



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Maintenance en Instrumentation

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Ingénierie de la Maintenance en Instrumentation

Thème

**Etude et Simulation d'un montage Electronique suiveur de
ligne pour un véhicule**

Présenté et soutenu publiquement par :

MESSILITI IBRAHIM et LAGRAA MOSTAFA

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
M ^{me} AISSANI Nassima	MCA	IMSI-Univ. D'Oran2	Présidente
Mr HASSINI Abdelatif	PR	IMSI-Univ. D'Oran2	Encadreur
Mr MEKKI Ibrahim El Khalil	MCA	IMSI-Univ. D'Oran2	Examineur

Année 2020/2021

TABLE DES MATIERES

Remerciement.....	1
Dédicace.....	2
Liste des figures.....	4
Liste des tableaux.....	6
Liste des équations.....	6
Introduction générale.....	7
CHAPITRE I : LES ROBOTS MOBILES.....	11
I Introduction	12
II Généralité sur les robots.....	12
II.1 Définition d'un robot mobile.....	12
II.2 Parties principales d'un robot suiveur de ligne	14
II.3 La partie mécanique (manipulateur).....	14
II.4 Classification des robots mobiles	14
II.5 Différents types de robot mobile	15
II.5.1 Les robots mobiles à roues.....	15
II.5.1.1 Robot mobile de type unicycle :.....	16
II.5.1.2 Robot mobile de type tricycle :	16
II.5.1.3 Robot mobile de type voiture :	16
II.5.1.4 Robot mobile de type omnidirectionnel :	16
II.5.2 Robots mobiles à chenilles.....	17
II.5.3 Robots mobiles à pattes	18
II.5.4 D'autres robots mobiles comme un drone	18
II.6 Architecture d'un robot mobile :	19
II.6.1 La structure mécanique et la motricité :.....	19
II.6.2 Les organes de sécurité :	19
II.7 Les avantages dans l'utilisation du robot mobile	20
III Conclusion.....	20
CHAPITRE II : LES COMPOSANTS ELECTRONIQUES DU V.S.L.....	21

I Introduction	22
II Circuits électroniques	22
II.1 Circuit alimentation	22
II.2 Circuit détection de ligne.....	22
II.3 Circuit commende.....	23
II.4 L'actionnaire.....	23
III Composants électroniques et explications.....	23
III.1 Circuit alimentation.....	23
III.1.1 Le régulateur de tension linéaire	23
III.2 Circuit détection de ligne et obstacles.....	25
III.2.1 Émetteur infrarouge (LED IR)	25
III.2.2 Récepteur infrarouge (photodiode).....	26
III.2.3 Distinguer les couleurs noirs et blanc.....	27
III.2.4 Comparateur LM324 :	28
III.2.4.1 Caractéristiques du circuit comparateur LM324.....	30
III.2.4.2 Avantages du comparateur LM324.....	30
III.3 Circuit de commende	30
III.3.1 Module de commande de moteur L293D	30
III.3.1.1 Fonctionnement de pilote moteur L293D	31
III.3.1.2 Les autres fonctionnalités importantes du L293D sont :	32
III.3.2 LE PIC 16F877A	33
III.3.2.1 Architecture de PIC16F877A	34
III.3.2.2 Principales caractéristiques du microcontrôleur PIC16F877A.....	35
III.3.2.3 Configuration des broches du microcontrôleur PIC16F877A	40
III.4 Les actionnaires.....	41
III.4.1 Moteur courant continue.....	41
III.4.1.1 Caractéristiques du moteur à courant continu.....	41
III.4.1.2 Variation de la vitesse	42
III.4.1.3 Avantages et inconvénients des moteurs à courant continu.....	43
IV Conclusion	43
CHAPITRE III : SIMULATION ET PROGRAMMATION D'UN V.S.L.....	44
I Introduction :.....	45
II Mouvement de robot.....	45
III Contrôleur.....	47
III.1 Contrôle proportionnel-dérivateur (PD).....	48

III.1.1 Contrôle proportionnel (P).....	49
III.1.2 Contrôle dérivé (D).....	50
III.2 Suiveur de ligne sans contrôle PD.....	50
III.3 Suiveur de ligne avec contrôle PD	51
III.4 Algorithme suiveur de ligne avec contrôle PD	51
III.4.1 Organigramme de l'algorithme	51
III.4.1.1 Position actuelle :.....	52
III.4.1.2 L'ERREUR.....	53
III.4.1.3 Ajustement	54
III.4.2 Programme.....	54
III.5 Simulation Circuit suiveur de ligne.....	57
III.6 Les programme utiliser :	60
III.6.1 Proteus	60
III.6.2 mikroC PRO	60
IV Conclusion :.....	60
CONCLUSION GENERALE	61
ANNEXES	63
REFERENCES.....	67

REMERCIEMENT

On remercie dieu ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr HASSINI ABDELATIF, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel pour sa disponibilité.

Nos profonds remerciements pour les membres de jury Mr MEKKI Ibrahim Elkhalil et M^{me} AISSANI Nassima qui ont accepté d'évaluer ce travail.

Je remercie ma famille pour son soutien.

Dédicaces

LAGRAA MOSTAFA

Je dédie ce modeste travail d'abord : À ma mère et mon père qui étaient toujours auprès de moi pour À mes chers frères, et chères sœurs. Je te souhaite une longue vie pleine de joie et de bonheur. A mon très cher père, qui m'encourage. A mon cher ami, MESSILITI IBRAHIM. À tous mes amis et collègues ; ZIANE LHAJ, REZIGA ABDESSALAM, ACHOUR OUSSAMA et AYACHI MOHAMMED ANISS. À tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin.

Dédicaces

MESSILITI IBRAHIM

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Sans oublier mon binôme et mon cher ami LAGRAA MOSTAFA pour son soutien moral, sa patience

Et sa compréhension tout au long de ce projet

Je te souhaite une longue vie pleine de joie et de bonheur à mes chers amis BLAL KARIM et KALI MOURADE

Merci d'être toujours là pour moi.

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

FIGURE I-1 : LE VEHICULE AUTOGUIDE SUIVEUR DE LIGNE.	13
FIGURE I-2: PARTIE DE BASE D'UN ROBOT.	14
FIGURE I-4: ROBOT MOBILE DE TYPE TRICYCLE.	16
FIGURE I-3: ROBOT MOBILE DE TYPE UNICYCLE.	16
FIGURE I-5: ROBOT MOBILE DE TYPE VOITURE.	17
FIGURE I-6: ROBOT MOBILE DE TYPE OMNIDIRECTIONNEL.	17
FIGURE I-7: ROBOT MOBILE A CHENILLES.....	17
FIGURE I-8:ROBOT MOBILE A PATTES.....	18
FIGURE I-9: EXEMPLE SUR DRONE.	19

CHAPITRE II

FIGURE II-1: SCHEMA FONCTIONNEL D'UN V.S.L	22
FIGURE II-2: SCHEMA D'ALIMENTATION.	23
FIGURE II-3: LE REGULATEUR DE TENSION LINEAIRE IC7805	24
FIGURE II-4: CIRCUIT DETECTION DE LIGNE.	25
FIGURE II-5: ÉMETTEUR INFRAROUGE (LED IR).	26
FIGURE II-6: RECEPTEUR INFRAROUGE (PHOTODIODE)	27
FIGURE II-7: SCHEMA DISTINGUER LE COULEUR NOIR ET BLANC.....	28
FIGURE II-8: SCHEMA COMPAREUR LM324.....	28
FIGURE II-9: SCHEMA COMPAREUR.	29
FIGURE II-10: DIAGRAMME TEMPOREL DE LA TENSION.	30
FIGURE II-11: SCHEMA PILOTE MOTEUR L293D.....	30
FIGURE II-12: SCHEMA MONTAGE COMMANDE MOTEUR.	31
FIGURE II-13: CIRCUIT ELECTRONIQUE D'UN PONT EN H.	32
FIGURE II-14: SCHEMA MICROCONTROLEUR PIC16F877A.	33
FIGURE II-15: ARCHITECTURE DE PIC16F877A.....	35
FIGURE II-16: SYMBOLE DU CONVERTISSEUR NUMERIQUE ANALOGIQUE.	39
FIGURE II-17: SYMBOLE DU CONVERTISSEUR ANALOGIQUE NUMERIQUE.	40
FIGURE II-18: MOTEUR A COURANT CONTINU.....	41

CHAPITRE III

FIGURE III-1: MOUVEMENT DU SUIVEUR DE LIGNE PAR RAPPORT LES CAPTEURS.....	45
FIGURE III-2:MOUVEMENT V.S.L.....	47
FIGURE III-3:STRUCTURE DE CONTROLEUR GENERAL.	48
FIGURE III-4: DIAGRAMME DU SYSTEME DE CONTROLE PD	49
FIGURE III-5: MOUVEMENT DU SUIVEUR DE LIGNE SANS PD.....	50
FIGURE III-6: MOUVEMENT DU SUIVEUR DE LIGNE AVEC PD.....	51
FIGURE III-7: ORGANIGRAMME DE L'ALGORITHME SUIVEUR DE LIGNE AVEC CONTROLE PD.	52
FIGURE III-8: EXEMPLE D'UNE ERREUR.	54
FIGURE III-9: CIRCUIT GENERALE.	57
FIGURE III-11:PWM DE TOUS LES CAS DE MOUVEMENT.	59

LISTE DES TABLEAUX

TABEAU II-1: FONCTIONNEMENT DES BROCHES LM324	29
TABEAU III-1: PWM PAR RAPPORT LE MOUVEMENT ET LES CAPTEURS.	46

LISTE DES EQUATIONS

ÉQUATION II-1: L'EQUATION DE TENSION D'UN MOTEUR.	42
ÉQUATION II-2: LA RELATION ENTRE LA VITESSE ET LA FORCE CONTRE-ELECTROMOTRICE.	42
ÉQUATION III-1: CONTROLE PROPORTIONNEL-DERIVE PD.....	48
ÉQUATION III-2: CONTROLE PROPORTIONNEL (P).	49
ÉQUATION III-3: CONTROLE DERIVE (D).....	50

Introduction générale

Introduction générale

La robotique peut aider les humains à accomplir des tâches difficiles, répétitives ou pénibles. De plus elle constitue le rêve de substituer la machine à l'homme dans ces tâches.

Actuellement, les facultés de perception et de raisonnement des robots progressent chaque jour et plus encore dans l'avenir, ils sont appelés à jouer un rôle de plus en plus important dans notre vie.

La robotique comporte deux grands pôles d'intérêt : la robotique de manipulation (robotique industrielle) et la robotique mobile. L'un des problèmes majeurs de la robotique mobile est la planification de mouvement. Autour de ce problème, de nombreuses études ont été réalisées dans le but de développer des méthodes générales pour guider les robots.

Véhicule suiveur de ligne (V.S.L) est autonome, ce qui signifie qu'il suit automatiquement une ligne prédéfinie.

Généralement, il suit une ligne noire sur une surface blanche ou une ligne blanche sur une surface noire.

Les microcontrôleurs sont aujourd'hui implantés dans la plupart des réalisations grand public ou professionnelles, notamment dans le domaine de la robotique ; la science pluridisciplinaire qui permet de mettre en point des robots. Ces derniers qui servent à aider ou à d'abord remplacer l'homme dans les tâches répétitives, pénibles, dangereuses, et ainsi les opérations nécessitant beaucoup de précision.

La grande importance de la robotique mobile nous amène donc à concevoir un robot mobile suiveur de cible autonome, capable de suivre un chemin bien défini matérialisé par une bande blanche ou noire en utilisant comme unité de traitement et de commande un microcontrôleur PIC de type 16F877A.

Ce projet nous permet de mettre en pratique au maximum les connaissances théoriques, électroniques, électriques et informatiques acquises au cours de nombreuses années de formation.

Ce mémoire est décomposé comme suite :

- Dans le premier chapitre, nous avons défini les différents types de robot mobile.
- L'explication d'un circuit d'un V.S.L fait l'objet du deuxième chapitre.

- Le troisième chapitre nous présenterons la simulation d'un V.S.L avec et sans l'implémentation du régulateur PD et les différentes étapes de programmation.

Résumé

La conception d'un V.S.L est devenue de plus en plus tendance dans la technologie modernes. Ils sont des systèmes d'ingénierie très attractifs, non seulement parce que de nombreux aspects théoriques intéressants concernant la cinématique, le comportement intelligent et l'autonomie, mais aussi en raison de son applicabilité dans de nombreuses activités humaines.

Dans ce travail, nous avons présenté une étude d'un V.S.L re programmable qui peut suivre une ligne noire tracé sur une surface blanche. Il est équipé des capteurs infrarouges qui fournissent des informations puis envoyant au microcontrôleur PIC16F877A pour le traitement. Ce dernier fournira les commandes nécessaires aux deux moteurs via la carte de pilotage.

En ordre pour qu'un suiveur de ligne fonctionne efficacement, il doit démontrer excellent contrôle de suivi de ligne. Ceci est réalisé en ayant algorithmes de contrôle précis et réactifs dans notre projet en a utilisé l'algorithme proportionnel-dérivateur (PD) pour contrôle qui assure un mouvement du véhicule stable. Le modèle de simulation est présenté et analysé à l'aide de Logiciel PROTEUS.

Abstract

The design of V.L.F has become increasingly trendy in modern technology. They are very attractive engineering systems, not only because of many interesting theoretical aspects regarding kinematics, intelligent behavior and autonomy, but also because of its applicability in many human activities.

In this work, we presented a study of a re programmable line follower that can follow a black line drawn on a white surface. It is equipped with infrared sensors that provide information and then send to the PIC16F877A microcontroller for processing. which will provide the necessary controls to both motors via the control board.

In order for a line tracker to work effectively, it must demonstrate excellent line tracking control. This is achieved by having accurate and responsive control algorithms in our project we use the

proportional–derivative (PD) algorithm for control that ensures a stable vehicle movement. The simulation model is presented and analyzed using PROTEUS software.

Chapitre I : Les Robots mobiles

I Introduction

L'objet de la robotique est l'automatisation de systèmes mécaniques. En dotant le système de capacités de perception, d'action et de décision, l'objectif est de lui permettre d'interagir rationnellement avec son environnement, et de façon autonome. La robotique est un domaine de recherche qui se situe au carrefour de l'intelligence artificielle, de l'automatique, de l'informatique et de la perception par ordinateur ; cette interdisciplinarité est à l'origine d'une certaine complexité. Des applications dans des domaines aussi variés que l'industrie manufacturière, le spatial, l'automobile ou plus récemment les loisirs et le secteur médical, démontrent aujourd'hui l'intérêt économique et sociale.

Dans ce chapitre, nous allons voir des généralités sur la robotique et les robots mobiles, notamment les robots mobiles suiveurs.

II Généralité sur les robots

Le terme robot est issu des langues slaves tels que le biélorusse, le polonais, ou encore le tchèque. Ce mot qui y veut dire esclave ou travailleur dévoué, fut originellement utilisé par l'écrivain d'origine tchécoslovaque Karel Čapek dans sa pièce de théâtre R. U. R. (Rossum's Universal Robots) en 1920.

