

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE  
DEPARTEMENT D'AUTOMATIQUE

## Mémoire de Fin d'études De MASTER ACADEMIQUE

Domaine : **Sciences et Technologies**

Filière : **Automatique**

Spécialité : **Automatique et système  
Automatique Industrielle**

### Thème

**Réalisation d'un Prototype de Voiture Électrique :  
Mesure Dynamique et Analyse des Performances.**

Présenté par :  
**KADOUM Farid  
MEFTAH Kamal**

Encadre par :  
**M LAKHLEF Ahcene**

*Mémoire soutenu publiquement le 02/10/ 24 devant le jury composé de :*

<b>M MELLAH Rabah</b>	Professeur	UMMTO	<b>Président</b>
<b>Mme ALKAMA Sadia</b>	MCA	UMMTO	<b>Examinatrice</b>
<b>M SAMAH Boubeker</b>	MCB	UMMTO	<b>Examineur</b>
<b>Mme SARSOUR Lamia</b>	MCB	UMMTO	<b>Examinatrice</b>
<b>M LAKHLEF Ahcene</b>	MCA	UMMTO	<b>Encadrant</b>

**Promotion : 2023/2024**

# *Remerciement*

*Nous souhaitons avant tout exprimer notre gratitude envers Dieu, le Tout- Puissant, qui nous a donné la force et la patience pour mener à bien ce projet.*

*Nous tenons à remercier particulièrement notre encadreur, Monsieur LAKHLEF AHCENE, pour ses conseils précieux, son aide continue et son soutien tout au long de cette période de travail.*

*Enfin, nous adressons nos remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce projet, et qui nous ont apporté leur soutien tout au long de cette aventure.*

## *Dédicaces*

*"Nous dédions ce modeste travail à nos chers parents et à nos chères mamans, dont l'amour, le soutien indéfectible et les sacrifices ont été essentiels tout au long de notre parcours académique. À nos mamans, qui ont toujours cru en nous et nous ont encouragés à chaque étape de notre cheminement. Nous l'adressons également à la mémoire de notre cher ami, HADDADOU Khellaf, dont l'absence se fait cruellement sentir. Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre frère, KADOUM Ali, ainsi qu'à nos collègues Nadir et Saïd, pour leur soutien durant cette aventure."*

# Sommaire

Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : Historique des véhicules électriques .....</b>	<b>3</b>
I.1- Introduction.....	3
I.1.1 Impact des avancées technologiques.....	3
I.1.2Autonomie et rechargement.....	3
I.1.3 Technologie des batteries.....	4
I.1.4 Recharge sans fil.....	4
I.2 Les systèmes de pilotages.....	4
I.2.1 Robotique.....	5
I.2.2 Véhicules autonomes.....	5
I.3 Les Capteurs.....	6
I.4 Télé-opération.....	6
I.5 Voiture électrique.....	7
I.5.1 Niveaux d'Autonomie.....	7
I.5.2 Connectivité et Télé-opération.....	7
I.5.3 Défis et Perspectives.....	8
I.5.4 Caméras.....	8
I.5.5 Enregistreurs.....	8
I.5.6 Matériel de connexion.....	8
I.5.7 Systèmes de contrôle.....	8
I.5.8 Capteurs et détecteurs.....	8
I.5.9 Composants hydrauliques et pneumatiques.....	8
I.5.10 Caméras IP.....	9
I.6 Les actionneurs.....	9
I.6.1 Moteurs à Courant Alternatif (CA).....	9
I.6.2 Moteurs à Courant Continu (CC).....	10
I.7 Conclusion.....	10
<b>Chapitre II : voiture électrique .....</b>	<b>11</b>
II.1 Introduction.....	11
II.2 Présentation du projet.....	11
II.3 Description de la partie matérielle.....	12
II.3.1 Raspberry Pi.....	12
II.3.1.1 Environnement hardware.....	12
II.3.1.1.1 Présentation du Raspberry Pi.....	13

II.3.1.1.2 Modèles de Raspberry Pi .....	13
II.3.1.1.3 Caractéristiques du Raspberry Pi 3 Model B.....	14
II.3.1.1.4 Configuration du Raspberry Pi 3 .....	15
II.3.1.1.5 Alimentation .....	16
II.3.1.1.6 Connexions des périphériques (clavier, souris et écran) .....	17
II.3.1.2 Environnement software .....	17
II.3.1.2.1 Le Système d'exploitation Raspberry Pi OS .....	17
II.3.1.2.2 Contrôler le Raspberry Pi à distance .....	18
II.3.2 Module L298N.....	21
II.3.2.1 Principe de fonctionnement du L298N.....	22
II.3.2.2 Ponts en H.....	23
II.3.2.3 Les caractéristiques techniques.....	24
II.3.3 Le moteur à courant continu (CC) .....	24
II.3.3.1 Composition du moteur à courant continu.....	24
II.3.3.2 Modèle électrique du moteur à courant continu .....	25
II.3.3.3 Fonctionnement en mode génératrice.....	26
II.3.3.4 Puissance du moteur à courant continu .....	26
II.3.4 Le capteur Ultrasonique HC-SR04.....	27
II.3.4.3 Considérations pratique .....	29
II.3.5 Servomoteur.....	29
II.3.5.1 Fonctionnement .....	30
II.3.5.2 Connecteur du servomoteur .....	30
II.3.6 L'accéléromètre IMU-MPU6050 .....	30
II.3.6.1 Composants Internes du MPU-6050.....	31
II.3.6.2 Fonctionnement de l'Accéléromètre.....	32
II.3.6.3 Calcul de l'Accélération.....	32
II.3.6.4 Conversion des données .....	32
II.3.6.5 Principe de Fonctionnement du PWM.....	33
II.3.6.6 Contrôle de la Fréquence d'Échantillonnage .....	34
II.3.6.7 Caractéristiques Techniques du MPU-6050 .....	34
II.3.7 Rapport Cyclique .....	34
II.3.7.1 Modulation de Largeur d'Impulsion (PWM) .....	35
II.3.7.2 Impact du Rapport Cyclique sur la Consommation d'Énergie.....	35
II.3.7.3 Formules de calcul pour la vitesse et la consommation .....	36
II.4 Conclusion .....	36
<b>Chapitre III : Réalisation et Pilotage de la voiture .....</b>	<b>37</b>
III.1 Introduction .....	37

III.2 Assemblage Matériel du prototype.....	38
III.2.1 Assemblage châssis et fixation des quatre moteurs.....	38
III.2.2 Fixation des moteurs .....	39
III.2.3 Fixation des roues.....	39
III.2.4 Mise en place des composants électroniques .....	40
III.2.4.1. Module L298N 1 (pour les moteurs 1 et 2).....	40
III.2.4 2. Module L298N 2 (pour les moteurs 3 et 4).....	40
III.2.5 Connexion Capteur à ultrasons HC-SR04.....	41
III.2.6 Connexion du servomoteur SG90 .....	42
III.2.7 Connexion de l'accéléromètre/gyroscope (MPU 6050).....	42
III.3 Les programmes de contrôle de chaque partie .....	43
III.3.1 Programme en Python pour le contrôle du L298N.....	43
III.3.2 Programme en Python pour le contrôle du capteur a ultrason.....	44
III.3.3 Programme en Python pour le contrôle du servomoteur.....	44
III.4 Mise en marche de la voiture prototype .....	46
III.4.1 Test et Résultats.....	47
III.4.2 Analyses des Résultats.....	48
III.4.3 Conclusion.....	48
III.5 Essai et mesure des accélérations (Ax,Ay,Az) dans les conditions d'un angle de braquage : 48	
III.5.3 Analyse des résultats à 30 % de vitesse.....	52
III.5.4 Analyse des résultats à 50 % de vitesse.....	53
III.5.5 Analyse des résultats à 70 % de vitesse.....	55
III.5.6 Analyse des résultats à 100 % de vitesse.....	56
III.5.7 Conclusion Générale pour différents tests réaliser .....	56
Conclusion Générale .....	58
Bibliographie.....	59

## LISTES DES FIGURES

### CHPITRE 1

Figure I.1: Schéma synoptique de recharge sans fil .....	4
--	---

### CHAPITRE 2

Figure II.1: Schéma synoptique des systèmes incorporer sur la voiture .....	11
Figure II.2: Le premier modèle de Raspberry pi .....	12
Figure II.3: Architecture de connexions du Raspberry Pi .....	13
Figure II.4: Les différentes entrées et sortie de Raspberry pi .....	15
Figure II.5: Les GPIO de Raspberry pi 3 modèle B .....	16
Figure II.6: Capture d'écran d'un site de téléchargement.....	17
Figure II.7: Bureau de Raspbian après l'installation.....	18
Figure II.8: Interface de logiciel PUTTY .....	19
Figure II.9: Fenêtre de paramétrage lors d'activation du SSH.....	20
Figure II.10: Capteur d'écrans lors de l'activation de VNC.....	20
Figure II.11: Brochage du L298N .....	22
Figure II.12: Le schéma interne du circuit L298N (pont en H à base de circuit intégré).....	23
Figure II.13: Différentes éléments d'un moteur a courant continu .....	23
Figure II.14: Fonctionnement dans les quatre quadrants.....	25
Figure II.15: Circuit de filtrage du courant .....	25
Figure II.16: Modèle électrique d'un moteur .....	26
Figure II.17: Modèle électrique d'une génératrice .....	26
Figure II.18: Capteur à ultrason HCSR04 .....	27
Figure II.19: Impulsions et chronogrammes reçus et émit par le module capteur à ultrasons .....	28
Figure II.20: Propagation des ondes sonores générer par le module capteur ultrasonique .....	28
Figure II.21: Limites du capteur à ultrason .....	29
Figure II.22: Servomoteur à rotation angulaire .....	30
Figure II.23: MPU-6050.....	31
Figure II.24: Le module MPU-6050.....	34

### CHAPITRE 3

Figure III.1: Schéma d'assemblage électrique des différentes parties du prototype réaliser .....	37
Figure III.2: Un châssis vide avec des supports pour les moteurs et les roues.....	38
Figure III.3: Image des moteurs fixés aux coins du châssis, montrant également les connexions aux roues .....	39
Figure III.4: Branchements des moteurs .....	41

Figure III.5: Schémas de branchement du module capteur à ultrason...	41
Figure III.6: Schéma de branchement de servomoteur.....	42
Figure III.7: Schéma de branchement de l'accéléromètre.....	43
Figure III.8: Prototype de la voiture électrique finale après assemblage .....	46
Figure III.9: Graphique de la vitesse en fonction du rapport cyclique.....	47
Figure III.10: Variations des Accélérations Ax en Fonction de Ay à 15% pendant la Rotation.....	49
Figure III.11: Variations des Accélérations Ax en Fonction de Ay à 20% pendant la Rotation.....	50
Figure III.12: Variations des Accélérations Ax en Fonction de Ay à 30% pendant la Rotation.....	52
Figure III.13: Variations des Accélérations Ax en Fonction de Ay à 50% pendant la Rotation.....	53
Figure III.14: Variations des Accélérations Ax en Fonction de Ay à 70% pendant la Rotation.....	54
Figure III.15: Variations des Accélérations Ax en Fonction de Ay à 100% pendant la Rotation.....	56

## **LISTES DES TABLEAUX**

### **Chapitre II**

Tableau II.1 : Table de vérité L298N - Fonctionnement...	22
Tableau II.2 : Composants de l'accéléromètre et leurs Fonctions	32
Tableau II.3 : plage de mesure MPU-6050	33

### **Chapitre III**

Tableau III.1 : Essai et mesure de la vitesse en fonction du rapport cyclique	47
Tableau III.2 : Accélérations Ax, Ay et Az à 15% de Vitesse Pendant la Rotation	48
Tableau III.3 : Accélérations Ax, Ay et Az à 20% de Vitesse Pendant la Rotation	50
Tableau III.4 : Accélérations Ax, Ay et Az à 30% de Vitesse Pendant la Rotation	51
Tableau III.5 : Accélérations Ax, Ay et Az à 50% de Vitesse Pendant la Rotation	53
Tableau III.6 : Accélérations Ax, Ay et Az à 70% de Vitesse Pendant la Rotation	54
Tableau III.7 : Accélérations Ax, Ay et Az à 100% de Vitesse Pendant la Rotation	55

## ABRÉVIATIONS :

- **ATIL** : Analyse et Traitement Informatique de la Langue Française.
- **SAE** : Society of Automotive Engineers.
- **LIDAR** : Light Detection and Ranging (télédétection par laser).
- **3D** : Trois dimensions.
- **IA** : Intelligence Artificielle.
- **IoT** : Internet des Objets (Internet of Things).
- **DVR** : Enregistreur Vidéo Numérique (Digital Video Recorder).
- **NVR** : Enregistreur Vidéo Réseau (Network Video Recorder).
- **BNC** : Bayonet Neill-Concelman.
- **IP** : Protocole Internet (Internet Protocol).
- **PIR** : Infrarouge Passif (Passive InfraRed).
- **CA** : Courant Alternatif.
- **MCC** : Moteur à Courant Continu.
- **ARG** : Arrière Gauche.
- **VCC** : Tension d'Alimentation Continue (Common Collector Voltage).
- **GND** : Masse (Ground).
- **ARD** : Arrière Droit.
- **AVG** : Avant Gauche.
- **AVD** : Avant Droit.
- **GPIO** : Entrée/Sortie Générale (General Purpose Input/Output).
- **USB** : Bus Universel en Série (Universal Serial Bus).
- **HDMI** : Interface Multimédia Haute Définition (High-Definition Multimedia Interface).
- **AV** : Audio/Vidéo.
- **CSI** : Interface Caméra en Série (Camera Serial Interface).
- **DSI** : Interface d’Affichage en Série (Display Serial Interface).
- **FPGA** : Réseau de Portes Programmable sur le Terrain (Field-Programmable Gate Array).
- **IHM** : Interface Homme-Machine.
- **SSH** : Shell Sécurisé (Secure Shell).
- **Wi-Fi** : Fidélité Sans Fil (Wireless Fidelity).
- **BLE** : Bluetooth Basse Énergie (Bluetooth Low Energy).
- **SDRAM** : Mémoire Vive Synchrones Dynamique (Synchronous Dynamic Random-Access Memory).
- **RJ45** : Connecteur Enregistré 45 (Registered Jack 45).
- **RAM** : Mémoire Vive (Random Access Memory).

- **OS** : Système d'Exploitation (Operating System).
- **VNC** : Informatique en Réseau Virtuel (Virtual Network Computing).
- **PC** : Ordinateur Personnel (Personal Computer).
- **DVI** : Interface Visuelle Numérique (Digital Visual Interface).
- **PWM** : Modulation de Largeur d'Impulsion (Pulse Width Modulation).
- **ENA** : Activation A (Enable A).
- **ENB** : Activation B (Enable B).
- **MPU** : Unité de Traitement du Mouvement (Motion Processing Unit).
- **ADC** : Convertisseur Analogique-Numérique (Analog-to-Digital Converter).
- **DMP** : Processeur de Mouvement Numérique (Digital Motion Processor).
- **I2C** : Circuit Inter-Intégré (Inter-Integrated Circuit).
- **LSB** : Bit de Poids Faible (Least Significant Bit).
- **g** : Accélération due à la Gravité (utilisée pour la sensibilité de l'accéléromètre).
- **V** : Tension (Voltage).
- **X, Y, Z** : Axes pour les mesures d'accélération et de gyroscope.

## **Introduction générale :**

La transition vers l'énergie électrique représente un pilier essentiel de l'innovation technologique actuelle, visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à promouvoir une mobilité plus durable. Dans ce contexte, la conception et la commande des systèmes de propulsion électrique revêtent une importance capitale pour le développement de véhicules plus efficaces et respectueux de l'environnement.

Le travail qui nous a été donné, se focalise sur l'étude et la réalisation d'une voiture prototype équipée de 4 moteurs électriques à courant continu. Cette recherche s'inscrit dans une démarche visant à explorer les possibilités offertes par les technologies avancées pour améliorer les performances dynamiques des véhicules.

En utilisant des concepts de contrôle avancé, d'ingénierie des systèmes embarqués pour promouvoir la propulsion électrique. Cette étude vise à repousser les limites de la conception traditionnelle des véhicules en proposant une approche novatrice basée sur la commande individuelle des moteurs. L'utilisation d'un accéléromètre pour ajuster la vitesse et le freinage en temps réel représente un défi technique passionnant qui ouvre la voie à des avancées significatives dans le domaine de la mobilité électrique.

À travers une analyse approfondie des interactions entre les composants du système, une modélisation précise des moteurs électriques et une mise en œuvre rigoureuse des algorithmes de commande, cette recherche aspire à contribuer à l'émergence de solutions innovantes pour les véhicules électriques du futur.

Notre mémoire a pour objectif de réaliser un système de contrôle pour paramètres dynamiques d'une voiture électrique qui dispose de quatre moteurs. Il s'agit de mettre en place un prototype permettant de contrôler la vitesse (démarrage et freinage) des quatre moteurs en fonction des données désirés par l'utilisateur, une détection d'obstacle pour effectuer une trajectoire au sol. Le système peut réaliser une conduite autonome (avec évitement d'obstacles) et une transmission des mesures d'accélération, pour étudier la dynamique du véhicule.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres à travers lesquels, nous décrivons les étapes nécessaires pour réaliser notre voiture comme il a été exigé par le cahier de charge.

Dans le premier chapitre, nous décrivons plusieurs concepts nécessaires à la présentation et à la compréhension de notre système. Nous commencerons par une introduction, sur l'historique d'évolution des voitures électriques ; ainsi que les différentes innovations sur le marché des voitures et les problèmes persistants dans l'évolution des voitures électriques. De plus, des explorations de

Système de commande à distance seront pris en charge, car ces derniers seront importants pour l'étude et la réalisation de notre prototype. Pour cela il est important de prendre en considération les types communs des moteurs électriques utilisé dans les voitures modernes.

Le deuxième chapitre sera consacré essentiellement sur les rappels des différents composant de la voiture. Notamment sur le Raspberry Pi, ces méthodes d'installation et de programmation ainsi que les éléments clé de notre système de contrôle, qui nous permettra de traiter les données et d'assurer une communication efficace entre les différents composants.

Et on terminera notre projet par le chapitre trois dont on parlera sur les méthodes de gestion de projet. En occurrence, le développement des programmes nécessaire aux fonctionnements et conduite de la voiture d'une manière autonome (contrôle de distance et évitements d'obstacles)

Les différentes mesures et test réaliser pratiquement, dont l'objectif est d'étudier la dynamique (vitesses et accélérations) du véhicule dans différentes situations (braquage à degrés spécifiques). Nous terminerons notre travail par une conclusion et perspectives.

**I.1- Introduction :**

L'histoire des véhicules électriques est profondément ancrée dans l'évolution de l'industrie automobile, débutant bien avant ce que l'on pourrait communément penser. Remontant aux premiers jours de l'automobile, des pionniers tels que Robert Anderson, Thomas Davenport et Robert Davidson ont joué un rôle crucial dans l'établissement des fondations de la mobilité électrique. Vers 1830, la carriole électrique de Robert Anderson et les premières locomotives électriques de Thomas Davenport et Robert Davidson ont marqué les débuts de cette technologie révolutionnaire. L'avènement de la batterie rechargeable au plomb-acide par Gaston Planté en 1859 a représenté un véritable tournant, propulsant ainsi le développement des véhicules électriques vers de nouveaux horizons.

