République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Fares yahia Médéa

Faculté des sciences et Technologies Département Génie Mécanique

****

****

Pour l'obtention d'un diplôme de master en mécatronique

Thème :

Etude & Réalisation d'un Robot Auto-équilibré à base Arduino nano



Sujet Proposé par les encadreurs :

- **Sofi Naima**

Présenté par :

*** Kerbouci Houssem Eddine M'Hamed**
*** Benaissa Abdelraouf**

PROMOTION 2021/2022

Remerciements

Ce remerciement est destiné primordialement pour rendre une générosité aux maitres d’enseignement notamment aux personnes ayant la faculté pour ce travail à présent terminé et je sais sans cesse que les dernières semaines ont été intenses et ont nécessité beaucoup de sacrifices.

Je tiens effectivement à remercier l'ensemble du travail qui a effectué avec l'équipe toute les démarches.

Après des semaines d'efforts et de rigueur, on a terminés cette mémoire avec des compétences professionnelles démontré toute les facultés.

En effet, nous avons apprécié toutes les qualités d'écoute et les envies pour apprendre les épreuves de la réussite. Je souhaite beaucoup de succès dans notre vie professionnelle, et au vu des compétences dont nous a fait preuve.

Merci encore et bon courage !



Dédicace

Il est très souhaitable de dédier ce témoignage à l'effet de donner une reconnaissance à nos objectifs d'effort vers ce que nous avons appris dans ce domaine d'étude d'avenir qui ne cesse jamais.

J'offre en principe cette dédicace spécialement à mes parents notamment à ma sœur ainsi que les vraies proches sans oublier le soutien morale des confrères et des consœurs.

Ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à mère

ملخص

العمل المنجز يهدف الى تصميم نظام البندول المقلوب المتنقل ذي العجلتين و تثبيته حول موقعه العمودي . يمكن تقسيم العمل المنجز الى ثلاثة اقسام القسم الاول يتطرق الى التعرف على انواع الروبوتات و مهامها و مجالات استعمالها . القسم الثاني يتناول انواع المكونات المستحقة لإنجاز مشروعنا هذا و مبدا تشغيلها . اما القسم الثالث يتكون من تصميم الهيكل و كيفية تركيب اجهزة قياس التسارع و سرعة الدوران لتقدير امالة الروبوت بالإضافة الى سرعة الزاوية وتقديم النمذجة الديناميكية للهيكل .

المفاتيح

PID مصحح ,جهاز قياس التسارع, جهاز قياس سرعة الدوران ,الروبوت.

Résumé :

Le travail effectué vise à concevoir un système de pendule inversé mobile à deux roues et à l'installer autour de sa position verticale. Le travail réalisé peut être divisé en trois sections : la première section traite de l'identification des types de robots, de leurs tâches et de leurs domaines d'utilisation. La deuxième section traite des types de composants nécessaires à la réalisation de ce projet et du principe de leur fonctionnement. Quant à la troisième section, elle consiste à concevoir la structure et comment installer des accéléromètres et la vitesse de rotation pour estimer l'inclinaison du robot en plus de la vitesse angulaire et fournir une modélisation dynamique de la structure.

Les mots clés

Robot. , accéléromètre, gyromètre, correcteur PID

Abstract :

The work carried out aims to design a mobile inverted pendulum system with two wheels and to install it around its vertical position. The work carried out can be divided into three sections: the first section deals with the identification of the types of robots, their tasks and their areas of use. The second section discusses the types of components needed to complete this project and the principle of their operation. As for the third section, it consists of designing the structure and how to install accelerometers and rotational speed to estimate the inclination of the robot in addition to the angular speed and provide dynamic modeling of the structure.

Keywords:

Robot. , accelerometer, gyrometer, PID corrector

Sommaire

- **Introduction général** ……..……01

CHAPITRE - I :
GENERALITES SUR LA ROBOTIQUE

I.1 – Introduction :……03
I.2 - Définition sur la robotique :.....…..03
I.2.1 - La définition d'un robot mobile.....….03
I.2.2 - Etymologie du mot robot .....….03
I.3 – Historique :……04
I.4 - Différent Type De Robot :……04
I.4.1 - Les robots Fixés.....…...04
I.4.2 - Classification Des Robots Fixés .....…..05
I.4.2.1 - Robot Cartésien * Caractéristiques .....…...05
I.4.2.2 - Robot Cylindrique * Caractéristiques.....…...05
I.4.2.3 - Robot Sphérique * Caractéristiques.....…..06
I.4.2.4 - Robot SCARA * Caractéristiques.....…...06
I.4.2.5 - Robot Anthropomorphe * Caractéristiques.....…...07
I.4.3 – Les robots mobiles……..……..…07
I.4.4 - Classification des robots mobiles…….……07
I.4.4.1 - Robots mobiles à roues.....….07
I.4.4.2 - Robots mobiles à chenilles.....…..08
I.4.4.3 - Robots mobiles à pattes……..……..….08
I.4.4.4 - Robots mobiles volants……..……..….08
I.4.4.5 - Robots mobiles sous-marins……..…….09
I.4.4.6 - Robots mobiles hybrides ……09
I.5 - Classes des robots à roues :……...…09
I.5.1- Robot Unicycle……...10
I.5.2- Robot Tricycle……10
I.5.3 -Robot Voiture ……11
I.5.4 -Robot omnidirectionnel ……...……..11
I.6 - Comparaison des déférents types :…….……..12
I.7 - Mode de fonctionnement :……...……12
I.8 - Caractéristiques d'un robot :……..……13
I.9 - Domaines d'application des robots :…….……..13
I.9.1 - L'industrie…….……....13
I.9.2 - Le domaine militaire…….…14
I.9.3 - La santé…….…14
I.10 - Les avantages des robotiques :…….……15
I.11 – Conclusion :……...……..16

CHAPITRE - II :
CHOIX DU MATERIEL

II.1 – Introduction :……17
II.2 - Les microcontrôleurs :……17
II.3 - Définition d'une carte arduino :……17
II.3.1 - Les types des cartes arduino……18
II.3.1.1 - Carte arduino nano……18
II.3.1.2 - Carte Arduino uno. ……19
II.3.1.3 - Carte Arduino Mega 2560……19
II.3.2 - Alimentation de la carte Arduino Nano……20
II.3.3 - Description de la carte arduino. ……20
II.4 - Les moteurs :……23
II.4.1 - Moteur à courant continue ……23
II.4.1.1 - Principe de fonctionnement ……24
II.4.2 - Moteur pas à pas ……25
II.4.2.1 - Le principe de fonctionnement ……25
II.4.3 - Servomoteur ……26
II.4.4 - Motoréducteur ……27
II.4.4.1 - Schéma de fonctionnement d'un réducteur ……27
II.5 - Contrôle de sens et vitesse de rotation du moteur à courant continue ..……27
II.5.1 - Principe et structure du pont en H ……27
II.5.2 - Les driver moteurs l298n l293d ……29
II.5.2.1 - Driver L293 (D) ……29
II.5.2.2 - Caractéristiques techniques du composant L293 (D) ……30
II.5.2.3 - Driver L298N ……30
II.5.3 - Exemple Commande moteur ……31
II.6. - Module LM2596 :……32
II.6.1 - Caractéristiques :……32
II.7 - Les capteurs utilisent :……33
II.7.1 - Présentation du MPU6050……33
II.7.2 - Spécifications du MPU6050……33
II.7.3 - Connexion du MPU6050 à Arduino……34
II.7.4 - Accéléromètre ……34
II.7.5 – Gyroscope……34
II.8 - Les Rous :……35
II.8.1 - Spécifications techniques de la roue 65 mm de robot mobile……35
II.9 - La batterie d'alimentation :……35
II.10 - Plaque pvc forex :……36
II.11 – Conclusion :……37

CHAPITRE - III : ASSERVISSEMENT DE PID

III.1 – Introduction :……..…….38
III.2 - Principe de fonctionnement du robot auto équilibré :……..…..38
III.3 - L'objectif de l'asservissement d'un moteur avec un régulateur PID :……...39
III.4 - Les coordonnées de robot :……..…39
III.5 - La commande PID :……..…..40
III.5.1 - Schéma de régulateur PID……....41
III.5.2 - Implémentions de PID numérique sur Arduino……..……..42
III.5.3 - Correcteur proportionnelle……....42
III.5.4 - La consigne est constante et la sortie s'est stabilisée à sa valeur finale…….…...42
III.5.5 - La sortie a atteint son état permanent et on note que l'écart n'est pas nul....…43
III.5.6 - Le dépassement……....43
III.5.7 - La rapidité……..……43
III.6 - Correcteur intégrale :……..……..44
III.6.1 - Correcteur P.I. (actions proportionnelle et intégrale)……..…….44
III.6.2 - Schéma bloc de référence PI……..……..44
III.6.3 - Principe de fonctionnement ……44
III.7 - Correcteur Dérivé :……...……45
III.7.1 - Schéma bloc de référence PD……..……45
III.7.2 - Correcteur PD (correcteur proportionnelle dérivé)……..…45
III.7.3 - Principe de fonctionnement ……..45
III.8 - Correcteur proportionnel Intégrateur Dérivateur PID :……46
III.8.1 - Principe de fonctionnement ……...46
III.9 - Les déférentes méthodes de correction :……47
III.9.1 - PID à structure série……..……..47
III.9.2 - PID à structure parallèle……...48
III.9.3 - PID à structure mixte……...48
III.10 - Tableau récapitulatif des correcteurs usuels :……...49
III.11 - Tableau des actions de PID :……..……...……50
III.12 - Organisation de système en boucle fermée :……..…….50
III.13 - Organigramme de fonctionnement de robot auto balance :……..…51
III.14 - Conclusion :……...…52

CHAPITRE - IV :
CONCEPTIONS ET REALISATIONS

IV.1 – Introduction :……53
IV.2 - Mise en place et fonctionnement du mpu6050 :……..…..53
IV.3 - Logiciels utilisés :…….……54
IV.3.1 - ISIS PROTEUS…….54
IV.3.2 - Logiciel de programmation Arduino…….……54
IV.3.3 - Bus I2C……..55
IV.4 - Comprendre la lecture du gyroscope :……...……..56
IV.4.1 - Positionnement du gyroscope……57
IV.5 - La librairie PID sur arduino :…….……57
IV.6 – Hardware :……58
IV.6.1 - Etape 1 : Réalisation Pratique du robot ……58
IV.6.2 - Etape 2 : Le montage et câblage……...……59
IV.6.3 - Etape 3 : Raccordement des composants…….……..59
IV.6.4 - Etape 4 : Positionnement du gyroscope…….……60
IV.6.5 - Etape 5 : Positionnement de batterie……60
IV.6.6 - Etape 6 : La forme finale du robot ……...…….61
IV.6.7 - Etape 7 : téléchargé le programme vers arduino……61
IV.7 – Conclusion :……..…….62
Conclusion générale……63
Bibliographie ……...……64

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE :

I- INTRODUCTION SUR LA ROBOTIQUE :

II- CHOIX DU MATERIEL :

III- ASSERVISSEMENT DE PID :

IV- CONCEPTION ET REALISATION :

Chapitre I

- **Figure * 1.01** *** **R**obot mobile autonome.
- **Figure * 1.02 *** S**chéma de robot Cartésien.
- **Figure * 1.03 *** R**obot Cartésien Toshiba.
- **Figure * 1.04 *** S**chéma de robot Cylindrique.
- **Figure * 1.05 *** R**obot Seiko.
- **Figure * 1.06 *** S**chéma Robot FANUC.
- **Figure * 1.07 *** R**obot FANUC.
- **Figure * 1.08 *** S**chéma de robot SCARA.
- **Figure * 1.09 *** R**obot Sankyo.
- **Figure * 1.10 *** R**obot Anthropomorphe.
- **Figure * 1.11 *** R**obot Kawasaki.
- **Figure * 1.12 *** R**obots mobiles à roues.
- **Figure * 1.13 *** R**obots mobiles à chenilles.
- **Figure * 1.14 *** R**obots mobiles à pattes.
- **Figure * 1.15 *** R**obots mobiles volants.
- **Figure * 1.16 *** R**obots mobiles sous-marins.
- **Figure * 1.17 *** R**obots mobiles hybrides.
- **Figure * 1.18 *** R**obot unicycle.
- **Figure * 1.19 *** R**obot tricycle.
- **Figure * 1.20 *** R**obot voiture.
- **Figure * 1.21 *** R**obot omnidirectionnel.
- **Figure * 1.22 *** R**obot industrielle.
- **Figure * 1.23 *** R**obot militaire.
- **Figure * 1.24 *** R**obot chirurgicale.

Chapitre II

- **Figure* 2.01 *** **L**es Microcontrôleurs.
- **Figure* 2.02 *** **E**xemple carte arduino.
- **Figure* 2.03 *** **C**arte arduino nano.
- **Figure* 2.04 *** **C**arte arduino uno.
- **Figure* 2.05 *** **C**arte arduino méga 2560.
- **Figure* 2.06 *** **D**escription de la carte.
- **Figure* 2.07 *** **D**escription de Moteur à courant continue.
- **Figure* 2.08 *** **M**oteur à courant continue.
- **Figure* 2.09 *** **P**rincipe de fonctionnement moteur DC.
- **Figure* 2.10 *** **D**escription de Moteur pas à pas.
- **Figure* 2.11 *** **M**oteur pas à pas.
- **Figure* 2.12 *** **D**escription d'un servomoteur.
- **Figure* 2.13 *** **S**ervomoteur.
- **Figure* 2.14 *** **M**otoréducteur.
- **Figure* 2.15 *** **S**chéma de fonctionnement d'un réducteur.
- **Figure* 2.16 *** **S**tructure du pont en H.
- **Figure* 2.17 *** **L**es deux sens de rotation moteur.
- **Figure* 2.18 *** **D**river moteur l293D.
- **Figure* 2.19 *** **D**escription L293D et Diodes anti-retour.
- **Figure* 2.20 *** **D**river L298N.
- **Figure* 2.21 *** **B**roches du L293D.
- **Figure* 2.22 *** **C**ommande moteur avec l293D.
- **Figure* 2.23 *** **C**ommande moteur pour tourner dans un sens.
- **Figure* 2.24 *** **C**ommande moteur pour tourner dans un autre sens.
- **Figure* 2.25 *** **A**ctivation et désactivation pour deux pont H1, H2.
- **Figure* 2.26 *** **C**ircuit alimentation LM2596.
- **Figure* 2.27 *** **U**ne carte GY-521 dotée de la puce MPU6050.
- **Figure* 2.28 *** **C**onnexion du MPU6050 à Arduino.
- **Figure* 2.29 *** **A**ccéléromètre et Gyroscope doté sur MPU6050.
- **Figure* 2.30 *** **R**ous en plastique pour les robots.
- **Figure* 2.31 *** **B**atterie d'alimentation Au lithium-ion.
- **Figure* 2.32 *** **P**laque pvc forex.