Les robots mobiles sont de plus en plus courants dans les environnements industriels et commerciaux, les hôpitaux utilisent des robots mobiles autonomes pour transporter du matériel depuis de nombreuses années, les entrepôts ont installé des systèmes robotiques mobiles pour transporter efficacement les matériaux des racks de stockage aux zones de commande, les robots mobiles sont également un axe majeur de la recherche actuelle. [1]

II.1 Définition d'un robot mobile

Un robot mobile est un système automatique-mécanique capable d'effectuer une ou plusieurs tâches, dans un certain environnement, indépendamment, en mettant en œuvre un programme, les robots mobiles peuvent être "auto-contrôlés" (robot mobile autonome), ce qui signifie qu'ils sont capables de naviguer dans un environnement incontrôlé sans avoir besoin de routeurs physiques ou électromécaniques. Alternativement, les robots mobiles peuvent s'appuyer sur des routeurs qui leur permettent de naviguer sur un chemin de navigation prédéterminé dans un espace relativement contrôlé (AGV-un véhicule guidé auto-contrôlé).

Un A.G.V. (Automated Guided Vehicle) ou véhicule à guidage automatique est un cas particulier d'un robot mobile voué à des applications purement industrielles. Il est parfois appelé chariot automatique et il est doté d'un équipement de guidage automatique qu'il soit inductif (filoguidé), optique, électromagnétique ou autre. Ce type de véhicule est capable de suivre des chemins prédéfinis et programmables ou de planifier ses paroles type de guidage et de navigation utilisée, aujourd'hui les installations de fabrication les entrepôts, les hôtels, et même les centres de santé se sont intéressés aux avantages logistiques de l'AGV, que ce soit par leur forme, par leur taille ou par leur poids.



Figure I-1 : Le véhicule autoguidé suiveur de ligne. [5]

II.2 Parties principales d'un robot suiveur de ligne

Les parties principales d'un robot suiveur de ligne sont : le manipulateur, le processeur, le capteur et le moteur. Les pièces principales également appelées composants combinés sont utilisées pour classer les robots et définir les capacités d'un robot.

II.3 La partie mécanique (manipulateur)

C'est la structure physique du Robot. Le manipulateur se compose de la base, qui porte le processeur, les capteurs et les moteurs et des roues.

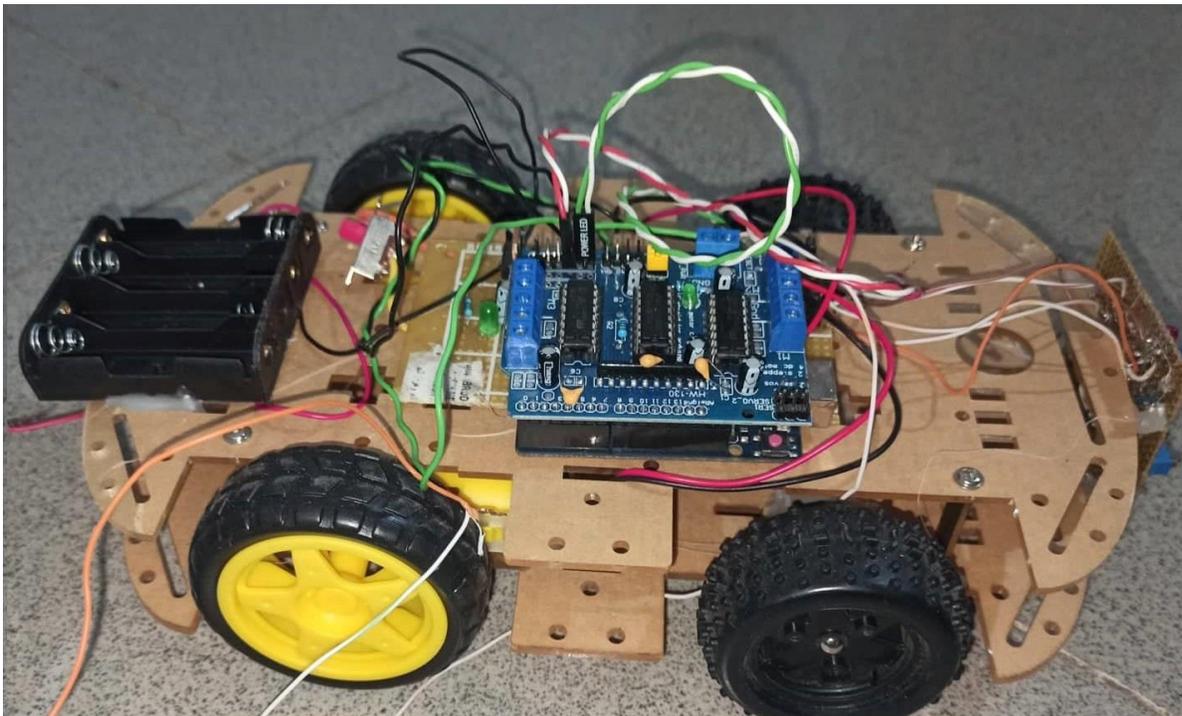


Figure I-2: Partie de base d'un robot conçu.

II.4 Classification des robots mobiles

La classification des robots mobiles se fait selon plusieurs critères :

- Degré d'autonomie.
- Système de locomotion.
- Énergie utilisée.

Un robot mobile autonome est un système automoteur doté de capacités de prise de décision, de moyens d'acquisition et de traitement de réparation qui lui permettent d'effectuer un certain nombre de tâches, soit avec un signal et un contrôle directement d'un humain, soit avec un signal provenant de programmes informatiques. On peut citer quelques types de robots (véhicules) :

Véhicule télécommandé par un opérateur :

Ces robots sont commandés par un opérateur qui leur impose chaque tâche élémentaire à réaliser.

- Véhicule télécommandé au sens de la tâche à réaliser :

Le véhicule contrôle automatiquement ses actions.

- Véhicule semi- autonome :

Ce type de véhicule réalise des tâches prédéfinies.

- Véhicule autonome :

Ce type de véhicule réalise des tâches semi-définies, il pose des problèmes d'un niveau de complexité élevé de représentation des connaissances, de capacité décisionnelle et de génération de plans qui sont résolus à bord dans la mesure du possible . [2]

II.5 Différents types de robot mobile

Elle assure le mouvement du robot par des roues motrices placées selon le type de mouvement et la précision voulue, On peut dénombrer quatre types de structures mécaniques assurant la motricité.

II.5.1 Les robots mobiles à roues

C'est la combinaison du choix des roues et de leur disposition qui confère à un robot son mode de locomotion propre déterminées, principalement, par la position et le nombre de roues utilisées, ce type de robot est le plus actuellement répandus, la plupart des robots mobiles à roues fonctionnent dans des endroits Sites industriels ou commerciaux ...etc.

Nous citerons ici les quatre classes principales de robots à roues :

II.5.1.1 Robot mobile de type unicycle :

Un robot mobile de type unicycle est mouvementé par deux roues indépendantes, il possède incidemment des roues folles pour assurer sa stabilité. Son centre de rotation est situé sur l'axe reliant les deux roues motrices.

II.5.1.2 Robot mobile de type tricycle :

Un robot de type tricycle est constitué de deux roues fixes placées sur un même axée d'une roue centrée orientable placée sur l'axe longitudinal. Le mouvement du robot est donné par la vitesse des deux roues fixes et par l'orientation de la roue orientable. Son centre de rotation est situé à l'intersection de l'axe contenant les roues fixes et de l'axe de la roue orientable.

II.5.1.3 Robot mobile de type voiture :

Il est constitué de deux roues fixes placées sur un même axe et de deux roues centrées orientables placées elles aussi sur le même axe.

Le robot de type voiture est cependant plus stable puisqu'il possède un point d'appui supplémentaire.

II.5.1.4 Robot mobile de type omnidirectionnel :

Un robot mobile omnidirectionnel est un robot qui peut se déplacer librement dans toutes les directions.

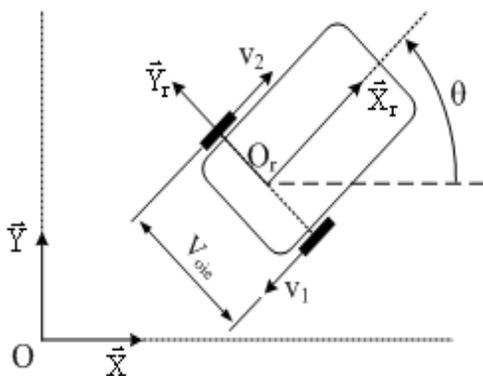


Figure I-4: Robot mobile de type unicycle. [6]

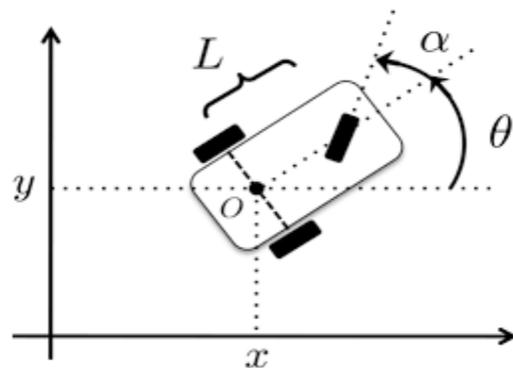


Figure I-3: Robot mobile de type tricycle. [6]

II.5.3 Robots mobiles à pattes

Les robots mobiles marcheurs sont destinés à réaliser des tâches variées dont l'accès au site est difficile et dangereux à l'homme, on distingue les robots marcheurs à deux jambes (humanoïdes), à quatre pattes (type cheval), et à six pattes (type araignée), La plupart des robots amateurs sont conçus avec six pattes, qui permettent au robot d'être statiquement équilibré (équilibré en permanence sur 3 pattes).



Figure I-8: Robot mobile à pattes. [4]

II.5.4 D'autres robots mobiles comme un drone

Un drone est un aéronef sans pilote, télécommandé ou bien programmé. Il existe une multitude de drones. La taille, la masse, l'autonomie sont autant de paramètres qui différeront selon l'application que doit réaliser un drone. Il faut distinguer drone à voilure fixe et drone voilure tournante.

- Un drone hélicoptère est à voilure tournante. Il assure sa poussée et sa portance par ses moteurs. Il a l'avantage de pouvoir voler à de faibles vitesses ou bien de rester immobile.
- Un drone avion est à voilure fixe. Il assure sa poussée par son moteur et sa portance par son moteur et ses ailes. Cela lui permet de couvrir de longues distances ou bien d'atteindre de hautes altitudes.



Figure I-9: exemple sur drone. [8]

II.6 Architecture d'un robot mobile :

II.6.1 La structure mécanique et la motricité :

Roues, Chenilles et Pattes – motricité : les déplacements des robots sont réalisés par des moteurs électriques, thermiques ou hydrauliques. L'énergie électrique la plus fréquemment employée offre l'avantage d'une commande aisée. Par contre le transport et la génération présentent des difficultés. Plusieurs méthodes sont employées : Par batteries qui sont soit rechargées périodiquement de manière automatique ou manuelle, soit par un échange avec d'autres lorsqu'elles sont déchargées. Par groupe électrogène embarqué dont l'inconvénient constitue la masse élevée. L'énergie de base est alors thermique.

II.6.2 Les organes de sécurité :

Un robot, selon la tâche qui lui est confiée, peut être amené à travailler au voisinage du personnel. A ce titre, il est obligatoire qu'il soit doté d'organes garantissant la sécurité. Des capteurs sont disponibles tout autour du mobile afin de détecter un obstacle sur un domaine le plus étendu possible. Deux types de capteurs sont employés : les capteurs proximétriques assurant la détection avant collision (ultra-son, hyper fréquence, infrarouge...) et les capteurs de contact détectant une collision ou un choc avec l'environnement (contact électrique sur pare-chocs, résistance variable, fibre optique...). Le traitement de la détection s'effectue selon plusieurs cas. Si le capteur à contact

est sollicité, le robot s'immobilise soit définitivement soit tant que le contact persiste, ou il effectue un mouvement opposé au contact. Par contre si un proximateur détecte une présence, la stratégie consiste soit à immobiliser le robot en attendant que la personne s'éloigne, soit à ralentir le mouvement si la personne n'est pas trop proche, soit à choisir un autre chemin qui l'éloigne de la personne.

II.7 Les avantages dans l'utilisation du robot mobile

Les robots mobiles améliorent l'efficacité opérationnelle, augmentent la capacité de production et réalisent des économies pour les entreprises tout en offrant une commodité et des services supplémentaires aux employés et aux clients, il permet également aux entreprises de résoudre facilement de nombreuses demandes et transactions des clients tout en réduisant le besoin d'interaction humaine.

III Conclusion

La robotique mobile actuelle trouve des applications dans différents domaines (industrielle, médicale, militaire...)

Dans ce chapitre, on a fait une brève présentation sur les robots mobiles, les applications et les types des robots mobiles à roues.

Dans le chapitre suivant, nous présenterons les composants électroniques d'un V.S.L.

Chapitre II : Les composants électroniques du V.S.L

I Introduction

Véhicule suiveur de ligne (V.S.L) est un robot intelligent qui se compose de plusieurs composants électroniques (circuit détection de ligne, circuit de commande, circuit alimentation et les actionnaires). Dans ce chapitre, on va discuter sur ces composantes et leur fonctionnement par détail.

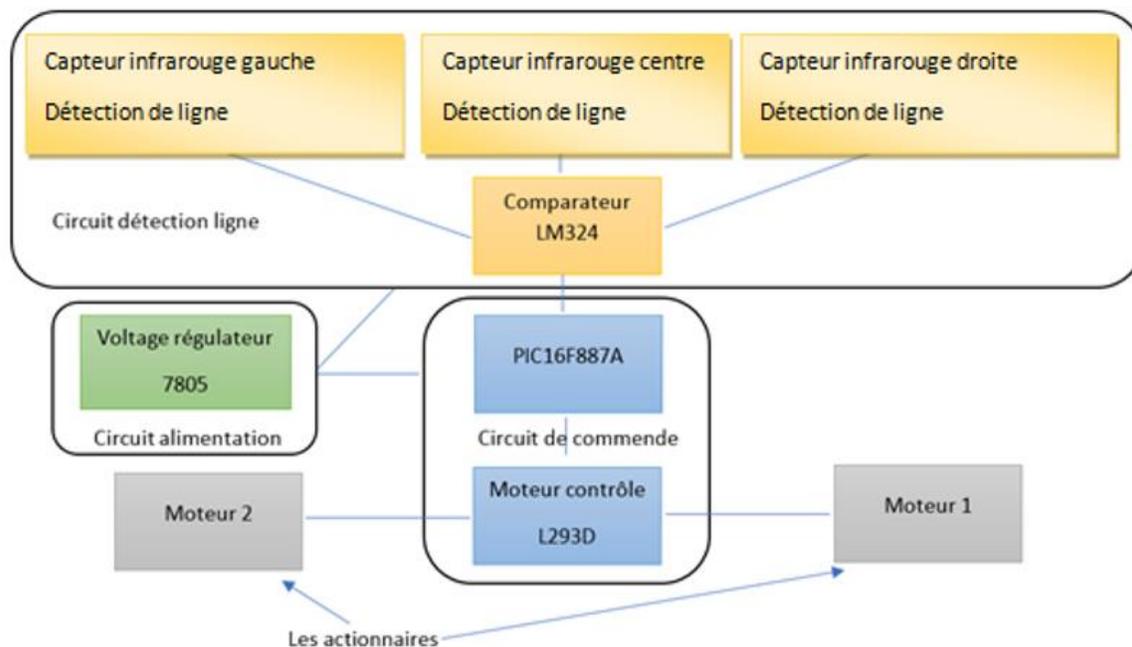


Figure II-1: Schéma fonctionnel d'un V.S.L

II Circuits électroniques

II.1 Circuit alimentation

C'est un circuit simple qui compose d'un régulateur de tension (IC 7805) pour alimenter les composantes par une tension stable de 5volt.