Au tournant du XIXe siècle, Gustave a captivé le public en présentant un tricycle électrique à Paris en 1881, marquant une avancée significative dans le domaine naissant des véhicules électriques. Les premiers taxis électriques ont commencé à circuler dans les rues de New York vers 1897, préfigurant l'essor imminent de cette technologie. En 1899, "La Jamais Contente" a inscrit son nom dans l'histoire en Belgique en devenant la première voiture électrique à franchir la barre des 100 km/h, symbolisant ainsi un exploit majeur pour l'époque. Malgré leur popularité croissante au début du XXe siècle, les véhicules électriques ont progressivement été éclipsés par les moteurs thermiques en raison de leurs limitations en autonomie et de la compétitivité des prix du pétrole.

Cependant, à l'aube du XXIe siècle, les voitures électriques connaissent un nouveau rebondissement spectaculaire grâce à des avancées technologiques significatives. Ces progrès ont permis d'améliorer non seulement les performances et l'autonomie des véhicules électriques mais aussi leur impact environnemental global. [1]

**I.1.1 Impact des avancées technologiques :**

Les progrès technologiques ont eu un impact significatif sur le développement des véhicules électriques, modifiant non seulement leurs performances mais aussi leur adoption par le public.

**I.1.2 Autonomie et rechargement :**

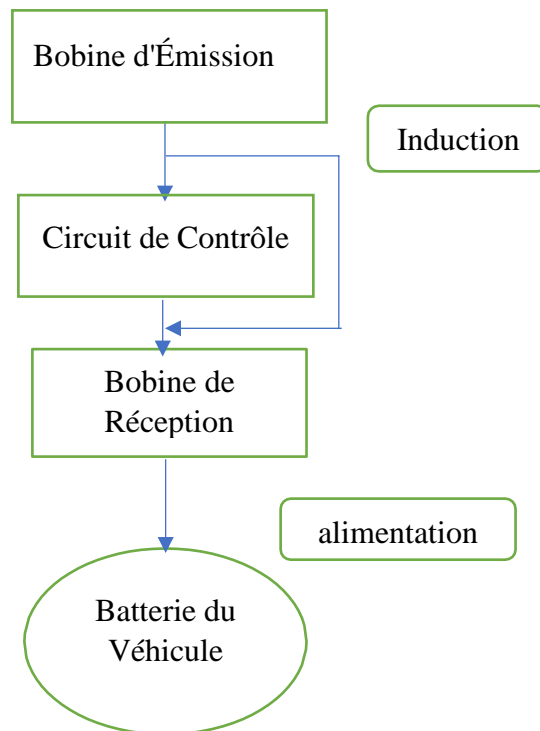
L'autonomie de la batterie est l'un des principaux défis auxquels sont confrontés les véhicules électriques. Grâce aux innovations en matière de technologie de propulsion, les modèles récents autorisent désormais des autonomies dépassant parfois les 500 kilomètres ainsi que la nouvelle technologie de recharge rapide, rendant ces véhicules encore plus attractifs. [2]

### I.1.3 Technologie des batteries :

Les avancées dans la technologie des batteries, notamment la diminution des coûts et l'augmentation de la capacité de charge. Le coût des batteries lithium-ion a chuté de 90 % au cours de ces dernières années.

### I.1.4 Recharge sans fil :

La recharge des véhicules électriques par induction est considérée comme une meilleure solution actuellement, elle permet aux véhicules de se recharger sans utiliser de câbles. Ainsi que les infrastructures de recharge pourraient se développer davantage et plus facilement, car elles peuvent être ajoutées aux infrastructures qui sont déjà en place, comme les parkings, les bords de route et même les garages privés. Cette nouvelle technologie facilite le processus de recharge et ouvre le chemin à un avenir plus pratique pour les véhicules électriques. [3]



**Figure I.1:** Schéma synoptique de recharge sans fil.

### I.2 Les systèmes de pilotages :

Les systèmes de commande à distance dans la robotique, les voitures autonomes et la télé-opération jouent un rôle important dans divers domaines technologiques.

### **I.2.1 Robotique :**

La localisation relative est essentielle pour déterminer la position et l'orientation d'un robot mobile, avec des méthodes telles que la localisation par odométrie, L'odométrie repose sur la mesure individuelle des déplacements des roues pour reconstituer le mouvement global du robot Les robots peuvent être contrôlés à distance par des systèmes de communication adéquat et posséder des systèmes de recharge, des batteries à distance ou des réservoirs d'hydrogène pour alimenter la pile à combustible afin d'assurer des capacités d'autonomie importante.

La robotique est l'ensemble des techniques permettant la conception et la réalisation de machines automatiques ou de robots. L'ATILF définit le robot par la définition suivante « Appareil effectuant, grâce à un système de commande automatique à base de micro-processeur, une tâche précise pour laquelle il a été conçu ». De cette définition découlent deux interprétations : la première serait de voir le robot comme une machine, qui possède des capteurs, un système logique et des actionneurs, appelé type matériel. La deuxième laisse penser qu'un robot peut aussi être virtuel (voir Bot informatique). La robotique actuelle trouve des applications dans différents domaines (Industrielle, domestique, médicale, militaire...). [4]

### **I.2.2 Véhicules autonomes :**

Les véhicules autonomes, également appelés véhicules automatisés ou véhicules sans conducteur, sont une catégorie d'automobiles dans lesquels une partie ou la totalité des choix de conduite sont effectués sans intervention humaine. Un véhicule est dit autonome, s'il est en mesure d'employer des capteurs pour définir sa position et de prendre des décisions de poursuivre son parcours.

La SAE (Society of Automotive Engineers) a établi une classification qui définit six niveaux d'automatisation de la conduite, allant de l'assistance minimale au conducteur jusqu'au contrôle entièrement autonome du véhicule.

- **Niveau 0 - aucune automatisation :**

Le conducteur contrôle l'ensemble des fonctions de conduite

- **Niveau 1 - aide à la conduite :**

- Le véhicule est équipé d'un seul système automatisé d'aide à la conduite (par exemple, un régulateur de vitesse).

- **Niveau 2 - automatisation partielle :**

Le véhicule contrôle l'accélération et la direction, mais le conducteur continue de surveiller toutes les tâches et peut prendre le contrôle de la direction et de l'accélération à tout moment.

- **Niveau 3 - automatisation conditionnelle** : Le véhicule effectue presque toutes les tâches de conduite, mais une supervision humaine est toujours présente.
- **Niveau 4 - automatisation élevée** : Le véhicule prend en charge l'ensemble des tâches de conduite, dont la majorité des situations et est capable de percevoir son chemin, grâce à la méthode du géo repérage. Sachant que la supervision humaine du véhicule est possible, mais n'est pas nécessaire.
- **Niveau 5 - automatisation complète** : Le véhicule est capable d'assurer toutes les tâches de conduite dans toutes les situations. Le véhicule il peut même ne pas transporter le conducteur, il peut tout assurer [5]. Actuellement, ce niveau 5 n'est pas encore prêt pour une circulation généralisée, mais des progrès continus d'être réalisés pour améliorer les systèmes d'aide à la conduite.

Les voitures autonomes sont équipées de capteurs tels que des caméras, radars, lidars..., qui collectent en permanence des données pour reconstruire la situation routière en 3D et prendre des décisions de conduite.

### **I.3 Les Capteurs :**

Ces capteurs, combinés à des logiciels d'intelligence artificielle pour fournir l'ensemble des informations sur l'entourage du véhicule tel que reconnaissance des obstacles, les panneaux routiers et de prendre des décisions sur la direction et la vitesse à entreprendre.

L'avènement des voitures autonomes entraînera des modifications dans les infrastructures routières pour s'adapter à ce nouveau mode de circulation. Des modèles scientifiques prévoient une réduction du nombre de véhicules en circulation et des places de parking nécessaires, mais également une possible augmentation de la distance et de la durée des déplacements, influençant l'étalement urbain.

Les voitures autonomes représentent une révolution potentielle dans le domaine des transports, offrant des avantages en termes de sécurité, d'efficacité et de confort. Cependant, des défis éthiques, juridiques et d'adaptation des infrastructures doivent être relevés pour une intégration réussie de ces véhicules.

### **I.4 Télé-opération :**

Les technologies émergentes permettent la télé présence et la télé robotique, offrant la possibilité de commander à distance des machines complexes pour des tâches spécialisées. La télé-opération

peut être utilisée pour guider des robots à distance depuis un centre de contrôle ou pour permettre une navigation autonome avec un contrôle interne. C'est une technologie qui permet de contrôler des robots ou des équipements à distance.

### **Fonctionnement :**

La télé-opération implique le contrôle à distance d'un robot ou d'un système par un opérateur humain, souvent à l'aide d'une interface spécifique qui transmet les signaux de commandes et reçoit les retours sensoriels. Cette technologie est utilisée dans divers domaines tels que la chirurgie à distance, la robotique industrielle et d'autres applications nécessitant une manipulation précise à distance.

Les études sur la télé-opération ont examiné les effets du délai de transmission sur le contrôle du robot, montrant que des aides telles que la correction des délais peut améliorer la performance des opérateurs. De cela on observe différents comportements de contrôle en fonction des conditions, montrant une adaptation pour compenser les délais.

L'évolution de la robotique et des réseaux de communication, la télé-opération devrait devenir plus accessible et efficace, ouvrant la voie à des applications plus étendues dans divers secteurs.[6].

### **I.5 Voiture électrique :**

Les voitures électriques autonomes utilisent une combinaison de capteurs (caméras, radars, lidars) pour percevoir leur environnement. Ces capteurs, couplés à des logiciels d'intelligence artificielle, permettent à la voiture de prendre des décisions de conduite de manière autonome.

#### **I.5.1 Niveaux d'Autonomie :**

Les voitures autonomes sont classées en différents niveaux d'autonomie, allant du niveau 1 (assistance à la conduite) au niveau 5 (autonomie totale).

#### **I.5.2 Connectivité et Télé-opération :**

Les technologies de l'Internet des Objets permettent de connecter les voitures autonomes et d'en assurer la surveillance et le contrôle à distance.

Des capacités de télé-opération peuvent également être intégrées pour permettre à un opérateur humain d'intervenir et de contrôler le véhicule à distance si nécessaire.

### **I.5.3 Défis et Perspectives :**

Les perspectives d'évolution et d'adoption à grande échelle de ces véhicules électriques autonomes seront également un point important à développer.

Pour la pratique de la vidéosurveillance, les composants suivants sont généralement utilisés :

**I.5.4 Caméras :** Les caméras sont les éléments principaux d'un système de vidéosurveillance. Elles peuvent être analogiques ou numériques, et sont équipées de fonctionnalités telles que des capteurs infrarouges, des angles larges et des capteurs de mouvement pour détecter les changements dans leur champ de vision.

**I.5.5 Enregistreurs :** Les enregistreurs vidéo numériques (DVR) ou les enregistreurs vidéo réseau (NVR) sont utilisés pour stocker et diffuser les images capturées par les caméras. Ils peuvent être conçus pour prendre en charge des caméras analogiques ou numériques, ou même une combinaison des deux types.

**I.5.6 Matériel de connexion :** Le matériel de connexion est utilisé pour lier les caméras aux enregistreurs et aux systèmes de contrôle. Cela peut inclure des câbles BNC, des câbles Ethernet et des connecteurs IP/BNC.

**I.5.7 Systèmes de contrôle :** Les systèmes de contrôle sont utilisés pour gérer les paramètres des caméras et des enregistreurs, tels que les horaires d'enregistrement, les paramètres de sensibilité et les configurations de sécurité. Ils peuvent être accessibles via un serveur Web intégré ou une interface utilisateur locale.

**I.5.8 Capteurs et détecteurs :** Les capteurs et détecteurs sont utilisés pour détecter les mouvements et les changements dans l'environnement. Ils peuvent inclure des capteurs de mouvement PIR, des capteurs infrarouges et des capteurs de détection de lumière.

**I.5.9 Composants hydrauliques et pneumatiques :** Les composants hydrauliques et pneumatiques sont utilisés pour les systèmes de vidéosurveillance hybrides analogique et IP easy, qui permettent une connexion entre les caméras et les enregistreurs via des câbles BNC et Ethernet.

**I.5.10 Caméras IP :** Les caméras IP sont des caméras qui utilisent le protocole IP pour transmettre les images en direct sur un réseau informatique. Elles peuvent être utilisées pour la surveillance de zones à risque et peuvent être configurées pour détecter des piétons et des cyclistes.

Les composants utilisés pour la pratique de la vidéosurveillance comprennent des caméras, des enregistreurs, du matériel de connexion, des systèmes de contrôle, des capteurs et détecteurs, des composants hydrauliques et pneumatiques, et des caméras IP. [7]

## **I.6 Les actionneurs :**

Les mouvements, sont obtenus par l'utilisation des moteurs électrique, dont on distingue deux types de moteurs électriques, à courant alternatif (CA) et à courant continu (CC). Les moteurs à CC sont bien adaptés à de nombreuses applications. En plus de ceux-ci, les moteurs électriques synchrones et asynchrones ont émergé, chacun possède ces propres caractéristiques et avantages.

### **I.6.1 Moteurs à Courant Alternatif (CA) :**

Les moteurs à courant alternatif sont très utilisés dans les voitures électriques. Ils se composent d'un rotor et d'un stator, tous deux alimentés par un courant alternatif, ce qui leur permet de fonctionner de manière efficace et permettent un contrôle en régulant la fréquence et la tension de l'alimentation. Ces moteurs peuvent fournir une grande puissance et permettent un contrôle précis de la vitesse et du couple, ce qui les rend adaptés à de nombreuses applications automobiles.

Les moteurs à courant alternatif synchrones offrent une efficacité supérieure et de meilleures performances. Une synchronisation exacte entre la fréquence et la tension d'alimentation, permet un contrôle sur la vitesse de rotation et le couple moteur (puissance constante) et offrent un rendement élevé. Ces moteurs synchrones sont généralement utilisés dans les voitures électriques de haute gamme, car ils peuvent délivrer un couple élevé à n'importe quelle vitesse de rotation. De plus, ils conservent leur efficacité même en charge partielle. Cependant, ils nécessitent un contrôle de phase pour garantir cette synchronisation et peuvent nécessiter des aimants permanents ou des enroulements d'excitation pour générer le champ magnétique nécessaire.

Les moteurs asynchrones, sont appelés aussi moteurs à induction, sont une autre option rependue dans les voitures électriques. Ils fonctionnent grâce au principe de l'induction électromagnétique pour créer un mouvement rotatif. Ces moteurs sont réputés pour leur robustesse, leur fiabilité et leur capacité à s'adapter à fonctionner efficacement dans diverses conditions de charge. Contrairement aux moteurs synchrones, ils n'ont pas besoin d'aimants permanents, mais ils peuvent nécessiter un dispositif de démarrage externe, comme un onduleur. Ces moteurs sont particulièrement utilisés dans

des applications automobiles où un couple élevé à basse vitesse est essentiel, comme dans les véhicules commerciaux et les bus électriques. [8]

### **I.6.2 Moteurs à Courant Continu (CC) :**

Les moteurs à courant continu sont l'un des premiers types de moteurs électriques créés et ils sont toujours utilisés dans les voitures électriques d'aujourd'hui. Leur rôle est de transformer l'énergie électrique générée par la batterie en un mouvement rotatif. Ces moteurs sont connus pour leur simplicité de construction et de contrôle. Ce contrôle est réalisé grâce à des systèmes électroniques de puissance pilotés par des calculateurs pour réaliser des variateurs de vitesse. Cette capacité de régulation permet aux moteurs CC d'être utilisés dans de nombreuses applications et de fonctionner efficacement à différentes vitesses. [8]

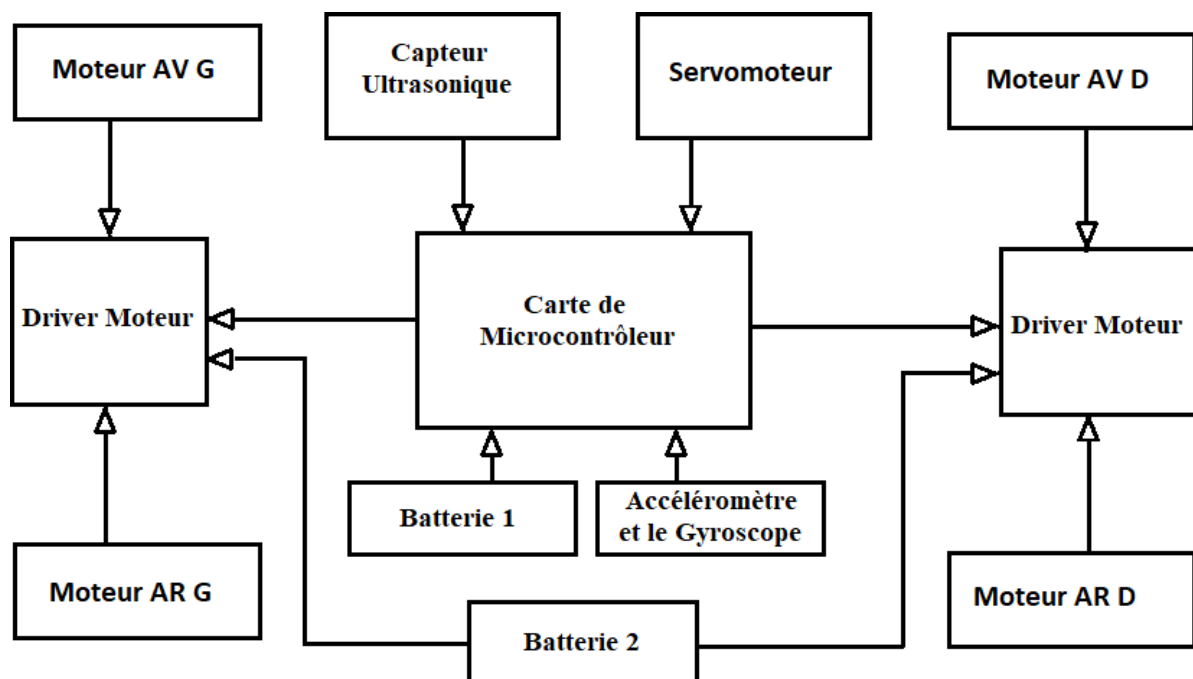
### **I.7 Conclusion :**

En conclusion, ce chapitre a permis d'explorer les aspects clés du développement des véhicules électriques et autonomes, en mettant l'accent sur les innovations technologiques, les systèmes de commande à distance et les moteurs électriques. Grâce à ces avancées, les véhicules électriques jouent un rôle de plus en plus important dans la mobilité durable et la réduction des émissions. Cependant, des défis subsistent, notamment en termes d'autonomie, de sécurité, et d'intégration urbaine. Les perspectives futures sont prometteuses et ouvrent la voie à des améliorations continues dans le domaine de la conduite autonome et de l'électrification des transports.

### II.1- Introduction :

Le fonctionnement de la voiture électrique, nécessite un ensemble de composants électrique et mécanique.

Dans ce chapitre nous avons cernés les différents composants qui permettent la mesure et le contrôle des différents paramètres de la voiture électrique. Ce projet comprend l'ensemble des systèmes qui interagissent, pour obtenir un meilleur contrôle à distance, dont les composants doivent être embarqué sur le corps de la voiture selon le schéma synoptique comme montre la figure II.1.