CHOIX DU MATERIEL

Chapitre III

- **Figure* 3.01 *** **P**rincipe de fonctionnement robot auto équilibré.
- **Figure* 3.02 *** **C**orps et roues de robot.
- **Figure* 3.03 *** **S**chéma de carrosserie libre du sous-système mécanique du robot.
- **Figure* 3.04 *** **C**ourbe de réponse indicielle typique d'un régulateur PID.
- **Figure* 3.05 *** **S**chéma de régulateur PID.
- **Figure* 3.06 *** **C**ourbe de La consigne est constante et la sortie.
- **Figure* 3.07 *** **C**ourbe de l'écart n'est pas nul dans la sortie.
- **Figure* 3.08 *** **C**ourbe de dépassement.
- **Figure* 3.09 *** **C**ourbe de rapidité.
- **Figure* 3.10 *** **S**chéma bloc de référence PI.
- **Figure* 3.11 *** **S**chéma bloc de référence PD.
- **Figure* 3.12 *** **L**a courbe pour comparaison des réponses indicielles PI, PD, PID.
- **Figure* 3.13 *** **S**tructure série d'un régulateur PID
- **Figure* 3.14 *** **S**tructure parallèle d'un régulateur PID.
- **Figure* 3.15 *** **S**tructure mixte d'un régulateur PID
- **Figure* 3.16 *** **S**chéma de régulation d'une boucle fermée.
- **Figure* 3.17 *** **O**rganigramme de fonctionnement de robot auto balance.

Chapitre IV

- **Figure* 4.01 *** **O**rientation accélération et gyroscope MPU6050.
- **Figure* 4.02 *** **I**nterface d'utilisateur du logiciel.
- **Figure* 4.03 *** **P**rogrammation sur Arduino.
- **Figure* 4.04 *** **L**es lignes SDA et SCL.
- **Figure* 4.05 *** **M**écanisme des adresses.
- **Figure* 4.06 *** **A**ffichage des valeurs de gyroscope.
- **Figure* 4.07 *** **O**rientation de gyroscope.
- **Figure* 4.08 *** **L**es composants utilisés.
- **Figure* 4.09 *** **S**chéma électrique de câblage des composants électrique.
- **Figure* 4.10 *** **R**accordement du driver moteur avec alimentation lm2596.
- **Figure* 4.11 *** **R**accordement arduino avec driver et alimentation lm2596.
- **Figure* 4.12 *** **P**ositionnement le gyroscope.
- **Figure* 4.13 *** **P**ositionnement de batterie.
- **Figure* 4.14 *** **P**hoto finale de robot réalisé.

- **Introduction générale :**

La réflexion de l'être humain ne cesse jamais de trouver des moyens pour faciliter les pénibilités de la vie dans tous les domaines avant la découverte du phénomène révolutionnaire de l'intelligence artificielle pour remplacer les durcissements de l'homme par la machine.

L'invention de la robotique à permet d'aider l'être l'humain dans toutes les tâches difficiles sans exception qui demeure instantanément un vrai rêve imbattable pour les pays industrialisés à l'effet de rendre cette technique sous la domination de l'être humain.

Actuellement, les facultés de grande conception et de raisonnement des robots donne une grande faveur importante pour la progression de cette technologie d'avenir qui ne s'arrête pas de s'appuyer sur les intervalles du temps vis-à-vis de l'impact et le rôle à jouer dans la vie quotidienne.

La robotique en générale comporte deux grands pôles d'intérêt :

- La robotique de manipulation (robotique industrielle).
- La robotique mobile.

Le plus grand facteur majeur de ces problèmes de la robotique mobile réside sur les structures de la planification de mouvement pour mettre une vision de guidance dans le but de faciliter la maitrise de la robotique mobile.

Effectivement, ce problème a été sanctionné par de nombreuses études réalisées dans le but de développer à la rigueur des méthodes générales compatibles pour trouver une meilleure guidance de ces robots.

L'objectif essentiel de notre mémoire est d'étaler dans la mesure du possible les vraies caractéristiques au thème de :

Etude et la Réalisation d'un Robot Auto-équilibre a Base arduino nano

En même temps que la prise en compte de certains paramètres géométriques tels que les tailles dimensionnelles du robot [1].

Le travail présenté sur le robot auto balancé à deux roues, montre en principe les éléments basé sur la configuration de la pendule inversé qui repose sur les dynamiques d'un systèmes d'équilibrage pour équilibrer un robot à pendule inversé à deux roues, il est très nécessaire de disposer suffisamment d'informations biens précises sur l'angle d'inclinaison actuel en utilisant une unité de mesure plus proche comme (accéléromètres et gyroscopes intégrés sur la puce MPU6050), afin de comparer cet angle avec l'angle cible qui entre dans les paramètres du PID (Kp,Ki,Kd).

Le contrôleur PID est capable de contrôler automatiquement l'angle de la pendule avec des paramètres Kp, Ki, et Kd, en suite ce contrôleur PID envoi toujours automatiquement l'information au driver moteur pour effectuer le contrôle des deux roues.

La structure composante de notre mémoire et s'articulé sur quatre principaux chapitres :

- Premier chapitre : dans ce chapitre nous avons le talent d'exposer toute les descriptions motivantes sur les structures essentielles de la construction des robots en toute qualités notamment ce qui nous exposons se forme d'étude d'avenir a un objectif de rentabilité très sûr.

- Deuxième chapitre : nous étalons aussi un module de matériel très fréquente et utilisé pour la conception fondamentale des robots manipulés de près ou de loin se contrôle autonome dépend d'une d'intelligence artificielle autogéré.

- Troisième chapitre : en parle principalement sur l'asservissement et le système de fonctionnement du robot au moment de la mise en service sous des programmes propre et spécialement conçus pour chaque détermination avec un contrôle semi autonome.

- Dans le cadre de la conception du quatrième chapitre, il a été donné de visualiser une logique de programmation spéciale et propre pour gérer les systèmes de manière automatique afin de pouvoir décerné une faisabilité de contrôle en conformité avec la schématisation du programme conceptuel.

A la fin de cette introduction générale; il est très souhaitable de donner le maximum possible de définition et de raisonnement approprié pour mieux maitriser cette technique d'avenir dans le but de savoir bien exploiter ce domaine de robotique, lors ce qu'il s'agit de la gestion de l'intelligence artificielle.

CHAPITRE : I

GENERALITES SUR LA ROBOTIQUE



I.1 – Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons donner une large sorte de cryptographie sur les robots résumé particulièrement sur quelques définitions concernant à priori les robots de types de tâches différents notamment les types d'architectures suivi par les principes de fonctionnement et leurs caractéristiques par apport aux d'autre robot.

Nous exprimerons le système de l'horloge et les inversions des différents types de robots utilisent des pendules inversés.

I.2 - Définition sur la robotique :

I.2.1 - La définition d'un robot mobile :

Un robot mobile est une machine mécanique, automatique et programmable capable de se mouvoir dans un environnement donné.

On regroupe sous cette appellation tous les robots autonomes (c'est-à-dire non télécommandées) capables de se déplacer, par opposition aux robots attachés à un point fixe, comme les robots manipulateurs en industrie. Il existe plusieurs types de robots mobiles et ceux-ci sont, en général, classifies selon leur type de locomotion c'est-à-dire, selon l'environnement dans lequel ils opèrent, par exemple les robots de recherche sur des planètes dans l'espace ou des robots sous-marins dans les mers pour l'exploration, etc.[2]

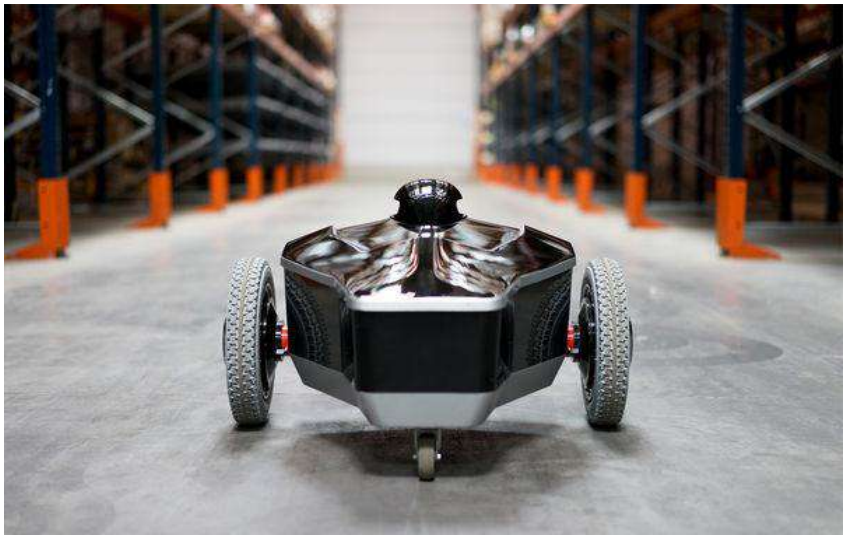


Figure 1.1 robot mobile autonome

I.2.2 - Etymologie du mot robot :

Le mot robot apparaît pour la première fois dans la pièce de théâtre de Karel Čapek de science-fiction R. U. R. (**R**ossum's **U**niversal **R**obots) a été inventé par son frère Josef, Provient du mot tchèque « robota » qui signifie « travail, besogne, corvée » [3].
Par extension, le terme « robot » est également utilisé pour désigner :

- Un dispositif qui n'est pas automatique, pour évoquer la haute technicité du dispositif, à L'instar du robot chirurgien Da Vinci.
- Un logiciel intelligent, également appelé bot informatique.

I.3 – Historique :

La robotique est passée par plusieurs générations comme suit :

- **1947** : Premier manipulateur électrique.
- **1954** : Premier robot programmable.
- **1961** : Apparition d'un robot sur une chaîne de montage de General Motors.
- **1961** : Premier robot avec contrôle en effort.
- **1963** : Utilisation de la vision pour commander un robot.
- **1978** : Le robot ARGOS. Développé à l'université Paul Sabatier de Toulouse (France). Le robot ARGOS simule la navigation d'un robot mobile équipé d'un système de vision au fur et à mesure de ses déplacements.
- **1979** : Le robot HILARE. Les chercheurs de Toulouse (France) étudièrent la planification des trajectoires d'un robot mobile ponctuel, dans un environnement totalement connu.
- **1981** : Le robot VESA. Ce robot est équipé d'un arceau de sécurité pour réaliser la détection d'obstacles dans un environnement totalement inconnu.
- **1984** : Le robot FLAKEY. Ce robot est équipé de deux roues motrices avec encodeurs, mais sa vitesse maximale est de 66 cm/s au lieu de quelques centimètres par seconde. Ce robot est capable de naviguer dans des environnements réels.
- **1993** : Les robots ERRATIC et PIONNER. Le robot ERRATIC a été conçu par Kurt Konolige, au *Stanford Research Institue*, comme un robot mobile de faible coût pour ses cours de robotique.

- Les robots mobiles actuels : A présent la plupart des travaux de recherche portent sur les problèmes de perception. La planification de trajectoire, l'analyse et la modélisation de l'environnement de robot appliqué sur des robots mobiles commerciaux, également la recherche actuelle sur la conception mécanique des robots mobiles pour des applications hautement spécialisées comme l'exploration sous-marine, les robots volants et les micros robots [4].

I.4 - Différent Type De Robot :

Les robots peuvent être classés en fonction de l'environnement dans lequel ils opèrent :[5]

I.4.1 - Les robots Fixés

Les robots fixes sont principalement des manipulateurs robotiques industriels qui fonctionnent dans des environnements bien définis adaptés aux robots. Les robots industriels effectuent des tâches répétitives spécifiques telles que des pièces à souder ou à peindre dans des usines de fabrication automobile. Avec l'amélioration des capteurs et des dispositifs d'interaction homme-robot, des manipulateurs robotiques sont de plus en plus utilisés dans un environnement moins contrôlé comme la haute précision chirurgicale.

I.4.2 - Classification Des Robots Fixés

I.4.2.1 - Robot Cartésien * Caractéristiques

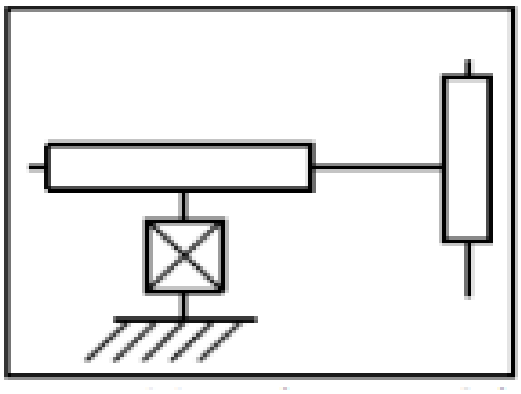


Figure 1.2 : Schéma de robot Cartésien.



Figure 1.3: Robot Cartésien Toshiba.

Caractéristiques :

- Très bonne précision.
- Lent.

I.4.2.2 - Robot Cylindrique * Caractéristiques

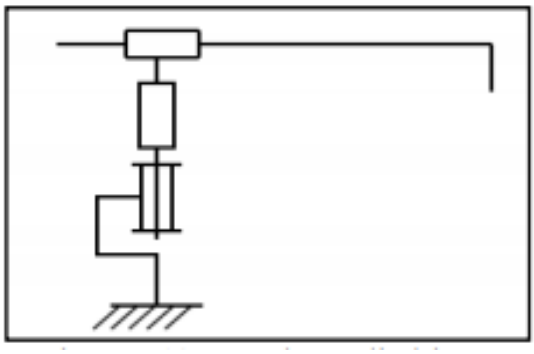


Figure 1.4: Schéma de robot Cylindrique.