II.2 Circuit détection de ligne

Cette section contient des diodes IR, un potentiomètre, un comparateur (Op-AMP) et des LED. Le potentiomètre est utilisé pour régler la tension de référence à une borne du comparateur et des capteurs IR sont utilisés pour détecter la ligne et fournir un changement de tension à la deuxième borne du comparateur. Ensuite, le comparateur compare les deux tensions et génère un signal numérique à la sortie.

II.3 Circuit commende

PIC16F877A est utilisé pour contrôler l'ensemble du processus du robot suiveur de ligne. Les sorties des comparateurs sont connectées numériques de pic. Le pic lit ces signaux et envoie des commandes au circuit du pilote.

Le pilote se compose d'un pilote de moteur L293D et de deux moteurs à courant continu. Le pilote de moteur est utilisé pour piloter des moteurs car PIC16F877A ne fournit pas suffisamment de tension et de courant au moteur. Nous ajoutons donc un circuit de commande de moteur pour obtenir suffisamment de tension et de courant pour le moteur.

II.4 L'actionnaire

Les actionnaires sont des moteurs et des LEDs qui transforment l'information reçue par le système en signaux lumière pour les LEDs et rotation mécanique pour les moteurs.

III Composants électroniques et explications

III.1 Circuit alimentation

C'est un circuit simple composé d'un régulateur de tension (ic 7805), qui fournit une tension stable de 5 volts pour les composants.

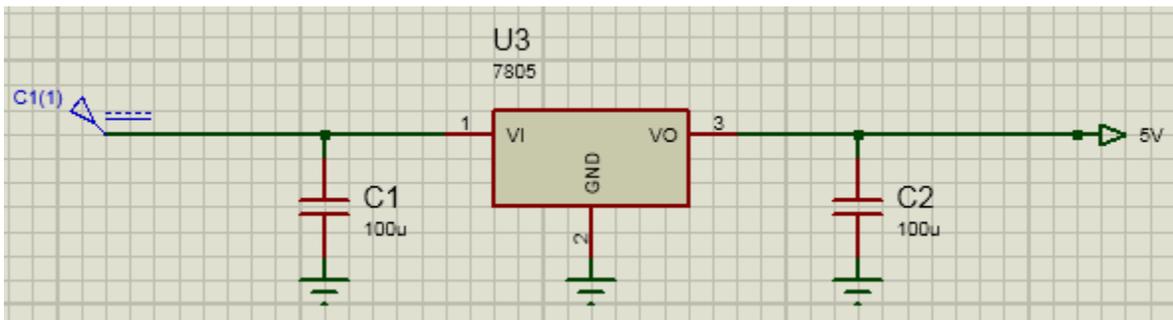


Figure II-2: Schéma d'alimentation.

III.1.1 Le régulateur de tension linéaire

Toutes les sources de tension ne peuvent pas donner une sortie constante due aux fluctuations du circuit. Et pour cela, on utilise les régulateurs de tension. Les circuits intégrés utilisés pour la régulation de la tension sont appelés des régulateurs de tension. Ici, on va discuter de la IC 7805.

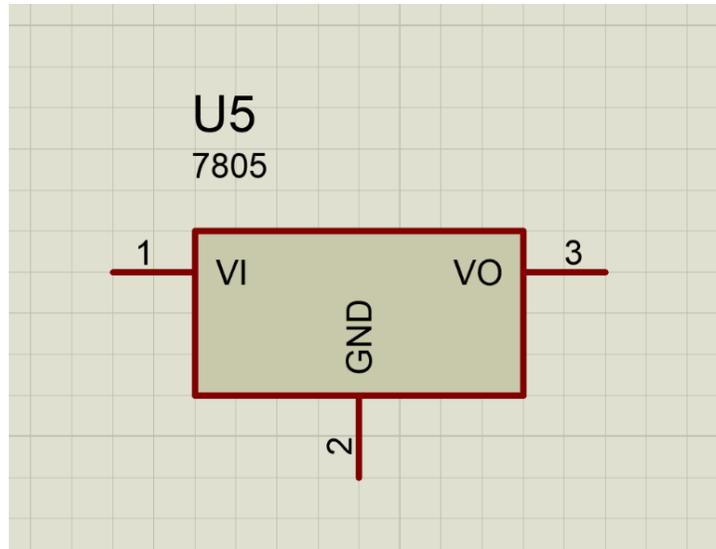


Figure II-3: Le régulateur de tension linéaire ic7805

- **La broche 1-input(entrée) :**
La fonction de cette broche est de donner l'entrée Tension. Il devrait être dans la gamme de 7V à 35V.
- **La broche 2-ground (neutre) :**
Nous connectons le sol à cette broche, cette broche est également neutre (0Volt).
- **La broche 3-output(sortie) :**
Cette broche est utilisée pour prendre la sortie régulée.

Régulateur de tension IC 7805 est en fait un membre de la série 78xx de tension régulateurs IC. C'est un régulateur de tension linéaire fixe. Le xx présent dans 78xx représente la valeur de la tension de sortie fixe fournie par le IC. Pour le 7805 IC, il s'agit d'une alimentation régulée en + 5V CC. Ce régulateur IC ajoute également une disposition pour un dissipateur thermique. La tension d'entrée de ce régulateur de tension peut aller jusqu'à 35V, et ce circuit intégré peut donner une valeur constante de 5V pour toute valeur d'entrée inférieure ou égale à 35V, qui est la limite seuil.

Les objectifs des condensateurs (C1, C2), c'est filtrage et améliorer la stabilité du régulateur et qui permet de "lisser" les arches de sinusoïdes pour en obtenir une tension à peu près "droite" (sans trop d'ondulation.) pour meilleure réponse aux transitoires. La valeur de ce condensateur est définie par le courant maximal désiré en sortie de l'alimentation. [5]

III.2 Circuit détection de ligne et obstacles

Il se compose d'une LED IR, d'une photodiode, d'un potentiomètre, d'un amplificateur opérationnel IC et d'une LED.

La LED IR émet une lumière infrarouge. La photodiode détecte la lumière infrarouge. Un IC Op – AMP est utilisé comme comparateur de tension. Le potentiomètre est utilisé pour calibrer la sortie du capteur en fonction des besoins.

Lorsque la lumière émise par la LED IR est incidente sur la photodiode après avoir heurté un objet, la résistance de la photodiode chute d'une valeur énorme. L'une des entrées de l'ampli-op est à la valeur seuil fixé par le potentiomètre. L'autre entrée de l'ampli-op provient de la résistance série de la photodiode. Lorsque le rayonnement incident est plus sur la photodiode, la chute de tension aux bornes de la résistance série sera élevée. Dans le circuit intégré, la tension de seuil et la tension aux bornes de la résistance série sont comparées. Si la tension aux bornes de la série de résistances à la photodiode est supérieure à celle de la tension de seuil, la sortie de l'IC Op – Amp est élevée. Lorsque la sortie du IC est connectée à une LED, elle s'éclaire. La tension de seuil peut être ajustée en ajustant le potentiomètre en fonction des conditions environnementales

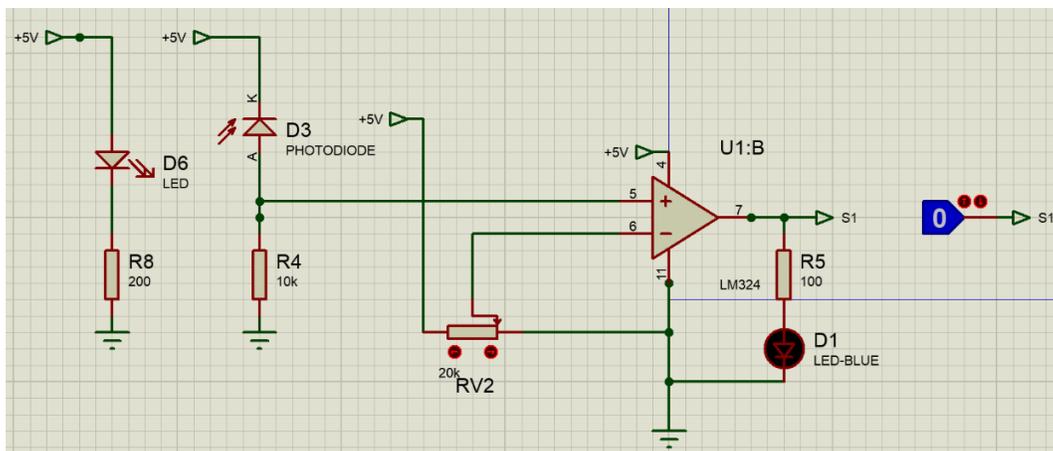


Figure II-4: Circuit détection de ligne.

III.2.1 Émetteur infrarouge (LED IR)

L'émetteur infrarouge est une diode électroluminescente (LED) qui émet des rayonnements infrarouges. Par conséquent, ils sont appelés LED IR. Même si une LED IR ressemble à une LED normale, le rayonnement qu'elle émet est invisible à l'œil humain.

Lorsqu'il fonctionne avec une alimentation de 5 V, l'émetteur IR consomme environ 3 à 5 mA de courant. Les émetteurs infrarouges peuvent être modulés pour produire une fréquence particulière de lumière infrarouge. La modulation la plus couramment utilisée est la modulation OOK (ON – OFF – KEYING).

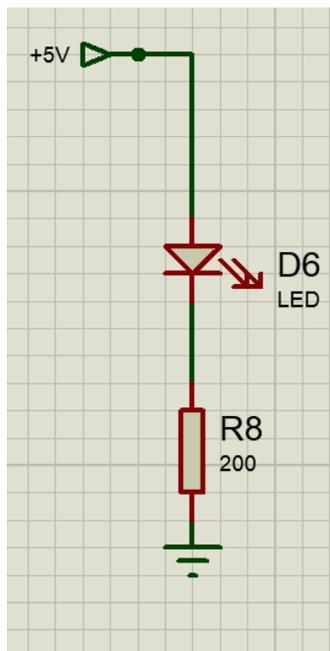


Figure II-5: Émetteur infrarouge (LED IR).

III.2.2 Récepteur infrarouge (photodiode)

Les récepteurs infrarouges sont également appelés capteurs infrarouges car ils détectent le rayonnement d'un émetteur infrarouge. Les récepteurs IR se présentent sous la forme de photodiodes et de phototransistors. Les photodiodes infrarouges sont différentes des photodiodes normales car elles ne détectent que le rayonnement infrarouge.

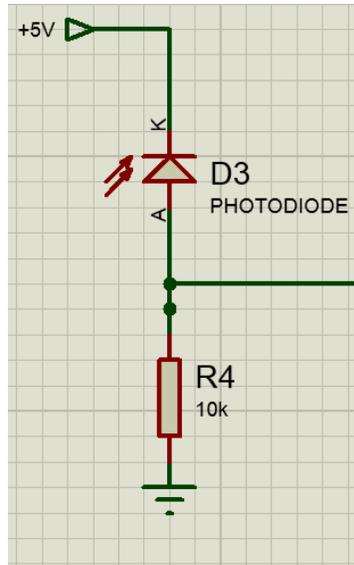


Figure II-6: Récepteur infrarouge (photodiode)

III.2.3 Distinguer les couleurs noirs et blanc

Il est universel que la couleur noire absorbe la totalité du rayonnement incident sur elle et que la couleur blanche reflète la totalité du rayonnement incident sur elle. Sur la base de ce principe, le deuxième positionnement du couple de capteurs peut être effectué. La LED IR et la photodiode sont placées côte à côte. Lorsque l'émetteur IR émet un rayonnement infrarouge, puisqu'il n'y a pas de ligne de contact direct entre l'émetteur et le récepteur, le rayonnement émis doit être réfléchi vers la photodiode après avoir heurté un objet. La surface de l'objet peut être divisée en deux types : surface réfléchissante et surface non-réfléchissante. Si la surface de l'objet est de nature réfléchissante, c'est-à-dire qu'elle est blanche ou d'une autre couleur claire, la plupart du rayonnement incident sera réfléchi et atteindra la photodiode. Selon l'intensité du rayonnement réfléchi, Si la surface de l'objet est de nature non-réfléchissante, c'est-à-dire qu'elle est noire ou d'une autre couleur sombre, elle absorbe presque tout le rayonnement incident sur elle. Comme il n'y a pas de rayonnement réfléchi, il n'y a pas de rayonnement incident sur la photodiode et la résistance de la photodiode reste plus élevée ne permettant à aucun courant de circuler. Cette situation est similaire à l'absence d'objet du tout. [6]

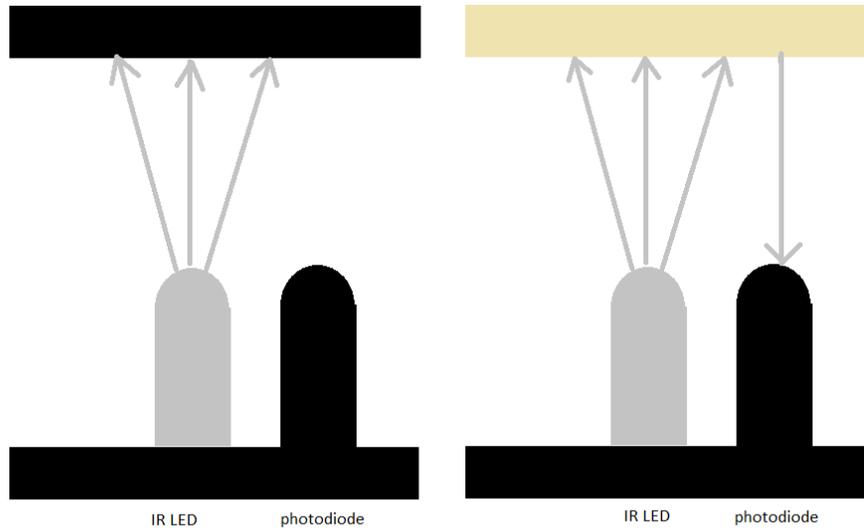


Figure II-7: Schéma distinguer le couleur noir et blanc

III.2.4 Comparateur LM324 :

Un convertisseur analogique-numérique (CAN) que nous avons utilisé dans notre projet. C'est LM324 peuvent supporter quatre capteurs. Généralement, les signaux reçus des capteurs sont analogiques et doivent être convertis sous forme numérique. Par conséquent, le circuit peut être conçu pour envoyer les signaux des capteurs au processeur, directement. Par conséquent, le temps de traitement peut être géré juste en utilisant un CAN externe. LM324 est bon CAN que nous avons utilisé dans notre projet.