**Figure II.1 :** Schéma synoptique des systèmes incorporer sur la voiture.

(ARG : Arrière Gauche, ARD : Arrière Droit, AVG : Avant gauche, AVD : Avant Droit)

### II.2 Présentation du projet :

Les systèmes constituant le projet sont représentés en figure II.1, ces différentes parties seront exposés et détaillés pour matérialiser cette réalisation. Cela inclut les moteurs, la carte Raspberry Pi, le module L298N, l'accéléromètre ainsi que d'autres capteurs et actionneurs. Dans ce chapitre, nous allons expliquer le fonctionnement de chaque composant, en mettant un accent particulier sur le rôle central de la carte Raspberry Pi, qui agit comme le cerveau du système. La Raspberry Pi est le cœur principal des opérations de gestion, de communication entre les différents éléments, permet de traiter les données en temps réel (dans certain cas possible) pour générer une commande adéquate pour

optimiser les actions des moteurs, la gestion de l'accélération (changement de vitesse) ainsi que le freinage, et la prise de décisions basée sur les informations de l'accéléromètre et des autres capteurs.

### **II.3 Description de la partie matérielle :**

Ci-dessous, nous détaillons les composants utilisés dans ce projet.

#### **II.3.1 Raspberry Pi :**

L'histoire de Raspberry pi commence en 2006 à, en particulier le Département des sciences informatiques de l'Université de Cambridge, où un groupe de professeurs discutent le problème de formation des étudiants. Le problème consiste de prendre en charge l'amélioration du niveau des étudiants concernant leurs manque d'expérience pour faire face aux composants informatiques (composants électroniques).

##### **II.3.1.1 Environnement hardware :**

Le professeur Eben Upton a réfléchi à la façon d'aider les nouveaux étudiants à approfondir leur science informatique en leur faisant comprendre les systèmes hardware et software tout en permettant aux étudiants de créer et de modifier des dispositifs spéciaux et de les connecter à l'ordinateur.

La solution est de réaliser un petit ordinateur qui est facile à manipuler et à développer tout en étant accessible à tous ses composants et qui facilite le processus d'apprentissage pour tous les étudiants sans craindre la destruction de gros ordinateurs coûteux.

Le premier modèle Raspberry pi est sorti de petite taille (deux fois la taille d'un petit volume de pièces de monnaie), pas cher et il contient un seul USB et une sortie HDMI voir figure II.2.



**Figure II.2 :** Le premier modèle de Raspberry pi.

Plusieurs modèles ont été développés pour accomplir plus de fonctionnalités avec l'ajout de ports GPIO qui ajoutent la possibilité de connecter des composants électroniques avec le récepteur. [9]

### II.3.1.1.1 Présentation du Raspberry Pi :

Raspberry Pi est un petit ordinateur sous le système d'exploitation Linux sur carte SD destiné à des applications d'informatique embarquée. Le cœur de l'ordinateur est un FPGA (Broadcom 2835) intégrant un processeur ARM11 cadencé à 700MHz et de nombreux périphériques. Raspberry Pi peut être directement connecté à une IHM (Interface Homme Machine) classique, souris/clavier/écran HDMI ou vidéo composite, cependant comme tout ordinateur Linux. Raspberry Pi peut intégrer ses propres outils de développement et une IHM reposant sur SSH contrôlable depuis un autre ordinateur par Ethernet ou Wi-Fi. Le connecteur d'extension supporte les entrées/sorties parallèles ainsi que la plupart des bus de communication. C'est un support particulièrement économique et puissant qui peut être facilement mis en œuvre dans de petits systèmes nécessitant un accès au monde physique par des capteurs/actionneurs disposants d'interfaces numériques. [10]

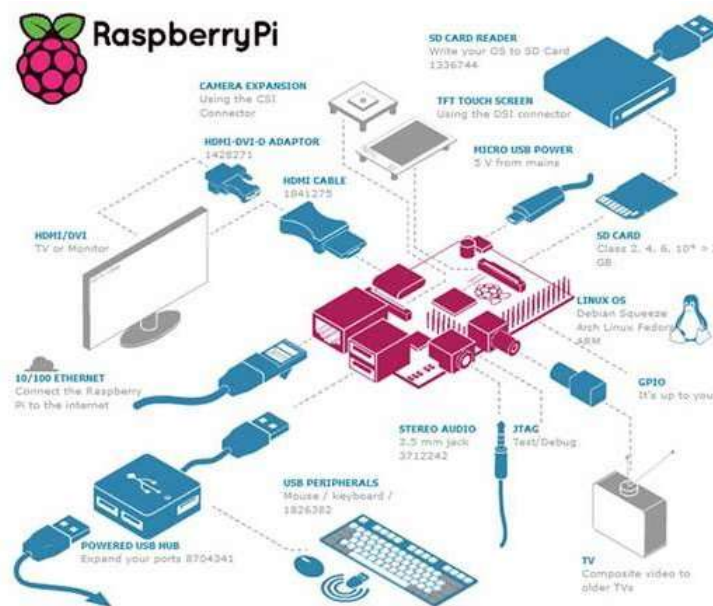


Figure II.3 : Architecture de connexions du Raspberry Pi.

### II.3.1.1.2 Modèles de Raspberry Pi :

Deux versions de Raspberry Pi sont disponibles à la vente : la version A et la version B. Bien que ces deux modèles soient équipés du même processeur et partagent une architecture interne similaire, plusieurs différences les distinguent.

Le modèle B dispose de 512 Mo de RAM, tandis que le modèle A n'en a que 256 Mo, ce qui lui permet de consommer moins d'énergie. En termes de connectivité, le modèle B est équipé de deux ports USB, alors que le modèle A n'en possède qu'un. De plus, le modèle B inclut une prise Ethernet

standard au format RJ45, tandis que le modèle A ne l'a pas, mais il peut être connecté à un réseau via un adaptateur USB vers Ethernet.

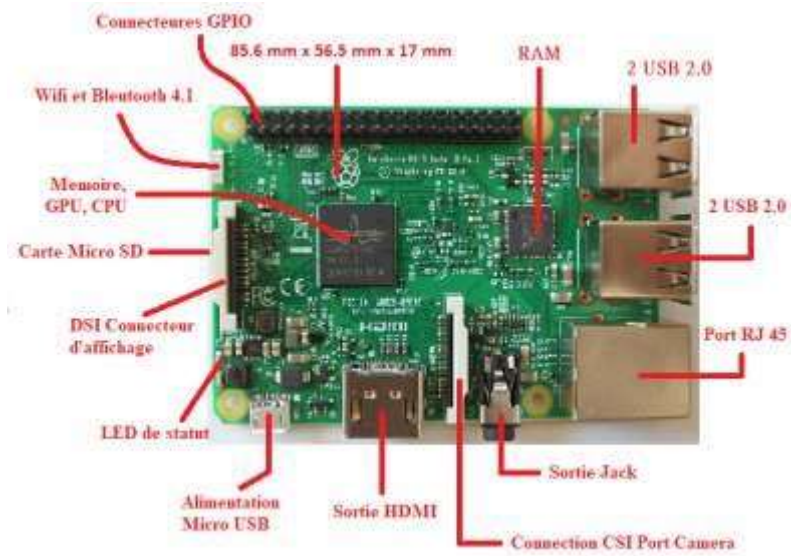
Le 2 février 2015, la fondation Raspberry Pi a annoncé le lancement du Raspberry Pi 2, qui est plus performant. Ce modèle est doté d'un processeur Broadcom BCM 2836 avec quatre cœurs ARMv7 à 900 MHz et est accompagné de 1 Go de RAM.

Pour notre projet, nous avons choisi d'utiliser le Raspberry Pi 3 Model B, une version améliorée du Raspberry Pi 3 lancée en 2016. Ce modèle apporte des améliorations significatives en termes de connectivité et de performances par rapport aux versions précédentes.

### **II.3.1.1.3 Caractéristiques du Raspberry Pi 3 Model B :**

Le Raspberry pi 3 Model B, introduit en février 2016, est un micro-ordinateur populaire qui se distingue par plusieurs caractéristiques et la figure II.4 inventorie les différentes parties d'un Raspberry Pi 3 modèle B.

- Processeur ARM Cortex A-53 quatre-cœurs de 64-bit cadencé à 1,2 GHz.
- 1 Go de RAM (SDRAM).
- Stockage : Carte micro SD pour le stockage du système d'exploitation et des données.
- Réseau : (Wi-Fi 802.11n, Bluetooth 4.2 (BLE)) intégré et Ethernet port RG45.
- 4 ports USB 2.0
- Sortie vidéo : (un port HDMI, un port AV).
- Sortie audio via le port HDMI ou la prise jack 3,5 mm (combinée avec la sortie vidéo composite).
- 40 broches GPIO.
- Dimensions : environ 85.6 mm x 56.5 mm x 17 mm.
- port micro-USB pour l'alimentation (5v, 2.5A).
- interface Ethernet 10/100 Mbps.
- Une interface de caméra (CSI)
- Une interface d'affichage (DSI). [18]



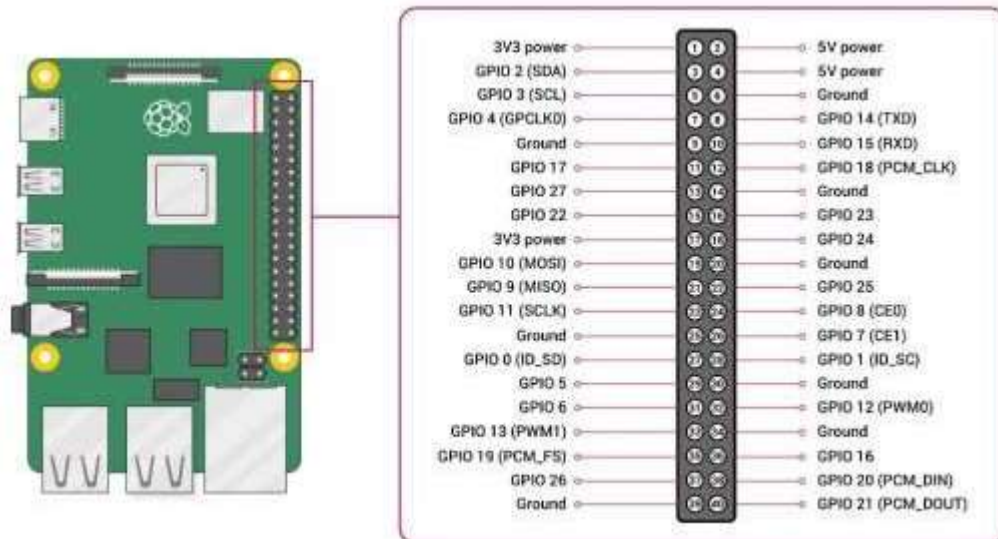
**Figure II.4 :** Les différentes entrées et sortie de Raspberry pi.

#### II.3.1.1.4 Configuration du Raspberry Pi 3 :

##### Entrées-sorties sur Raspberry Pi :

Le port GPIO (General-Purpose Input/Output) est une interface numérique à broches qui permet la communication entre un Raspberry Pi et d'autres composants électroniques. Les ports GPIO permettent de contrôler ou de surveiller des signaux numériques, et servent à envoyer et à recevoir des données afin de pouvoir contrôler l'environnement du projet tels que les actionneurs et les capteurs (moteurs, capteurs, LED, détecter d'événements externes tels que des pressions sur des boutons).

Le port GPIO du Raspberry Pi a 40 broches, 17 sont des broches d'alimentation, 2 sont des broches de masse et les 21 autres sont des broches de données représenté en figure II.5. Il nous permet de créer des projets comme des systèmes de maison intelligente, des contrôleurs de robots, des systèmes de sécurité, et bien plus encore [11].



**Figure II.5 :** Les GPIO de Raspberry pi 3 modèle B.

Les composants et interfaces nécessaires pour configurer le Raspberry Pi 3 :

- Un Raspberry Pi 3.
- Un câble micro USB et une alimentation pour alimenter la carte.
- Un écran avec une entrée vidéo HDMI.
- Un clavier et une souris.
- Une carte micro SD d'une capacité d'au moins 4 Go.
- Un graveur de carte micro SD.
- Un ordinateur connecté à Internet.

#### II.3.1.1.5 Alimentation :

Afin d'alimenter le module, ceci peut se faire de différentes manières, tels que la connexion par USB dont il existe deux choix pour fournir alimentation du Raspberry pi

- Connectez le connecteur micro USB étiqueté power à une source 5 V DC, il peut s'agir soit d'une alimentation peut être branchée directement sur une prise adapter ou une alimentation fournie par un port USB d'un ordinateur.
- Connectez le connecteur micro USB à une batterie, cette connexion est simple à condition que la batterie possède un connecteur USB, comme celles d'un power Bank.

Dans les deux cas, l'alimentation doit fournir la puissance nécessaire, qui peut fournir au moins 1 000 mA à 5 V. [11]

### II.3.1.1.6 Connexions des périphériques (clavier, souris et écran) :

Il suffit de brancher les connecteurs USB du clavier et celui de la souris sur l'un des quatre ports USB du Raspberry Pi 3 et l'écran est connecté directement sur les prises HDMI (câble HDMI). Si l'écran est doté d'un connecteur DVI, on utilise un adaptateur HDMI vers DVI, la prochaine étape est l'installation du système d'exploitation. [11]

### II.3.1.2 Environnement software :

Le Raspberry Pi os était auparavant connu sous le nom de Raspbian, c'est un système d'exploitation pour les appareils Raspberry Pi. Il est spécialement conçu pour eux, basé sur Debian et dispose d'une interface facile à utiliser. Ce system comprend un ensemble d'application, d'outils de programmation et de programmes éducatifs. Il facilite l'apprentissage de la programmation et le développement de projets électroniques. Il prend en charge de nombreux langages de programmation, tels que python, scratch ...

#### II.3.1.2.1 Le Système d'exploitation Raspberry Pi OS :

L'installation se fait par une étape de téléchargement du système d'exploitation sur la carte SD connecter à l'ordinateur depuis ce site, <https://www.raspberrypi.com/software/>, selon la figure II.5 représentant la fenêtre du site de téléchargement. L'insertion de la carte SD sur le module Raspberry, sachant que les autres périphériques (écran, souris et clavier) ainsi que l'alimentation sont déjà connectés.[12]



Figure II.6 : Capture d'écran d'un site de téléchargement.

Le système termine automatiquement la procédure de l'installation puis il affiche l'image du Bureau représenter en figure II.7.



**Figure II.7:** Bureau de Raspbian après l'installation.

#### II.3.1.2.2 Contrôler le Raspberry Pi à distance :

Pour contrôler le Raspberry Pi à distance, on utilise SSH, c'est un protocole qui permet de se connecter au système Raspberry Pi et d'exécuter des commandes à distance.

Le SSH est un protocole réseau qui permet un accès sécurisé via une connexion cryptée. La connexion SSH peut gérer facilement les fichiers et dossiers, modifier leurs permissions, éditer des fichiers directement sur le serveur, configurer et installer les scripts etc. et pour cela l'activation sur le Raspberry Pi a fin d'une commande à distance. [13]

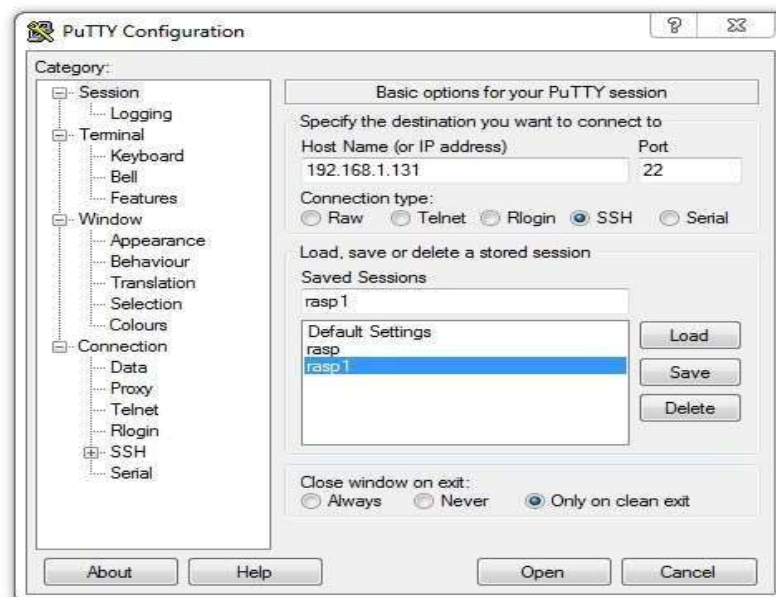
L'activation du protocole SSH sur le Raspberry Pi se fait sur la carte SD (via un ordinateur Windows) selon la méthode suivante :

- Insère la carte SD du Raspberry Pi dans un PC Windows.
- Ouvre l'explorateur de fichiers et accède à la partition boot de la carte SD.
- Crée un fichier vide nommé **SSH** (sans extension) qui permet l'activation du protocole SSH automatiquement lors du prochain démarrage du Raspberry Pi en présence de la carte SD.

Lors du téléchargement du système d'exploitation on doit inclure le protocole IP du Raspberry Pi avec Advanced IP Scanner sur le PC à partir du site <https://www.advanced-ip-scanner.com/>, ensuite lance un scan du réseau local en cliquant sur Scan pour trouver l'adresse IP du Raspberry Pi dans la liste des appareils connectés. Il sera généralement identifié sous un nom comme Raspberry pi.

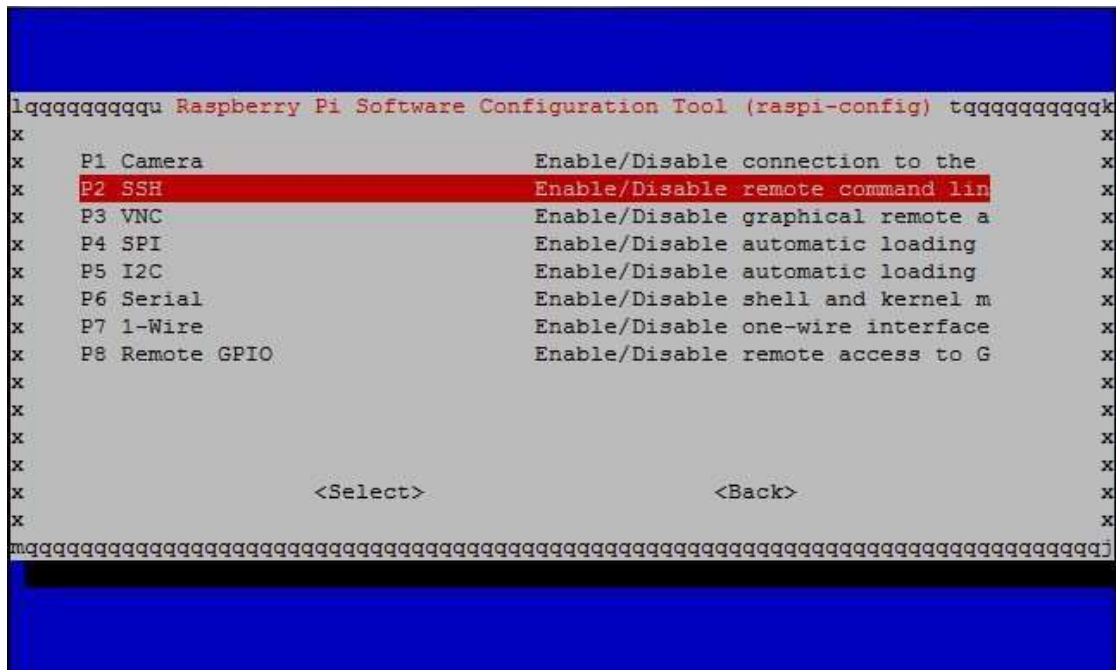
La connexion au Raspberry Pi se fait avec PuTTY, qui représente un client SSH et Telnet, développé à l'origine par Simon Tatham pour la plateforme Windows. PuTTY est un logiciel open source disponible avec le code source et est développé et supporté par un groupe de bénévoles. Après téléchargement du site officiel <https://www.putty.org/>. Doit suivre une installation du **PuTTY** comme suit : Ouverture de PuTTY, dans le champ **Host Name (or IP adresse)**, saisis l'adresse IP du Raspberry Pi déjà obtenue, Cliquez sur Open pour établir la connexion et si un avertissement de sécurité s'affiche, cliquez sur Yes la figure II.7 représente une fenêtre de communication pour ce type de paramétrage.