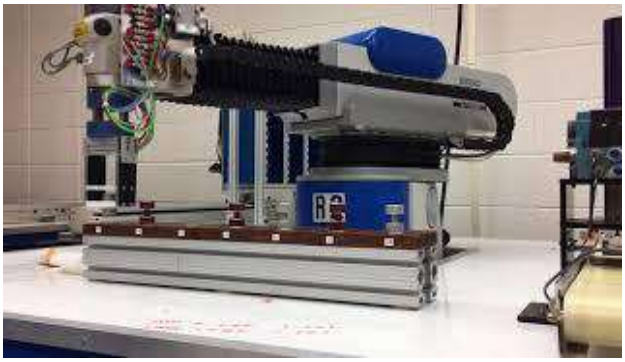


Figure 1.5: Robot Seiko

Caractéristiques :

- Espace de travail cylindrique.
- Très rapide.

I.4.2.3 - Robot Sphérique * Caractéristiques

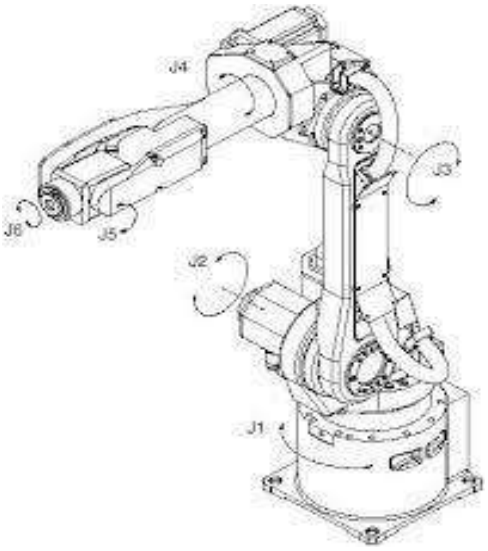


Figure 1.6 : Schéma Robot FANUC



Figure 1.7: Robot FANUC

Caractéristiques :

- Espace de travail sphérique.
- Grande charge utile.

I.4.2.4 - Robot SCARA * Caractéristiques

SCARA = Selective Compliance Articulated Robot for Assembly

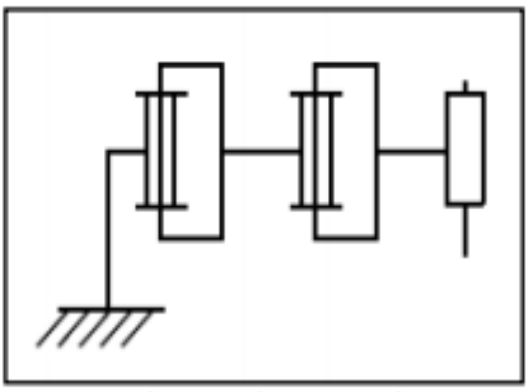


Figure 1.8: Schéma de robot SCARA.



Figure 1.9: Robot Sankyo.

Caractéristique :

- Espace de travail cylindrique.
- Précis.
- Très rapide.

I.4.2.5 - Robot Anthropomorphe * Caractéristiques

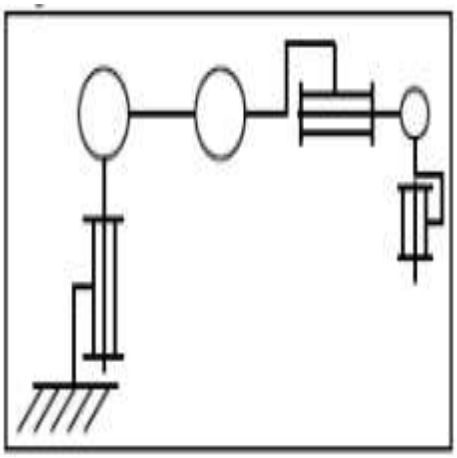


Figure 1.10: robot Anthropomorphe.



Figure 1.11: Robot Kawasaki.

Caractéristiques :

- Reproduisent la structure d'un bras humain.

I.4.3 – Les robots mobiles

Contrairement au robot industriel qui est généralement fixé, le robot mobile est doté de moyens qui lui permettent de se déplacer dans son espace de travail. Suivant son degré d'autonomie ou degré d'intelligence, il peut être doté de moyens de perception et de raisonnement. Certains sont capables sous contrôle humain de réduire, de modéliser leur espace de travail et de planifier un chemin dans un environnement qu'ils ne connaissent pas forcément d'avance [1].

I.4.4 - Classification des robots mobiles

Les robots mobiles sont classés en fonction des tâches qu'ils vont effectuer et des environnements dans lesquels ils sont impliqués. Bien que les robots à roues soient les plus courants, il existe d'autres types de robots mobiles. Ainsi, les robots mobiles peuvent être classés comme suit:[6]

I.4.4.1 - Robots mobiles à roues

Les roues sont de loin la méthode la plus populaire pour assurer la mobilité des robots et sont utilisées pour propulser de nombreux robots de tailles différentes. Les roues peuvent être à peu près n'importe quelle taille de robots et peuvent avoir à peu près n'importe quel nombre de roues, bien que 2 et 4 soient les plus courantes. Ce type fera l'objet de notre étude au cours du mémoire.

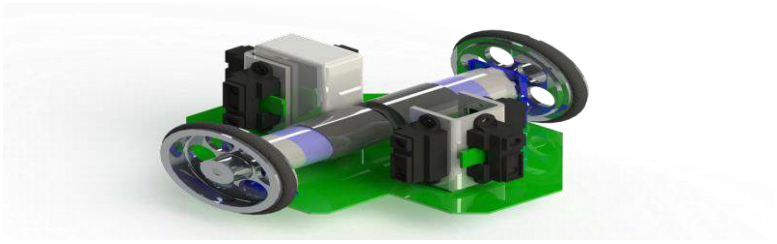


Figure 1.12: Robots mobiles à roues

I.4.4.2 - Robots mobiles à chenilles

Tout comme les chaînes utilisées dans un char militaire, elles réduisent le glissement, ce qui les rend adaptées aux terrains difficiles.



Figure 1.13: Robots mobiles à chenilles

I.4.4.3 - Robots mobiles à pattes

Les plus couramment utilisés sont les robots à six, quatre ou deux pattes. Il est très adapté aux terrains irréguliers.



Figure 1.14: Robots mobiles à pattes

I.4.4.4 - Robots mobiles volants

Appelé AUAV (Autonomous Unmanned Aerial Vehicle), Le plus souvent, l'armée s'en sert pour effectuer des missions de reconnaissance, d'espionnage ou de bombardement.



Figure 1.15: Robots mobiles volants

I. 4.4.5 - Robots mobiles sous-marins

Il se caractérise par la présence de moteurs de poussée, de queue ou d'ailettes, et il est encore en cours de développement car de nombreux problèmes doivent être surmontés.



Figure 1.16: Robots mobiles sous-marins

I.4.4.6 - Robots mobiles hybrides

Les conceptions diverses peuvent inclure l'aéroglisseur, les conceptions de serpents, les tourelles et plus encore.

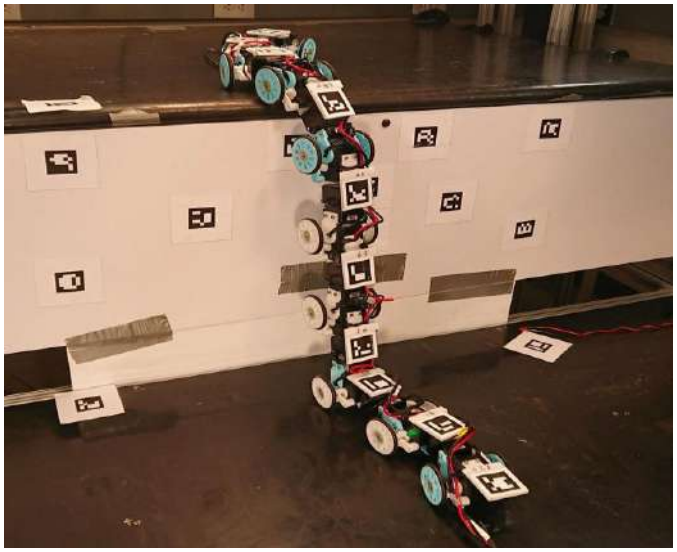


Figure 1.17: Robots mobiles hybrides

I.5 - Classes des robots à roues :

Il existe plusieurs classes de robots à roues déterminées, principalement, par la position et le nombre de roues utilisées.

Nous citerons ici les quatre classes principales de robots à roues

I.5.1- Robot Unicycle

Un robot de type unicycle est actionné par deux roues indépendantes, il est possède éventuellement des roues folles pour assurer sa stabilité. Son centre de rotation est situé sur l'axe reliant les deux roues motrices. C'est un robot non-holonome, en effet il est impossible de le déplacer dans une direction perpendiculaire aux roues de locomotion. Sa commande peut être très simple, il est en effet assez facile de le déplacer d'un point à un autre par une suite de rotations simples et délignes droites (Figure 1.17).

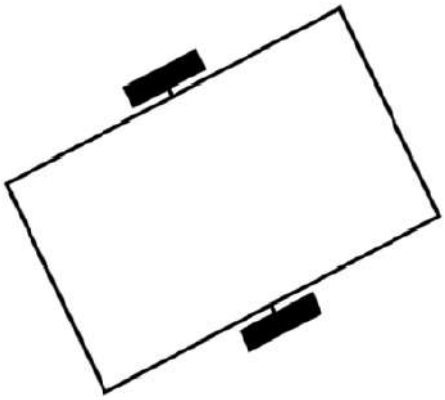


Figure 1.18 robot unicycle

I.5.2- Robot Tricycle

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

C'est un robot non holonome. En effet, il est impossible de le déplacer dans une direction perpendiculaire aux roues axes. Sa commande est plus compliquée. Il est en général impossible d'effectuer des rotations simples à cause d'un rayon de braquage limite de la roue orientable (Figure 1.18).

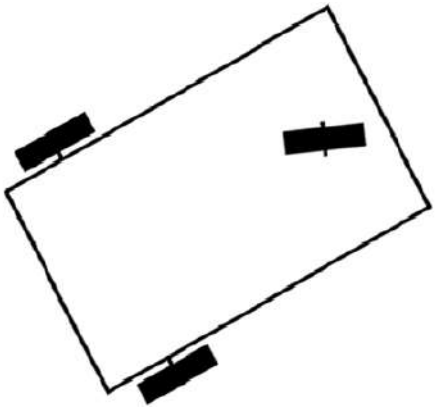


Figure 1.19 robot tricycle

I.5.3 -Robot Voiture

Un robot de type voiture est semblable au tricycle, il est constitué de deux roues axes placées sur un même axe et de deux roues centrées orientables placées elles aussi sur un même axe.

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

Toutes les autres propriétés du robot voiture sont identiques au robot tricycle, le deuxième ouvrant être ramené au premier en remplaçant les deux roues avant par une seule placée au centre de l'axe, et ceci de manière à laisser le centre de rotation inchangé(Figure 1.19).

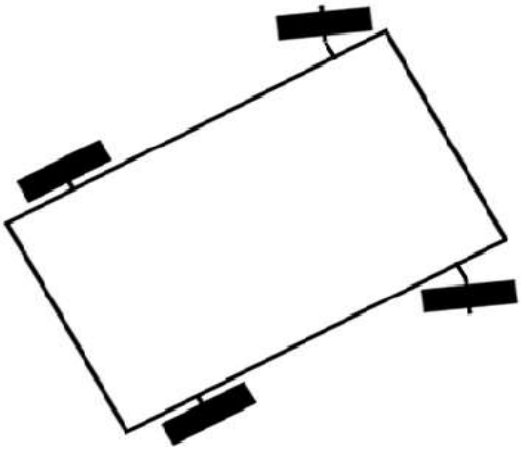


Figure 1.20 robot voiture

I.5.4 -Robot omnidirectionnel

Un robot omnidirectionnel est un robot qui peut se déplacer librement dans toutes lesdirections. Il est en général constitué de trois roues décentrées orientables placées en triangle équilatéral.

L'énorme avantage du robot omnidirectionnel est qu'il est holonome puisqu'il peut se déplacer dans toutes les directions. Mais ceci se fait au dépend d'une complexité mécanique bien plus grande Figure (1.20) .

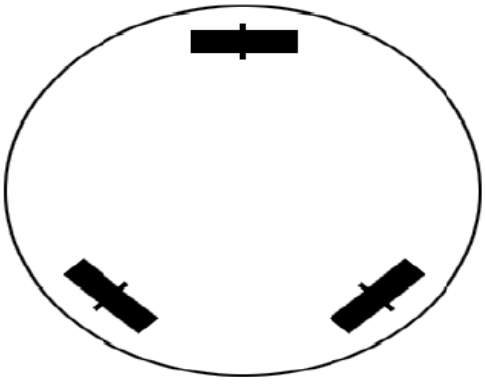


Figure 1.21 robot omnidirectionnel

I.6 - Comparaison des déférents types :

Nous pouvons observer dans le tableau ci-dessous un récapitulatif des avantages et des inconvénients des déférents types de robots à roues.

Robot Unicycle	(-) Non-holonome (+) Stable (+) Rotation sur soi-même (+) Complexité mécanique faible
Robot Tricycle	(-) Non-holonome (-) Peu stable (-) Pas de rotation sur soi-même (+) Complexité mécanique modérée
Robot Voiture	(-) Non-holonome (+) Stable (-) Pas de rotation sur soi-même (+) Complexité mécanique modérée
Omnidirectionnel	(+) Holonome (+) Stable (+) Rotation sur soi-même (-) Complexité mécanique importante

I.7 - Mode de fonctionnement :

Il existe deux principaux mode de fonctionnement pour un robot mobile : télé-opéré et Autonome.

- En mode télé-opéré, le terme robota (esclave) est amplement justifié, du fait que, une personne donne des ordres et pilote le robot à distance via une interface de commande (clavier, souris…), dans ce domaine les efforts de recherche sont basés sur l'amélioration de la perception de l'environnement pour l'operateur, et les problèmes liés à la télécommunication.

- Mode autonome dont le robot doit prendre ses propres décisions ; de cet effet, il doit percevoir correctement son environnement, et agir en séquence suivant le niveau d'autonomie. C'est à lui de planifier son parcours et faire de sorte à éviter les obstacles afin d'atteindre un objectif et avec quel mouvement réaliser cela. Dans ce modes l'étude sa base essentiellement sur la structure de contrôle, stratégies de commande, planification et la notion d'autonomie décisionnelle [8].