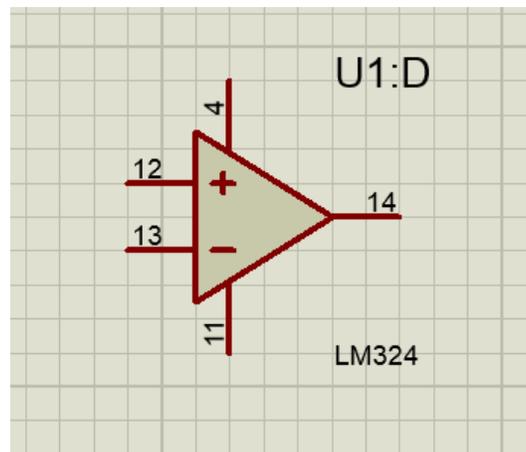


Figure II-8: Schéma comparateur LM324

❖ Tableau de Fonctionnement des broches LM324

N° de broche	Fonctionnement de la broche
4	Tension d'alimentation 5V
11	Neutre 0V
12	Entrée non inverseuse du premier comparateur
13	Entrée inverseuse du premier comparateur
14	Sortie du premier comparateur

Tableau II-1: Fonctionnement des broches LM324

Le comparateur est utilisé pour comparer les deux tensions de sortie de V1 et V2. Si la tension $V1 > V2$ alors la tension de sortie est nulle. Si $V2 > V1$, la tension de sortie est une borne positive.

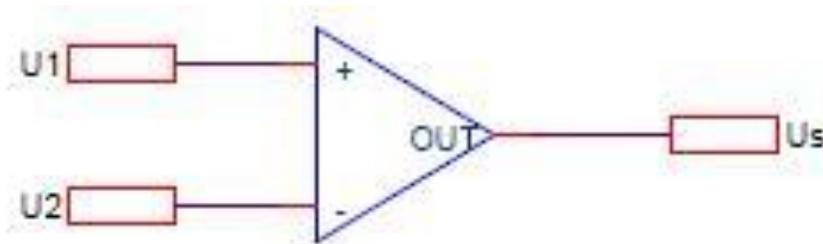


Figure II-9: Schéma comparateur.

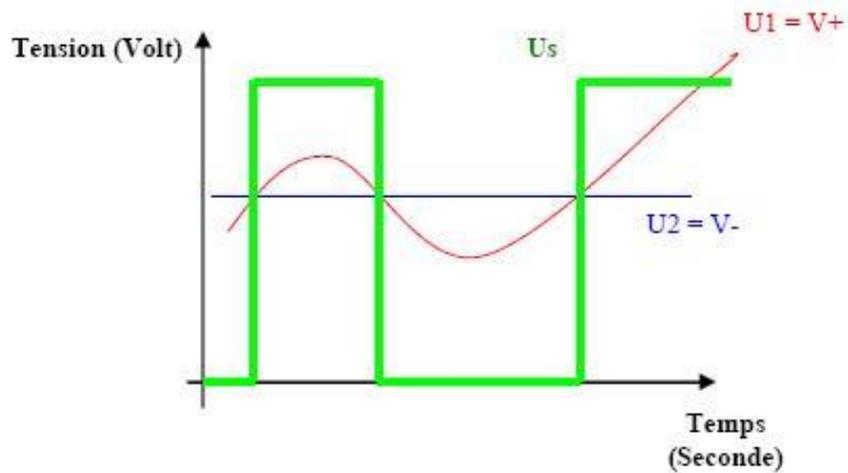


Figure II-10: Diagramme temporel de la tension.

Le circuit comparateur LM324 se compose de la tension du capteur, de la tension de référence, du V_{cc} , de la masse et des broches de sortie. [7]

III.2.4.1 Caractéristiques du circuit comparateur LM324

- Fréquence interne compensée pour le gain unitaire
- Grand gain de tension continue 100 dB
- Large bande passante 1 MHz
- Large plage d'alimentation : Alimentation simple 3V à 32V
- Essentiellement indépendant de la tension d'alimentation
- Plage de tension d'entrée différentielle égale à la tension d'alimentation
- Grande variation de tension de sortie 0V à $V^+ - 1,5V$

III.2.4.2 Avantages du comparateur LM324

- Le LM324 est utilisé à la fois comme comparateur et ampli-op
- LM324 est un amplificateur de tension électronique à gain élevé

III.3 Circuit de commande

III.3.1 Module de commande de moteur L293D

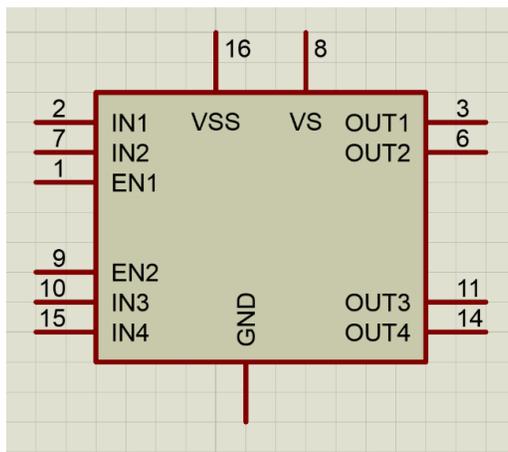


Figure II-11: Schéma pilote moteur L293D

Le L293D est un circuit intégré à 16 broches, avec 8 broches de chaque côté, nous permettant de contrôler le moteur. On peut utiliser un seul L293D pour faire fonctionner jusqu'à deux moteurs à courant continu. L293D se compose de deux circuits en pont en H. Le pont en H est le circuit le plus simple pour changer la polarité à travers la charge qui lui est connectée.

Il y a 2 broches OUTPUT, 2 broches INPUT et 1 broche ENABLE pour piloter chaque moteur. Il est conçu pour piloter des charges inductives telles que des solénoïdes, des relais, des moteurs à courant continu et des moteurs pas à pas bipolaires, ainsi que d'autres charges à courant élevé/haute tension.

L293D sont caractérisées pour le fonctionnement de 0 ° C à 70 ° C.

III.3.1.1 Fonctionnement de pilote moteur L293D

Le circuit intégré L293D reçoit des signaux du microprocesseur et transmet le signal relatif aux moteurs. Il a deux broches de tension, dont l'une est utilisée pour tirer le courant pour le fonctionnement du L293D et l'autre est utilisée pour appliquer une tension aux moteurs. Le L293D commute son signal de sortie en fonction de l'entrée reçue du microprocesseur. Si le microprocesseur envoie un 1 à la broche d'entrée du L293D, alors le L293D transmet un 1 au moteur à partir de sa broche de sortie. Une chose importante à noter est que le L293D transmet simplement le signal qu'il reçoit. Cela ne change en aucun cas le signal.

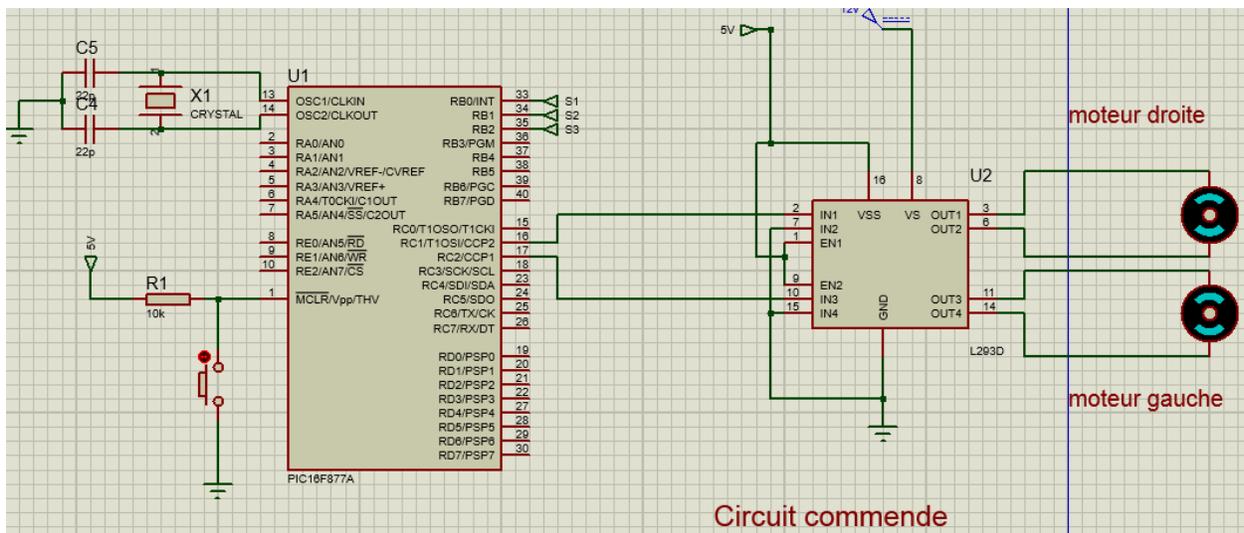


Figure II-12: Schéma montage commande moteur.

III.3.1.2 Les autres fonctionnalités importantes du L293D sont :

- Large plage de tension d'alimentation : 4,5 V à 36 V
 - Alimentation logique d'entrée séparée
 - Protection ESD interne
 - Entrées à haute immunité au bruit
 - Courant de sortie 1 A par canal (600 mA pour L293D)
 - Courant de sortie de crête 2 A par canal (1,2 A pour L293D)
 - Diodes de sortie pour la suppression des transitoires inductives (L293D)
- IN1, IN2 et IN3, IN4 sont des broches d'entrée utilisées pour fournir un signal de commande du contrôleur pour faire fonctionner le moteur dans différentes directions.
- Si la logique d'entrée à IN1, IN2 est (1,0), le moteur tourne dans un sens.
 - Si la logique d'entrée à IN1, IN2 est (0,1) le moteur tourne dans l'autre sens.
- EN1 et EN2 sont des broches d'activation. Connectez 5v DC aux broches EN1 et EN2 pour faire fonctionner le moteur à sa vitesse normale
- Si un contrôle de vitesse est nécessaire, donnez une sortie PWM aux broches EN1 et En2 du microcontrôleur. [8]

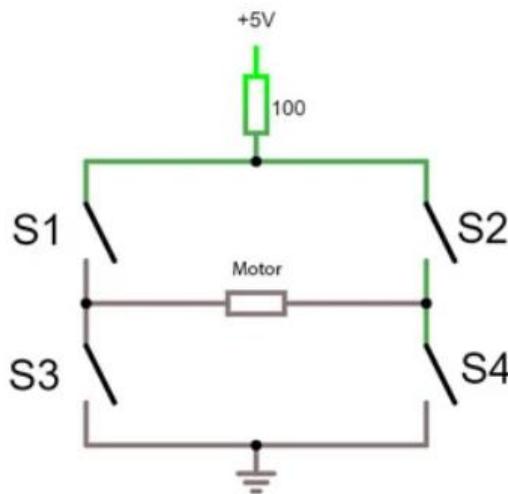


Figure II-13: Circuit électronique d'un pont en H. [8]

Un pont en H est un circuit électronique qui permet d'appliquer une tension sur une charge en sens inverse. Ces circuits sont souvent utilisés dans la robotique et d'autres applications pour permettre aux moteurs à courant continu de fonctionner en avant ou en arrière. Le terme pont en H est dérivé de la représentation graphique typique d'un tel circuit. Un pont en H est construit avec quatre commutateurs (à semi-conducteurs ou mécaniques). Lorsque les interrupteurs S1 et S4 (selon la figure II-13) sont fermés (et S2 et S3 sont ouverts), une tension positive sera appliquée aux bornes du moteur. En ouvrant les interrupteurs S1 et S4 et en fermant les interrupteurs S2 et S3, cette tension est inversée, permettant le fonctionnement inverse du moteur. En utilisant la nomenclature ci-dessus, les interrupteurs S1 et S2 ne doivent jamais être fermés en même temps, car cela provoquerait un court-circuit sur la source de tension d'entrée. Il en est de même pour les commutateurs S3 et S4. Cette condition est connue sous le nom de shoot-through.

III.3.2 LE PIC 16F877A

Le microcontrôleur PIC PIC16f877a est l'un des microcontrôleurs les plus renommés de l'industrie. Ce microcontrôleur est très pratique à utiliser, le codage ou la programmation de ce contrôleur est également plus facile. L'un des principaux avantages est qu'il peut être effaçable en écriture autant de fois que possible, car il utilise la technologie de mémoire FLASH. Il a un nombre total de 40 broches et il y a 33 broches pour l'entrée et la sortie.

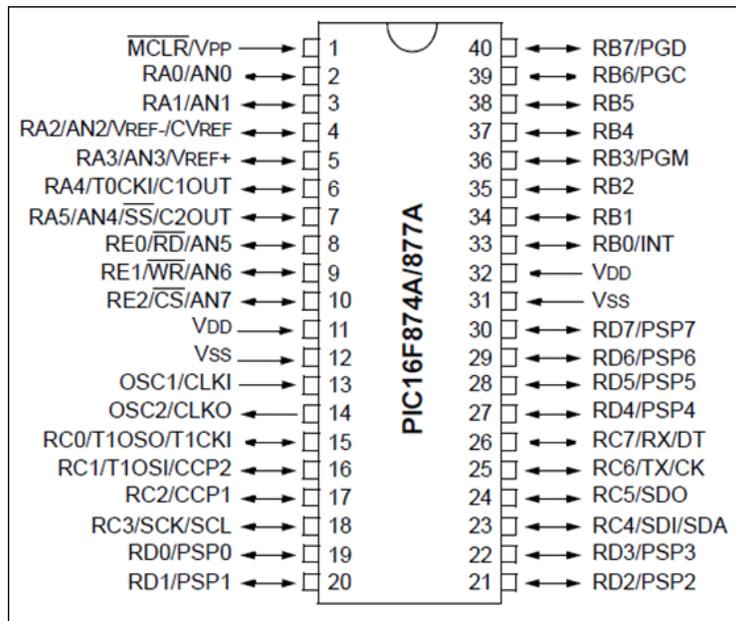


Figure II-14: Schéma microcontrôleur PIC16F877A.

PIC16F877A trouve ses applications dans un grand nombre d'appareils. Il est utilisé dans les capteurs à distance, les dispositifs de sécurité et de sûreté, la domotique et de nombreux instruments industriels. Une EEPROM y est également intégrée, ce qui permet de stocker en permanence certaines informations telles que les codes des émetteurs et les fréquences des récepteurs et certaines autres données connexes. Le coût de ce contrôleur est faible et sa prise en main est également aisée. Il est flexible et peut être utilisé dans des domaines où les microcontrôleurs n'ont jamais été utilisés auparavant, comme dans les applications de microprocesseur et les fonctions de minuterie, etc.

III.3.2.1 Architecture de PIC16F877A

L'architecture du microcontrôleur PIC est basée sur l'architecture Harvard et prend en charge l'architecture RISC (Reduced Instruction Set Computer). L'architecture du microcontrôleur PIC comprend l'organisation de la mémoire (ram, rom, pile), le processeur, les temporisateurs, le compteur, l'ADC, le DAC, la communication série, le module CCP et les ports d'E/S. Le microcontrôleur PIC prend également en charge les protocoles tels que CAN, SPI, UART pour l'interfaçage avec d'autres périphériques. [9]

ALU est utilisé pour les opérations arithmétiques et pour les décisions logiques. La mémoire est utilisée pour stocker les instructions après le traitement. L'unité de contrôle est utilisée pour contrôler les périphériques internes et externes qui sont connectés à la CPU et l'accumulateur est utilisé pour stocker les résultats.

➤ **Organisation de la mémoire**

Le module mémoire du microcontrôleur PIC se compose principalement de 3 types de mémoires :

- **Mémoire du programme**

Il contient le programme écrit après que nous l'avons gravé dans le microcontrôleur. Le compteur de programme exécute les commandes stockées dans la mémoire du programme, l'une après l'autre. Le microcontrôleur Pic peut avoir 8K mots x 14 bits de mémoire de programme Flash qui peuvent être effacés et reprogrammés électriquement. Chaque fois que nous gravons un programme dans le micro, nous effaçons un ancien programme et en écrivons un nouveau.