Lorsque l'invite de commande apparaît, entre pi comme nom d'utilisateur, puis Raspberry ou mot de passe personnel (en cas de changement lors de l'écriture de l'image sur la carte SD.).



**FigureII.8 :** Interface de logiciel PUTTY.

Le paramétrage se fait depuis le terminal, on commence par taper la commande suivante pour ouvrir l'outil de configuration "**sudo raspi-config**", après validation on sélectionne "Interfacing Options", on choisit SSH puis on sélectionne "Enable" et active le message "Ok" ainsi on termine la configuration en appuyant sur l'icône "Finish". La fenêtre de paramétrage est représentée en figure II.9.

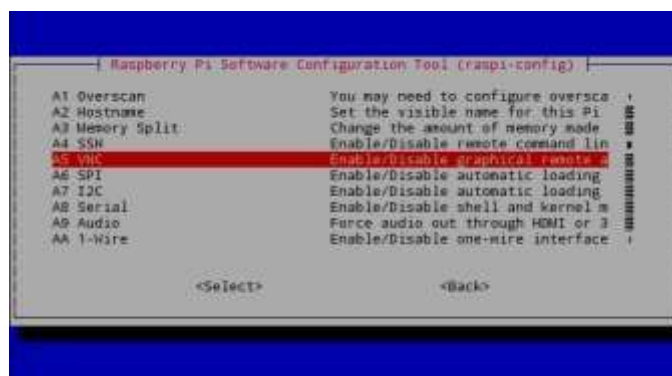


**Figure II.9 :** Fenêtre de paramétrage lors d’activation du SSH.

Maintenant pour un accès graphique, on utilise VNC, ou Virtual Network Computing, qui est un système permettant la prise de contrôle à distance d’une machine par une autre tout en ayant une vue sur le bureau.

Pour l’utilisation de VNC, il faut installer la partie serveur sur la machine dont l’on souhaite prendre le contrôle (ici la Raspberry Pi), et la partie client sur la machine depuis laquelle on souhaite contrôler le serveur. Celui-ci va permettre de traduire vos actions en opérations compréhensibles par le serveur qui va alors contrôler la machine distante depuis votre ordinateur.

Pour activer VNC sur le Raspberry, on suit les mêmes étapes que précédemment avec SSH, à la seule différence que l’on choisira VNC au lieu de SSH lors de la sélection de l’affichage de la fenêtre de paramétrage.



**FigureII.10 :** Capteur d’écrans lors de l’activation de VNC.

Après le téléchargement et l'installation de VNC Viewer sur l'ordinateur à partir du site [<https://www.realvnc.com/en/connect/download/viewer/>]. On écrit l'adresse IP du Raspberry Pi dans le logiciel. Puis une connexion sera établie avec les mêmes identifiants utilisés pour SSH (nom d'utilisateur et mot de passe "pi/raspberry" (par défaut)). La connexion se fait directement au Raspberry Pi, et il peut être contrôlé directement via une interface depuis l'ordinateur.

Un langage de programmation est nécessaire pour assurer l'interaction entre les différentes GPIO. Bien qu'il existe de nombreux langages de programmation utilisés pour le Raspberry Pi, Python est le plus populaire pour plusieurs raisons :

- C'est un langage de programmation simple à utiliser, et la plupart des débutants peuvent commencer à l'utiliser immédiatement sans problèmes ;
- C'est aussi puissant que d'autres langages de haut niveau, tels que C++ ou Java ;
- C'est le langage le plus populaire pour contrôler les GPIO, il a un très grand support en ligne de la communauté Raspberry, et supporte de nombreuses bibliothèques ;
- C'est installé par défaut dans tous les systèmes d'exploitation Linux.

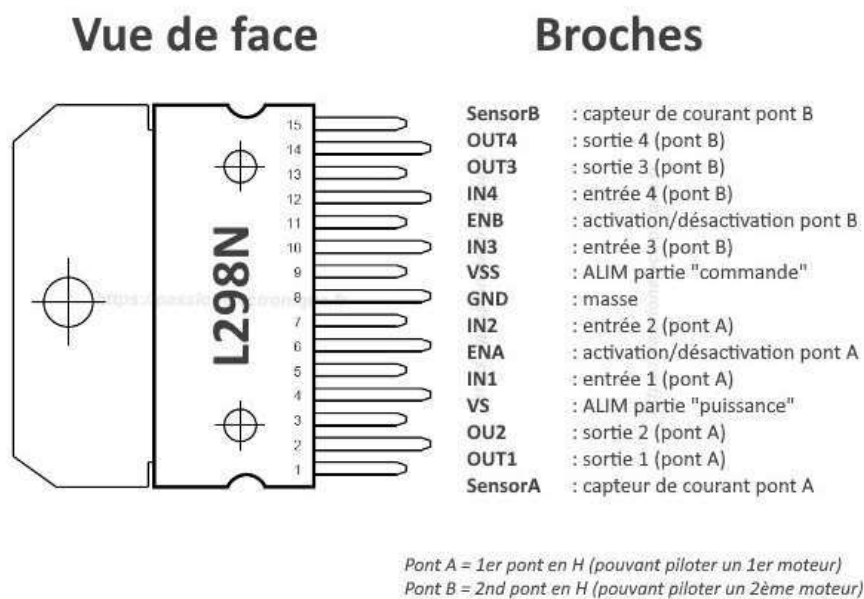
### **II.3.2 Module L298N :**

Le L298N est un circuit STMicroelectronics intégré doté de plusieurs fiches pour contrôler les moteurs à courant continu et les sens de rotation ou un moteur pas-à-pas à 4 fils et à 2 phases. Il est possible d'utiliser un login pour contrôler l'interface facilement, ce qui facilite l'interface avec les microcontrôleurs qui utilisent l'ATmega328 sur les cartes Arduino. Pour fonctionner, le L298N a besoin d'alimentations distinctes, une pour la partie alimentation (Vs), bien sûr. Pilotez le moteur via les transistors de puissance, puis connectez-vous au journal VSS, qui permet de contrôler le journal. Le brochage du circuit intégré L298N est représenté en figure L298N est disponible sous forme de module adaptable au fonctionnement des drivers, pour assurer la bidirectionnalité des interrupteurs électronique (ajout des diode\ s) et les entrées /sorties ainsi qu'un régulateur 5 volts.

Selon les versions, intégré aux circuits, des fusibles de protection, dissipateurs thermiques et autres accessoires. Les broches de commande comprennent les entrées d'activation (ENA et ENB) pour le freinage et le changement de sens selon le tableau de vérité ci-dessous. [14]

**Tableau II.1 : Table de vérité L298N – Fonctionnement :**

ENA	IN1	IN2	Résultat, en sortie
ENB	IN3	IN4	Résultat, en sortie
L	X	X	Moteur en roue libre (à l'arrêt sens frein)
H	L	L	Blocage du moteur (arrêt rapide, freinage fort)
	L	H	Marche arrière
	H	L	Marche avant
	H	H	Blocage du moteur (arrêt rapide, freinage fort)



**Figure II.11 : Brochage du L298N.**

### II.3.2.1 Principe de fonctionnement du L298N :

Le L298N est une unité de contrôle qui nous permet de contrôler la vitesse et la direction de deux moteurs à courant continu, grâce à deux caractéristiques : premièrement, l'utilisation de ponts en H, qui permettent au moteur de tourner dans deux sens différentes, et deuxièmement, contrôle de la largeur d'impulsion (PWM), qui permet de contrôler la vitesse de rotation du moteur.

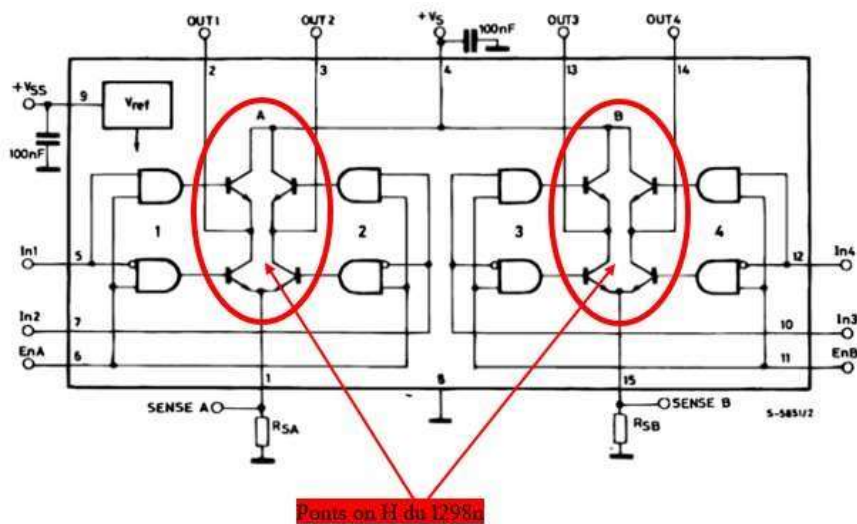


Figure II.12 : Fonctionnement dans les quatre quadrants.

### II.3.2.2 Ponts en H :

Les ponts en H sont une configuration électronique composée de quatre transistors en forme de H. Cette configuration nous permet de contrôler la direction du courant en activant deux transistors opposés en même temps. Par conséquent, nous pouvons faire tourner le moteur dans les deux sens en activant l'autre deux transistors.

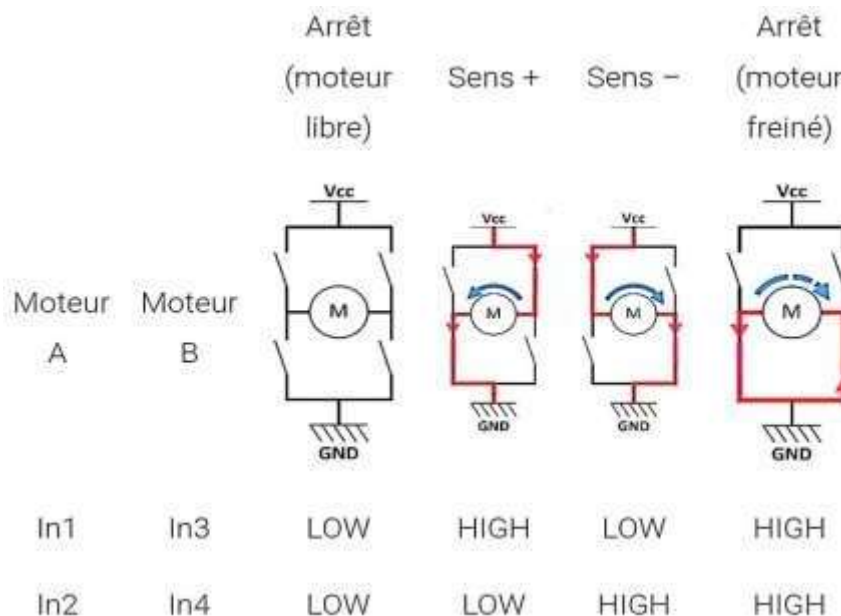


Figure II.13 : Le schéma interne du circuit L298N (pont en H à base de circuit intégré).

### **II.3.2.3 Les caractéristiques techniques :**

- Composant de contrôle en puissance : L298N.
- Alimentation de la charge : de +5V à +35V.
- Courant Max (en pointe) : 2A.
- Tension de commande logique  $V_{ss}$  : de +5 à +7V (alimentation interne de +5V).
- Courant de commande logique : de 0 à 36mA.
- Tensions pour contrôle du sens : Low -0.3V~1.5V, high : 2.3V~ $V_{ss}$ .
- Tensions pour contrôle "Enable" : Low -0.3V~1.5V, high : 2.3V~ $V_{ss}$ .
- Puissance Max : 25W (Température 75 °C).
- Température de fonctionnement : de -25°C à +130°C.
- Dimensions : 60mm x 54mm.
- Poids : ~48g. [14]

### **II.3.3 Le moteur à courant continu (CC) :**

Il existe plusieurs types de moteurs, comme le moteur pas à pas, le moteur alternatif, et le moteur à courant continu. Pour les petites tensions on trouve généralement, le moteur à courant continu, dont on considère deux modes de fonctionnement :

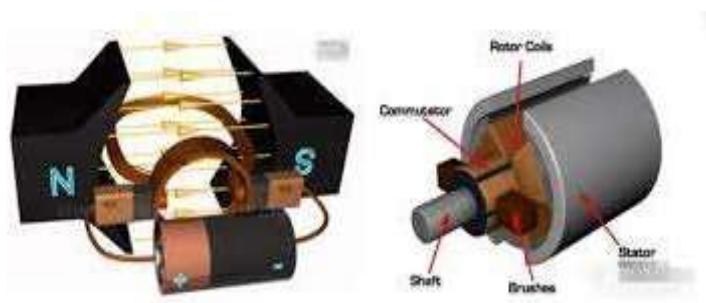
- Il convertit l'énergie électrique qu'il reçoit en énergie mécanique de rotation.
- Il fonctionne comme une génératrice et convertit l'énergie mécanique de rotation en énergie électrique (principe de la dynamo).

#### **II.3.3.1 Composition du moteur à courant continu :**

Un moteur à courant continu est composé de deux éléments principaux :

- Le stator : Partie fixe du moteur, appelé aussi inducteur. Il peut être fait d'aimants permanents ou d'électroaimants.
- Le rotor : Partie rotative du moteur, également appelée induit, qui est constitué de bobinages.

Pour convertir l'énergie électrique en énergie mécanique, le moteur utilise une énergie électromagnétique. La loi de Lorentz permet de définir le sens de rotation du moteur. Selon cette loi, un moteur à courant continu tourne dans le sens opposé à son alimentation.[15]

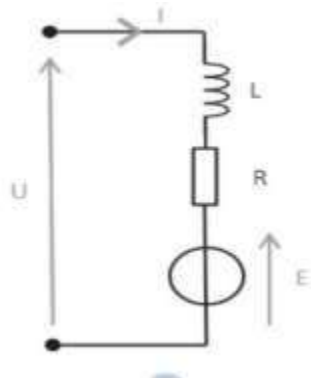


**Figure II.14 :** Différents éléments d'un moteur à courant continu.

### II.3.3.2 Modèle électrique du moteur à courant continu :

Le moteur à courant continu peut être modélisé par un circuit électrique qui comprend :

- Une force électromotrice E (ou fem), proportionnelle à la vitesse de rotation du moteur.
- Une résistance R, représentant la résistance de l'induit.
- Une inductance L.



**Figure II.15 :** Circuit de filtrage du courant.

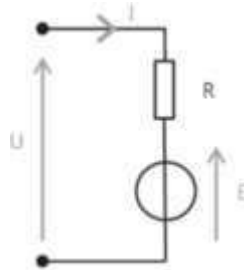
D'après la loi des mailles, l'équation régissant ce modèle est la suivante :

$$U = E + R * I + L * dI/dt$$

Avec :

- U est la tension d'alimentation du moteur (en volts, V),
- R est la résistance de l'induit (en ohms,  $\Omega$ ),
- I est le courant traversant le moteur (en ampères, A),
- L est l'inductance de l'induit (en henrys, H),
- E ou fem est la force électromotrice (en volts, V).

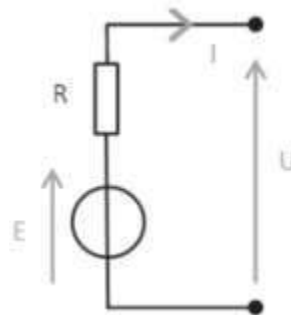
La tension de l'inductance  $L \cdot dI/dt$  n'existe que si le courant est variable, c'est-à-dire dans les régimes transitoires (démarrage et freinage). En régime permanent, on peut simplifier le modèle l'inductance peut être négligée et l'expression se simplifie  $U = E + R \cdot I$ . [15]



**Figure II.16 :** Modèle électrique d'un moteur.

### II.3.3.3 Fonctionnement en mode génératrice :

Lorsque le moteur à courant continu fonctionne en tant que génératrice, le modèle électrique reste le même, mais  $U$  représente la force électromotrice générée, et non plus la tension d'alimentation.



**Figure II.17 :** Modèle électrique d'une génératrice.

L'expression dévient Alors :  $U = E - R \cdot I$

La force électromotrice  $E$  est liée à la vitesse angulaire  $\omega$  comme suit :  $E = K_e \cdot \omega$

Où :  $K_e$  est la constante de force électromotrice (en  $V \cdot s/rad$ ),  $\omega$  est la vitesse angulaire du moteur (en  $rad/s$ ).

Le courant  $I$  est lié au couple moteur par l'expression suivante :  $C = K_c \cdot I$

Où :  $K_c$  est la constante de couple (en  $N \cdot m/A$ ) et  $C$  est le couple moteur (en  $N \cdot m$ ).

### II.3.3.4 Puissance du moteur à courant continu :

La puissance mécanique  $P_{mécanique}$  fournie par le moteur est liée à la vitesse angulaire  $\omega$  et au couple  $C$  par l'expression :  $P_{mécanique} = C \cdot \omega$

De plus, la puissance électrique  $P_{\text{électrique}}$  absorbée par le moteur est donnée par :  $P_{\text{électrique}} = U * I$   
En régime permanent, en supposant que les pertes internes (résistances, frottements) sont négligeables, on peut dire que la puissance électrique est convertie en puissance mécanique :  
 $P_{\text{électrique}} = P_{\text{mécanique}}$ . [15]

### II.3.4 Le capteur Ultrasonique HC-SR04 :

Le capteur à ultrasons HC-SR04 est un dispositif essentiel pour la mesure de distance, autrement dit il est utilisé pour détecter les obstacles situés entre 2 cm et 4 m, avec une précision de 3 mm. Ce capteur fonctionne en émettant des ondes ultrasonores à une fréquence de 40 kHz et en calculant le temps écoulé entre l'émission de ces ondes et leur retour après avoir été réfléchies par l'obstacle (paroi). Les applications de ce capteur sont variées, notamment dans les systèmes de détection d'obstacles pour la robotique. Il est compatible avec une grande variété de microcontrôleurs, dont Arduino et Raspberry Pi.[16]



**Figure II.18:** Capteur à ultrason HC-SR04.

#### II.3.4.1 Les Caractéristiques :

Les principales caractéristiques du capteur **HC-SR04** sont les suivantes :

- Tension d'alimentation : +5V DC.
- Courant de repos : <2 mA.
- Courant en fonctionnement : 15 mA.
- Angle effectif : <15°.
- Plage de mesure : 2 cm - 400 cm (1" - 13 pieds).
- Résolution : 0,3 cm.
- Angle de détection : 30°.