I.8 - Caractéristiques d'un robot :

Un robot doit être choisi en fonction de l'application qu'on lui réserve. Voici quelques paramètres à prendre, éventuellement, en compte :

- La charge maximum transportable (de quelques kilos à quelques tonnes).
- L'architecture du S.M.A. (quelle est la rigidité de la structure ?).
- Le volume de travail.
- L'espace de travail, est le volume de l'espace que le robot peut atteindre via au moins une orientation.
- Le positionnement absolu, et calculé via le modèle géométrique inverse du robot.
- La répétabilité, ce paramètre caractérise la capacité que le robot a à retourner vers un point (position, orientation) donné.
- La vitesse de déplacement, accélération.
- La masse du robot.
- Le coût du robot.
- La maintenance, …

I.9 - Domaines d'application des robots :

La robotique est un domaine en plein essor depuis quelques années. Les évolutions technologiques dépassant sans cesse nos espérances, permettent maintenant de réaliser des solutions technologiques s'adaptant au moindre problème.

Par conséquent, la robotique est utilisée dans des domaines extrêmement rigoureux et exigeants. Nous allons explorer ces différents domaines :[9]

I.9.1 - L'industrie :

Le but premier des robots est de remplacer l'homme dans des activités fastidieuses ou onéreuses pour l'employeur. Les robots ont donc commencé à être utilisés dans les chaînes d'assemblage industrielles, dans ces chaînes nous retrouvons des robots soudeurs, manipulateurs, peintres, ...etc. comme figure suivant :



Figure 1.22 robot industrielle

I.9.2 - Le domaine militaire :

Les robots sont de plus en plus utilisés dans le domaine militaire. En effet, la miniaturisation permet aujourd'hui de créer des robots discrets mais dotés de nombreux capteurs, ce qui est idéal pour des missions d'espionnage ou d'éclairement.



Figure 1.23 robot militaire

I.9.3 - La santé :

Les robots commencent à être de plus en plus utiles dans le domaine médical, qu'il s'agisse de « Simples » échographies ou d'opérations chirurgicales plus délicates. En fait, ces robots ne sont pas complètement autonomes mais ils assistent les médecins ou chirurgiens, jusqu'à permettre des opérations médicales à distance (télémédecine).

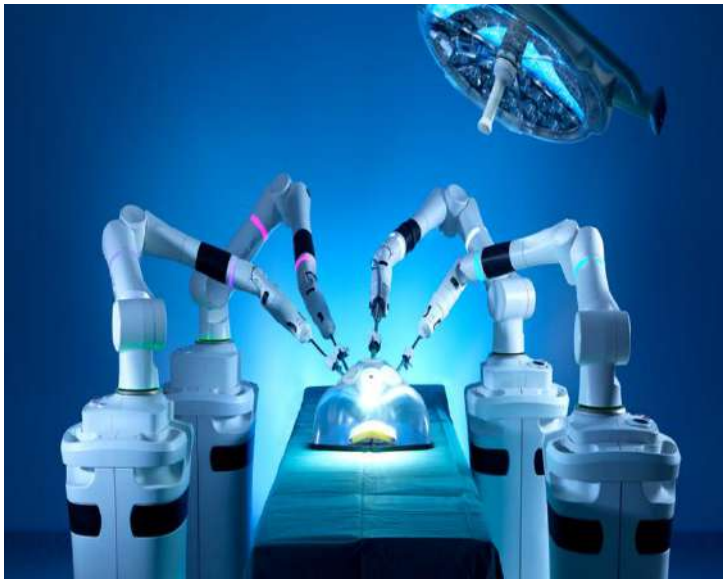


Figure 1.24 robot chirurgicale

Domaines Applications

Le domaine d'application des robots est vaste, nous présentons quelques applications dans le tableau

Domaine	Applications
Industrie Nucléaire	• Surveillance de sites • Manipulation de matériaux radioactifs
Sécurité civile	• Neutralisation d'activité terroriste • Déminage • Pose d'explosif • Surveillance de munitions
Militaire	• Surveillance • Pose d'explosifs
Chimique	• Surveillance de site • Manipulation de matériaux toxiques
Médecine	• Assistance d'urgence • Aide aux handicapés physiques
Sous-marine	• Pose de câbles • Recherche de navires immergés • Inspection des fonds marins
Nettoyage	• Coque de navire • Nettoyage industriel
Espace	• Exploration

I.10 - Les avantages des robotiques :

a. ***Réduction des coûts de main-d'œuvre***, l'un des facteurs de rentabilité du robot est la diminution de la part de la main-d'œuvre dans le prix de revient
b. ***Flexibilité de la gestion de production***, le robot peut fonctionner seul, un temps donné, sans assistance. Il s'adapte aux différentes séries de production et reste un produit standard, facile d'entretiens et de maintenance
c. ***Diminution des stocks et encours***, les différentes tâches sont regroupées dans une cellule robotisée, ainsi les stocks intermédiaires sont supprimés
d. ***Amélioration de la qualité***, le robot réalise des opérations de qualité supérieure et surtout constantes. Les premiers bénéfices remarquables sont la réduction du nombre de rebuts et l'amélioration de la qualité

I.11 – Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné des définitions apprivoisés par certaines notions fondamentales liés généralement à la robotique et au robot mobile en particulier.

Le robot est un manipulateur programmable multifonctionnel qui imite des actions d'une créature intelligente.

A l'origine l'homme a unit tous les moyens nécessaires pour mettre en œuvre une machine susceptible de remplacer l'homme dans divers fonctionnalités ou même au-delà, qui est la réalisation des tâches inaccessible par la capacité humaine ; avec l'avancée technologique à-travers le temps la robotique a connue énorme progrès.

Actuellement la robotique avance considérablement dans deux fronts parallèles : la robotique manufacturière et la robotique non manufacturière.

L'Augmentation les connaissances en termes de localisation et de navigation de systèmes autonomes et la résolution de problèmes pour atteindre une navigation robuste dans des espaces non structurés, en particulier en intérieur.

Par ailleurs, un problème soulevé par le plus simple des robots mobiles à roues = sujet d'étude à part entière et base pour l'étude de systèmes mobiles plus complexes.

CHAPITRE : II

CHOIX DU MATERIEL

II.1 – Introduction :

Dans ce chapitre, nous nous concentrerons sur les composants électroniques et les équipements nécessaires à la mise en œuvre et à la conception de notre projet (un robot auto-équilibré). La réalisation de ce robot nécessite diverses notions issues de plusieurs domaines de l'électronique, de l'informatique et de l'automatisme. Dans notre projet, nous avons utilisé des composants électroniques et d'autres composants électromécaniques. À cette fin, la sélection et les caractéristiques des composants utilisés dans ce projet sont discutées.

II.2 - Les microcontrôleurs :

Un système embarqué, pour fonctionner, a besoin d'une unité de traitement, d'une mémoire morte pour le programme (PROM, EPROM, ...), d'une mémoire vive pour stocker les données, de circuits d'interfaçage pour connecter les périphériques qui vont permettre la communication avec l'extérieur. [11]

Les microcontrôleurs sont des circuits intégrés logiques qui permettent l'exécution d'un programme dont les actions dépendent de l'état des variables d'environnement du système. Ces circuits intégrés les moins cher sont de véritables ordinateurs miniatures autonomes utilisés dans les voitures (ordinateurs de bords, airbags, système de freinage freins ABS...), les lecteurs DVD, les fours à micro-ondes, etc... On peut définir un microcontrôleur comme une unité de traitement de l'information de type microprocesseur à laquelle on a ajouté des périphériques internes permettant de réaliser des montages sans nécessiter l'ajout de composants externes.[12]

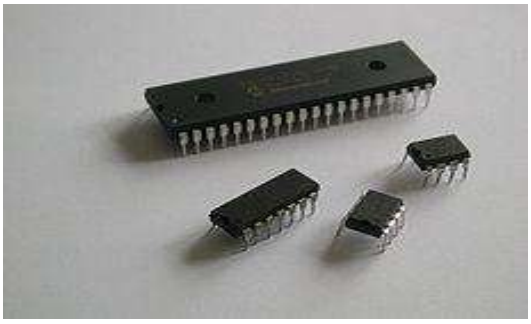


Figure 2.1 Les Microcontrôleurs

II.3 - Définition d'une carte arduino :

Une carte Arduino est une petite (5,33 x 6,85 cm) carte électronique équipée d'un microcontrôleur.

Le microcontrôleur permet, à partir d'événements détectés par des capteurs, de programmer et commander des actionneurs ; la carte Arduino est donc une interface programmable.



Figure 2.2 exemple carte arduino

La carte Arduino la plus utilisée est la carte Arduino Uno.

La conception matérielle (schémas électroniques et typons) est distribuée sous licence Créative Commons Attribution Share-Alike 2.5 Le code source de l'environnement de programmation et les bibliothèques embarquées sont disponibles sous licence LGPL.

Une grande communauté d'amateurs et de passionnés contribuent à développer des applications et à les partager.[13]

Les utilisations sont quasiment infinies et en voici quelques exemples :

- Des robots,
- Des instruments de musique,
- Des animations lumineuses,
- Des jeux interactifs et ludiques,
- Des gadgets originaux ou futiles,
- Des bijoux électroniques pour costumes et chapeaux en tout genre,
- Des générateurs de morse pour radio amateur,
- Une station météo,
- Une régulation pour chauffage,
- Un module de poursuite du soleil pour optimiser l'orientation d'un panneau solaire.

III II.3.1 - Les types des cartes arduino :

Les modules d'origine des différentes versions de l'Arduino sont fabriqués par la société italienne Smart Project. Quelques-unes des cartes de marque Arduino ont été conçues par la société américaine Spark Fun Electronics. Dix-sept versions des cartes de type Arduino ont été produites et vendues dans le commerce à ce jour dans l'ordre chronologique ci-dessous et voilà les cartes les plus utilisés :[14]

II.3.1.1 - Carte arduino nano *:*

La carte Arduino Nano propose plus ou moins les mêmes fonctionnalités que la carte Arduino Duemilanove mais dans un design plus compact. Par rapport à la carte Arduino Duemilanove, la carte Arduino Nano ne propose pas de prise jack pour l'alimentation et la prise USB est une prise mini-USB plutôt qu'une prise USB standard.[15]



Figure 2.3 carte arduino nano

II.3.1.2 - Carte Arduino uno :

Dans sa dernière édition, la carte Arduino Uno présente les nombreuses améliorations déjà intégrées Tout comme sa grande sœur, elle offre donc : [15]

- Une extension de header ainsi qu'une broche RESET pour une utilisation facilitée de votre carte avec un shield.
- n fusible de 500 mA destiné à protéger le port USB de votre ordinateur.
- Un circuit permettant de passer, sans jumper, de l'alimentation par USB à une alimentation indépendante.
- Une faible consommation d'énergie.



Figure 2.4 carte arduino uno

II.3.1.3 - Carte Arduino Méga 2560 :

La carte Arduino Mega 2560 a été conçue comme la remplaçante de la carte Arduino Mega. Elle est dotée des :[15]

- un microcontrôleur ATMega2560 disposant d'une mémoire flash de 256 KB.
- dont 8 KB dévolus au Bootloader.
- 54 entrées/sorties numériques.
- 14 pins digitaux pour vos sorties PWM.
- 16 pins d'entrée analogique.
- 4 UARTS.
- un bouton reset et un connecteur ICSP.
- également été équipée d'un oscillateur à quartz de 16 MHz.



Figure 2.5 carte arduino méga 2560

II.3.2 - Alimentation de la carte Arduino Nano :

La carte peut être alimentée par la prise mini-USB ou bien par une source d'énergie externe non régulée, à 6-20V (pin 30), ou bien encore par une source d'énergie externe non régulée à 5V (pin 27). La source d'énergie est automatiquement sélectionnée en selon le voltage le plus important.[15]

II.3.3 - Description de la carte arduino :

Voyons-nous qu'est-ce qu'il se cache derrière la meilleure carte pour débuter en électronique et commencer à coder ! Certaines cartes vendues sur le marché peuvent vous sembler différentes à la carte Arduino originale. C'est tout simplement car Arduino est un projet Open Source. N'importe qui peut donc assembler et vendre des cartes Arduino.
La majorité des cartes Arduino ont **ces composants** en communs :[16]

