024
- [16] : Safe-Lifts, Dispositif de protection contre les surcharges d'ascenseur, Récupéré le 5 mars 2026
- [17] : Kobastar. (n.d.), *Jeu de capteurs de surcharge de levage*, Récupéré le 5 mars 2026
- [20] : Farnell , détection dans les ascenseurs, 2026
- [22] : <https://fr.made-in-china.com>
- [23] : SAFE ELEVATOR, Introduction To Permanent Magnet Synchronous Traction Motors, 18 Janvier 2026
- [24] : Moteur synchrone, Energie Plus, publié le 25 septembre 2007
- [25] : Transféré par ScribdTranslations, 26 novembre 2025
- [27]: Jkongmoto, What is the Difference Between BLDC and AC Motors, Le 10 septembre 2025
- [28]: LINAK, Actuator Academy – Techline, 2024
- [30] :CHABBI NADJAT BOUDELLAL THANINA, Projet de fin d'étude, Commande d'un ascenseur trois niveaux par un Automate Programmable Industriel S7-300, 2024.
- [31] : IP Systèmes, Qu'est-ce qu'un automate programmable industriel, 14 octobre 2024.
- [33] : <https://answers.voipsupply.com>, le16 juin 2025.
- [34]: Langir, “Decoding Elevator Buttons: History, Working Principle and Innovations,” Langir Switch Manufacturer, article en ligne, consulté en 2026.
- [35] : AOYAMA ELEVATOR GLOBAL LTD., Cabines d'ascenseur et systèmes de sécurité, 2024. Disponible sur : <http://m.fr.aoyama-elevator.jp>
- [37]: <https://elevators.heritage.brussels>
- [38] :TK Elevator (TKE), *Counterweights*, disponible sur : <https://www.tkelevator.com>
- [40] : GMV Eurolift S.A.U, consulté en 2026, <https://www.gmveurolift.es/fr/que-es-un-chasis-de-ascensor>
- [42] : [HTTPS:// dzduino.com](https://dzduino.com)

Web bibliographie commercial

- [3] : <https://www.emrascenseurs.com>
- [5] : <https://www.apaa-ascenseur.com>
- [6] : <https://industrie.dipascenseurs.fr>
- [7] : <https://etnafrance.com>
- [8] : <https://www.liftsysteme.fr>
- [9] : <https://www.hellopro.fr>
- [10] : <https://www.strmtg.developpement-durable.gouv.fr>
- [14] : <https://Alibaba.com>
- [18] : <https://atvin.vn>
- [19]: <https://fr.sanjinelevator.com>
- [21] : Lumsyn Electronic, consulté en 2026, <https://www.lumsyn.com/fr/articles-news/what-is-bldc-motor-driver>
- [26] : <https://french.alibaba.com>
- [29]: <https://www.brushless.com>
- [32] : <https://www.didalab-didactique.fr>
- [36]: <https://www.nonaelevator.com>
- [39] : <https://elevators.heritage.brussels>
- [41] : <https://www.doormatter.com>

Annexe

Annexe 01 : Prototype réalisé de l'ascenseur intelligent



Annexe 02 : Script d'Arduino

```

#include <Servo.h>
Servo doorServo;
// ===== المحرك =====
int motorPin1 = 38;
int motorPin2 = 34;
// ===== الأزرار الداخلية =====
int buttonG = 1;
int button1 = 2;
int button2 = 3;
int button3 = 4;
// ===== أزرار الطلب الخارجية =====
int callG = 5;
int call1 = 6;
int call2 = 7;
int call3 = 8;
// ===== زر الجرس =====
int bellButton = 9;
// ===== الجرس =====
int buzzerPin = 36;
// ===== الحساسات =====
int sensorG = 24; // HIGH
int sensor1 = 22; // LOW
int sensor2 = 26; // LOW
int sensor3 = 30; // LOW
// ===== السيرفو =====
int servoPin = 11;
// ===== المتغيرات =====
int currentFloor = 0;
int targetFloor = 0;
bool isMoving = false;
bool goingUp = true;
bool lastDirectionUp = true;
// ===== Queue داخلية =====
int insideQueue[10];
int insideSize = 0;
// ===== Queue خارجية =====
int outsideQueue[10];
int outsideSize = 0;
// ===== الدوال =====
bool isButtonPressed(int pin);
void addInsideRequest(int floor);
void addOutsideRequest(int floor);
void removeFirstInside();
void removeFirstOutside();
void sortQueue(int q[], int size);
void startMove();
void reachedFloor();
void stopMotor();
// =====
void setup() {

```

```

Serial.begin(9600);

pinMode(motorPin1, OUTPUT);
pinMode(motorPin2, OUTPUT);

pinMode(buttonG, INPUT_PULLUP);
pinMode(button1, INPUT_PULLUP);
pinMode(button2, INPUT_PULLUP);
pinMode(button3, INPUT_PULLUP);

pinMode(callG, INPUT_PULLUP);
pinMode(call1, INPUT_PULLUP);
pinMode(call2, INPUT_PULLUP);
pinMode(call3, INPUT_PULLUP);
// ===== زر الجرس =====
pinMode(bellButton, INPUT_PULLUP);
// ===== الجرس =====
pinMode(buzzerPin, OUTPUT);
pinMode(sensorG, INPUT);
pinMode(sensor1, INPUT);
pinMode(sensor2, INPUT);
pinMode(sensor3, INPUT);
doorServo.attach(servoPin);
doorServo.write(0);
delay(500);
doorServo.detach();
}
// =====
void loop() {
// ===== الجرس =====
if (digitalRead(bellButton) == LOW) {
  digitalWrite(buzzerPin, HIGH);
}
else {
  digitalWrite(buzzerPin, LOW);
}
// ===== تحديث الطابق الحالي =====
if (digitalRead(sensorG) == HIGH)
  currentFloor = 0;
if (digitalRead(sensor1) == LOW)
  currentFloor = 1;
if (digitalRead(sensor2) == LOW)
  currentFloor = 2;
if (digitalRead(sensor3) == LOW)
  currentFloor = 3;
// ===== الأزرار الداخلية =====
if (isButtonPressed(buttonG))
  addInsideRequest(0);
if (isButtonPressed(button1))
  addInsideRequest(1);
if (isButtonPressed(button2))