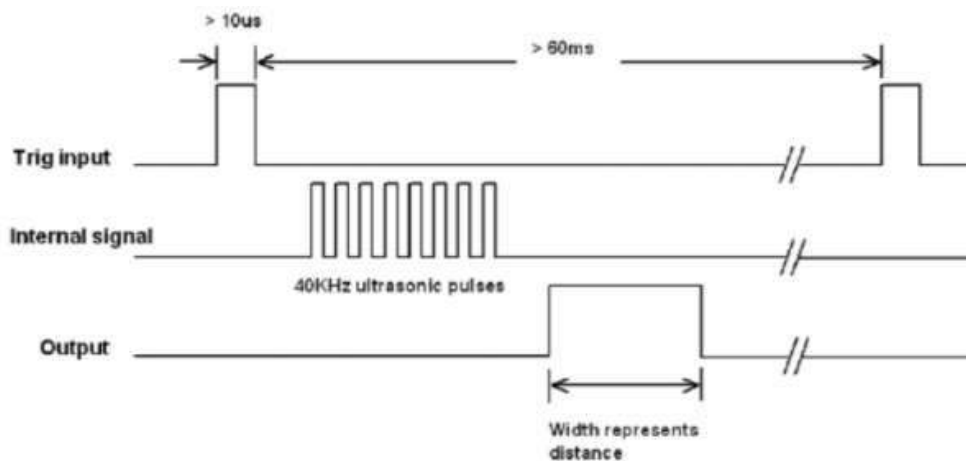
- Impulsion de déclenchement : largeur minimale de 10  $\mu$ s.
- Dimensions : 45 mm x 20 mm x 15 mm.
- Poids : 8 g.

### II.3.4.2 Principe de fonctionnement :

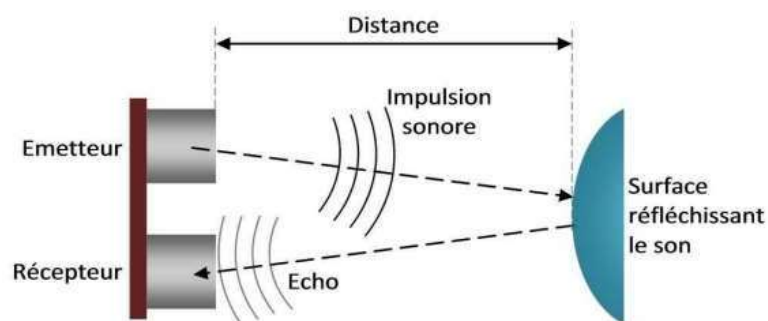
Pour déclencher une mesure, il faut présenter une impulsion "high" (5 V) d'au moins une durée d'impulsion de 10  $\mu$ s appliquée sur l'entrée "Trig input, alors le module émet une série de 8 impulsions ultra-soniques de fréquence 40 kHz, après une propagation l'onde est réfléchié puis intercepter par le récepteur, en fin le module envoie un signal "high" sur la sortie "Output" (ou Echo), dont la durée est proportionnelle à la distance doublement parcourue par l'onde ultrasonique, les chronogrammes et la propagation de l'onde sont décrites par les figures II.18 et II. 19.

**Distance = temps d'écho du signal \* Vitesse du son / 2= temps x 0,0345/2**

Le temps en  $\mu$ S et la distance en cm [16]



**Figure II.19** : Impulsions et chronogrammes reçus et émit par le module capteur à ultrasons.



**Figure II.20** : Propagation des ondes sonores générées par le module capteur ultrasonique.

### II.3.4.3 Considérations pratique :

Pour assurer un bon fonctionnement du capteur HC-SR04, plusieurs points doivent être pris en compte :

Limite de détection : La distance entre le capteur et l'objet ne doit pas dépasser 4 mètres.

Détection d'angle : Le capteur a du mal à détecter les objets situés à des angles trop inclinés par rapport à l'onde émise.

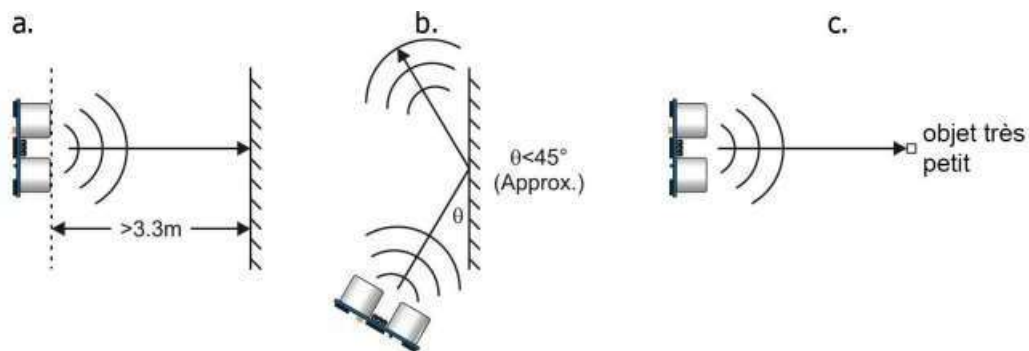
Taille de l'objet : Un objet trop petit pour réfléchir les ondes ultrasonores sera indétectable.

Surface de détection : À longue distance, l'objet doit avoir une surface d'au moins 0,5 m<sup>2</sup> pour être détecté.

Objets à surface molle ou irrégulière : Certains objets peuvent ne pas refléter correctement les ondes ultrasonores, ce qui rend leur détection difficile.

Orientation des objets : Seuls les objets perpendiculaires à l'onde émise seront détectés efficacement.

Le capteur a un cône de détection de 30° comme représenter en figure II.21.[16]

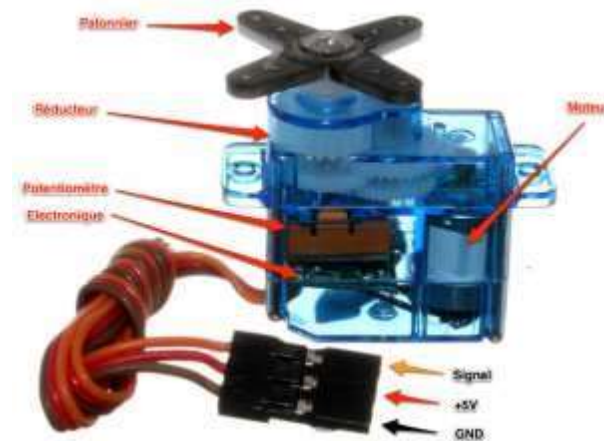


**Figure II.21 :** Limites du capteur à ultrason.

### II.3.5 Servomoteur :

Un servomoteur est un type de moteur électrique est couramment utilisé en modélisation pour, contrôler la direction d'un véhicule à commande à distance (télécommandé). Sur un servomoteur, l'angle de l'axe demeure fixé à une position et peut varier entre 0° et 180° selon le signal de commande appliqué. Un servomoteur se compose d'un moteur électrique (cc), généralement de petite taille, des engrenages réducteurs situés en sortie de ce moteur (pour réduire la vitesse tout en augmentant le couple). Et un capteur de type "potentiomètre" dont l'axe est solidaire avec le réducteur et la borne du milieu est connecté en sortie. Ce capteur est une résistance (potentiomètre) qui change en fonction de l'angle, permettant ainsi de mesurer l'angle de rotation sur la borne de sortie. Et un système

D'asservissement électronique contrôle la position et la rotation de cet axe solidaire à la borne de sortie afin de le maintenir à la position souhaitée dont le principe est représenté en figureII.22. [17]



**FigureII.22 :** Servomoteur à rotation angulaire.

### II.3.5.1 Fonctionnement :

Le servomoteur est contrôlé via un câble électrique à trois fils qui permettent à la fois d'alimenter le moteur et de lui transmettre des instructions de position sous forme d'un signal codé en largeur d'impulsion (PWM (Pulse Width Modulation)). Les différentes caractéristiques du servomoteur sont illustrées dans la figureII.22. Sachant que la durée des impulsions détermine l'angle absolu de l'axe de sortie, par conséquent on cible la position du bras de commande du servomoteur. Le signal est transmis de manière périodique, généralement toutes les 20 millisecondes, ce qui permet de contrôler et d'ajuster en continu la position angulaire de l'axe de sortie, cette position étant mesurée par le potentiomètre.[22]

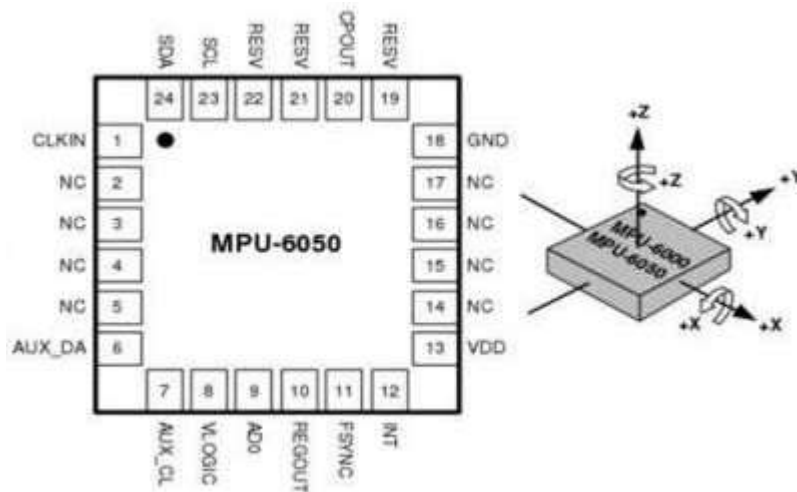
### II.3.5.2 Connecteur du servomoteur :

- Un servomoteur est piloté par un câble à trois fils. Ce câble permet à la fois de l'alimenter et de lui transmettre des consignes de position via le fil de signal :
- Le noir ou marron : La masse.
- Le rouge : La tension d'alimentation continue (+).
- Le jaune, orange, blanc ou bleu : Le signal de commande PWM.

### II.3.6 L'accéléromètre IMU-MPU6050 :

Le MPU-6050 est un capteur de mouvement qui intègre un accéléromètre et un gyroscope, permettant de mesurer l'accélération et la rotation sur trois axes. Dans cette analyse détaillée, nous allons

Examiner les composants internes du MPU-6050, le fonctionnement de l'accéléromètre, et comment il calcule l'accélération.



**Figure II.23:** MPU-6050.

### II.3.6.1 Composants Internes du MPU-6050 :

Le MPU-6050 est composé de plusieurs éléments clés :

- Accéléromètre 3 axes : Mesure l'accélération sur les axes X, Y et Z.
- Gyroscope 3 axes : Mesure la vitesse angulaire sur les mêmes axes.
- Convertisseur Analogique-Numérique (ADC) : Convertit les signaux analogiques des capteurs en données numériques.
- Processeur de Mouvement Numérique (DMP) : Traite les données des capteurs pour fournir des informations sur l'orientation et le mouvement.
- Interface de communication I2C : Permet la communication avec des microcontrôleurs.
- Régulateur de tension : Assure une alimentation stable au capteur.
- Broches de connexion : Permettent de connecter le MPU-6050 à d'autres dispositifs.

**Tableau II.2 : Composants de l'accéléromètre et leurs Fonctions.**

<b>Composant</b>	<b>Fonction</b>
Accéléromètre 3 axes	Mesure l'accélération sur les axes X, Y, Z
Gyroscope 3 axes	Mesure la vitesse angulaire sur les axes X, Y, Z
Convertisseur ADC	Convertit les signaux analogiques en données numériques
Processeur DMP	Traite et fusionne les données des capteurs
Interface I2C	Permet la communication avec des microcontrôleurs
Régulateur de tension	Assure une alimentation stable au capteur
Broches de connexion	Connectent le MPU-6050 à d'autres dispositifs

### **II.3.6.2 Fonctionnement de l'Accéléromètre :**

L'accéléromètre du MPU-6050 utilise une masse suspendue par des ressorts, qui se déplace lorsqu'une force est appliquée. Lorsque le capteur subit une accélération, la masse se déplace, provoquant une déformation des ressorts. Cette déformation est proportionnelle à la force appliquée, permettant ainsi de calculer l'accélération.

### **II.3.6.3 Calcul de l'Accélération :**

La relation fondamentale qui régit le fonctionnement de l'accéléromètre est donnée par la deuxième loi de Newton :  $F=m*a$

Où : F est la force appliquée, m est la masse de l'élément mobile et a est l'accélération.

En mesurant la force résultante sur la masse, l'accéléromètre peut déterminer l'accélération subie par le capteur. Les mesures sont effectuées sur trois axes :

**X** : Accélération latérale.

**Y** : Accélération longitudinale.

**Z** : Accélération verticale.

Plages de Mesure de l'Accéléromètre.

Le MPU-6050 permet de configurer différentes plages de mesure pour l'accéléromètre, ce qui affecte la sensibilité et la précision des mesures. Voici un tableau récapitulatif des plages de mesure :

**Tableau II.3 : plage de mesure MPU-6050 :**

<b>Plage de mesure</b>	<b>Sensibilité (g)</b>	<b>Plage de mesure (m/s<sup>2</sup>)</b>
±2g	16384 LSB/g	±19.6
±4g	8192 LSB/g	±39.2
±8g	4096 LSB/g	±78.4
±16g	2048 LSB/g	±156.8

#### **II.3.6.4 Conversion des Données :**

Les signaux analogiques générés par la déformation des ressorts sont convertis en données numériques par un ADC 16 bits intégré. Les données sont ensuite traitées par le DMP pour fournir des informations sur l'accélération sur chaque axe.

#### **Application de l'accéléromètre :**

L'accéléromètre du MPU-6050 est utilisé dans diverses applications, notamment :

Drones : Pour la stabilisation et le contrôle du vol.

Robots : Pour la navigation et le suivi de mouvements.

Appareils mobiles : Pour la détection de mouvements et l'orientation de l'écran.

Jeux vidéo : Pour des contrôles de mouvement immersifs.

#### **Pulse Width Modulation (PWM) dans le MPU-6050 :**

La PWM est une technique de modulation qui permet de contrôler la puissance fournie à un dispositif en ajustant le rapport cyclique d'un signal numérique. Dans le contexte du MPU-6050, la PWM est utilisée principalement pour la gestion de l'alimentation et le contrôle de la fréquence d'échantillonnage des données.

#### **II.3.6.5 Principe de Fonctionnement du PWM :**

La PWM fonctionne en alternant entre des états haut (ON) et bas (OFF) à une fréquence fixe. Le rapport cyclique est le pourcentage de temps pendant lequel le signal est à l'état haut par rapport à la période totale.

### II.3.6.6 Contrôle de la Fréquence d'Échantillonnage :

Le MPU-6050 peut être configuré pour échantillonner les données d'accélération et de rotation à différentes fréquences. La PWM permet d'ajuster cette fréquence d'échantillonnage, ce qui est crucial pour des applications nécessitant des réponses rapides aux changements de mouvement.

### II.3.6.7 Caractéristiques Techniques du MPU-6050 :

Accéléromètre : 3 axes, capable de mesurer des accélérations dans les plages de  $\pm 2g$ ,  $\pm 4g$ ,  $\pm 8g$ , et  $\pm 16g$ .

Gyroscope : 3 axes, mesurant la vitesse angulaire dans les plages de  $\pm 250$ ,  $\pm 500$ ,  $\pm 1000$ , et  $\pm 2000$  degrés par seconde.

Interface : Communication via I2C, avec une adresse par défaut de 0x68 (ou 0x69 si le pin AD0 est à l'état haut).

Tension d'alimentation : 3 à 5 V.

Résolution : 16 bits pour les données d'accélération et de rotation.

Processeur de Mouvement Numérique (DMP) : Permet le traitement des données et la fusion des capteurs.

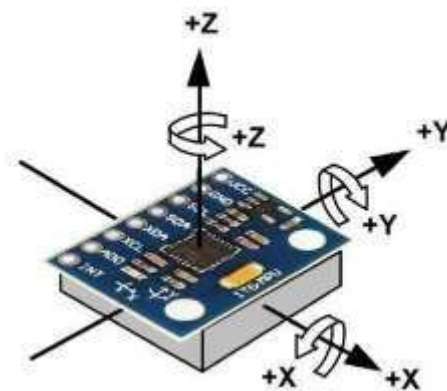


Figure II.24: Le module MPU6050.

### II.3.7 Rapport Cyclique :

#### Présentation et formule :

Le rapport cyclique, ou (duty cycle), est un paramètre essentiel dans les systèmes de contrôle des moteurs à courant continu (CC) et dans la modulation de largeur d'impulsion (PWM). Il représente la proportion de temps pendant lequel un signal est à l'état haut par rapport à la durée totale du cycle. La formule est donnée par : **Rapport cyclique** =  $(t_{\text{haut}} / (t_{\text{haut}} + t_{\text{bas}})) \times 100$

Où  $t_{\text{haut}}$  est la durée pendant laquelle le signal est actif (haut) et  $t_{\text{bas}}$  est la durée pendant laquelle le signal est inactif (bas).

### **Importance du rapport cyclique dans les systèmes de commande des moteurs :**

Le rapport cyclique est crucial pour contrôler la vitesse et le couple des moteurs. En ajustant le rapport cyclique, il est possible de modifier la puissance moyenne fournie au moteur, ce qui permet d'optimiser les performances selon les besoins d'application. [19]

#### **II.3.7.1 Modulation de Largeur d'Impulsion (PWM) :**

##### **Définition et fonctionnement :**

La modulation de largeur d'impulsion (PWM) est une technique utilisée pour contrôler la puissance fournie à des dispositifs, en particulier aux moteurs. Elle fonctionne en émettant un signal numérique à une fréquence fixe, où le rapport cyclique détermine la durée du signal à l'état haut. Cette méthode permet de réguler la vitesse et le couple d'un moteur de manière efficace, sans avoir besoin de composants supplémentaires coûteux.

##### **Relation entre PWM et rapport cyclique :**

La relation entre PWM et le rapport cyclique est directe : en variant le rapport cyclique d'un signal PWM, on peut régler la puissance moyenne délivrée à la charge. Plus le rapport cyclique est élevé, plus la puissance moyenne fournie au moteur est importante, ce qui augmente sa vitesse. [20]

#### **II.3.7.2 Impact du Rapport Cyclique sur la Consommation d'énergie :**

##### **Effets du rapport cyclique sur l'énergie consommée :**

Le rapport cyclique a un impact significatif sur la consommation d'énergie des moteurs à courant continu. En particulier, en diminuant le rapport cyclique, on diminue la puissance moyenne fournie au moteur, ce qui permet d'économiser de l'énergie. Cependant, une diminution excessive peut entraîner une perte de couple et de performance. Il est donc essentiel de choisir un rapport cyclique approprié pour optimiser l'efficacité énergétique tout en maintenant les performances du moteur. [21]

### **II.3.7.3 Formules de calcul pour la vitesse et la consommation :**

#### **Formule de la puissance moyenne :**

Pour calculer la puissance moyenne fournie à un moteur à courant continu utilisant PWM, la formule suivante est appliquée :

$$P = V \times I \times \text{Duty Cycle}$$

Où P est la puissance, V est la tension appliquée, I est le courant, et le Duty Cycle est exprimé sous forme décimale (par exemple, 50 % serait 0,5). Cette formule est essentielle pour évaluer la performance énergétique du système motorisé et déterminer l'efficacité de l'ensemble du contrôle.