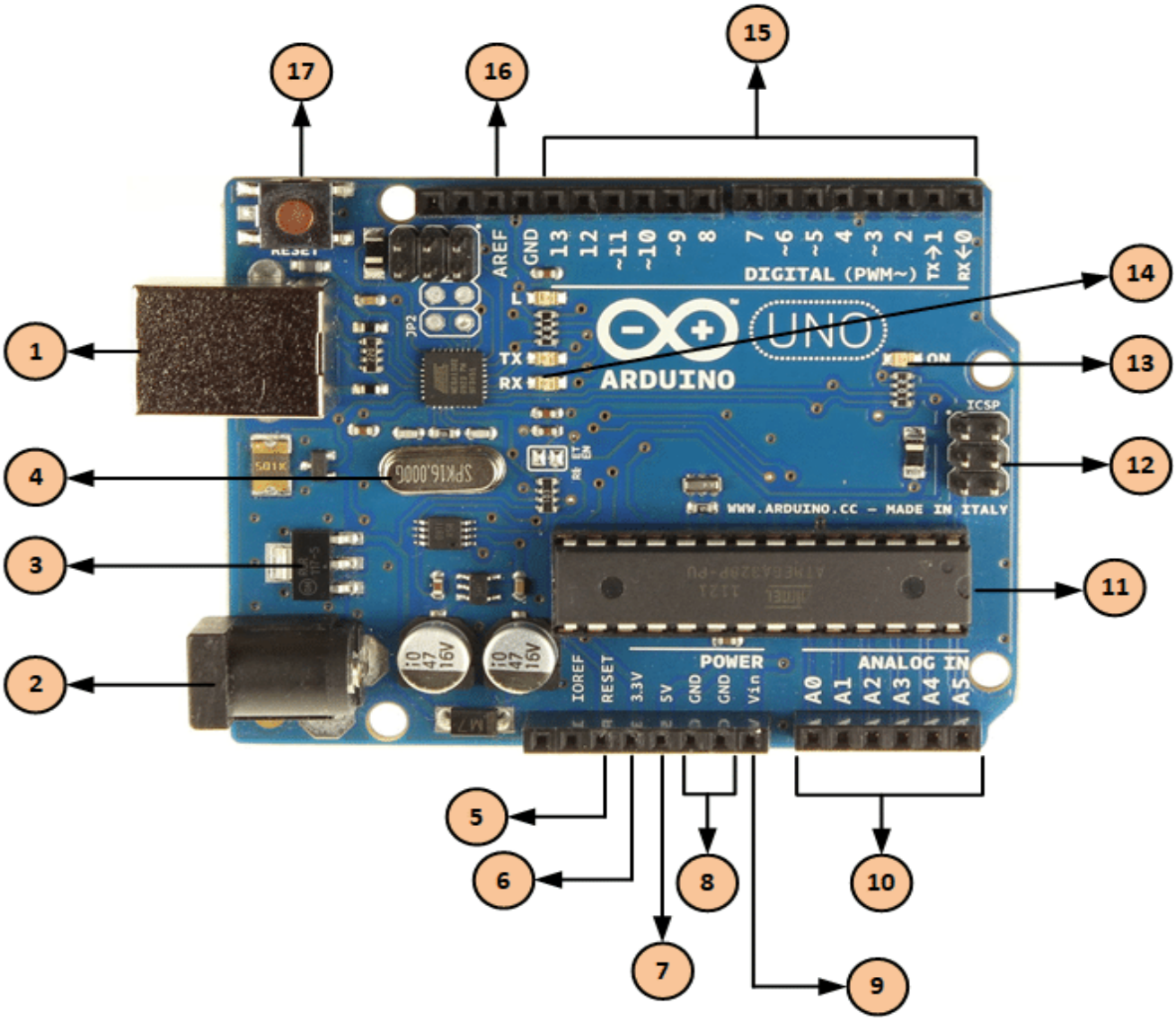


Figure 2.6 Description de la carte

1	**Alimentation / Programmation par USB** La carte Arduino peut être alimentée avec un câble USB relié à votre ordinateur. Tout ce dont vous avez besoin, c'est de connecter votre carte Arduino à votre ordinateur avec le câble USB type A/B.
2	**Alimentation via connecteur Jack DC**  ***Diamètre interne 2.1mm, externe 5.5mm*** La carte Arduino peut être directement alimenté par ce connecteur Jack DC. Ce connecteur (2) est relié au régulateur de tension intégré à la carte. L'alimentation via ce connecteur (2) doit être comprise entre 5 et 12 V.
3	**Régulateur de tension** La fonction du régulateur de tension (3) est de contrôler la tension d'alimentation de l'Arduino pour la stabiliser à la bonne tension du microcontrôleur et de chaque éléments de la carte. La tension de stabilisation est de 5 Volts sur les cartes UNO.
4	**Oscillateur à quartz** Un oscillateur à quartz est un élémént électronique qui a la particularité de posséder un quartz à l'intérieur qui vibre sous l'effet piézoélectrique. Les propriétés électromécaniques du quartz sont telles qu'on arrive à faire vibrer le quartz à une fréquence très précise. Cet élément aide l'Arduino UNO à calculer les données de temps. Sur le dessus du composant, on peut lire 16.000H9H. Cela signifie que la fréquence est de 16,000,000 Hertz, soit 16 MHz.
5,17	**Arduino Reset** Vous pouvez redémarrer un Arduino avec un "Reset". Cela aura pour effet de redémarrer votre programme depuis le début. Vous pouvez redémarrer l'Arduino UNO de deux manières : soit en utilisant **le bouton "Reset"** (17), soit en connectant **un bouton externe sur la broche de la carte Arduino mentionnée "RESET"** (5).
6,7,8,9	**Broches (3.3, 5, GND, Vin)** • 3.3V (6) – Broche d'alimentation de tension 3.3 Volts • 5V (7) – Broche d'alimentation de tension 5 Volts • La plupart des composants destinés à fonctionner avec Arduino fonctionnent bien en 3.3 Volts ou 5 Volts. • GND (8) (Ground / Masse) – Il y a plusieurs broches de ce type présentes sur la carte Arduino, elles sont toutes communes et peuvent être utilisées comme masse (potentiel 0 Volts) pour vos circuits. • Vin (9) – Cette broche permet d'alimenter l'Arduino depuis une source de tension extérieure. Elle est relié au circuit d'alimentation principale de la carte Arduino.
10	**Broches analogiques** L'Arduino UNO possède **5 broches d'entrées analogiques numérotée de A0 jusqu'à A5**. Ces broches permettent de lire un signal analogique d'un capteur comme un capteur d'humidité ou de température. La carte Arduino utilise **un convertisseur analogique/numérique** (convertisseur CAN) pour permettre la lecture du signal par le microcontrôleur. Un signal sera converti sur **10 bits**. **La valeur pourra être lue sur une échelle 1024 points.**

11	**Microcontrôleur principal** Chaque carte Arduino possède **son propre microcontrôleur** (11). Vous pouvez le considérer comme le cerveau de la carte Arduino. Le microcontrôleur sur l'Arduino est légèrement différent d'une carte à l'autre. Les microcontrôleurs sont généralement de la société ATMEL. Vous devez savoir quel est le microcontrôleur de votre carte avant de charger un nouveau programme depuis l'IDE Arduino. Cette information est disponible directement sur le composant. Pour plus de détails sur la construction et les fonctions du microcontrôleur, vous pouvez vous référer à la fiche technique (*data sheet*).
12	**Connecteur ICSP** Avant tout, le connecteur **ICSP** (*In-Circuit Serial Programming*) est une connectique AVR comprenant les broches MOSI, MISO, SCK, RESET, VCC et GND. Il s'agit d'un connecteur de programmation. Ce connecteur permet entre autre de programmer directement le microcontrôleur sur les couches les plus basses (bootloader, code ASM…). C'est aussi un port appelé port **SPI** (Serial Peripheral Interface), qui permet de dialoguer avec d'autres composants SPI (écrans, capteurs, etc…). On ne va pas se préoccuper de ce connecteur au début des tutoriels.
13	**Indicateur LED d'alimentation** Ce voyant doit s'allumer lorsque vous branchez votre Arduino sur une source d'alimentation pour indiquer que votre carte est correctement alimentée. Si cette lumière ne s'allume pas, il y a un problème avec votre alimentation, et je ne parle pas de nourriture ici.
14	**LEDs TX et RX** Sur votre carte, vous trouverez deux indicateurs : **TX (émission)** et **RX (réception)**. Ils apparaissent à deux endroits sur la carte Arduino UNO. Tout d'abord, sur les broches numériques 0 et 1, pour indiquer les broches responsables de la communication série. Deuxièmement, les LEDs TX et RX (13). Le voyant TX clignote à une vitesse variable lors de l'envoi des données série. La vitesse de clignotement dépend de la vitesse de transmission utilisée par la carte. RX clignote pendant le processus de réception. La vitesse de transmission s'exprime en bauds, soit l'équivalent du bits/seconde si le signal est binaire.
15	**Entrées/Sorties numériques** La carte Arduino UNO possède **14 broches d'Entrées / Sorties numériques** (15), dont 6 peuvent fournir une sortie PWM (Pulse Width Modulation). Ces broches peuvent être configurées pour fonctionner comme des broches numériques d'entrée pour lire des valeurs logiques (0 ou 1) ou numériques. Elles peuvent également être utilisées comme des broches de sortie pour piloter différents modules comme des LEDs, des relais, etc. Les broches étiquetées "~" peuvent être utilisées pour générer des PWM.
16	**Broche AREF** AREF est l'acronyme anglais de "référence analogique". Cette broche est parfois utilisée pour définir **une tension de référence externe** (entre 0 et 5 Volts) comme limite supérieure pour les broches d'entrée analogiques.

II.4 - Les moteurs :

Un moteur est un dispositif permettant d'effectuer un mouvement à partir d'une énergie, dans notre cas il fait la conversion d'énergie électrique en énergie mécanique.

Les moteurs serrent à être commandés par la partie commande en interaction avec les informations transmises par les capteurs.

On peut citer trois principaux types de moteurs rencontrés essentiellement dans le domaine de la robotique mobile :

II.4.1 - Moteur à courant continue *:*

Le moteur à courant continue est un convertisseur de puissance :

Soit ils convertissent l'énergie électrique absorbée en énergie mécanique lorsqu'ils sont capables de fournir une puissance mécanique suffisante pour démarrer puis entraîner une charge en mouvement. On dit alors qu'ils ont un fonctionnement en moteur.[17]

Soit ils convertissent l'énergie mécanique reçue en énergie électrique lorsqu'ils subissent l'action d'une charge entraînante. On dit alors qu'ils ont un fonctionnement en générateur.

· En mode « moteur », l'énergie électrique est convertie en énergie mécanique.

· En mode « générateur » ou « dynamo », l'énergie mécanique est convertie en une énergie électrique capable de se comporter comme un frein.

Le moteur à courant continu (DC) est caractérisé par :

- une constante de vitesse.
- et une pente vitesse/couple.
- Le courant est proportionnel à la charge.
- la vitesse est proportionnelle à la tension d'alimentation.

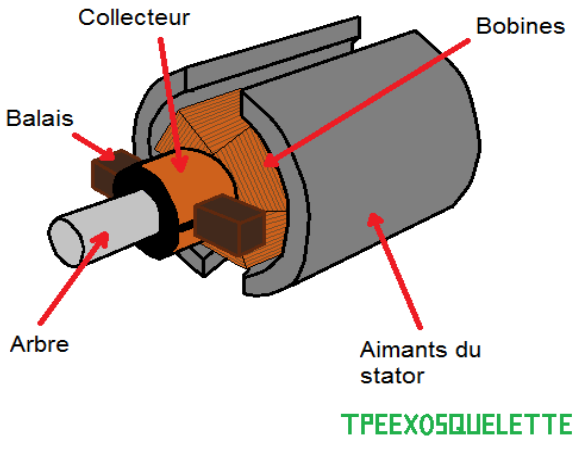


Figure 2.7 Description de Moteur à courant continue

Exemple :

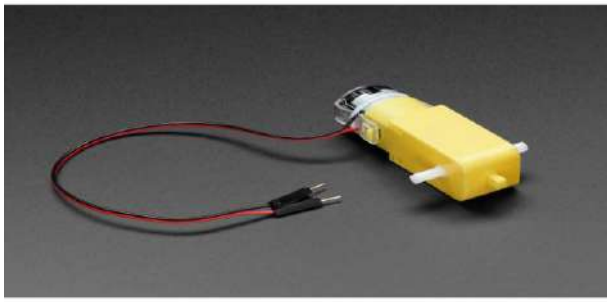


Figure 2.8 Moteur à courant continue

II.4.1.1 - Principe de fonctionnement :

Le moteur à courant continu se compose :

- ✓ de l'inducteur ou du stator,
- ✓ de l'induit ou du rotor,
- ✓ du collecteur et des balais.

Lorsque le bobinage d'un inducteur de moteur est alimenté par un courant continu, sur le même principe qu'un moteur à aimant permanent (comme la figure ci-dessous), il crée un champ magnétique (flux d'excitation) de direction Nord-Sud.

Une spire capable de tourner sur un axe de rotation est placée dans le champ magnétique. De plus, les deux conducteurs formant la spire sont chacun raccordés électriquement à un demi collecteur et alimentés en courant continu via deux balais frotteur

Le rotor (en mouvement), le stator fixe. En électrotechnique le stator s'appelle inducteur et le rotor induit. C'est l'arbre de sortie du moteur qui va transmettre le mouvement à l'ensemble mécanique (pignons, chaine, actionneur…) qui lui est associé en aval.[18]

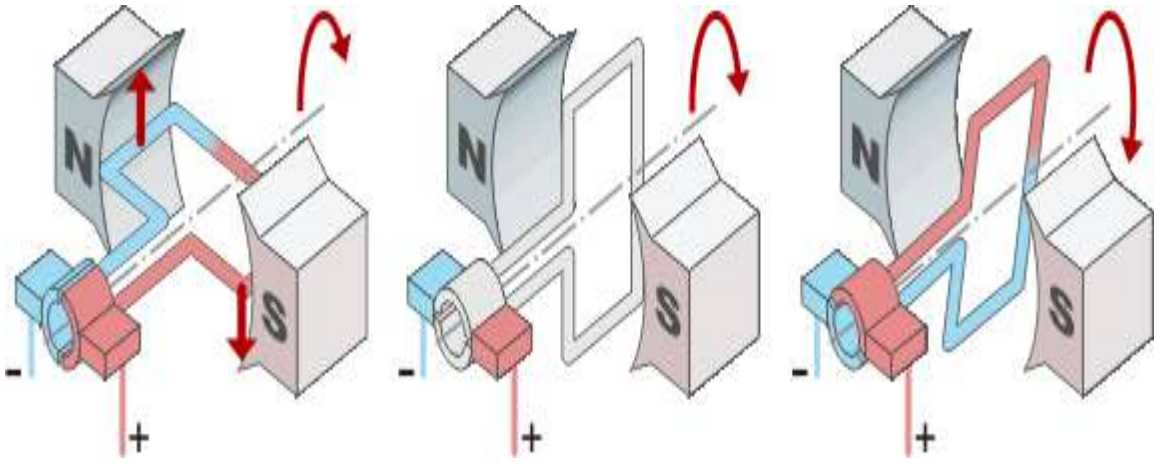


Figure 2.9 Principe de fonctionnement moteur DC

II.4.2 - Moteur pas à pas ***:***

Le moteur pas à pas constitue un convertisseur électromécanique destiné à transformer le signal électrique (impulsion ou train d'impulsions de pilotage) en déplacement (angulaire ou linéaire) mécanique :[19]

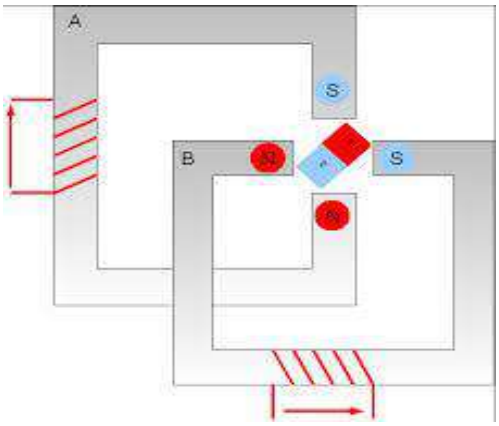


Figure 2.10 Description de Moteur pas à pas

Exemple :



Figure 2.11 Moteur pas à pas

II.4.2.1 - Le principe de fonctionnement :

Le principe de fonctionnement est différent du moteur DC, le moteur qui est sous l'action d'une impulsion électrique de commande effectue une fraction de tour ou "pas".