```

```

    addInsideRequest(2);
    if (isButtonPressed(button3))
        addInsideRequest(3);
    // ===== الأزرار الخارجية =====
    if (isButtonPressed(callG))
        addOutsideRequest(0);
    if (isButtonPressed(call1))
        addOutsideRequest(1);
    if (isButtonPressed(call2))
        addOutsideRequest(2);
    if (isButtonPressed(call3))
        addOutsideRequest(3);
    // ===== بدء الحركة =====
    if (!isMoving && (insideSize > 0 || outsideSize > 0)) {
        startMove();
    }
    // ===== أثناء الحركة =====
    if (isMoving) {
        // ----- الصعود -----
        if (targetFloor > currentFloor) {
            digitalWrite(motorPin1, HIGH);
            digitalWrite(motorPin2, LOW);
        }
        // ----- النزول -----
        else if (targetFloor < currentFloor) {
            digitalWrite(motorPin1, LOW);
            digitalWrite(motorPin2, HIGH);
        }
        // ===== الوصول =====
        if ((targetFloor == 0 && digitalRead(sensorG) == HIGH) ||
            (targetFloor == 1 && digitalRead(sensor1) == LOW) ||
            (targetFloor == 2 && digitalRead(sensor2) == LOW) ||
            (targetFloor == 3 && digitalRead(sensor3) == LOW)) {
            reachedFloor();
        }
    }
}
// =====
bool isButtonPressed(int pin) {
    if (digitalRead(pin) == LOW) {
        delay(50);
        if (digitalRead(pin) == LOW)
            return true;
    }
    return false;
}
// =====
void addInsideRequest(int floor) {
    for (int i = 0; i < insideSize; i++) {
        if (insideQueue[i] == floor)
            return;
    }
}

```

```

if (insideSize < 10) {
    insideQueue[insideSize++] = floor;
}
}
// =====
void addOutsideRequest(int floor) {
    for (int i = 0; i < outsideSize; i++) {
        if (outsideQueue[i] == floor)
            return;
    }
    if (outsideSize < 10) {
        outsideQueue[outsideSize++] = floor;
    }
}
// =====
void sortQueue(int q[], int size) {
    int temp[10];
    int index = 0;
    // ===== صعود =====
    if (goingUp) {
        for (int f = currentFloor + 1; f <= 3; f++) {
            for (int i = 0; i < size; i++) {
                if (q[i] == f)
                    temp[index++] = q[i];
            }
        }
        for (int f = currentFloor; f >= 0; f--) {
            for (int i = 0; i < size; i++) {
                if (q[i] == f)
                    temp[index++] = q[i];
            }
        }
    }
    // ===== نزول =====
    else {
        for (int f = currentFloor - 1; f >= 0; f--) {
            for (int i = 0; i < size; i++) {
                if (q[i] == f)
                    temp[index++] = q[i];
            }
        }
        for (int f = currentFloor; f <= 3; f++) {
            for (int i = 0; i < size; i++) {
                if (q[i] == f)
                    temp[index++] = q[i];
            }
        }
    }
    for (int i = 0; i < size; i++) {
        q[i] = temp[i];
    }
}

```

```
// =====
void startMove() {
  int *activeQueue;
  int activeSize;
  // ===== الأولوية للداخل =====
  if (insideSize > 0) {
    activeQueue = insideQueue;
    activeSize = insideSize;
  }
  else {
    activeQueue = outsideQueue;
    activeSize = outsideSize;
  }
  bool hasUp = false;
  bool hasDown = false;
  for (int i = 0; i < activeSize; i++) {
    if (activeQueue[i] > currentFloor)
      hasUp = true;
    if (activeQueue[i] < currentFloor)
      hasDown = true;
  }
  if (hasUp && hasDown) {
    goingUp = lastDirectionUp;
  }
  else if (hasUp) {
    goingUp = true;
  }
  else if (hasDown) {
    goingUp = false;
  }
  sortQueue(activeQueue, activeSize);
  targetFloor = activeQueue[0];
  isMoving = true;
}
// =====
void reachedFloor() {
  stopMotor();
  delay(300);
  // ===== فتح الباب =====
  doorServo.attach(servoPin);
  doorServo.write(120);
  delay(800);
  // ===== غلق الباب =====
  doorServo.write(0);
  delay(600);
  doorServo.detach();
  currentFloor = targetFloor;
  isMoving = false;
  // ===== حذف الطلب =====
  if (insideSize > 0)
    removeFirstInside();
  else

```

```
    removeFirstOutside();
    lastDirectionUp = goingUp;
}
// =====
void removeFirstInside() {
    for (int i = 0; i < insideSize - 1; i++) {
        insideQueue[i] = insideQueue[i + 1];
    }
    if (insideSize > 0)
        insideSize--;
}
// =====
void removeFirstOutside() {
    for (int i = 0; i < outsideSize - 1; i++) {
        outsideQueue[i] = outsideQueue[i + 1];
    }
    if (outsideSize > 0)
        outsideSize--;
}
// =====
void stopMotor() {
    digitalWrite(motorPin1, LOW);
    digitalWrite(motorPin2, LOW);
}
```