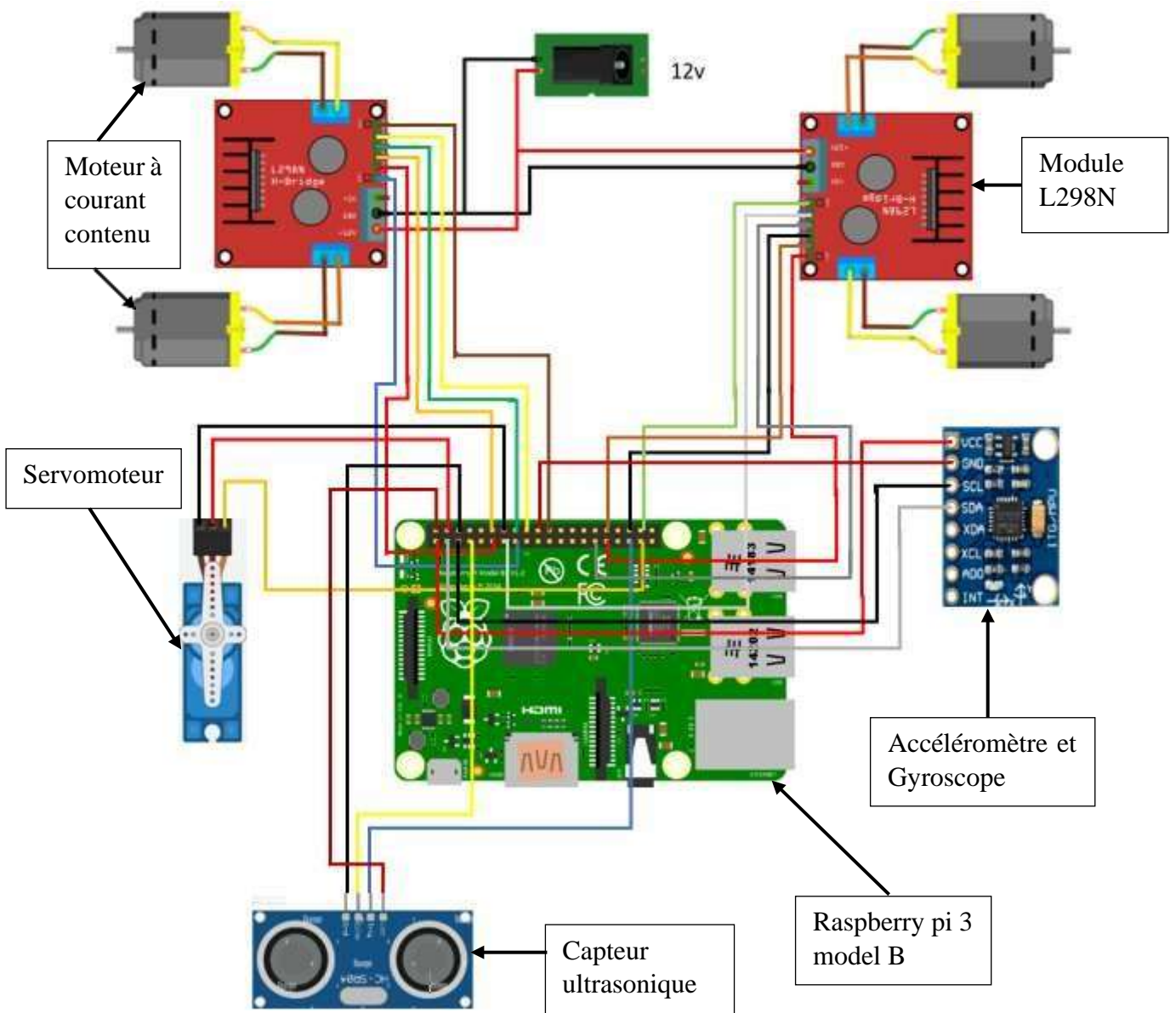
[22]

### **II.4 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté quelques concepts pratiques et théoriques ainsi qu'une exploration des composants utilisés dans cette réalisation. Nous avons détaillé le bon fonctionnement de tous les sous-systèmes intervenant dans le projet, ainsi que leurs modes de fonctionnement. Un rappel a été fait sur le mode de fonctionnement du Raspberry Pi 3, ainsi que sur ses différentes caractéristiques matérielles et logicielles, et le fonctionnement matériel et logiciel de tous les composants associés à ce projet de pilotage dynamique d'une voiture de test.

### III.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous détaillerons la mise en œuvre pratique du système de contrôle des paramètres dynamiques pour notre prototype de voiture électrique à quatre moteurs à courant continu. Après avoir exploré les aspects théoriques, les spécifications des composants, et la conception du système représenté en figure III.1, nous allons aborder l'assemblage et l'implémentation des programmes de pilotage. En fin nous abordons une série de test et mesure de vitesse et d'accélération, pour modéliser la dynamique de cette voiture dans nos perspectives.



**Figure III.1:** Schéma d'assemblage électrique des différentes parties du prototype réalisé.

L'assemblage du matériel constituant la voiture électrique commence par l'installation du châssis, suivi de la fixation des moteurs et de la connexion des différents composants électriques, comme illustré à la figure III.1 (Raspberry Pi 3, capteurs et divers modules de contrôle). Un schéma détaillé montre les branchements entre les différents composants et leur connexion avec le Raspberry Pi 3. La programmation des modules de contrôle est réalisée en utilisant des scripts Python développés pour contrôler chaque composant, en précisant leur rôle spécifique et les explications. Sur leur fonctionnement.

### III.2 Assemblage Matériel du prototype :

Pour matérialiser le prototype voiture, nous avons exploré les différents composants introduits dans cette réalisation citer comme suit :

Châssis constitués de deux plaques en plastique dure ainsi que quatre roues

Le calculateur Raspberry Pi 3 modèle B.

Les quatre moteurs électriques à courant continu.

Les modules d'interfaces commandes-puissance (driver) L298N.

Les Capteur, Accéléromètre/Gyroscope (MPU6050), mesure de distance module HC-SR04 à ultrason.

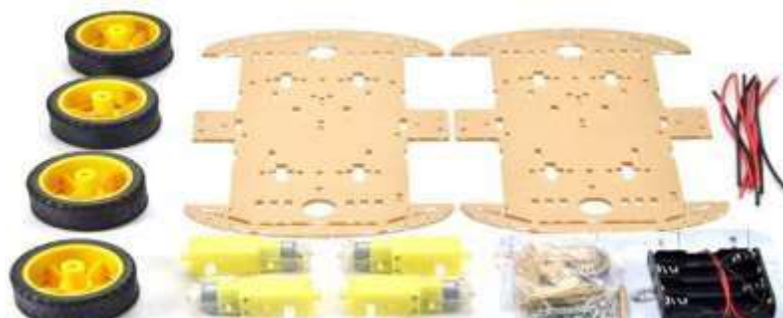
L'actionneur SG90 module servomoteur.

Les batteries, l'une de 5V pour l'alimentation du Raspberry Pi et l'autre environ 12V pour alimenter les moteurs.

Les fils connexion électriques (femelle/femelle et male/femelle).

#### III.2.1 Assemblage châssis et fixation des quatre moteurs :

Le châssis choisi pour notre projet est un modèle standard en plastique rigide, souvent utilisé dans les projets robotiques. Il est conçu pour être léger et robuste, offrant suffisamment d'espace pour monter les moteurs, les roues, les modules de pilotage et de contrôle (L298N), ainsi que les composants électroniques tels que le Raspberry Pi et les différents capteurs représentés en figure III.2.



**Figure III.2 :** Un châssis vide avec des supports pour les moteurs et les roues.

### III.2.2 Fixation des moteurs :

Les quatre moteurs sont fixés à la base du châssis dont les places sont réservées pendant la construction de l'architecture du châssis. Ces moteurs sont directement reliés aux roues pour assurer le contrôle direct associé à chaque roue. Pour garantir une fixation solide et éviter toute déformation ou déplacement lors des tests. Des supports de moteur en plastique sont utilisés, ces supports permettent de maintenir chaque moteur en place avec des vis, et d'assurer que les moteurs sont alignés correctement avec les roues (contrôle visuel du parallélisme des roues). Ceux-ci pour assurer une distribution équilibrée de la puissance et permettre un contrôle précis pendant les mouvements de la voiture.

### III.2.3 Fixation des roues :

Les roues sont directement fixées aux arbres des moteurs représenté en figure III.3. Le couple produit par chaque moteur est transmis directement à sa roue respective, ce qui permet une propulsion à quatre roues motrices. Les roues sont conçues pour offrir une bonne adhérence sur différents types de surfaces du parcours, ce qui est essentiel pour tester les mouvements du véhicule sur divers terrains. Cette configuration assure que la voiture peut manœuvrer avec agilité, tout en maintenant une stabilité suffisante pour des tests dynamiques précis.



**Figure III.3 :** Image des moteurs fixés aux coins du châssis, montrant également les connexions aux roues.

### III.2.4 Mise en place des composants électroniques :

Le Raspberry Pi 3, les deux modules L298N, et les capteurs (ultrason, servomoteur, MPU6050) sont montés sur le châssis au centre ou sur des supports dédiés pour assurer un équilibre optimal du poids sur le châssis. Cela évite tout basculement de la voiture et garantit que les capteurs fonctionnent correctement sans être perturbés par des vibrations ou des secousses excessives. Pour éviter tout enchevêtrement et assurer une bonne circulation des signaux électriques sans bruit, les câbles sont soigneusement acheminés à travers le châssis appelé faisceau électrique d'une voiture. Des serre-câbles sont utilisés pour maintenir les fils en place et prévenir tout court-circuit ou déconnexion accidentelle pendant le test.

Les quatre moteurs sont contrôlés par deux modules L298N, chacun étant chargé de deux moteurs piloter à travers les ponts en H localisés par A et B. Ces drivers sont contrôlés par les broches d'activation connectés aux broches GPIO du Raspberry Pi le schéma de la méthode de branchement est représenté en figure III.3.

#### III.2.4.1. Module L298N 1 (pour les moteurs 1 et 2) :

- **Moteur 1A** (avant/arrière) : connecté à la broche **GPIO 17** du Raspberry Pi.
- **Moteur 1B** (avant/arrière) : connecté à la broche **GPIO 18** du Raspberry Pi.
- **Moteur 2A** (avant/arrière) : connecté à la broche **GPIO 23** du Raspberry Pi.
- **Moteur 2B** (avant/arrière) : connecté à la broche **GPIO 24** du Raspberry Pi.

Les broches d'activation des moteurs (ENA1 et ENB1) permettent de contrôler la vitesse des moteurs via la modulation de largeur d'impulsion (**PWM**). Voici les connexions :

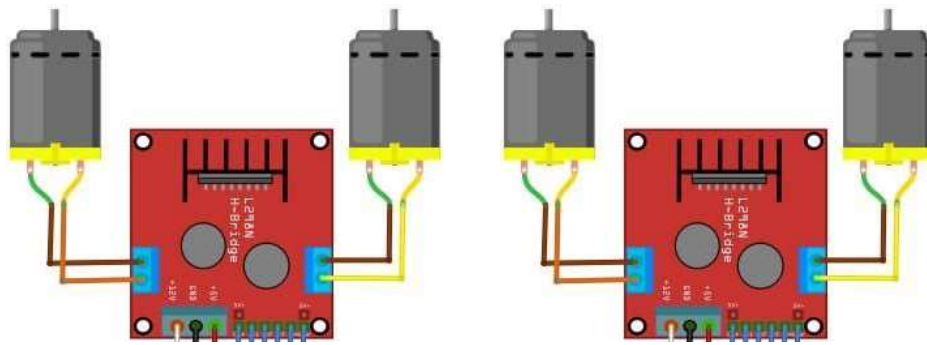
- **ENA1** (Moteur 1) : connecté à la broche **GPIO 22**.
- **ENB1** (Moteur 2) : connecté à la broche **GPIO 25**.

#### III.2.4 2. Module L298N 2 (pour les moteurs 3 et 4) :

- **Moteur 3A** (avant/arrière) : connecté à la broche **GPIO 27** du Raspberry Pi.
- **Moteur 3B** (avant/arrière) : connecté à la broche **GPIO 5** du Raspberry Pi.
- **Moteur 4A** (avant/arrière) : connecté à la broche **GPIO 16** du Raspberry Pi.
- **Moteur 4B** (avant/arrière) : connecté à la broche **GPIO 12** du Raspberry Pi.

Les broches d'activation pour ce module sont :

- **ENA2** (Moteur 3) : connecté à la broche **GPIO 20**.
- **ENB2** (Moteur 4) : connecté à la broche **GPIO 6**.



**Figure III.4:** Branchements des moteurs.

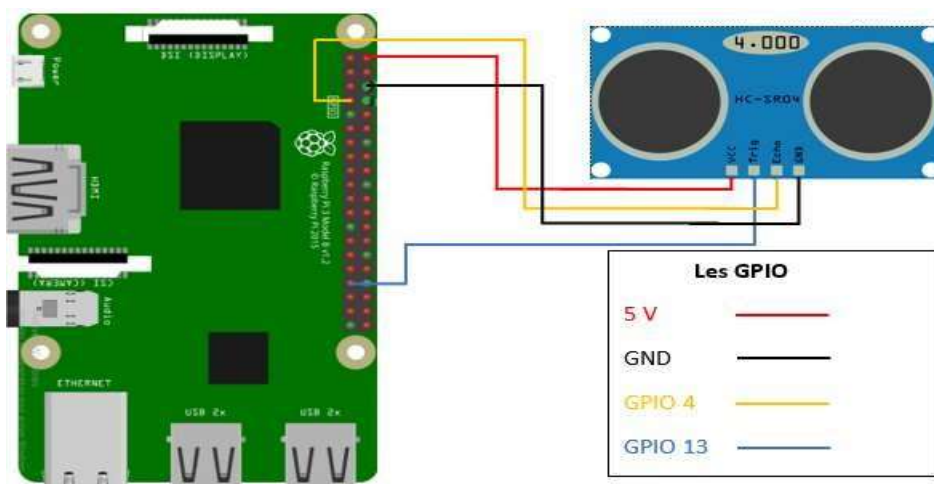
### III.2.5 Connexion Capteur à ultrasons HC-SR04 :

Ce capteur est utilisé pour la mesure de distance qui sépare la voiture de l'obstacle et est connecté au Raspberry Pi via les broches suivantes :

EchoPin : connecté à la broche GPIO 4.

TriggerPin : connecté à la broche GPIO 13.

Le Raspberry Pi communique avec le capteur à travers les signaux Trigger pour déclencher l'émission d'un train d'onde ultrasonore par l'émetteur du module représenté sur la figure III.4. Lorsque l'onde sonore rebondit sur un obstacle, elle se propage le long de la distance qui les sépare puis reçu par le récepteur ultrasonique. Le module à travers la broche EchoPin envoie un signal retour au Raspberry Pi, qui calcule le temps écoulé entre le départ du Trigger et l'arrivée du signal Echo, à partir de cette information on calcul la distance qui sépare l'émetteur de l'obstacle. Les câbles EchoPin et TriggerPin doivent être acheminés proprement depuis l'avant du châssis jusqu'au Raspberry Pi. Utilisez des serre-câbles pour éviter qu'ils ne traînent ou ne se croisent avec les câbles des moteurs.



**Figure III.5:** Schémas de branchement du module capteur à ultrason.

### III.2.6 Connexion du servomoteur SG90 :

Le servomoteur SG90 est utilisé pour ajuster la direction du capteur à ultrasons et cartographier le chemin de la voiture afin d'éviter les obstacles par le changement de direction. Il est connecté au Raspberry Pi via la broche GPIO 26. Le servomoteur est généralement monté à l'avant pour ajuster l'angle de détection du capteur à ultrasons. Comme le servomoteur doit se déplacer, les câbles de données, de l'alimentation (VCC), et de la masse (GND) sont assez longs pour permettre une rotation sans ne se tendre ni se déconnecter, le montage est représenté en figure III.5.

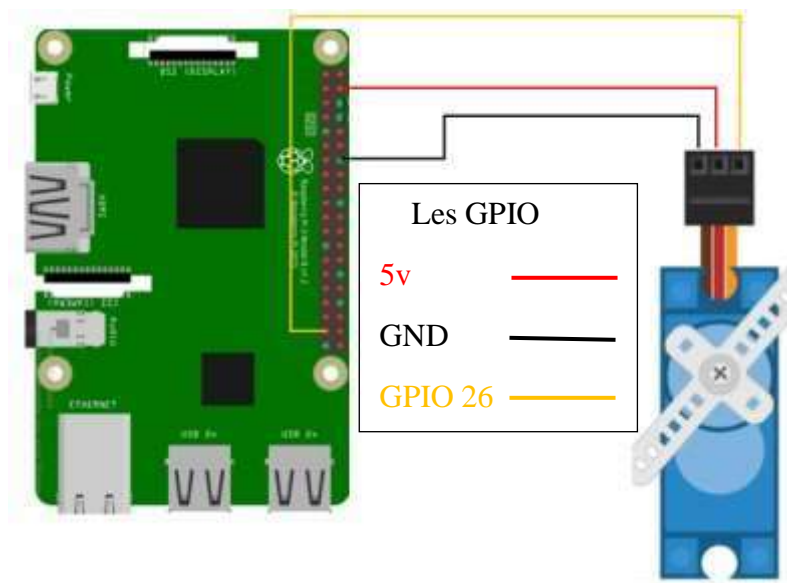
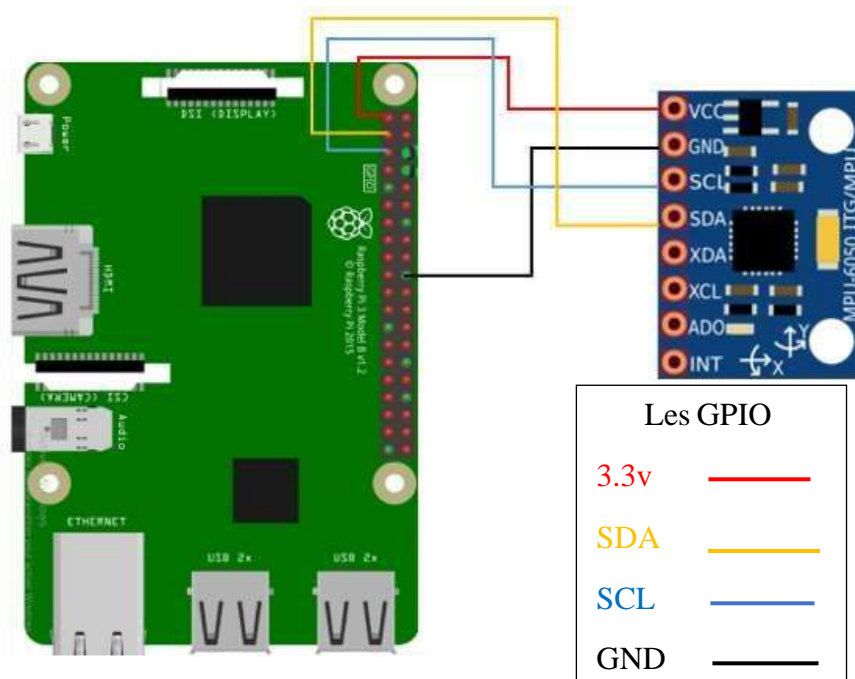


Figure III.6 : Schéma de branchement de servomoteur.