La valeur du pas est définit : par un angle par pas (ex.: 1.8° par pas); ou par le nombre de pas par tour (ex. : 200 pas par tour). En gros il y a un nombre prédéfinis de positions possibles, et le moteur ira d'une position à l'autre. Ils permettent donc un positionnement plus précis, mais nécessitent une carte de contrôle, et ils sont bien plus complexes à utiliser.

Les moteurs pas à pas sont utilisés pour les positionnements angulaires précis ; On distingue généralement, trois types de moteurs pas à pas :[20]

- le moteur à aimants permanents.
- Le moteur à réluctance variable.
- le moteur hybride, qui est une combinaison des deux technologies précédentes.

Dans tous les types de moteur, on positionne le rotor en modifiant la direction d'un champ magnétique crée par le bobinage du stator. Ils nécessitent un circuit de commande qui comporte une partie logique et une commande de puissance. La partie logique détermine pour chaque pas quelles sont les bobines alimentées et le sens de rotation. La fréquence de l'horloge du circuit logique détermine la vitesse de rotation.

II.4.3 – Servomoteur :

Un servomoteur (provenant du latin servus qui signifie « esclave ») est un moteur capable de maintenir une opposition à un effort statique et dont la position est vérifiée en continu et corrigée en fonction de la mesure. C'est donc un système asservi, capable d'atteindre des positions prédéterminées, puis de les maintenir ou à l'inverse tourner de façon continue dans un sens donné

Dans le monde de la robotique, Le servomoteur a pour but de permettre la rotation des capteurs et de connaître leurs angles de rotation.



Figure 2.12 Description d'un servomoteur

Exemple :



Figure 2.13 servomoteur

II.4.4 - Motoréducteur :

Le nom de réducteur est réservé à un mécanisme séparé s'intercalant entre un moteur et un récepteur. Lorsque le moteur est fixé sur le carter du réducteur, l'ensemble porte le nom de motoréducteur, qui permet de réduire la vitesse de rotation de l'axe du moteur qui est généralement de 1 500 tr/min (pour une fréquence d'excitation de 50 Hz) tout en augmentant le couple de sortie. Ces moteurs peuvent être à courant continu pour les micro-réducteurs ou à courant alternatif pour les gros motoréducteurs industriel.

En fonction du besoin, il existe plusieurs types de motoréducteurs, soit à axe moteur déporté, soit à axe perpendiculaire par rapport à l'axe de sortie (sortie mâle ou sortie femelle),celle-ci pouvant être à axe simple ou à axe double.



Figure 2.14 Motoréducteur.

II.4.4.1 - Schéma de fonctionnement d'un réducteur :



Figure 2.15 Schéma de fonctionnement d'un réducteur

II.5 - Contrôle de sens et vitesse de rotation du moteur à courant continue :

Notre problème est comment on peut faire tourner un moteur dans les deux sens en continuant bien sûr de gérer sa vitesse .la solution bien sûr c'est grâce au pont en H.

II.5.1 - Principe et structure du pont en H :

Un pont en H est un circuit de puissance destiné au pilotage de sens de rotation d'un moteur, qui met en œuvre quatre transistors montés de telle façon que le courant puisse passer soit dans un sens, soit dans l'autre. En inversant le sens du courant dans le moteur, ce dernier changera de sens de rotation illustre la structure du pont en H, composé de 4 transistors (deux de type PNP et deux de type NPN), montés de telle façon que le courant puisse alimenter le moteur dans les deux sens. [21]

Chaque transistor bipolaire est protégé par une diode anti-retour qui renvoie à la masse toutes les surtensions induites par les autres transistors. Le pont en H permet de réaliser deux fonctions pour le pilotage du sens de rotation du moteur DC, en inversant la tension et la variation de la vitesse du système en modulant la tension aux bornes du moteur

Le pont en H a deux rôles principaux :

- Fournir le courant nécessaire au fonctionnement du moteur.
- Donner la possibilité d'inverser le sens du courant (donc le sens de rotation du moteur). On peut même contrôler la vitesse du moteur (c'est ce qu'on appelle une modulation en PWM)

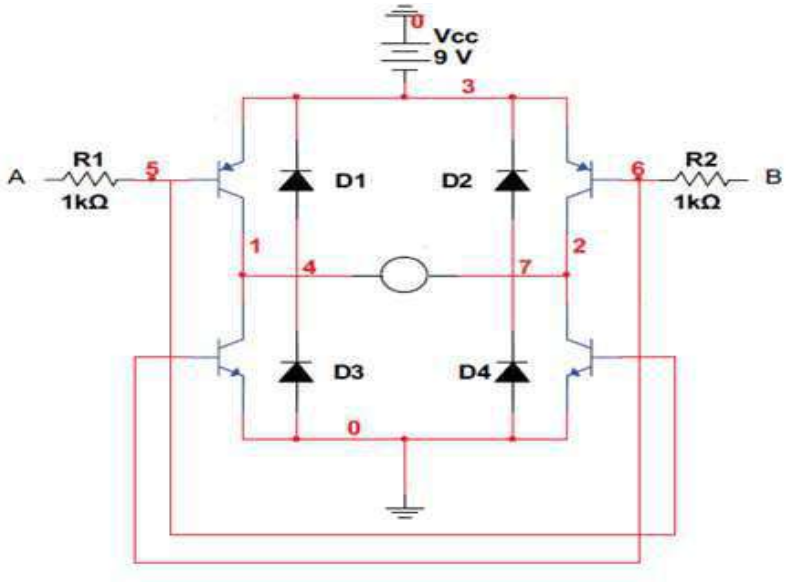


Figure 2.16 Structure du pont en H

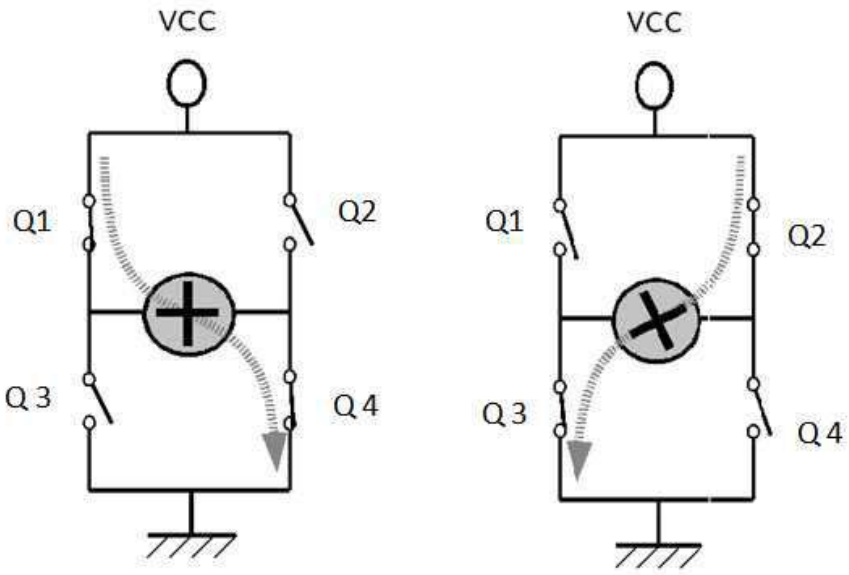


Figure 2.17 Les deux sens de rotation moteur

Pour éviter les branchements des transistors et leur logique de contrôle, des composants ont été développés et produits à base de pont H. Nous allons maintenant voir deux d'entre eux : le L293D et le L298N.

II.5.2 - Les driver moteurs l298n l293d Driver L293(D) :

II.5.2.1 - Driver L293 (D) :

L293(D), L293 est un pont de puissance composé de plusieurs transistors, c'est un double pont-H, ce qui signifie qu'il est possible de l'utiliser pour commander 4 moteurs distincts grâce à ses 4 canaux.

Il est également possible de constituer deux ponts-H afin de piloter deux moteurs distincts, dans les deux sens et indépendamment l'un de l'autre. Ce composant est fait pour fonctionner avec des transistors de 4,5V à 36V et il est capable de délivrer 600mA par canaux (ce qui fait 1,2 A par moteur) [31].

Enfin, ce composant existe en deux versions, le L293 et le L293D. La seule différence entre les deux est que le L293D intègre déjà les diodes en parallèle des transistors pour protéger ces derniers. Cela implique donc des concessions sur les caractéristiques, le courant max passe à 1A par canaux pour L293D et 2A pour la version sans les diodes. Ce composant a 16 broches et fonctionne selon un système de symétrie assez simple.

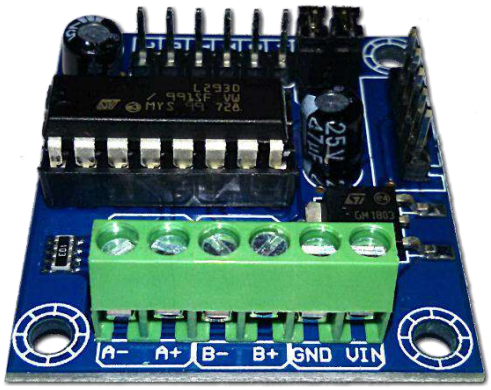


Figure 2.18 driver moteur l293D

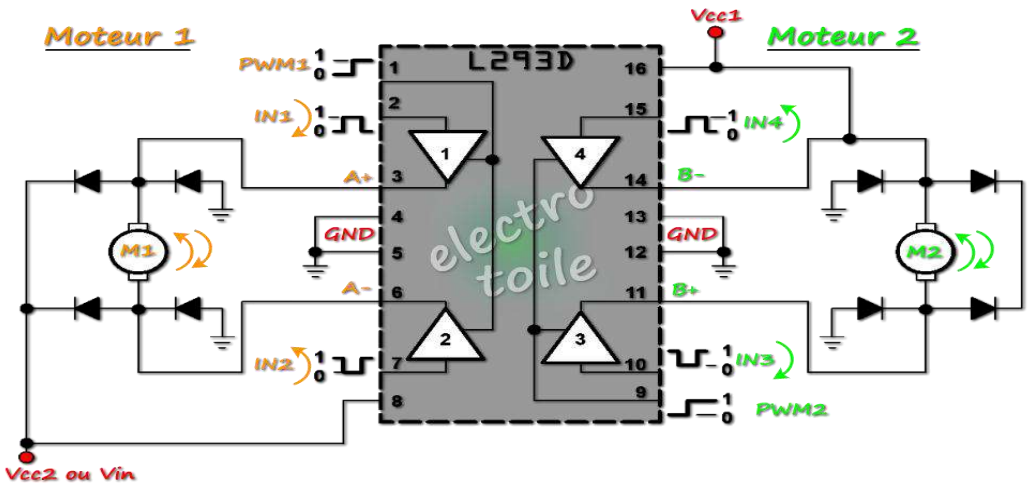


Figure 2.19 Description L293D et Diodes anti-retour

II.5.2.2 - Caractéristiques techniques du composant L293 (D) :

- Nombre de pont-H : 2.
- Courant Max Régime continu : 600mA (x2).
- Courant de pointe Max < 2ms : 1200Ma.
- VS Max Alimentation moteur : 36v.
- VSS Max Alimentation logique : 7v
- Nombre de Broches : 16 DIP.
- Perte de tension : 1.3v.

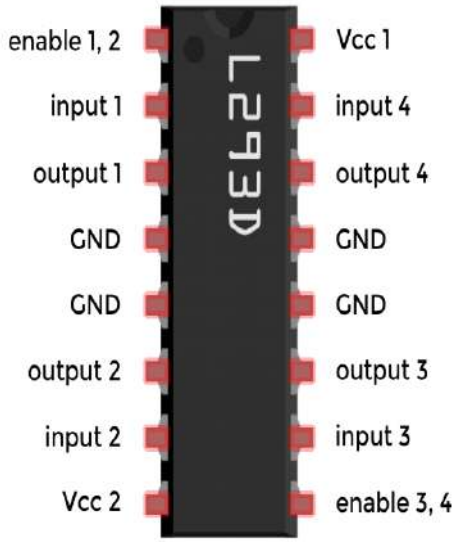


Figure 2.21 Broches du L293D

II.5.2.3 - Driver L298N :

Le L298N peut quant à lui supporter un courant de 2 A, ce qui permet de contrôler des moteurs plus puissants. Si nous achetons un L298N (circuit intégré seulement), ça nous coûte plus cher qu'un L293D, ses broches sont disposées d'une façon qui s'insèrent difficilement dans une breadboard, et nous devenons lui ajouter des diodes, des condensateurs, un radiateur, etc.

Tous ces inconvénients disparaissent si nous nous procurons un module déjà monté...même le prix, soit significativement moins que ce que coûte habituellement un circuit intégré L298N seul, sans les autres composants soudés sur la carte.