- **Mémoire de données**

C'est un type RAM qui sert à stocker temporairement les données dans ses registres. La mémoire RAM est classée en banques. Chaque banque s'étend jusqu'à 7Fh (128 octets). Le nombre de banques peut varier en fonction du microcontrôleur. Le PIC16F84 n'a que deux banques. Les banques contiennent des registres de fonctions spéciales (SFR) et des registres à usage général (GPR). Les emplacements inférieurs de chaque banc sont réservés aux registres de fonction spéciale et les emplacements supérieurs sont réservés aux registres à usage général.

- **Registres à usage général (GPR)**

Ces registres n'ont aucune fonction particulière. Ceux-ci sont utilisés à des fins générales pour multiplier, additionner ou soustraire, puis stocker les résultats dans d'autres registres. La CPU peut facilement accéder aux données de ces registres.

- **Registres de fonctions spéciales (SFR)**

Ces registres sont utilisés à des fins spéciales et ils ne peuvent pas être utilisés comme des registres normaux. Leur fonction est fixée au moment de la fabrication. Ils remplissent la fonction qui leur est assignée et l'utilisateur ne peut pas modifier la fonction de SFR. Trois SFR importants pour la programmation sont :

Registre STATUS : Il change de banque

Registres PORT : Il attribue les valeurs logiques 0 ou 1 aux ports

Registres TRIS : c'est un registre de direction de données pour l'entrée et la sortie

- **Données EEPROM**

Cette mémoire permet de stocker les variables résultant de la gravure du programme écrit. Il est lisible et inscriptible pendant le fonctionnement normal (sur toute la plage VDD). Cette mémoire n'est pas directement mappée dans le fichier de registre. Elle est abordée indirectement par le biais des SFR. Il y a six SFR qui sont utilisés pour lire et écrire dans cette mémoire (EECON1, EECON2, EEDATA, EEDATH, EEADR, EEADRH).

- **Communication série**

Le transfert d'un bit de données à la fois consécutivement sur un canal de communication est appelé communication série. Il existe trois protocoles de communication série :

- **USART** : Il signifie Universal synchronous and Asynchronous Receiver and Transmitter qui fournit une communication série dans deux appareils. Dans ce protocole, les données sont transmises et reçues bit par bit via un seul fil en fonction des impulsions d'horloge. Pour envoyer et recevoir des données en série, le microcontrôleur PIC dispose de deux broches TXD et RXD.
- **Protocole SPI** : SPI signifie Serial Périphérie Interface. Il est utilisé pour envoyer des données entre les microcontrôleurs PIC et d'autres périphériques tels que des capteurs, des registres à décalage et des cartes SD. Les communications SPI à trois fils sont prises en charge dans le microcontrôleur PIC entre deux appareils sur une source d'horloge commune. Le protocole SPI a une capacité de traitement des données supérieure à celle de l'USART.
- **Protocole I2C** : I2C signifie Inter Integrated Circuit, et ce protocole est utilisé pour connecter des appareils à faible vitesse tels que des microcontrôleurs, des EEPROM et des convertisseurs A/N. Le microcontrôleur PIC prend en charge l'interface à deux fils ou la communication I2C entre deux appareils qui peuvent fonctionner à la fois comme appareil maître et esclave.

- **Interruptions :**

PIC16F877A fournit 8 types d'interruptions ; Interruptions externes, interruptions de minuterie, interruptions de changement d'état du PORT, interruption UART, I2C, interruptions PWM.

➤ PORTS E/S :

Prenons la série PIC16, elle se compose de cinq ports, tels que le port A, le port B, le port C, le port D et le port E.

- **Port A** : Ce port a une largeur de 7 bits et peut être utilisé à la fois pour l'entrée et la sortie. L'état du registre TRISA décide s'il est utilisé comme port d'entrée ou de sortie.
- **Port B** : c'est un port 8 bits. Ce port peut également être utilisé comme entrée et sortie. De plus en entrée quatre de ses bits sont variables en fonction des signaux d'interruption.
- **Port C** : Il s'agit également d'un port 8 bits et peut être utilisé à la fois comme port d'entrée et de sortie qui est déterminé par l'état du registre TRISC.
- **Port D** : Ce port 8 bits, contrairement aux ports A, B et C n'est pas un port d'entrée/sortie, mais sert de port esclave pour la connexion au microprocesseur. En mode E/S, le port D doit ont des tampons Schmitt Trigger.
- **Port E** : Il s'agit d'un port 3 bits qui est utilisé comme fonction supplémentaire des signaux de commande vers le convertisseur A/N.

➤ Module CCP

Un module CCP fonctionne dans les trois modes suivants :

- **Mode de capture**

Dans ce mode, le temps est capturé lorsqu'un signal est arrivé, ou nous pouvons dire que, lorsque la broche CCP passe au niveau haut, il capture la valeur du Timer1.

- **Mode comparateur**

Il dispose d'un module comparateur composé de deux comparateurs. Ils sont utilisés pour la comparaison de signaux analogiques similaires aux comparateurs dans les circuits électroniques. Les broches d'entrée de ces comparateurs sont RA0, RA1, RA2 et RA3 et la sortie peut être mesurée via RA4 et RA5.

- **Mode de PWM**

Il fournit également 2 modules CCP. CCP signifie capture comparer les modules PWM. Nous pouvons facilement générer deux signaux PWM avec ce microcontrôleur. La résolution maximale qu'il prend en charge est de 10 bits.

➤ Temporisateurs

Il fournit trois temporisateurs timer0, timer1 et timer2. Tous ces temporisateurs peuvent être utilisés soit en mode temporisateur, soit en mode compteur. Ces temporisateurs sont utilisés pour générer des retards, une modulation de largeur d'impulsion, le comptage d'événements externes et des interruptions de temporisateur.

- TIMER0 est un temporisateur 8 bits et il peut fonctionner avec une fréquence d'horloge interne ou externe. Lorsque nous utilisons Timer0 en mode timer, nous le faisons généralement fonctionner avec une fréquence interne et en mode compteur, nous le déclenchons avec une source d'horloge externe.
- TIMER1 est un temporisateur 16 bits et il peut également fonctionner dans les deux modes.
- TIMER2 est également de 8 bits. Il est utilisé avec PWM comme base de temps pour le module CCP.

➤ Convertisseur N/A

Il n'y a pas de sorties analogiques dans le microcontrôleur PIC. Pour obtenir une sortie analogique, nous devons utiliser un convertisseur numérique-analogique (CNA) externe. Il peut convertir 8 bits de nombre numérique à partir des huit sorties numériques du microcontrôleur PIC.

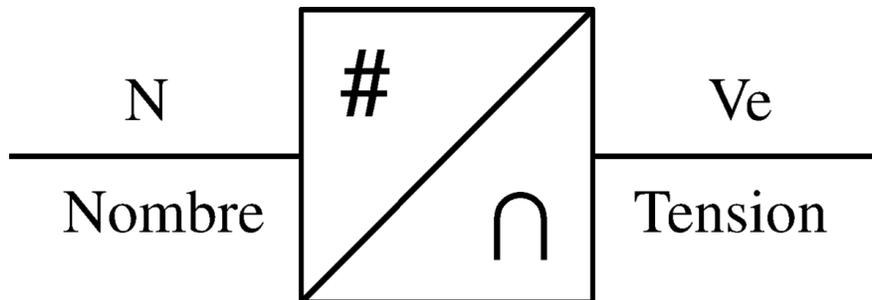


Figure II-16: Symbole du convertisseur numérique analogique.

➤ Convertisseur A/N

Il convertit les niveaux de tension analogiques en valeurs de tension numériques. Dans le microcontrôleur PIC, l'ADC a 8 canaux et a une résolution de 10 bits, ce qui signifie que si nous devons convertir une tension analogique entre 0V et 5V, le convertisseur la divisera en 2^{10} niveaux (1024 niveaux). Les registres de fonction spéciale ADCON0 et ADCON1 contrôlent le

fonctionnement de l'ADC. Le convertisseur stocke les 8 bits inférieurs dans le registre ADRESL et les bits supérieurs dans le registre ADRESH. Une tension de référence de 5V est requise pour le fonctionnement du convertisseur.

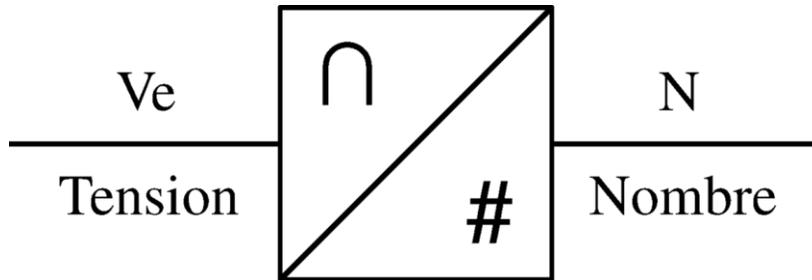


Figure II-17: Symbole du convertisseur analogique numérique.

➤ **Minuteur de WDT**

WDT est un oscillateur séparé sur puce qui fonctionne librement. C'est un oscillateur séparé de OSC1/CLKI. WDT fonctionnera également même si l'appareil est en mode veille. Il est utilisé pour sortir l'appareil du mode veille et également pour générer une réinitialisation de la minuterie de surveillance.

➤ **Mode veille**

PIC16F877A fournit également un fonctionnement en mode veille. Dans ce mode, l'appareil fonctionne à très faible puissance. Tous les périphériques consomment une quantité minimale de courant. Réveillez-vous du mode veille à partir de ressources d'interruption telles que l'interruption timer1, l'interruption UART, l'opération d'achèvement d'écriture EEPROM et bien d'autres.

III.3.2.3 Configuration des broches du microcontrôleur PIC16F877A

Comme cela a été mentionné précédemment, il y a 40 broches de ce microcontrôleur IC. Il se compose de deux temporisateurs 8 bits et un temporisateur 16 bits. Des modules de capture et de comparaison, des ports série, des ports parallèles et cinq ports d'entrée/sortie . [10]

III.4 Les actionnaires

III.4.1 Moteur courant continu

Le moteur courant continu : Un moteur à courant continu fait partie d'une classe de moteurs électriques rotatifs qui convertit l'énergie électrique à courant continu en énergie mécanique. Les types les plus courants reposent sur les forces produites par les champs magnétiques. Presque tous les types de moteurs à courant continu ont un mécanisme interne, électromécanique ou électronique, pour changer périodiquement le sens du courant dans une partie du moteur.

Les petits moteurs à courant continu sont utilisés dans les outils, les jouets et les appareils électroménagers. Le moteur universel peut fonctionner sur courant continu, mais est un poids léger brosse motor utilisé pour les outils électriques portatifs et les appareils. De plus gros moteurs à courant continu sont actuellement utilisés dans la propulsion de véhicules électriques, d'ascenseurs et de palans, et dans les entraînements de laminoirs d'acier. L'avènement de l'électronique de puissance a rendu possible le remplacement des moteurs à courant continu par des moteurs à courant alternatif dans de nombreuses applications.

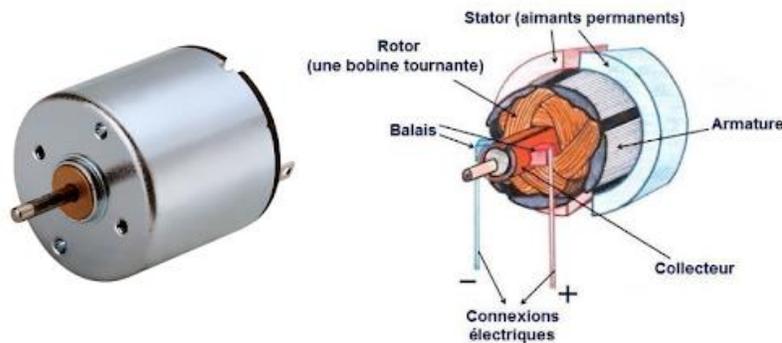


Figure II-18: Moteur à courant continu. [11]

III.4.1.1 Caractéristiques du moteur à courant continu

Les caractéristiques de tout moteur sont déterminées pour connaître les performances. Par cela, nous pouvons conclure où il peut être appliqué et les précautions nécessaires peuvent également être prises pour éviter tout dommage. Par exemple, un moteur en série ne doit pas être démarré directement en appliquant une charge car de forts courants circulent dans les enroulements, ce qui

endommagement en fait l'enroulement. Ainsi, ce type de dommages peut être évité en connaissant ses caractéristiques de performance de telle sorte que nous puissions prendre les mesures de précaution nécessaires pour éviter de tels cas.

Le couple et la vitesse jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement du moteur. Généralement, le couple est produit par le flux qui interagit avec le flux d'induit. L'interaction de ces deux flux développe un couple unidirectionnel qui permet au moteur de tourner. Maintenant, la vitesse à laquelle le rotor doit tourner entre en jeu. La vitesse du rotor dépend généralement de la force contre-électromotrice et du flux produit à l'intérieur du moteur. La relation entre le couple et la vitesse nous explique comment on peut tracer une courbe caractéristique entre eux. Sur la base de la disposition de l'enroulement, ces différents types ont été classés et, par conséquent, les caractéristiques diffèrent également.

L'équation de tension d'un moteur est représentée par :

$$E_b = V - R_a * I_a \quad (\text{II.1})$$

Équation II-1: L'équation de tension d'un moteur.

La vitesse du moteur dépend principalement de la valeur de la force contre-électromotrice et du flux. La relation entre la vitesse et la force contre-électromotrice est donnée par : [11]

$$N \propto E_b / \phi \quad (\text{II.2})$$

Équation II-2: La relation entre la vitesse et la force contre-électromotrice.

III.4.1.2 Variation de la vitesse

Il est possible de faire varier la vitesse du moteur de deux manières différentes. On peut :

- Augmenter la force contre-électromotrice E en augmentant la tension aux bornes de l'induit tout en maintenant le flux de l'inducteur constant. On a un fonctionnement dit à "couple constant". Ce type de fonctionnement est intéressant au niveau de la conduite d'ascenseur.
- Diminuer le flux de l'inducteur (flux d'excitation) par une réduction du courant d'excitation en maintenant la tension d'alimentation de l'induit constante. Ce type

de fonctionnement impose une réduction du couple lorsque la vitesse augmente.
[12]

III.4.1.3 Avantages et inconvénients des moteurs à courant continu

Avantages

- Pas besoin de circuit d'entraînement lors d'un fonctionnement à vitesse constante
- Conception à haute efficacité
- Capable de fonctionner à des vitesses élevées
- Couple de démarrage élevé
- Réactif et facile à utiliser car la vitesse et le couple peuvent être contrôlés par la tension

Désavantages

- La durée de vie du moteur est raccourcie par le besoin de balais et d'un collecteur, qui sont sujets à l'usure.
- Les brosses génèrent à la fois du bruit électrique et acoustique

IV Conclusion

Ce chapitre a porté sur quelques concepts théoriques et a expliqué chaque composant principal du montage afin d'assurer un bon fonctionnement global du système.

Nous avons donné une description détaillée du PIC 16F877A, ce formidable instrument choisi sert à piloter la maquette électronique réalisée pour commander la mobilité du robot et garantir son autonomie lors de son déplacement. La partie de programmation et simulation d'un V.S.L sera expliquée dans le prochain chapitre.