### III.2.7 Connexion de l'accéléromètre/gyroscope (MPU 6050) :

Le **MPU6050** est utilisé pour mesurer l'accélération et l'orientation de la voiture, essentiel pour l'étude de la dynamique. Il est connecté au Raspberry Pi via le protocole **I2C**, utilisant les broches **SDA** connecté à la broche **GPIO 2** et **SCL** connecté à la broche **GPIO 3**. Sans oublier l'alimentation **VCC** et la masse **GND** connectés respectivement aux broches **5V** et **GND** du Raspberry Pi, le schéma de câblage est représenté en figure III.6. Le module doit être fixé sur une surface plane, idéalement au centre du châssis, pour des mesures précises des mouvements de la voiture.



**Figure III.7:** Schéma de branchement de l'accéléromètre.

### III.3 Les programmes de contrôle de chaque partie :

Le contrôle de Chaque composant électroniques est représenté par sans programmes écrits en python.

#### III.3.1 Programme en Python pour le contrôle du L298N :

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time

# Configuration des broches pour les moteurs (L298N)
moteur1A = 17
moteur1B = 18
moteur2A = 23
moteur2B = 24
moteur3A = 27
moteur3B = 5
moteur4A = 16
moteur4B = 12
enA1 = 22
enB1 = 25
enA2 = 20
enB2 = 6

# Initialisation des broches GPIO pour les moteurs
```

```

GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(moteur1A, GPIO.OUT)
GPIO.setup(moteur1B, GPIO.OUT)
GPIO.setup(moteur2A, GPIO.OUT)
GPIO.setup(moteur2B, GPIO.OUT)
GPIO.setup(moteur3A, GPIO.OUT)
GPIO.setup(moteur3B,GPIO.OUT)

```

### III.3.2 Programme en Python pour le contrôle du capteur a ultrason :

```

import RPi.GPIO as GPIO
import time
# Configuration des broches pour l'ultrason
triggerPin = 13
echoPin = 4
# Initialisation des broches GPIO pour l'ultrason
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(triggerPin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(echoPin, GPIO.IN)
# Fonction pour mesurer la distance via l'ultrason
def mesure_distance():
    GPIO.output(triggerPin, GPIO.HIGH)
    time.sleep(0.00001)
    GPIO.output(triggerPin, GPIO.LOW)
    while GPIO.input(echoPin) == 0:
        debut_pulse = time.time()
    while GPIO.input(echoPin) == 1:
        fin_pulse = time.time()
    duree_pulse = fin_pulse - debut_pulse
    distance = duree_pulse * 17150 # Vitesse du son (34300 cm/s divisé par 2)
    return round(distance, 2)

```

### III.3.3 Programme en Python pour le contrôle du servomoteur :

```

import RPi.GPIO as GPIO
import time

```

```

# Configuration de la broche pour le servo
servoPin = 26
# Initialisation de la broche GPIO pour le servo
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(servoPin, GPIO.OUT)
# Création de l'objet PWM pour contrôler le servo
pwm_servo = GPIO.PWM(servoPin, 50) # Fréquence de 50 Hz
pwm_servo.start(0)
# Fonction pour déplacer le servo à un angle spécifique
def set_servo_angle(angle):
    duty_cycle = 2 + (angle / 18) # Calcul du cycle de travail pour l'angle
    pwm_servo.ChangeDutyCycle(duty_cycle)
    time.sleep(0.5)
    pwm_servo.ChangeDutyCycle(0) # Arrêter après le mouvement

```

### **III.3.4 Programme en Python pour le contrôle de l'accéléromètre :**

```

import smbus
import time
# Adresse I2C et registres du MPU6050
MPU6050_ADDRESS = 0x68
POWER_MGMT_1 = 0x6B
ACCEL_XOUT_H = 0x3B
ACCEL_YOUT_H = 0x3D
ACCEL_ZOUT_H = 0x3F
GYRO_XOUT_H = 0x43
GYRO_YOUT_H = 0x45
GYRO_ZOUT_H = 0x47
bus = smbus.SMBus(1)
bus.write_byte_data(MPU6050_ADDRESS, POWER_MGMT_1, 0)
# Fonction pour lire les données de l'accéléromètre et du gyroscope
def read_word_2c(addr):
    high = bus.read_byte_data(MPU6050_ADDRESS, addr)
    low = bus.read_byte_data(MPU6050_ADDRESS, addr+1)
    val = (high << 8) + low

```