Figure 2.20 driver L298N

EXEMPLE :

II.5.3 - Exemple Commande moteur :

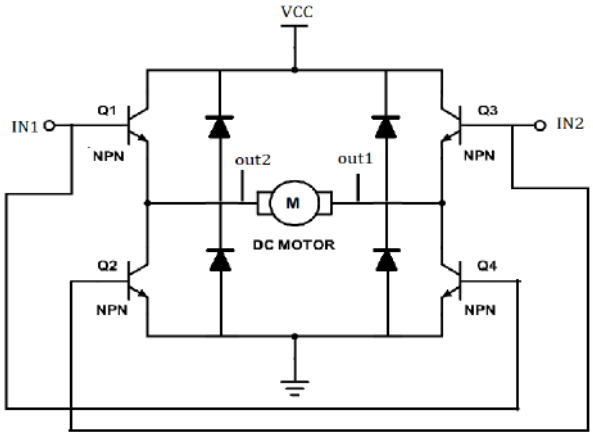


Figure 2.22 commande moteur avec l293D

IN1=0 et IN2=1 ===➔ Q1 et Q4 sont bloqués et Q2 et Q3 sont saturés → moteur tourne dans un sens comme figure suivent :

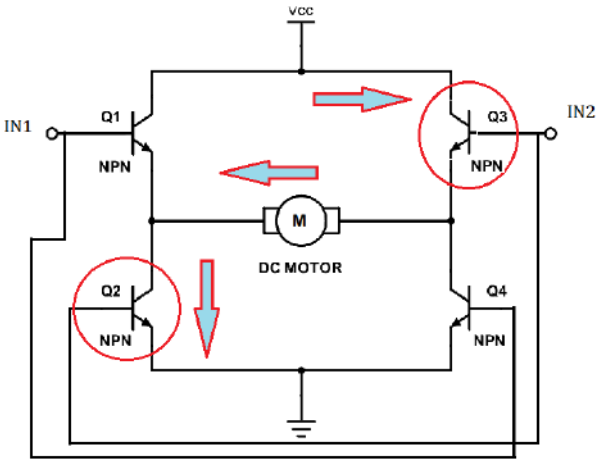


Figure 2.23 commande moteur pour tourner dans un sens

IN1=1 et IN2=0 ===➔ Q1 et Q4 sont saturés et Q2 et Q3 sont bloqués →moteur tourne dans l'autre sens comme figure suivent :

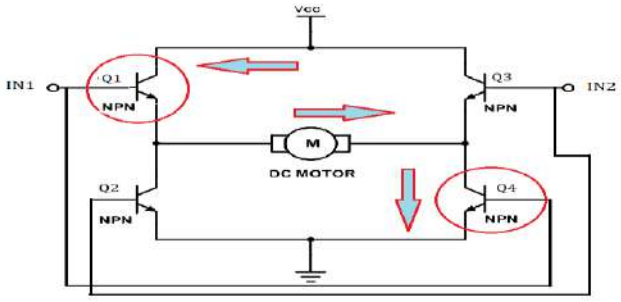


Figure 2.24 commande moteur pour tourner dans un autre sens

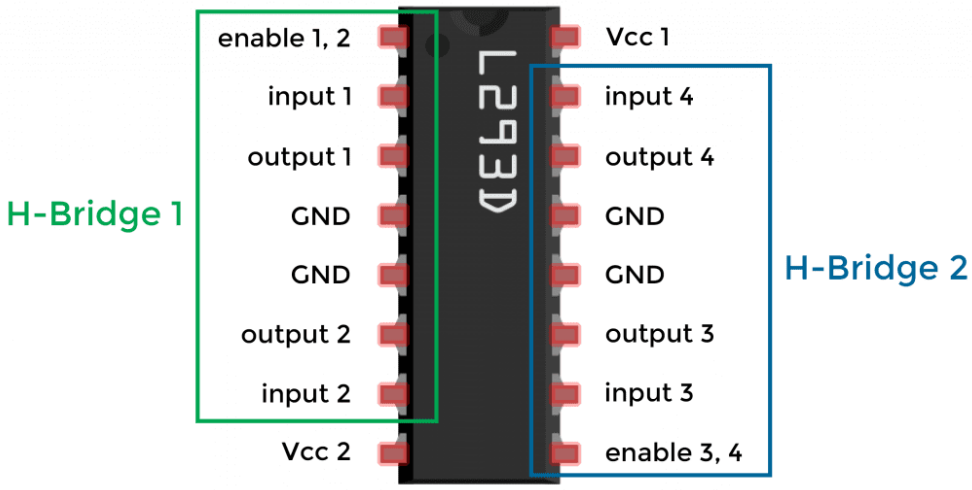


Figure 2.25 activation et désactivation pour deux pont H1,H2

- **Enable 1, 2:** Mettre ON/OFF du pont-H1 (HIGH **enables**, LOW **disables**)
- **Enable 3,42:** Mettre ON/OFF du deux pont-H2 (HIGH **enables**, LOW **disables**)

II.6. - Module LM2596 :

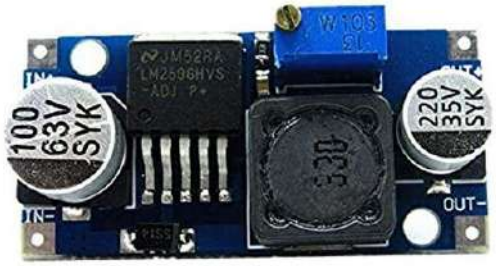


Figure 2.26 circuit alimentation LM2596

II.6.1 - Caractéristiques :

- Voltage de sortie : 1.25V à 37V DC
- Voltage d'entrée : 4.5V à 40V DC
- Courant de sortie max. : 2A (sans dissipateur)
- Puissance de sortie : 10W (sans dissipateur)
- Rectifieur Asynchrone
- Fréquence de fonctionnement : 150kHz
- Température de fonctionnement : 40 - 85°C
- Protection contre le court-circuit
- Réglable par potentiomètre
- Entrée Jack DC / bornier à vis
- Sortie USB / broche 10 pin / bornier à vis
- Dimensions : 79x40x18mm
- Poids : 30g

II.7 - Les capteurs utilisent :

Afin de pouvoir stabiliser et commander le système en boucle fermée, on doit pouvoir mesurer certaines informations sur l'état actuel du système. Plus spécifiquement, on doit connaître l'angle d'inclinaison du robot, sa position linéaire ainsi que les dérivées par rapport aux temps de ceux-ci. Afin de déterminer l'angle d'inclinaison du robot, un gyroscope ainsi qu'un accéléromètre ont été utilisés. Les signaux de ces capteurs comportent différents types de bruit et il est donc difficile d'obtenir une mesure fiable de l'angle d'inclinaison à partir d'un seul de ceux-ci. Par contre, il est possible d'obtenir une bonne estimation en les combinant. [23]

II.7.1 - Présentation du MPU6050 :

La puce est équipée d'un accéléromètre 3 axes et d'un gyroscope 3 axes. Outre l'acquisition des mesures, la puce est aussi équipée d'un processeur appelé DMP (Digital Motion Processor) se chargeant de convertir les mesures brutes en données compréhensibles pour un humain. Le processeur DMP réalise les calculs directement sur la puce allégeant ainsi le travail de l'Arduino. On peut aussi lire les mesures brutes sans passer par le traitement du DMP mais c'est très compliqué.[24]

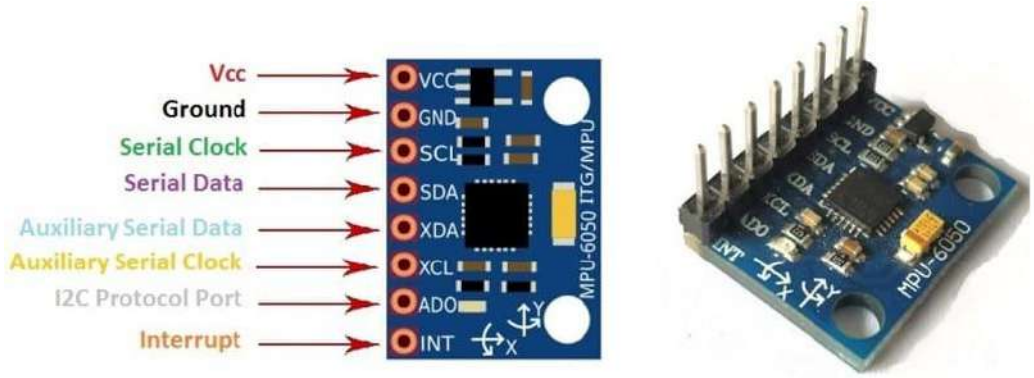


Figure 2.27 Une carte GY-521 dotée de la puce MPU6050

II.7.2 - Spécifications du MPU6050 :

- Le MPU6050 est le premier dispositif de suivi de mouvement 6 axes intégrés au monde. Certaines des spécifications de ce module sont données ci-dessous :
- Le MPU6050 possède un gyroscope 3 axes, un accéléromètre 3 axes et un processeur de mouvement numérique intégré sur une seule puce.
- Il fonctionne avec l'alimentation électrique 3V-5V.
- Le MPU6050 utilise le protocole I2C pour la communication et le transfert de données.
- Le MPU6050 peut être interfacé avec d'autres dispositifs I2C tels que des magnétomètres.
- Le MPU6050 possède également un capteur de température intégré.
- à port I2C, des capteurs non inertiels tels que le capteur de pression peuvent être interconnectés.
- Un tampon FIFO de 1024 octets est disponible sur la puce, ce qui contribue à réduire la consommation d'énergie du module.
- Le MPU6050 est équipé de filtres passe-bas pour le gyroscope, l'accéléromètre et le capteur de température.
- Le gyroscope a besoin de 3,6 mA de courant pour fonctionner.
- Le filtre passe-bas du gyroscope est programmable numériquement.[25]

II.7.3 - Connexion du MPU6050 à Arduino :

Le MPU6050 communique avec la carte Arduino via le protocole I2C. Le MPU6050 est connecté à Arduino comme indiqué dans le schéma ci-dessous. Si votre module MPU6050 a une prise de 5V, vous pouvez le connecter à la prise 5V d'Arduino. Sinon, vous devrez le connecter à la broche 3,3V. Ensuite, le GND de l'Arduino est connecté au GND du MPU6050.[25]

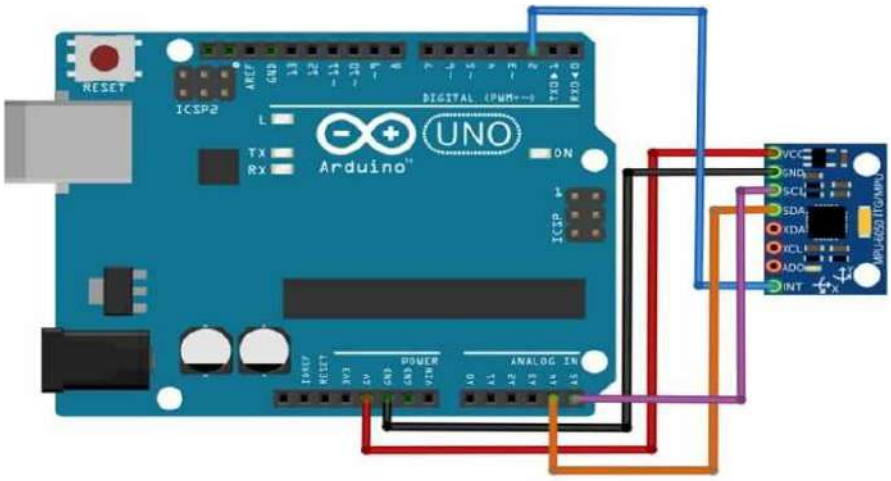


Figure 2.28 Connexion du MPU6050 à Arduino

Le programme que nous allons exécuter ici tire également parti de la broche d'interruption Arduino. Connectez la broche numérique 2 de votre Arduino (broche d'interruption 0) à la broche marquée INT dans le MPU6050.

Ensuite, nous devons configurer les lignes I2C. Pour ce faire, connectez la broche marquée SDA dans le MPU6050 à la broche analogique 4 (SDA) d'Arduino, et la broche marquée SCL dans le MPU6050 à la broche analogique 5 (SCL) d'Arduino. Vous venez de câbler le MPU 6050 d'Arduino.

II.7.4 - Accéléromètre :

Un accéléromètre est un capteur qui se fixe sur un mobile ou tout autre objet, permet de mesurer l'accélération linéaire de ce dernier. On parle encore d'accéléromètre même s'il s'agit en fait de trois accéléromètres qui calculent les trois accélérations linéaires selon trois axes orthogonaux.

II.7.5 – Gyroscope :

Un gyroscope est un appareil permettant d'effectuer une mesure de la rotation absolue de son boîtier. Les phénomènes physiques utilisés pour réaliser ces capteurs sont essentiellement : les propriétés inertielles de la matière pour les gyroscopes mécaniques et les propriétés de la lumière cohérente pour les gyroscopes à laser.

A noter qu'un même appareil peut fonctionner en gyroscope ou gyromètre.



Figure 2.29 *Accéléromètre et Gyroscope doté sur MPU6050*

II.8 - Les Rous :



Figure 2.30 *Rous en plastique pour les robots*

II.8.1 - Spécifications techniques de la roue 65 mm de robot mobile

- Diamètre : 65 mm
- Matériau des pneus : caoutchouc
- Compatibilité : kit robotique RedBot
- Conforme à la norme RoHS [26]

II.9 - La batterie d'alimentation :

- Au lithium-ion 3,7 V 18650 1500mAh [27]

Modèle n°	18650 1500mAh3.7V batterie Li-ion
La chimie	Li-ion
La tension nominale(V)	3, 7 V
L'emballage	L'emballage en vrac
Capacité nominale	1500mAh
Temps de charge	500 fois
La durée de vie	5 ans
Les certificats	La norme ISO9001: 2000, la SGS, RoHS



Figure 2.31 *batterie d'alimentation Au lithium-ion*

II.10 - Plaque pvc forex :

Configurez votre forex

- La fixation. Deux types de fixation vous sont proposées pour vos panneaux forex : fixation entretoises métalliques avec 4 trous en coin ou une fixation avec 2 platines adhésives
- Le format. Pour ces trois types de forex, nous vous proposons les mêmes formats prédéfinis : 100 x 200, 20 x 20, 40 x 60 cm et d'autres. Il vous est possible de choisir vous-même vos dimensions pour votre panneau.
- L'épaisseur du panneau. Trois épaisseurs différentes sont disponibles : 3, 5 ou 10 mm. Pour une résistance et une longévité plus importantes, choisissez un panneau forex épais.
- Les finitions. Découpe carrée ou rectangulaire, c'est à vous de choisir.



Figure 2.32 *Plaque pvc forex*

II.11 – Conclusion :

Dans ce chapitre, nous présenterons quelques concepts théoriques et pratiques sous des explications pour chaque composant majeur d'un assemblage. Afin de donner le bon fonctionnement de tous les matériels mentionnés ici est essentiellement aux fonctionnements globaux de notre système.

Pour Arduino, nous avons expliqué l'une de ses deux parties de base : la partie matérielle avec ses caractéristiques et surtout la composition de l'Arduino Uno sont citées et étudié les capteurs, les roues et les batteries. Une partie d’asservissement sera expliquée dans le chapitre suivant.

CHAPITRE : III

ASSERVISSEMENT DE PID



III.1 – Introduction :

Dans le chapitre précédent, nous avons parlé du matériel nécessaire à la mise en œuvre. Ce chapitre aborde les méthodes de réglage et de réglage des paramètres PID et leur réalisation sans calcul et le principe de fonctionnement du robot d'équilibrage automatique.