Chapitre III : Simulation et programmation d'un V.S.L

I Introduction :

Le V.S.L est un robot autonome qui détecte et suit la ligne tracée sur l'objet. Le robot suiveur de ligne utilisant le contrôleur proportionnel-dérivateur (PD) est un système autonome qui peut détecter et suivre la trajectoire tracée au sol. La piste se compose d'une bande noire sur la surface blanche ou vice. Le système de contrôle détecte la ligne et manipule le robot pour maintenir l'itinéraire. Dans le même temps, le contrôle PD est utilisé pour corriger constamment les mauvais mouvements pour former un système de contrôle efficace.

II Mouvement de robot

Le processus décisionnel est déterminé par l'Évaluation des conditions du capteur. Les Conditions probables des capteurs sont les suivants :

Détections des capteurs	Mouvement de suiveur de ligne
	Stop (Hors ligne)
	Mouvement rectiligne
	Tourner à droite
	Tourner à droite rapidement
	Tourner à gauche
	Tourner à gauche rapidement
	Stop (ligne de stop)
 : détection de ligne noire  : détection de sol blanc	

Figure III-1: Mouvement du suiveur de ligne par rapport les capteurs

Les données reçues des trois capteurs seront traitées par le microcontrôleur programmé pour effectuer le continu mouvement selon la ligne. La direction et la vitesse de la rotation sont

contrôlées par le microcontrôleur via PWM manipulation. Il y a sept états possibles peut se produire pendant le système de suiveur de ligne. Tous les sept états sont exprimés en six mouvements de sortie qui sont mouvement rectiligne, déviation vers la gauche, déviation vers la gauche rapide, déviation vers la droite, déviation vers la droite rapide et le stop. Les entrées dans ce suiveur de ligne sont des capteurs IR montés au fond du robot. La logique " 1 " indique qu'aucune ligne ne détecte alors que la logique " 0 " indique que la ligne est détectée.

❖ **Tableau PWM par rapport le mouvement et les capteurs du V.S.L**

États	Capteur			PWM de MG et MD	Mouvement
	CD	CC	CG		
1	1	1	1	MG=0 MD=0	Stop (Hors ligne)
2	1	0	1	MG =MD	Mouvement rectiligne
3	1	0	0	MG> MD	Tourne à droite
4	1	1	0	MG=Max et MG>>MD	Tourne à droite rapidement
5	0	0	1	MD>MG	Tourne à gauche
6	0	1	1	MD=Max et MD>>MG	Tourne à gauche rapidement
7	0	0	0	MG=0 MD=0	Stop (ligne de stop)

Tableau III-1: PWM par rapport le mouvement et les capteurs.

CC : capteur centre.

CD : capteur droite.

CG : capteur gauche.

MG : moteur gauche.

MD : moteur droite.

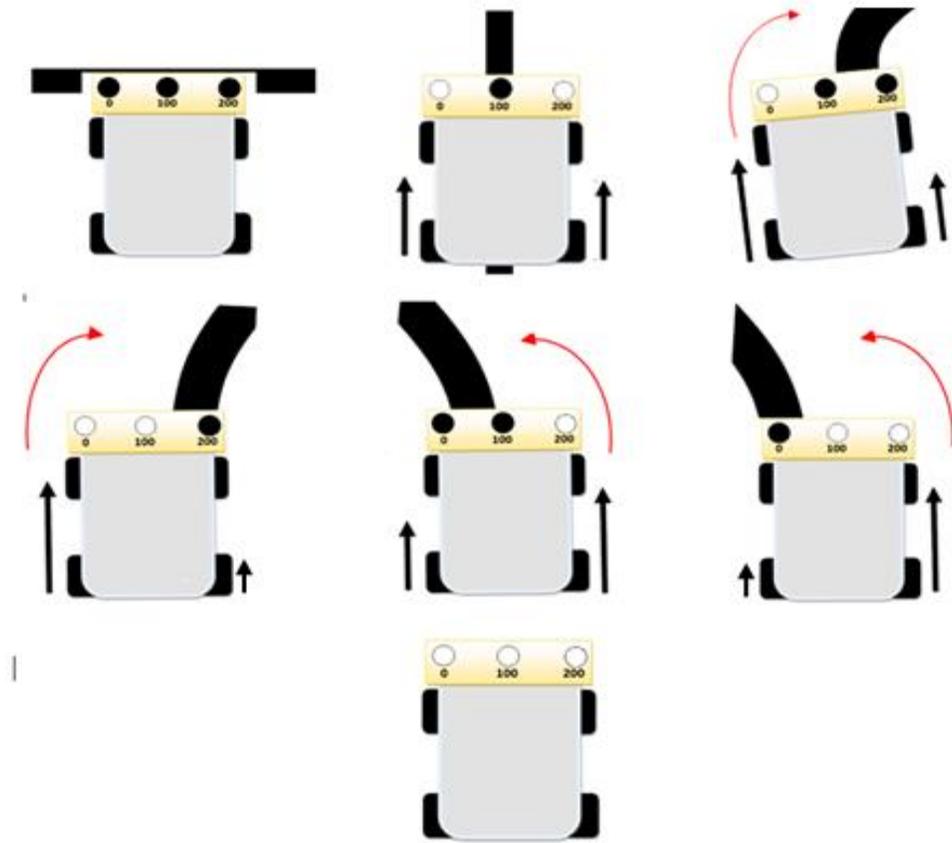


Figure III-2: Mouvement V.S.L.

III Contrôleur

Dans un système de contrôle de processus, la fonction du contrôleur est d'influencer le système de contrôle par signaux de commande de sorte que la valeur des variables commandées soit égale à celle de la valeur de la référence. Le contrôleur peut être connu comme le "cerveau" du système de contrôle de processus.

Contrôleur génère un signal de commande envoyé à l'élément de commande final en fonction de l'écart entre le point de consigne et la valeur mesurée de la variable contrôlée. Le mode contrôleur est le chemin dans que le contrôleur répond à la déviation. Le capteur, l'émetteur et les vannes de régulation sont situés près du processus lui-même, tandis que le contrôleur est situé sur le panneau ou réside en tant que programme à l'intérieur de la mémoire de l'ordinateur.

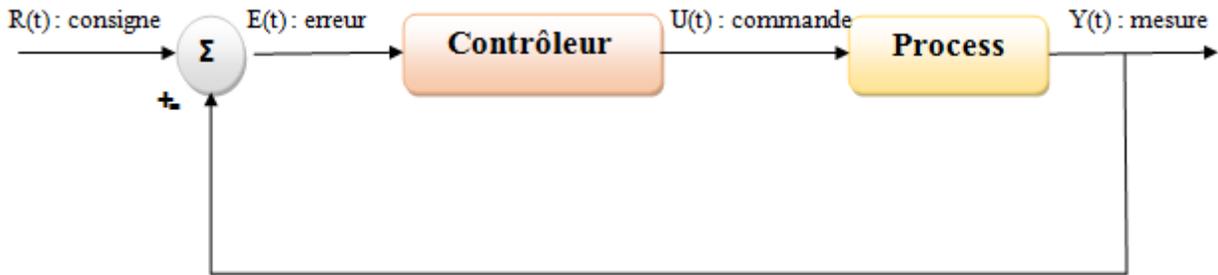


Figure III-3: Structure de contrôleur général.

III.1 Contrôle proportionnel-dérivateur (PD)

Une autre combinaison de contrôles est le contrôle PD, auquel manque le contrôle I du système PID. Le contrôle PD est une combinaison de contrôle anticipatif et de contrôle de rétroaction, car il fonctionne à la fois sur les conditions de processus actuelles et sur les conditions de processus prédites. Dans le contrôle PD, la sortie de contrôle est une combinaison linéaire du signal d'erreur et de sa dérivée. La commande PD contient l'amortissement de la fluctuation par la commande proportionnelle et la prédiction de l'erreur de processus par la commande dérivée.

Comme mentionné, le contrôle PD corrèle la sortie du contrôleur à l'erreur et à la dérivée de l'erreur. [13]

$$u(t) = Kp * e(t) + Kd * \frac{de(t)}{dt} \quad \text{(III.1)}$$

Équation III-1: Contrôle proportionnel-dérivé PD.

Où

- Kd = gain proportionnel
- Kp = gain proportionnel
- $E(t)$ = erreur
- $U(t)$: Signal de sortie

L'équation indique que le contrôleur PD fonctionne comme un contrôleur PID simplifié avec un terme intégral nul. Alternativement, le contrôleur PD peut également être considéré comme une combinaison des équations de contrôle P uniquement et D uniquement. Dans ce contrôle, le but du contrôle D uniquement est de prédire l'erreur afin d'augmenter la stabilité du système en boucle fermée. Le contrôle PD n'est pas couramment utilisé en raison de l'absence du terme intégral. Sans

le terme intégral, l'erreur dans le fonctionnement en régime permanent n'est pas minimisée. Le contrôle PD est généralement utilisé dans les erreurs de fonctionnement en régime permanent n'ont pas besoin d'être minimisées. Dans cette application, l'erreur est liée au signal d'actionnement à la fois par le terme proportionnel et dérivé.

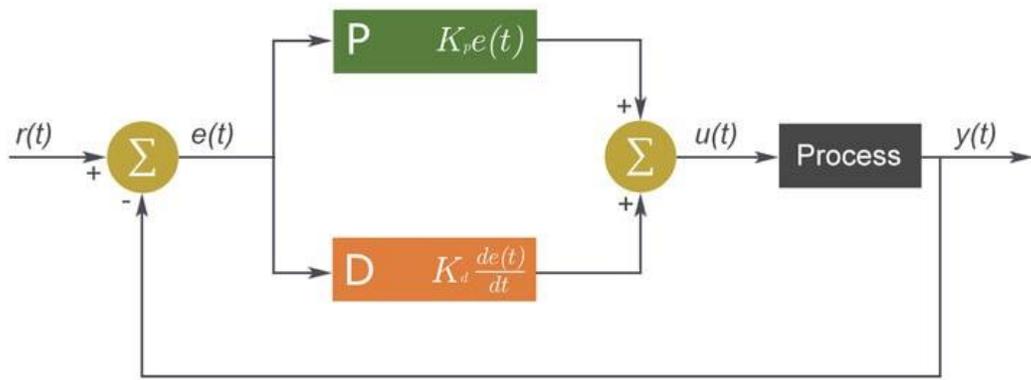


Figure III-4: Diagramme du système de contrôle PD [13].

Ce diagramme détaille le fonctionnement du système de contrôle PD, en corrélation avec le réseau de capteurs et la vitesse du moteur.

III.1.1 Contrôle proportionnel (P)

Le terme proportionnel est produit, dans lequel une valeur de sortie qui est proportionnelle aux présentes valeurs d'erreur. La réponse proportionnelle est ajustée en multipliant l'erreur par un K_p constant, appelé constante de gain proportionnelle. Le terme proportionnel est donné comme suit :

$$u(t) = K_p * e(t) \quad \text{(III.2)}$$

Équation III-2: Contrôle proportionnel (P).

Gain proportionnel élevé entraînant un changement important de la sortie pour un changement donné de l'erreur. Si le gain proportionnel est très élevé, le système devient instable. Alors qu'un petit gain entraîne une petite réponse de sortie à une grande erreur d'entrée et un contrôleur faible réactivité ou moins sensible. Si le gain proportionnel est beaucoup plus faible, l'action de contrôle peut être trop faible en réponse à la théorie de l'accordage et la pratique industrielle impliquent que, le terme proportionnel doit contribuer à la majeure partie de la production

III.1.2 Contrôle dérivé (D)

Le contrôleur dérivé est utilisé avec une combinaison de PD ou PID. Il n'est jamais utilisé seul, car si l'erreur est constante (non nulle), la sortie du contrôleur sera nulle. Dans cette

$$u(t) = Kd * \frac{de(t)}{dt} \quad \text{(III.3)}$$

Équation III-3: Contrôle dérivé (D).

Situation, le contrôleur se comporte avec une erreur de durée de vie zéro, mais en réalité, il y a une erreur (constante). La sortie du contrôleur dérivé est directement proportionnelle au taux de variation d'erreur par rapport au temps, comme indiqué dans l'équation. En supprimant le signe de proportionnalité, on obtient une constante de gain dérivée (Kd). Généralement, le contrôleur dérivé est utilisé lorsque les variables du processeur commencent à osciller ou changent à une vitesse très élevée. Le contrôleur D est également utilisé pour anticiper le comportement futur de la courbe erreur par erreur.

III.2 Suiveur de ligne sans contrôle PD

Nous avons programmé un suiveur de ligne sans algorithme de contrôle PD, et le résultat que le suiveur de ligne a suivi le chemin à une vitesse élevée et un mouvement agressif et instable, avec ses virages à droite et à gauche pour suivre la ligne. [14]

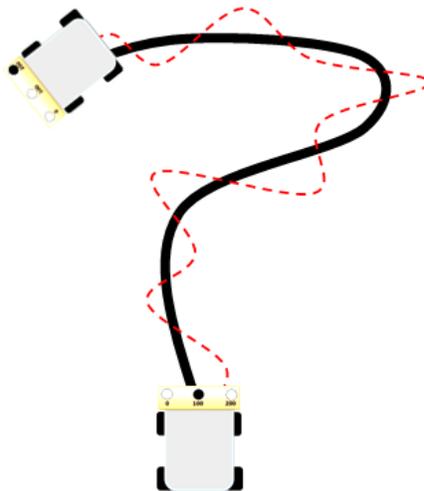


Figure III-5: Mouvement du suiveur de ligne sans PD.

III.3 Suiveur de ligne avec contrôle PD

Notre objectif est de faire en sorte que le Robot suive la ligne noire sur la surface blanche. Pour qu'il suive la ligne avec moins de nombre d'erreurs et d'une manière fluide, nous utilisons l'algorithme PD. Il utilise un capteur IR pour détecter le changement de couleur de l'endroit où il se trouve sûr. S'il s'agit d'un noir, le capteur est sur la ligne. Si c'est blanc, c'est sur le fond. [14]

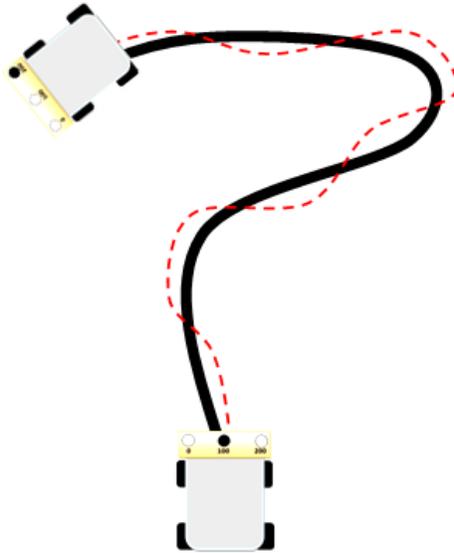


Figure III-6: Mouvement du suiveur de ligne avec PD.

III.4 Algorithme suiveur de ligne avec contrôle PD

PD est un algorithme de contrôle largement utilisé, principalement utilisé dans les industries, Robotique et autres domaines.

III.4.1 Organigramme de l'algorithme

Commençons par passer en revue un organigramme qui couvre les aspects de base du suivi de ligne PD. Espérons que l'organigramme vous aide à comprendre l'algorithme en ce qui concerne le code.