```

if val >= 0x8000:
val = -((65535 - val) + 1)
return val
def lire_acceleration():
accel_x = read_word_2c(ACCEL_XOUT_H) / 16384.0
accel_y = read_word_2c(ACCEL_YOUT_H) / 16384.0
accel_z = read_word_2c(ACCEL_ZOUT_H) / 16384.0
return accel_x, accel_y, accel_z
def lire_gyroscope():
gyro_x = read_word_2c(GYRO_XOUT_H) / 131.0
gyro_y = read_word_2c(GYRO_YOUT_H) / 131.0
gyro_z = read_word_2c(GYRO_ZOUT_H) / 131.0
return gyro_x, gyro_y, gyro_z

```

#### III.4 Mise en marche de la voiture prototype :

Après l'installation du matériels, le châssis, les moteurs ainsi que tous les composants électroniques associer à leur logiciels et programmes de fonctionnement de la voiture prototype notre assemblage final illustrer dans la figure III.8.



**FigureIII.8** : Prototype de la voiture électrique finale après l'assemblage.

Dans ces conditions la maquette est prête aux essais et test, telle que l'essai d'une mise en marche de la voiture autonome avec évitements des obstacles, mesure de la caractéristique vitesse \pwm et la mesure des accélérations axiale ( $A_x$ ,  $A_y$ ,  $A_z$ ) dans les conditions de braquage a un angle prédéfini.

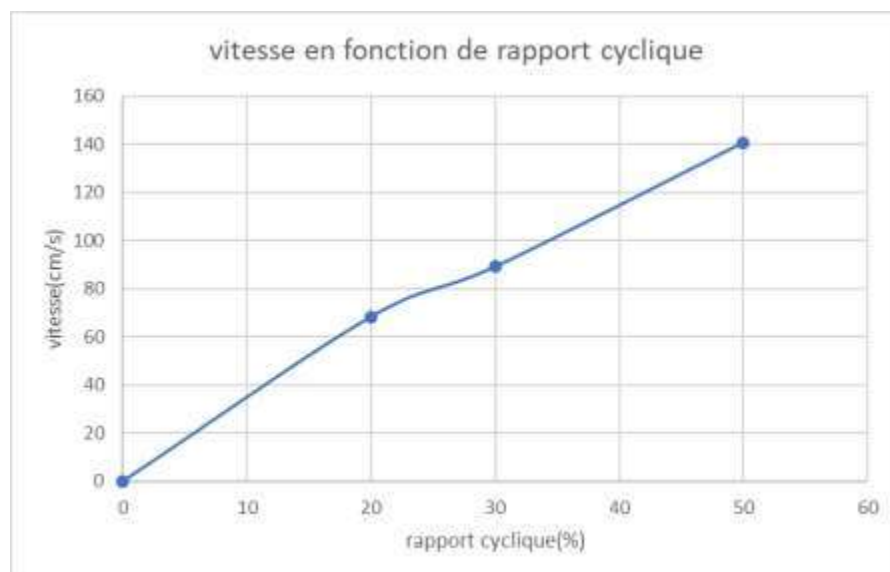
### III.4.1 Test et Résultats :

Pour mesurer la vitesse d'un moteur à courant continu à différents rapports cycliques, on a utilisé un capteur ultrason pour déterminer la distance parcourue par le véhicule sur une période fixe de 10 secondes. Nous avons configuré le système pour trois rapports cycliques différents : 20 %, 30 % et 50 %. Pour chaque rapport, Nous avons effectué trois essais afin d'obtenir des mesures fiables. La vitesse a été calculée en divisant la distance mesurée par le temps, et la vitesse moyenne a été déterminée pour chaque rapport cyclique en faisant la moyenne des trois essais.

**Tableau III.1 : Essai et mesure de la vitesse en fonction du rapport cyclique :**

Rapport Cyclique (%)	Vitesse Essai 1 (m/s)	Vitesse Essai 2 (m/s)	Vitesse Essai 3 (m/s)	Vitesse Moyenne (m/s)
20	67,81	69,18	67,91	68,3
30	91,01	88,24	88,10	89,11
50	141,75	139,51	140,42	140,56

**Graphique de la vitesse en fonction du rapport cyclique :**



**Figure III.9 :** Graphique de la vitesse en fonction du rapport cyclique.

### III.4.2 Analyses des Résultats :

Les résultats montrent une augmentation progressive et cohérente de la vitesse moyenne en fonction du rapport cyclique. À 20 %, la vitesse moyenne est de 68,3 m/s, avec des variations minimales entre les essais. En augmentant le rapport cyclique à 30 %, la vitesse moyenne atteint 89,11 m/s, une augmentation par rapport au rapport précédent, confirmant que le rapport cyclique contrôle directement la puissance transmise aux moteurs. Pour un rapport cyclique de 50 %, la vitesse moyenne est de 140,56 m/s, montrant une hausse importante par rapport aux valeurs de 20 % et 30 %. Cette tendance quasi-linéaire indique que plus le rapport cyclique est élevé, plus la vitesse du véhicule augmente. Ces résultats soulignent l'importance d'un contrôle précis du rapport cyclique pour gérer efficacement la vitesse du véhicule.

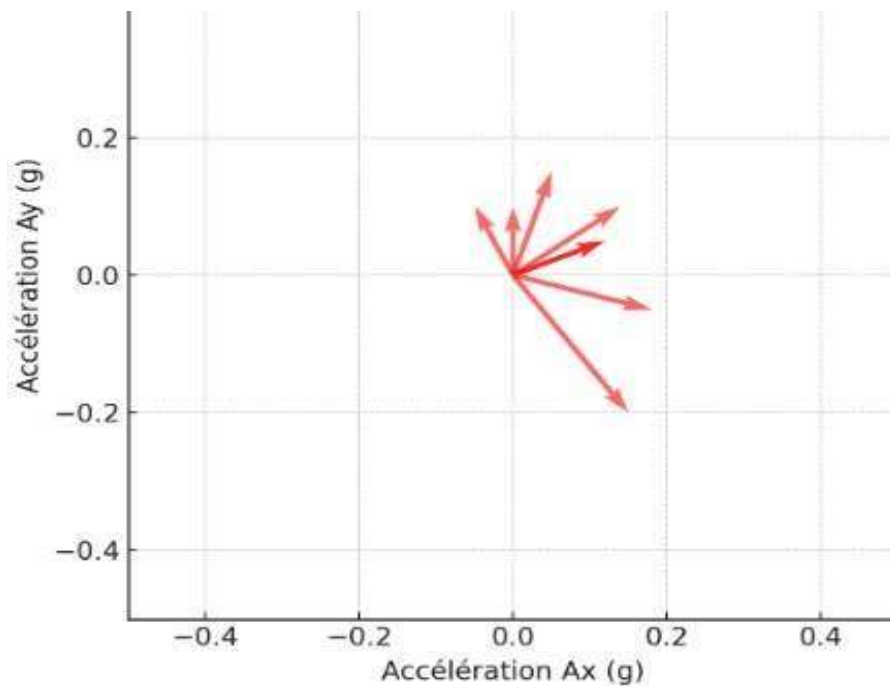
### III.4.3 Conclusion :

L'analyse des données indique une corrélation positive entre le rapport cyclique et la vitesse du véhicule. Plus le rapport cyclique est élevé, plus la vitesse augmente, ce qui suggère que le contrôle précis du rapport cyclique est essentiel pour la gestion de la vitesse du véhicule. Les résultats montrent également que les essais sont cohérents, avec des écarts faibles entre les différentes mesures pour chaque rapport cyclique.

### III.5 Essai et mesure des accélérations ( $A_x, A_y, A_z$ ) dans les conditions d'un angle de braquage :

**Tableaux III.2 : Accélérations  $A_x, A_y$  et  $A_z$  à 15% de Vitesse Pendant la Rotation.**

Angle (degrés)	$A_x$ (g)	$A_y$ (g)	$A_z$ (g)
0.0	0.12	-0.05	1.0
18.57	0.0	0.1	0.95
34.97	0.05	-0.2	0.89
63.68	0.02	-0.15	1.1
79.72	0.05	-0.25	0.84
82.52	-0.02	0.0	0.86
83.06	0.05	0.1	1.08
86.75	0.01	-0.05	1.02
91.02	-0.05	-0.05	0.98



**Figure III.10:** Variations des Accélérations Ax en Fonction de Ay à 15% pendant la Rotation.

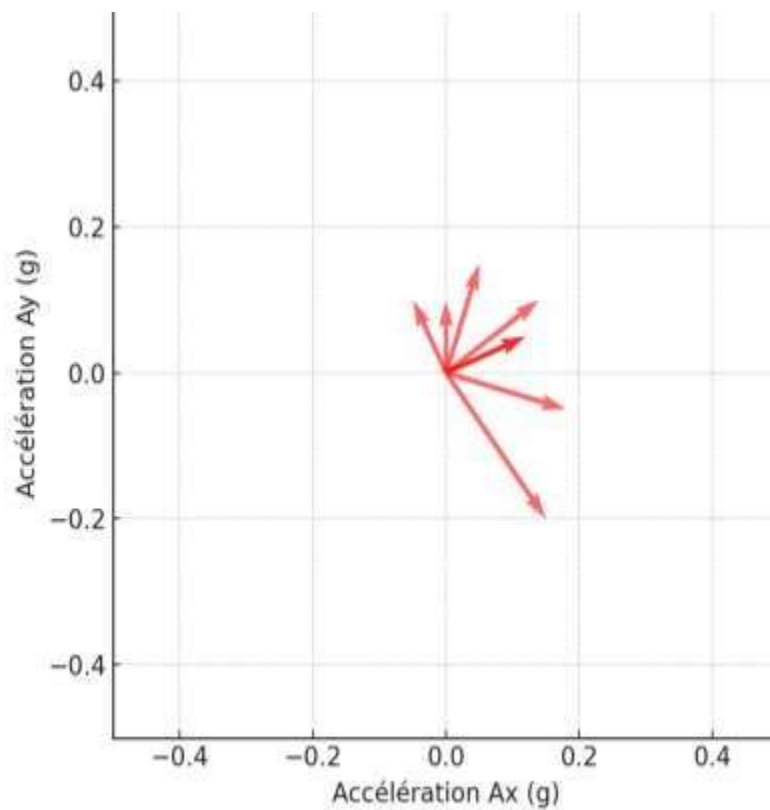
### III.5.1 Analyse des résultats à une vitesse de 15% :

Les résultats obtenus à 15 % de vitesse montrent que la dynamique de rotation de la voiture est bien maîtrisée avec des variations modérées dans les axes x et y, indiquant un mouvement relativement stable. Les valeurs d'accélération en Ax et Ay oscillent entre des valeurs positives et négatives, ce qui est typique lors d'un changement de direction pendant la rotation. La variation de l'accélération Az reste proche de 1 g tout au long de la rotation, reflétant une bonne adhérence au sol, sans perte de stabilité verticale. L'angle de rotation atteint 91°, ce qui est proche de l'objectif de 90°, indiquant que la voiture parvient à accomplir la manœuvre de rotation avec une précision satisfaisante.

Cette faible vitesse permet de maintenir un bon contrôle du véhicule, ce qui est crucial dans des manœuvres délicates comme le virage à angle droit. Les écarts mineurs d'accélération sur les axes latéraux suggèrent une compensation effective des moteurs pour corriger la trajectoire lors de la rotation. Globalement, ces résultats montrent que le système de contrôle de la voiture fonctionne bien à basse vitesse, avec des performances qui garantissent une stabilité et une trajectoire bien gérée.

**Tableau III.3 : Accélérations Ax, Ay et Az à 20% de Vitesse Pendant la Rotation :**

Angle (degrés)	Ax (g)	Ay (g)	Az (g)
0.0	0.15	-0.2	0.97
10.58	0.18	-0.05	0.88
18.15	0.14	0.1	1.0
26.9	0.12	0.05	0.87
32.14	-0.05	0.1	0.96
48.28	0.12	0.05	1.1
70.15	0.0	0.1	0.97
91.8	0.05	0.15	0.99



**Figure III.11: Variations des Accélérations Ax en Fonction de Ay à 20% pendant la Rotation.**

### III.5.2 Analyse des résultats à 20 % de vitesse :

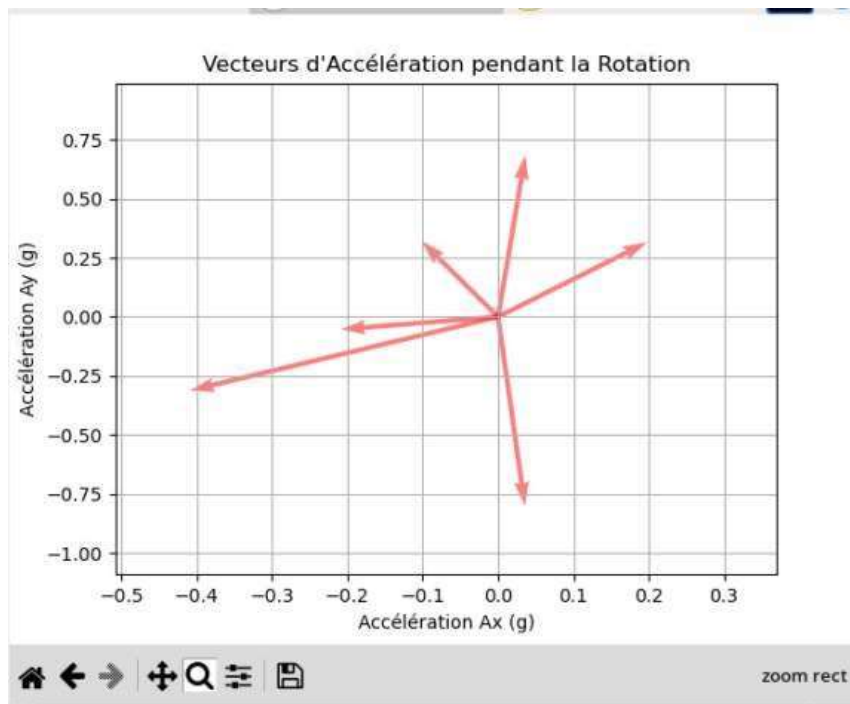
À 20 % de vitesse, les données montrent une augmentation de l'accélération dans les axes x et y, indiquant une dynamique plus prononcée lors de la rotation. Les variations d' $A_x$  et  $A_y$  reflètent des ajustements de direction plus marqués, ce qui est attendu à une vitesse plus élevée. Les valeurs d' $A_y$  montrent un léger décalage dans les phases de rotation, suggérant une tendance du véhicule à dévier latéralement, mais les valeurs restent dans une plage acceptable, ce qui indique que le système de contrôle parvient à maintenir la trajectoire globale.

L'accélération en  $A_z$  reste relativement stable, se maintenant autour de 1 g, ce qui témoigne d'une stabilité verticale malgré l'augmentation de la vitesse. L'angle de rotation atteint  $91,8^\circ$ , ce qui dépasse légèrement les  $90^\circ$  visés. Ce dépassement peut être due à l'inertie plus importante à cette vitesse, nécessitant un ajustement plus fin du contrôle moteur pour des manœuvres précises.

Dans l'ensemble, à 20 % de vitesse, la voiture montre une bonne dynamique, avec une légère tendance à la surrotation, mais elle conserve une bonne stabilité.

**Tableau III.4 : Accélérations  $A_x$ ,  $A_y$  et  $A_z$  à 30% de Vitesse Pendant la Rotation :**

Angle (degrés)	$A_x$ (g)	$A_y$ (g)	$A_z$ (g)
0.0	0.04	-0.8	0.99
8.66	0.04	0.68	0.64
24.64	0.2	0.32	0.97
50.37	-0.21	-0.05	0.92
73.8	-0.41	-0.31	0.79
94.73	-0.1	0.32	1.0



**Figure III.12 :** Variations des Accélérations Ax en Fonction de Ay à 30% pendant la Rotation.

### III.5.3 Analyse des résultats à 30 % de vitesse :

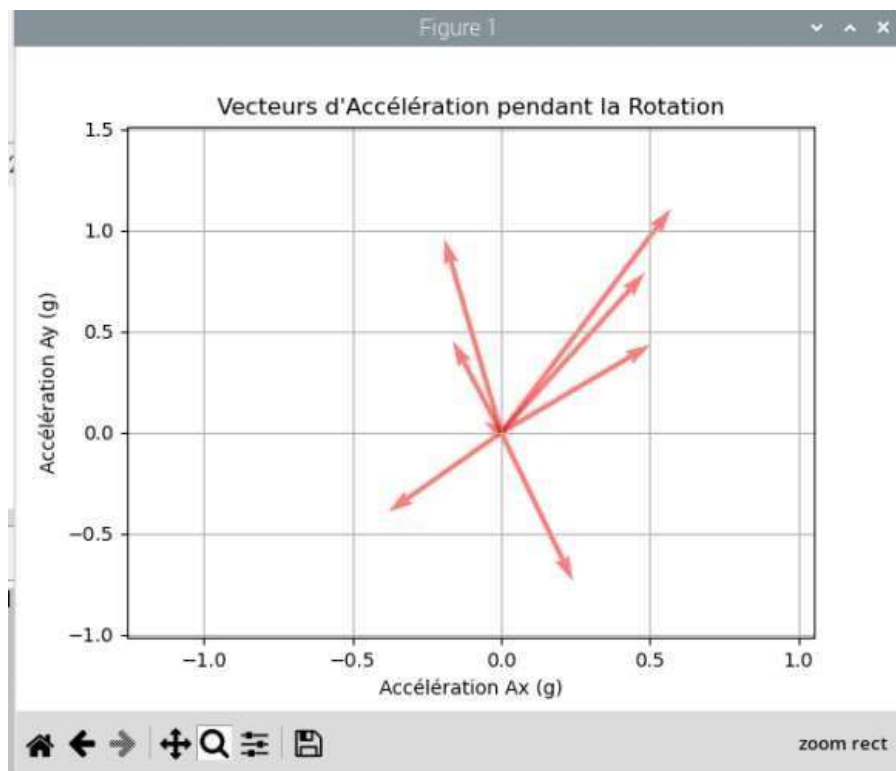
Lorsque la vitesse atteint 30 %, on observe une dynamique encore plus prononcée dans les variations d'accélération, particulièrement au niveau de l'axe y (Ay). Ces fluctuations révèlent une augmentation des forces latérales, notamment lors des changements de direction. En effet, les valeurs de Ay passent de 0,68 g à 0,32 g, ce qui indique une oscillation latérale marquée au cours de la rotation. Cela suggère que le véhicule commence à ressentir davantage d'inertie, rendant le contrôle plus difficile à maintenir de manière parfaitement stable.

Cependant, on remarque l'accélération en Az reste assez proche de 1 g, ce qui signifie que la stabilité verticale demeure satisfaisante malgré les variations latérales. L'angle de rotation enregistré atteint 94,73°, ce qui représente un dépassement significatif des 90° ciblés, probablement en raison de la vitesse élevée. Ce phénomène de surrotation est cohérent avec l'inertie plus forte à cette vitesse, mais montre aussi que des ajustements seront nécessaires pour affiner le contrôle à des vitesses plus élevées.

En fin, à 30 % de vitesse, bien que la stabilité verticale soit maintenue, les forces latérales et la surrotation indiquent que des ajustements supplémentaires dans le système de commande sont nécessaires pour garantir une trajectoire plus précise.

**Tableau III.5 : Accélérations Ax, Ay et Az à 50% de Vitesse Pendant la Rotation :**

Angle (degrés)	Ax (g)	Ay (g)	Az (g)
0.0	0.24	-0.74	1.02
4.79	0.57	1.11	1.19
13.36	-0.16	0.45	0.87
28.09	0.48	0.79	1.32
43.33	-0.38	-0.39	0.87
61.71	0.5	0.43	1.01
80.95	-0.06	0.05	1.01
100.25	-0.19	0.96	1.11



**FigureIII.13 : Variations des Accélérations Ax en Fonction de Ay à 50% pendant la Rotation.**

### III.5.4 Analyse des résultats à 50 % de vitesse :

À 50 % de vitesse, les accélérations montrent une augmentation notable, notamment sur l'axe latéral (Ay), atteignant jusqu'à 1,11 g à certains moments, ce qui traduit une force importante lors des virages. Cependant, le comportement du véhicule commence à devenir moins stable. Le glissement des roues

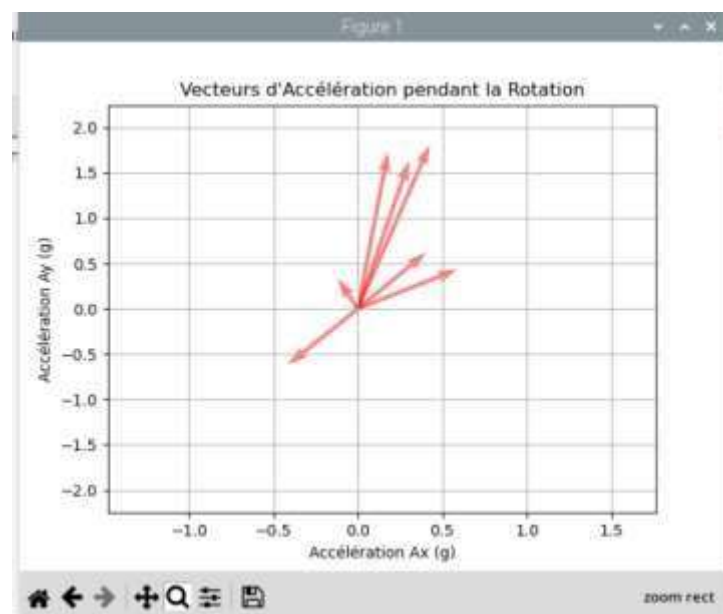
est plus prononcé, ce qui se remarque dans les changements d'angle où le véhicule dépasse légèrement les 90° prévus, atteignant 100,25° dans certains cas.

L'adhérence des roues au sol diminue à mesure que la vitesse augmente, ce qui affecte la précision des virages et la stabilité générale du véhicule. En parallèle, le capteur ultrasonique rencontre des difficultés pour maintenir une détection constante de l'obstacle, la distance mesurée dépassant parfois 1 mètre. Cela montre qu'à cette vitesse, le système de détection doit être amélioré pour garantir un meilleur contrôle de l'évitement des obstacles.

En conclusion, à 50 % de vitesse, le véhicule commence à perdre de la précision dans ses manœuvres, ce qui nécessite des ajustements pour réduire le glissement et améliorer la fiabilité des capteurs.

**Tableau III.6 : Accélérations Ax, Ay et Az à 70% de Vitesse Pendant la Rotation :**

Angle (degrés)	Ax (g)	Ay (g)	Az (g)
0.0	-0.42	-0.62	1.24
9.02	-0.12	0.33	0.77
21.87	0.41	0.62	1.37
41.4	0.31	1.64	1.91
63.76	0.59	0.44	2.0
86.21	0.18	1.73	1.24
108.57	0.43	1.81	1.72



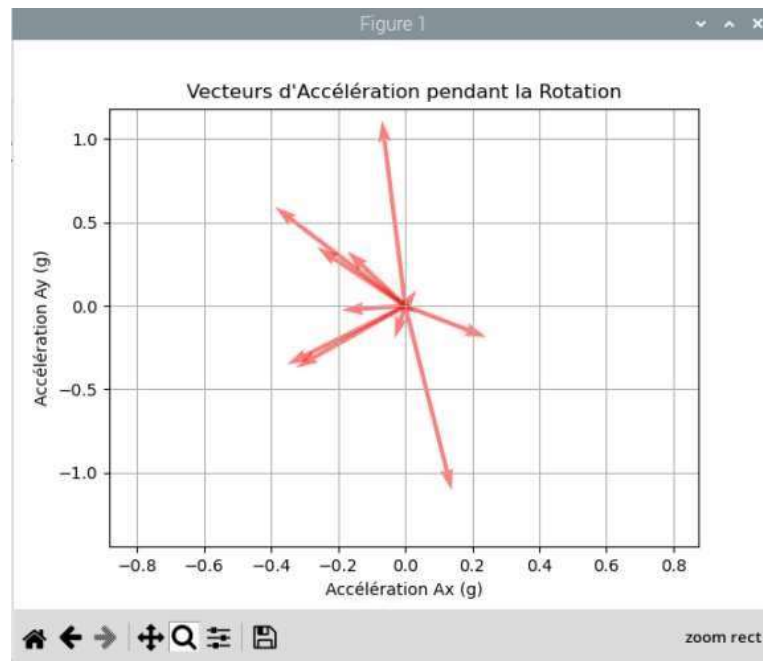
**Figure III.14:** Variations des Accélérations Ax en Fonction de Ay à 70% pendant la Rotation.

### III.5.5 Analyse des résultats à 70 % de vitesse :

À 70 % de la vitesse, nous observons des changements importants dans le comportement du véhicule. Les accélérations, surtout sur l'axe latéral (Ay), atteignent jusqu'à 1,73 g, ce qui montre que le véhicule subit de fortes forces lors des virages. Cela rend la conduite moins stable et plus difficile à contrôler. Nous remarquons également que les angles mesurés dépassent souvent les 90° prévus, atteignant même 108,57°, ce qui indique que le véhicule peut glisser et perdre son adhérence. Avec l'augmentation de la vitesse, l'adhérence des roues au sol diminue, ce qui complique les virages et la stabilité générale du véhicule. Également pour, le capteur ultrasonique a du mal à détecter les obstacles de manière fiable, affichant parfois des distances erronées dépassant 1 mètre. Cela montre qu'à cette vitesse, il est nécessaire d'améliorer le système de détection pour mieux gérer les obstacles. En résumé, à 70 % de vitesse, le véhicule perd la précision et le contrôle, ce qui nécessite des ajustements pour réduire le glissement et améliorer la fiabilité des capteurs.

**Tableau III.7 : Accélérations Ax, Ay et Az à 100% de Vitesse Pendant la Rotation :**

Angle (degrés)	Ax (g)	Ay (g)	Az (g)
0.0	-0.17	0.33	1.06
3.83	0.14	-1.11	0.89
9.36	-0.26	0.35	0.90
16.46	-0.39	0.59	0.89
26.03	0.03	-0.04	1.09
39.36	-0.35	-0.35	0.91
54.43	-0.03	-0.2	1.07
67.23	-0.07	1.11	1.11
81.4	-0.33	-0.37	1.21
94.34	-0.19	-0.03	1.10
109.15	0.03	0.09	1.30
123.4	0.24	-0.19	0.96



**Figure III.15:** Variations des Accélérations Ax en Fonction de Ay à 100% pendant la Rotation.

### III.5.6 Analyse des résultats à 100 % de vitesse :

À 100 % de vitesse, les résultats montrent des comportements différents par rapport aux vitesses inférieures. Les angles mesurés dépassent souvent les 90°, atteignant même parfois plus de 123,40°, ce qui signifie que le véhicule perd facilement le contrôle dans les virages. Le glissement des roues au sol est très important à cette vitesse, ce qui rend les manœuvres imprécises. De plus, le capteur ultrasonique a du mal à détecter correctement les obstacles, affichant parfois des distances erronées. Cela souligne l'importance d'améliorer le système de détection pour garantir la sécurité du véhicule. En résumé, à 100 % de vitesse, le véhicule rencontre de nombreux défis en matière de contrôle et de stabilité. Il est essentiel d'apporter des ajustements pour améliorer la performance et assurer une conduite plus sûre.

### III.5.7 Conclusion Générale pour différents tests réaliser :

Les tests réalisés sur le véhicule à différentes vitesses (15 %, 20 %, 30 %, 50 %, 70 % et 100 %) ont permis d'analyser en profondeur son comportement dynamique et de mieux comprendre les défis associés à la conduite autonome. À mesure que la vitesse augmente, les forces agissant sur le véhicule deviennent plus prononcées, ce qui impacte directement sa stabilité. Pour des vitesses plus faibles, comme 15 % et 20 %, le véhicule montre une bonne adhérence et un contrôle relativement stable. Cependant, dès que la vitesse atteint 50 %, des signes de glissement commencent à apparaître, rendant les manœuvres plus délicates. À 70 % et surtout à 100 %, le véhicule subit des forces extrêmes qui entraînent une perte de contrôle dans les virages, avec des angles mesurés dépassant les valeurs

prévues. Cela souligne l'importance d'une conception robuste des systèmes de contrôle pour gérer ces situations critiques. De plus, les résultats mettent en lumière les limites du capteur ultrasonique utilisé pour la détection des obstacles. À des vitesses élevées, ce système a montré des difficultés à fournir des mesures précises, ce qui pourrait nuire à la sécurité du véhicule.

En fin, ces tests révèlent qu'il est crucial d'apporter des améliorations tant au niveau de la dynamique du véhicule qu'au niveau des systèmes de détection pour garantir une conduite autonome sûre et efficace. Des ajustements doivent être envisagés pour optimiser l'adhérence, réduire le glissement et améliorer la fiabilité des capteurs afin d'assurer un contrôle optimal à toutes les vitesses. Ces résultats constituent une base solide pour de futures recherches et développements dans le domaine de la dynamique des véhicules autonomes.

## **Conclusion Générale :**

Ce mémoire a porté sur la réalisation et l'analyse d'un système de contrôle dynamique de paramètres pour un véhicule électrique équipé de quatre moteurs à courant continu. Dans un premier temps, nous avons examiné le cadre théorique des véhicules électriques, leurs composants essentiels et les défis associés à leur contrôle. Ensuite, nous avons détaillé les matériels utilisés, notamment le Raspberry Pi, le module L298N, les capteurs ultrason et MPU6050, ainsi que les moteurs, tout en expliquant leur intégration au sein du système.

La phase pratique du projet à consister en l'assemblage mécanique et électrique du véhicule, suivi de l'implémentation d'un programme de contrôle dynamique. Ce programme permet de réguler la vitesse et la direction du véhicule en fonction des informations reçues des capteurs, notamment la distance des obstacles et les données d'accélération. Les essais effectués ont démontré la capacité du système à répondre de manière adéquate aux variations de l'environnement, en ajustant la vitesse de manière progressive en fonction du rapport cyclique et en choisissant la direction optimale pour éviter les obstacles.

L'analyse expérimentale de la vitesse en fonction du rapport cyclique a révélé une corrélation positive entre ces deux paramètres, confirmant que le rapport cyclique influe directement sur la vitesse du véhicule. Les résultats obtenus montrent une bonne cohérence des mesures et valident l'efficacité du système de contrôle mis en place.

En fin, ce travail a permis de développer un système de contrôle dynamique efficace pour un véhicule électrique, capable de s'adapter aux conditions environnementales en temps réel. Les perspectives d'amélioration incluent l'intégration d'algorithmes plus avancés pour le contrôle de la trajectoire, l'optimisation énergétique du système, ainsi que l'exploration d'autres capteurs pour affiner le comportement du véhicule.

## Bibliographie :

- [1] Histoire de la voiture électrique : une évolution impressionnante !20 nov. 2021, <https://beqtechnology.com/blog/histoire-voiture-electrique-evolution-impressionnante/> .
- [2] <https://dirox.com/fr-fr/post/revolution-vehicules-electriques-avancees-et-defis/>
- [3] <https://www.tressol-chabrier.com/actualites/Innovation/>
- [4] Mayé, Pierre. \*Moteurs électriques pour la robotique\*. 4e éd., Dunod, 2023.
- [5] Paret, Dominique, et Hassina Rebaine. Véhicules autonomes et connectés : Techniques, technologies, architectures et enjeux. Dunod, 2019.
- [6] Vertut, Jean, et Philippe Coiffet. Teleoperation and Robotics: Applications and Technology. Éditions Hermes, 2005.
- [7] Campbell, S. et al. "Technologie des capteurs dans les véhicules autonomes." 29e Conférence irlandaise sur les signaux et les systèmes (ISSC), 21-22 juin 2018, Belfast, Royaume-Uni [ [Google Scholar](#) ]
- [8] <https://daze.eu/fr/comment-etre-electrique/types-moteurs-electriques/>
- [9] Ali, Abdallah. روليرى باي ببيراطه. Electronic Bub, 2014, [ : روليرى باي ببيراطه PDF ].
- [10] Christian Dupaty, Raspberry Pi Installation-Configuration, Interfaces de Communication
- [11] Grimmett, Richard. Raspberry Pi Robotic Projects. Packt Publishing, 2014
- [12] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://fr.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi)
- [13] / [How to Enable SSH/Shell Access in Site Tools- SiteGround Tutorials/](#)
- [14] <https://passionelectronique.fr/tutoriel-1298n/>
- [15] Lovergne, Charles. Sciences de l'Ingénieur par la Pratique : 1re Spécialité
- [16] <https://www.carnetdumaker.net/articles/mesurer-une-distance-avec-un-capteur-ultrason-hc-sr04-et-une-carte-arduino-genuino/>
- [17] <https://www.towerpro.com.tw/product/sg90-7/>
- [18] Upton, Eben, and Gareth Halfacree. Raspberry Pi User Guide. 4th ed., Wiley, 2016.
- [19] Mohan, N., Undeland, TM, et Robbins, WP Électronique de puissance : convertisseurs, applications et conception. Wiley, 2003.
- [20] Krein, PT Éléments d'électronique de puissance. Presse universitaire d'Oxford, 1998.
- [21] Chowdhury, BH, Islam, MS et Saha, RK "Contrôle d'un moteur à courant continu à l'aide d'un signal PWM." Revue internationale de génie électrique et de technologie.
- [22] Silva, JAG et Lopes, HG "Techniques de contrôle PWM pour moteurs électriques." Transactions IEEE sur les applications industrielles.

## **Résumé**

Ce mémoire présente l'étude et la réalisation d'un prototype de voiture électrique à quatre moteurs, contrôlée par une carte Raspberry Pi 3. La commande des moteurs est assurée par un module driver L298N, et un capteur à ultrasons HC-SR04 est utilisé pour mesurer la distance et éviter les obstacles.

Pour analyser la dynamique du véhicule, nous utilisons un accéléromètre et un gyroscope MPU6050, qui fournissent des mesures d'accélération sur les axes X, Y et Z, ainsi que les angles de rotation. Ces données sont essentielles pour étudier le comportement dynamique du prototype.

### **Mots clés :**

Robotique, voiture électrique, Raspberry Pi 3, L298N, capteur ultrason, HC-SR04, MPU6050, accéléromètre, gyroscope, dynamique du véhicule.