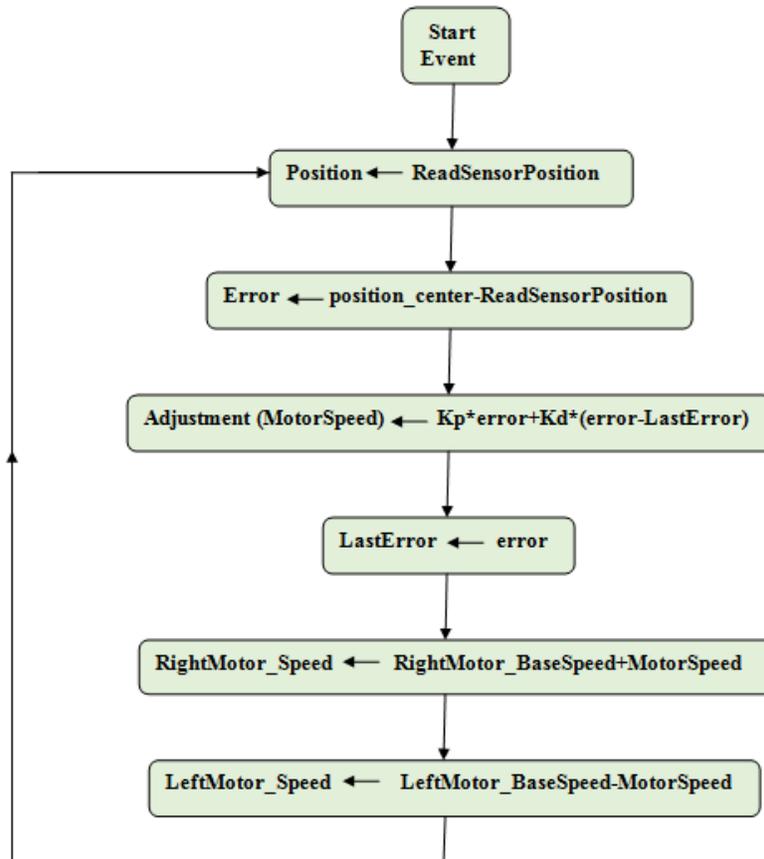


Figure III-7: Organigramme de l'algorithme suiveur de ligne avec contrôle PD.

III.4.1.1 Position actuelle :

La valeur actuelle est évidemment les lectures instantanées du capteur. Par exemple : Si vous utilisez ce capteur matriciel et utilisez 3 capteurs, vous recevrez une lecture de position de 100 si vous êtes sur place, environ 0 si vous êtes trop à l'écart de la ligne et environ 200 si vous êtes loin trop juste.

La fonction ReadSensorPosition() ; renvoie une valeur comprise entre 0 et 200,

```

intReadSensorPosition(PORTB){
switch(PORTB){
case 0x01:
position=200;
break;

```

```
case 0x03:
position=150;
break;
case 0x02:
position=100;
break;
case 0x06:
position=50;
break;
case 0x04:
position=0;
break;
        }
return(position);
}
```

III.4.1.2 L'ERREUR

Erreur Est une mesure de la distance entre le centre du robot et la ligne. Plus le robot est éloigné de la piste, plus l'erreur augmente.

Plus précisément, nous pouvons dire que l'erreur est la différence entre la position actuelle et la position cible.

Int Error=position_center-ReadSensorPosition();

Où

Int Error =100-ReadSensorPosition() ;

Si le suiveur de ligne est à gauche de la ligne, l'erreur est négative. Si c'est à droite de la piste, l'erreur est positive.

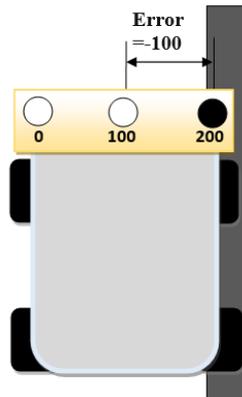


Figure III-8: Exemple d'une erreur.

III.4.1.3 Ajustement

La constante proportionnelle est multipliée par le terme proportionnel.

La constante dérivée est multipliée par le terme dérivé. Le terme dérivé, comme son nom indique la mesure du taux de variation du terme proportionnel.

Maintenant que nous avons calculé notre erreur, la marge par laquelle notre robot dérive sur la piste, il est temps pour nous d'ajuster les vitesses du moteur en conséquence. Logiquement, une erreur de -50 en d'autres termes une lecture de position de 150 signifie que notre robot est à gauche, ce qui signifie que notre robot doit aller un peu à droite, ce qui signifie que le moteur droit doit ralentir et le moteur gauche doit accélérer. La valeur MotorSpeed est déterminée à partir de l'équation elle-même. RightBaseSpeed et LeftBaseSpeed sont les vitesses auxquelles le robot fonctionne. Toute valeur PWM comprise entre 0 et 255.

III.4.2 Programme

Le programme de suiveur de ligne et l'algorithme PD sont écrits avec la langue C dans MICROC PRO

L'algorithme PD utilise deux constantes Kp et Kd pour fonctionner. Ce sont des notations abrégées pour la proportionnalité et différentielles respectivement. Ils contrôlent le calcul de

l'erreur et affectent donc la vitesse des moteurs.

Explication du code

Déclaration de toutes les variables de suiveur de ligne :

```
int position=100;
float Kp=1;
float Kd=1.4;
int MotorSpeed=0;
int RightMotor_MaxSpeed=250;
int LeftMotor_MaxSpeed=250;
int RightMotor_BaseSpeed=200;
int LeftMotor_BaseSpeed=200;
int LeftMotor_Speed=0;
int RightMotor_Speed=0;
int position_center=100;
```

La fonction ReadSensorPosition() est d'abord utilisée dans le code pour lire les valeurs des capteurs IR (PORTB) et donner la position du suiveur de ligne :

```
Int ReadSensorPosition(PORTB){
switch(PORTB){
case 0x06:
position=200;
break;
case 0x04:
position=150;
break;
case 0x05:
position=100;
break;
case 0x01:
position=50;
```

```
break;
case 0x03:
position=0;
break;
        }
return(position);
    }
```

```
void main()
```

Dans ce code en fait une déclaration les PORT C comme des sortie, les PORT B comme des entrées et les port CCP1, CCP2 comme fournisseur de PWM :

```
{ intLastError=0;
  PWM1_Init(1000);
  PWM2_Init(1000);
  PWM1_Start();
  PWM2_Start();
  TRISB=1;
  TRISC=0;
  PORTB=0;
```

Après avoir calculé la valeur d'erreur, les moteurs doivent être déplacés de manière à minimiser l'erreur. La correction PWM est implémentée par le code suivant :

```
while(1)
{
intError=position_center-ReadSensorPosition();
MotorSpeed=Kp*Error+Kd*(Error-LastError);
LastError=Error;
RightMotor_Speed=RightMotor_BaseSpeed+MotorSpeed;
LeftMotor_Speed=LeftMotor_BaseSpeed-MotorSpeed ;
```

En fait une détection et arrêt si le suiveur de ligne est sorti de trajectoire ou est sur la ligne de stop :

```

if(portb==0 || portb==0x07){
RightMotor_Speed=0 ;
LeftMotor_Speed=0;
PORTC.RC0=1;
}
else {PORTC.RC0=0;}

```

La fonction PWMx_Set_Duty () est définie pour tourner les moteurs avec les valeurs de PWM(RightMotor_speed , LeftMotor_Speed). Le code suivant implémente la commande du moteur :

```

PWM1_Set_Duty(RightMotor_speed) ;
PWM2_Set_Duty(LeftMotor_Speed) ; }

```

III.5 Simulation Circuit suiveur de ligne

Pour ce circuit, nous supposons que l'interrupteur LOGICSTATE est le capteur IR, dans le cas lorsque les interrupteurs S1, S3 sont égaux à 1 et S2 égal à 0 cela veut dire que le suiveur de ligne est en centre et les moteur gauche et droite avancera avec un le même PWM qui est égal à 200 dans les autres cas le PWM son change, Comme le montrent les figures « III-10:PWM de tous les cas de mouvement » .

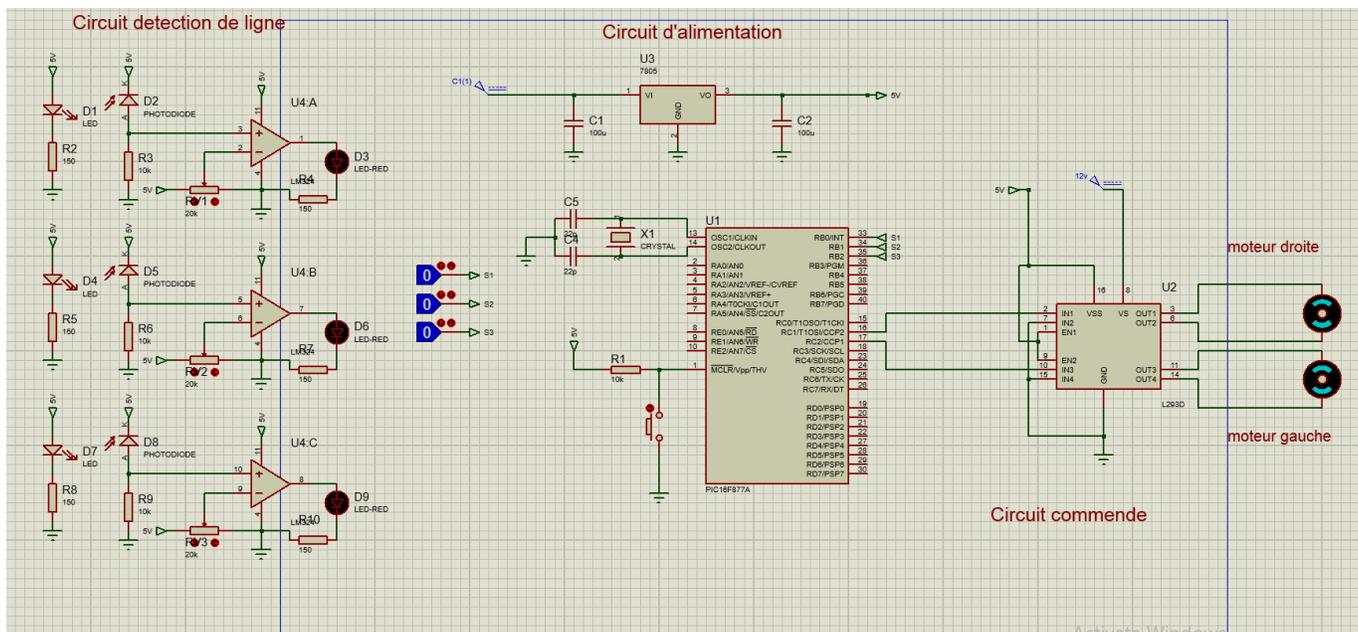
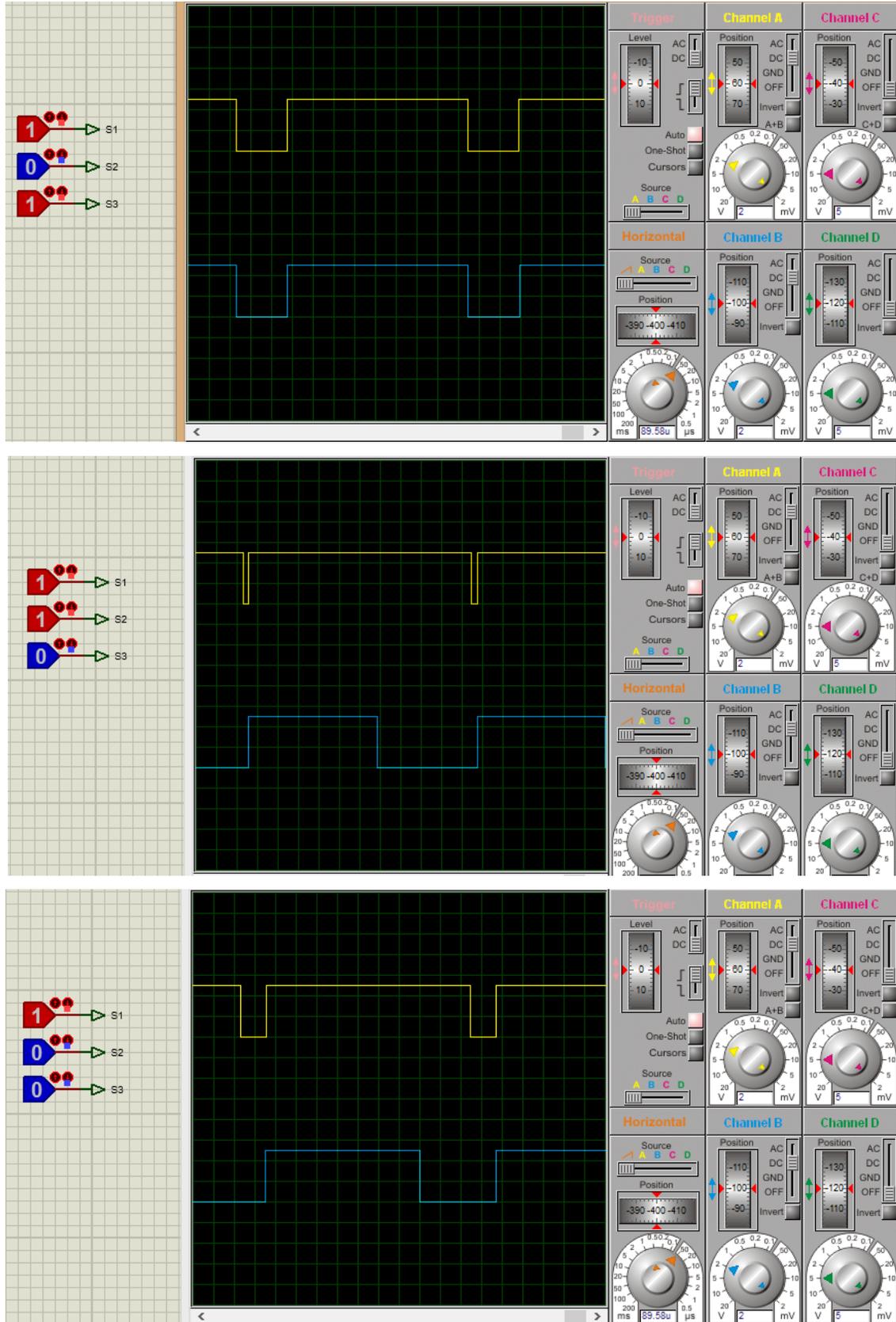


Figure III-9: circuit générale.



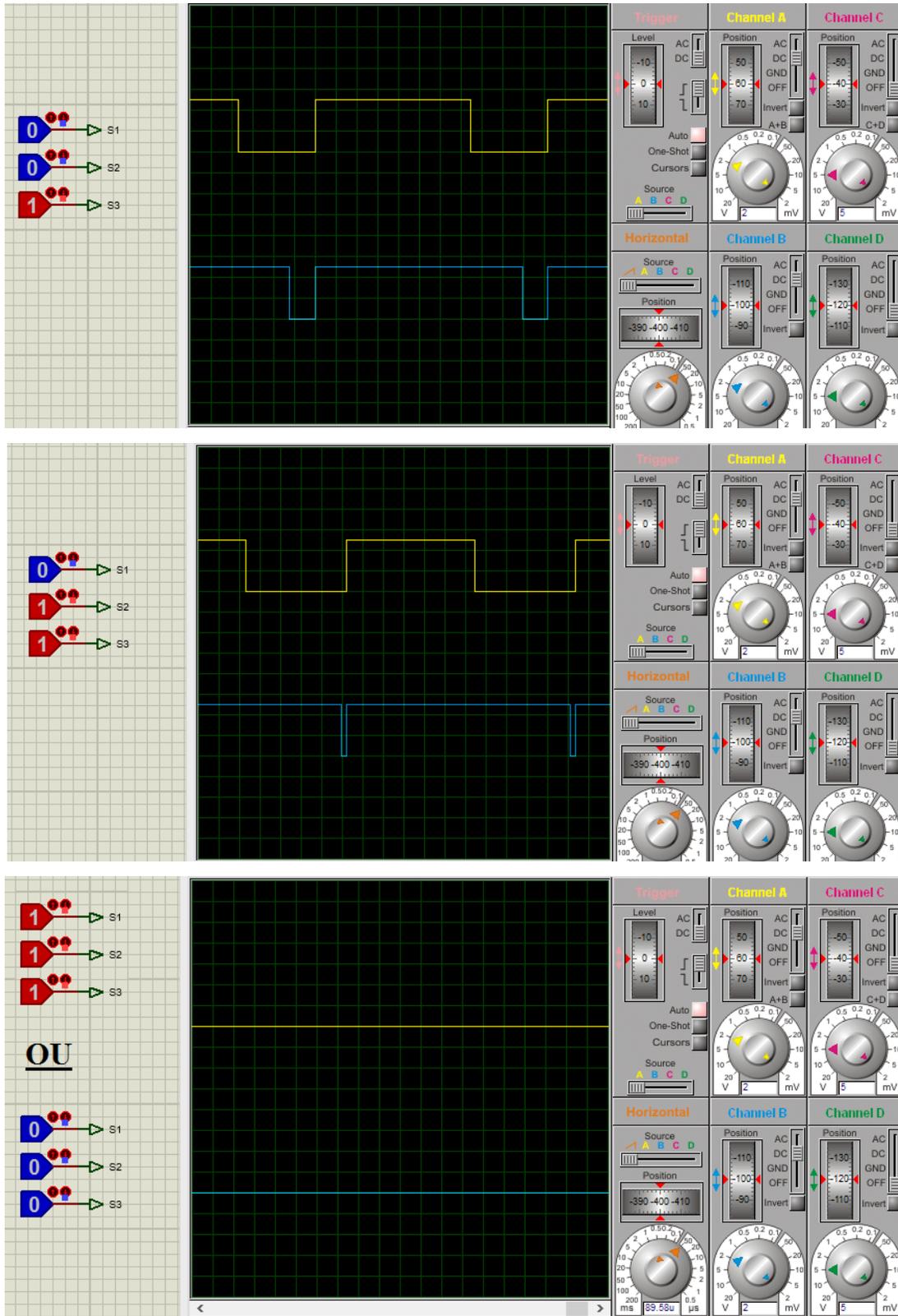


Figure III-11: PWM de tous les cas de mouvement.

PWM moteur droite : - - - - -

PWM moteur gauche : - - - - -

III.6 Les programme utiliser :

III.6.1 Proteus

La CAO électronique Proteus est une suite logicielle, éditée par la société Labcenter Electronics et revendue en France exclusivement par Multipower. Proteus est actuellement (2020) la seule CAO électronique qui permet la conception d'un système électronique complet et de le simuler, y compris avec le code des microcontrôleurs. Pour ce faire, elle inclut un éditeur de schéma (ISIS), un outil de placement-routage (ARES), un simulateur analogique-numérique, un environnement de développement intégré pour microcontrôleurs, un module de programmation par algorigrammes ainsi qu'un éditeur d'interface pour smartphone afin de piloter à distance des cartes Arduino ou Raspberry. [15]

III.6.2 mikroC PRO

Le mikroC PRO pour PIC prend actuellement en charge plus de 808 MCU, L'environnement idéal pour écrire, compiler, exécuter et déboguer code des pics. [16]

IV Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons simulé le suiveur de ligne et étudié son mouvement et le suivre de trajectoire et nous avons remarqué que le suiveur de ligne ne se déplace pas en douceur, donc nous avons ajouté le régulateur proportionnel-dérivateur (PD) dans le programme de mouvement du suiveur de ligne dans le microcontrôleur PIC 16F877A et la réponse du robot était meilleure que la précédente, et cela, en réduisant le taux erreur dans le suivi de trajectoire.

Conclusion générale

Conclusion générale

La robotique est une branche de l'ingénierie qui traite des concepts, de la conception, de la fabrication et de l'exploitation. La robotique implique des domaines multidisciplinaires tels que l'informatique, l'électronique, l'intelligence artificielle.

Le suiveur de ligne a évolué en tant que technique de navigation pratique et fiable par laquelle des robots mobiles autonomes naviguent dans un environnement intérieur de manière contrôlée.

Dans l'industrie. Il peut être utilisé dans le transport lourd et risqué produit. Le transport de produits radioactifs à l'intérieur d'une usine est très risqué pour la vie humaine.

Notre suiveur de ligne est un petit véhicule re programmable qu'il suit une ligne noire sur une surface blanche ou une ligne blanche sur une surface noire la navigation autonome est liée à la disponibilité de capteurs infrarouge externes installées sur le côté avant-bas du robot qui acquièrent des informations et envoient ces lectures à microcontrôleur PIC16F877A .

Les V.S.L typiques ont des mouvements saccadés en raison de la nature soudaine de la détection de ligne et de la correction du chemin. Pour cette raison ,nous avons appliqué l'algorithme de contrôle proportionnel-dérivateur PD. Cela permet de se déplacer plus rapidement et de suivre son chemin avec beaucoup de rythme.

Le mécanisme de direction est simple dans ce robot, quatre roues sont utilisées, deux roues sont sur la partie avant indépendante et deux roues sont sur la partie derrière connectée avec les moteurs du robot.

Ce projet nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques et d'acquérir une expérience notamment :

- La compréhension de l'architecture de microcontrôleurs PIC16F877A.
- La compréhension du régulateur proportionnel-dérivateur (PD) et l'implémentation de l'algorithme PD.
- la programmation de microcontrôleur PIC16877A.
- La simulation V.S.L en Proteus

Perspective

Nous allons développer ce robot suiveur de ligne par ajouté un circuit détection obstacle et aussi développera l'algorithme de robot suiveur de ligne pour être très stable.

Annexes

Annexe 1 : Tableau de Configuration des broches du microcontrôleur PIC16F877A

N° Broche	La Broche	Fonctionnement
1	MCLR	La première broche est la broche claire principale de ce circuit intégré. Il réinitialise le microcontrôleur et est actif bas, ce qui signifie qu'il doit constamment recevoir une tension de 5 V et si 0 V est donné, le contrôleur est réinitialisé. La réinitialisation du contrôleur le ramènera à la première ligne du programme qui a été gravé dans le CI.
2	RA0/AN0	PORTA se compose de 6 broches, de la broche 2 à la broche 7, toutes sont des broches d'entrée/sortie bidirectionnelles. La broche 2 est la première broche de ce port. Cette broche peut également être utilisée comme broche analogique AN0. Il est intégré dans un convertisseur analogique-numérique .
3	RA1/AN1	Cela peut être l'entrée analogique 1.
4	RA2/AN2/Vref-	Elle peut également servir d'entrée analogique2. Ou une tension de référence analogique négative peut lui être donnée.
5	RA3/AN3/Vref+	Elle peut servir d'entrée analogique 3. Ou peut servir de tension de référence positive analogique.
6	RA0/T0CKI	Pour timer0, cette broche peut servir de broche d'entrée d'horloge, le type de sortie est à drain ouvert.
7	RA5/SS/AN4	Cela peut être l'entrée analogique 4. Il existe également un port série synchrone dans le contrôleur et cette broche peut être utilisée comme sélection d'esclave pour ce port.
8	RE0/RD/AN5	PORTE commence de la broche 8 à la broche 10 et c'est également un port d'entrée/sortie bidirectionnel. Il peut s'agir de l'entrée analogique 5 ou pour le port esclave parallèle, il

		peut agir comme une broche de "contrôle de lecture" qui sera active à l'état bas.
9	RE1/WR/AN6	Il peut s'agir de l'entrée analogique 6. Et pour le port esclave parallèle, il peut agir comme le « contrôle d'écriture » qui sera actif à l'état bas.
10	RE2/CS/A7	Il peut s'agir de l'entrée analogique 7, ou pour le port esclave parallèle, elle peut servir de « sélection de contrôle » qui sera également active à l'état bas, tout comme les broches de contrôle de lecture et d'écriture.
11-32	VDD	Ces deux broches sont l'alimentation positive pour les broches d'entrée/sortie et logique. Les deux doivent être connectés au 5V.
12-31	VSS	Ces broches sont la référence de masse pour les broches d'entrée/sortie et de logique. Ils doivent être connectés au potentiel 0.
13	OSC1/CLKIN	Il s'agit de l'entrée de l'oscillateur ou de la broche d'entrée de l'horloge externe.
14	OSC2/CLKOUT	Il s'agit de la broche de sortie de l'oscillateur. Un résonateur à cristal est connecté entre les broches 13 et 14 pour fournir une horloge externe au microcontrôleur. ¼ de la fréquence d'OSC1 est délivré par OSC2 en cas de mode RC. Ceci indique le taux de cycle d'instruction.
15	RC0/T1OCO/T1CKI	PORTC se compose de 8 broches. C'est aussi un port d'entrée/sortie bidirectionnel. Parmi eux, la broche 15 est la première. Il peut s'agir de l'entrée d'horloge du temporisateur 1 ou de la sortie de l'oscillateur du temporisateur 2.
16	RC1/T1OSI/CCP2	Il peut s'agir de l'entrée de l'oscillateur du temporisateur 1 ou de l'entrée de capture 2/sortie de comparaison 2/sortie PWM 2.
17	RC2/CCP1	Il peut s'agir de l'entrée de capture 1/de la sortie de comparaison 1/de la sortie PWM 1.

18	RC3/SCK/SCL	Il peut être la sortie pour les modes SPI ou I2C et peut être l'entrée/sortie pour l'horloge série synchrone.
23	RC4/SDI/SDA	Il peut s'agir des données SPI dans la broche. Ou en mode I2C, il peut s'agir d'une broche d'entrée/sortie de données.
24	RC5/SDO	Il peut s'agir des données sortant de SPI en mode SPI.
25	RC6/TX/CK	Il peut s'agir de l'horloge synchrone ou de la broche de transmission asynchrone USART.
26	RC7/RX/DT	Il peut s'agir de la broche de données synchrone ou de la broche de réception USART.
19-20- 21-22- 27-28- 29-30	PORTD, RD	Toutes ces broches appartiennent à PORTD qui est à nouveau un port d'entrée et de sortie bidirectionnel. Lorsque le bus du microprocesseur doit être interfacé, il peut servir de port esclave parallèle.
33-40	PORT B	Toutes ces broches appartiennent au PORTB. Dont RB0 peut être utilisé comme broche d'interruption externe et RB6 et RB7 peuvent être utilisés comme broches de débogueur en circuit.

Références

- [1] «Rehaïem Abdelmoumen, « Conception, réalisation et commande d'un robot mobile »,».
- [2] «Ziane Med Lamine, « Navigation flou d'un robot mobile », Mémoire de master, Université».
- [3] «« http://laris.univ-angers.fr/_resource/logo/ThesePaillatJeanLuc.pdf»».
- [4] «david-filliat.developpez,» [En ligne]. Available: <https://david-filliat.developpez.com/tutoriel/robotique-mobile/?page=introduction>. [Accès le 15 6 2021].
- [5] «electronique_theorie_reg_tension,» [En ligne]. Available: https://www.sonelec-musique.com/electronique_theorie_reg_tension.html.
- [6] «electronicshub,» [En ligne]. Available: [https://www.electronicshub.org/ir-sensor/..](https://www.electronicshub.org/ir-sensor/)
- [7] «watelectronics.com,» [En ligne]. Available: [https://www.watelectronics.com/lm324-comparator-ic-working-applications/..](https://www.watelectronics.com/lm324-comparator-ic-working-applications/)
- [8] «etechnophiles.com,» [En ligne]. Available: [https://www.etechnophiles.com/l293d-motor-driver-module-ic-datasheet-pinouts/..](https://www.etechnophiles.com/l293d-motor-driver-module-ic-datasheet-pinouts/)
- [9] «microcontrollerslab,» [En ligne]. Available: [https://microcontrollerslab.com/pic-microcontroller-architecture/..](https://microcontrollerslab.com/pic-microcontroller-architecture/)
- [10] «microcontrollerslab,» [En ligne]. Available: [https://microcontrollerslab.com/pic16f877a-introduction-features/..](https://microcontrollerslab.com/pic16f877a-introduction-features/)
- [11] «slideshare,» [En ligne]. Available: <https://www.slideshare.net/AmeyaNijasure/dc-motors-57038800>. [Accès le 18 7 2021].
- [12] «watelectrical,» [En ligne]. Available: [https://www.watelectrical.com/characteristics-of-a-dc-motor-shunt-series-compound/..](https://www.watelectrical.com/characteristics-of-a-dc-motor-shunt-series-compound/)

- [13] «energieplus-lesite.be,» [En ligne]. Available: [https://energieplus-lesite.be/techniques/ascenseurs7/moteur-a-courant-continu/..](https://energieplus-lesite.be/techniques/ascenseurs7/moteur-a-courant-continu/)
- [14] «eng.libretexts.org,» [En ligne]. Available: [https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Industrial_and_Systems_Engineering/Book%3A_Chemical_Process_Dynamics_and_Controls_\(Woolf\)/09%3A_Proportional-Integral-Derivative_\(PID\)_Control/9.02%3A_P%2C_I%2C_D%2C_PI%2C_PD%2C_and_PID_control?fbclid=IwAR0RWGkn2UUC6](https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Industrial_and_Systems_Engineering/Book%3A_Chemical_Process_Dynamics_and_Controls_(Woolf)/09%3A_Proportional-Integral-Derivative_(PID)_Control/9.02%3A_P%2C_I%2C_D%2C_PI%2C_PD%2C_and_PID_control?fbclid=IwAR0RWGkn2UUC6).
- [15] A. K. R. T. M. Anirudh Sunil Nath, «IMPLEMENTATION OF PID CONTROL TO REDUCE WOBBLING IN A LINE FOLLOWING ROBOT».
- [16] «wikipedia,» [En ligne]. Available: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Proteus_\(%C3%A9lectronique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Proteus_(%C3%A9lectronique)).
- [17] «mikroe,» [En ligne]. Available: <https://www.mikroe.com/mikroc-pic>.
- [18] «usinenouvelle,» [En ligne]. Available: <https://www.usinenouvelle.com/expo/vehicule-a-guidage-optique-agv-wease-p288020612.html>. [Accès le 15 6 2021].
- [19] «weebly,» [En ligne]. Available: <https://intelligence-artificielle-robotique.weebly.com/les-robots-holonomes-et-non-holonomes.html>. [Accès le 15 6 2021].
- [20] «rpp,» [En ligne]. Available: <https://rpp.pe/mundo/actualidad/fotos-estos-robots-de-combate-britanicos-pueden-unirse-entre-si-noticia-1077894>. [Accès le 15 6 2021].
- [21] «upme.fr,» [En ligne]. Available: <https://www.upme.fr/electronique/choisir-un-drone-tout-ce-que-vous-devez-savoir-avant-den-acheter-un/>. [Accès le 16 6 2021].