III.2 - Principe de fonctionnement du robot auto équilibré :

Pour développer un système de contrôle fiable et performant pour un robot d'équilibrage à deux roues, il est essentiel de comprendre les paramètres du système. La représentation de ceux-ci peut être réalisée à travers un modèle mathématique. La théorie du pendule inversé est plus généralement connue sous le nom de théorie des pôles et des chariots, et bien que le robot d'équilibrage à deux roues ne se compare pas directement au pôle et au chariot, les mêmes principes sont en vigueur. Dans le modèle du système, le chariot correspond aux roues tandis que le poteau correspond au châssis du robot. [28]

Les coefficients de frottement ont été négligés dans ce projet car le robot devrait traverser de nombreux types de terrains et de surfaces. Si les coefficients devaient être pris en compte lors de la conception et de la mise en œuvre des systèmes de commande, des capteurs, des circuits et une consommation électrique supplémentaires seraient alors nécessaires pour obtenir ces nouvelles valeurs pendant le fonctionnement. Le temps, les efforts et les ressources nécessaires pour créer cette capacité dépassent de loin les avantages que l'onpourrait attendre de leur inclusion [29]

Il est nécessaire de généraliser les effets des roues gauche et droite et de les incorporer sous le terme combiné «roues». Cela simplifie les calculs car les deux roues travailleront à l'unisson pour maintenir la stabilité. Pour déterminer les exigences spécifiques de couple (forces) pour chaque roue, la valeur des roues peut être divisée par deux pour une valeur de roue unique approximative. Cette approche est considérée comme acceptable car le terrain et la surface varient entre les roues sur certains terrains.

Le principe du pendule inversé a pour but de garder les roues sous le centre de la masse du châssis du robot. Si le robot commence à s'incliner vers l'avant, alors pour maintenir la stabilité, la roue devra avancer pour revenir sous la masse du châssis. Si cela n'est pas maintenu, le robot va simplement tomber. Les dynamiques de système suivantes sont associées au problème mathématique [30]

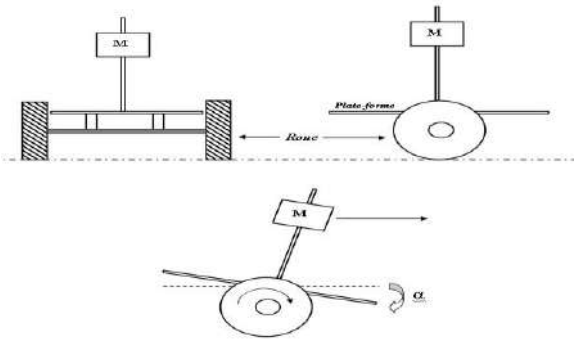


Figure 3.1 *Principe de fonctionnement robot auto équilibré*

III.3 - L'objectif de l'asservissement d'un moteur avec un régulateur PID :

Le but de l'asservissement est d'être capable de contrôler avec précision un moteur, dont la vitesse de rotation est naturellement imprécise et instable.

Par exemple dans le cas d'un robot différentiel, si l'on veut faire en sorte que le robot puisse aller droit, il faut pouvoir commander les deux roues exactement à la même vitesse. Or comme un moteur (à courant continu) a une vitesse qui varie facilement, il faut d'une part être capable de la mesurer et, d'autre part, pouvoir faire varier la tension du moteur pour qu'il tourne correctement. Pour cela il existe plusieurs algorithmes. Le plus répandu s'appelle boucle de régulation PID. C'est celui que nous allons voir plus en détail ici. [31]

III.4 - Les coordonnées de robot :

Ce système robotique est similaire au problème «le pendule inversé sur un chariot en mouvement». De même au problème du pendule, ce système de robot peut être séparé en deux parties : "partie roue" et "partie corps" (Figure 3.2). La principale différence entre ce système et le pendule inversé est l'inertie et la position du centre de masse de la partie du corps, car nous cherchons un modèle plus détaillé du système plutôt que de l'approcher comme une masse ponctuelle. Pour ce système, nous devons calculer l'inertie et la position du corps basée sur la distribution de masse de la partie du corps, qui est déterminée par la conception matérielle [32]

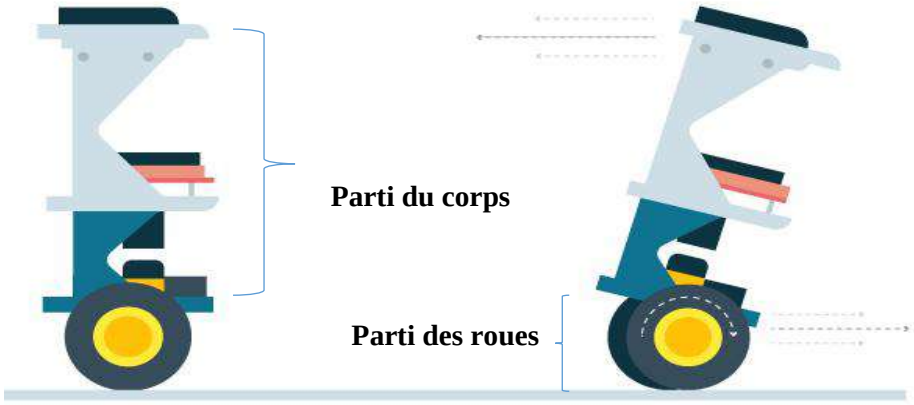


Figure 3.2 : Corps et roues de robot.

Pour dériver les équations dynamiques de ce système, nous avons défini les coordonnées comme indiqué à la Figure 3.3. Dans ce système, nous supposons que le robot se déplace horizontalement sans glisser entre le sol et les roue.

x	position horizontale du centre de la roue par rapport à une origine définie
Xc	position horizontale du point m de la partie du corps par rapport à une origine définie
φ	angle de rotation de la roue dans le sens des aiguilles d'une montre par rapport à l'axe horizontal à t = 0
z_c	position verticale du corps de la partie du corps du sol
θ	angle de rotation dans le sens des aiguilles d'une montre de la partie du corps à partir de la position verticale
M	masse de la partie du corps
m_w	masse de la roue
R	Rayon de la roue
L	longueur entre le corps et le centre de la roue
τ_0	couple appliqué
I	l'inertie de la partie du corps
I_w	inertie de la roue

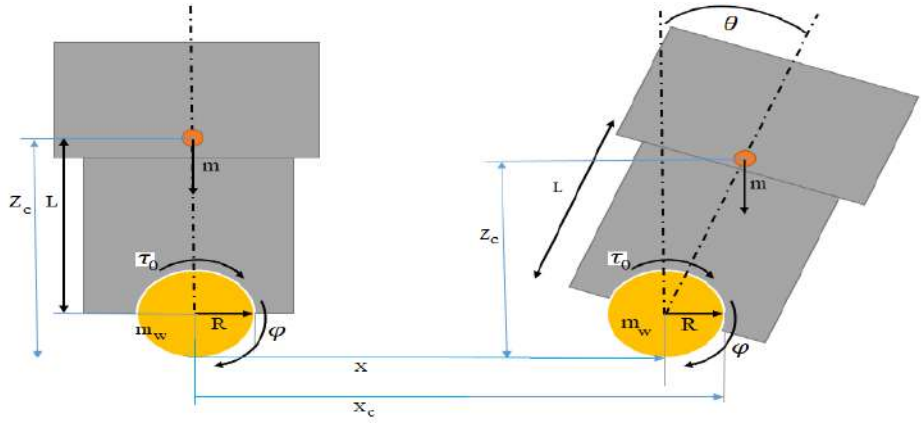


Figure 3.3 : Schéma de carrosserie libre du sous-système mécanique du robot.

III.5 - La commande PID :

Est dite aussi (correcteur, régulateur, contrôleur), se compose de trois termes P, I et D, d‟ où le „P‟ correspond au terme proportionnel, „I ‟pour terme intégral et „D‟ pour le terme dérivé. Les régulateurs PID sont probablement les plus largement utilisés dans le contrôle robotique. Même les plus complexes systèmes de contrôle industriel peut comporter un réseau de contrôle dont le principal élément de contrôle est un module de contrôle PID. [33]

Le régulateur PID est une simple implémentation de retour d'information. Il a la capacité d'éliminer la compensation de l'état d'équilibre grâce à l'action intégrale, et il peut anticiper le futur grâce à une action dérivée L'équation d'un régulateur PID est donnée comme suit :

$$R(t) = K_p.e(t) + K_i.\int_0^t e(t)dt + K_d.\frac{de(t)}{dt}$$

Le développement extraordinaire des microprocesseurs et microcontrôleurs a provoqué des changements importants dans la conception des systèmes de commande régulation des procédés industriels. Leur puissance de calcul et leur faible coût les rendent aptes à prendre également en charge les aspects commande/régulation des procédés en question avec des performances nettement supérieures à celles des régulateurs analogiques.

Autant dire que la régulation numérique va se substituer progressivement à la régulation analogique. Cependant la mise en œuvre de ces nouveaux systèmes numériques de contrôle commande nécessite de nouvelles compétences pour l'utilisateur. [34]

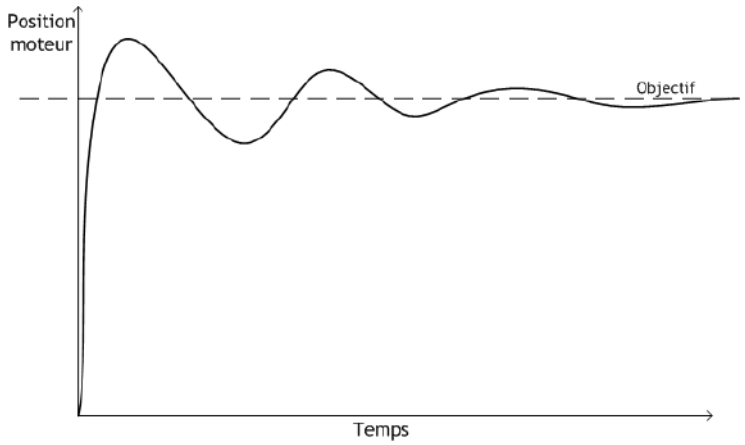


Figure 3.4 : *Courbe de réponse indicielle typique d'un régulateur PID*

III.5.1 - Schéma de régulateur PID :

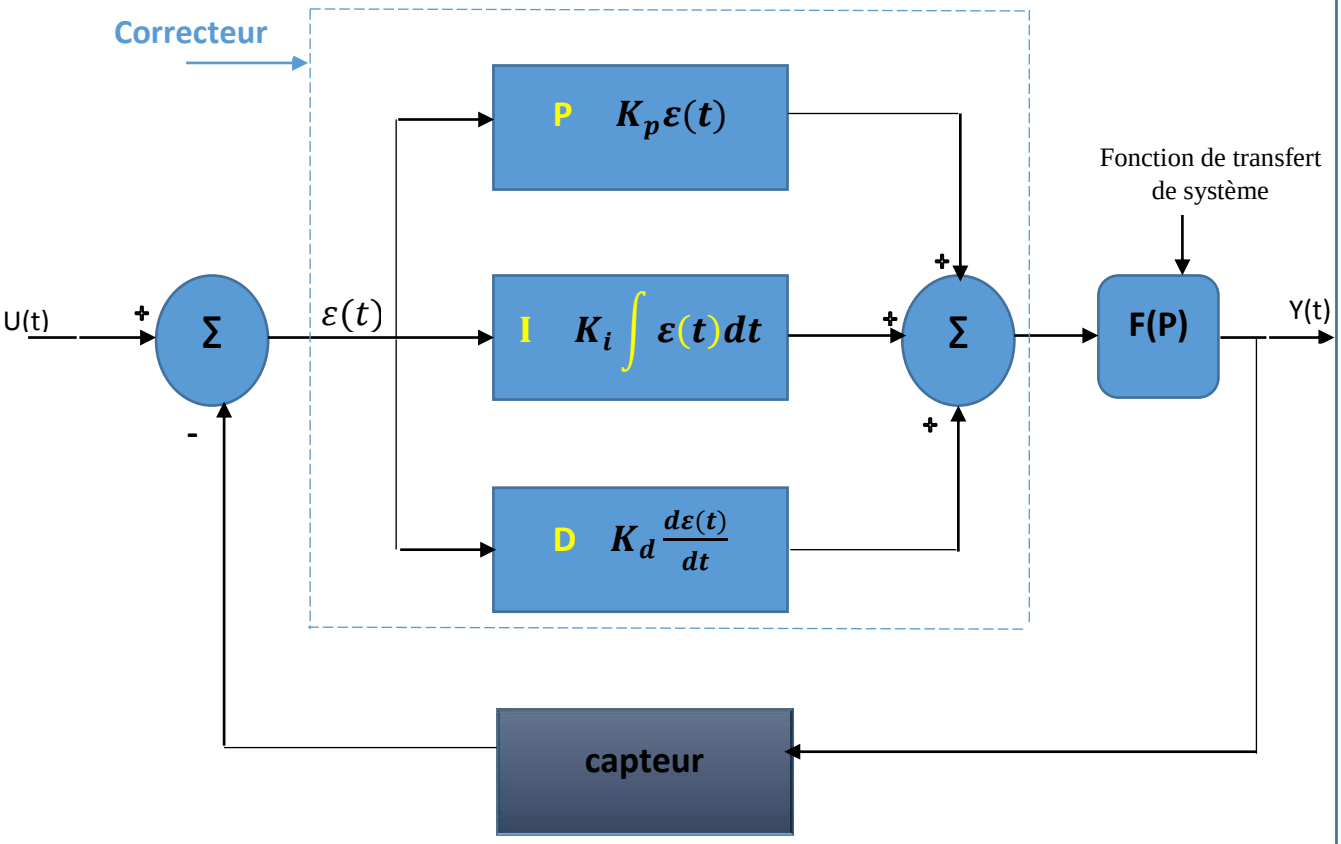


Figure 3.5 : *Schéma de régulateur PID*

$\boldsymbol{\varepsilon(t) = u(t) - y(t)}$ $\quad \boldsymbol{l'erreur}$

$\boldsymbol{u(t) = consigne}$

$* \ \boldsymbol{K_p}$ $\boldsymbol{gain\ proportionnelle}$

$* \ \boldsymbol{K_i}$ $\boldsymbol{gain\ intégrale}$

$* \ \boldsymbol{K_d}$ $\boldsymbol{gain\ derivée}$

La régulation PID combine les actions proportionnelles intégrales et dérivée pour générer un seul lequel de commande, ou chaque action offre une caractéristique permet de réguler la sortie

III.5.2 - Implémentions de PID numérique sur Arduino :

Le but de cette partie est justement d'essayer d'expliquer comment implémenter une régulation PID sans entrer dans les calculs ni sans utiliser les fonctions de transfert du système et autres équations plus compliqué

III.5.3 - Correcteur proportionnelle :

- le correcteur proportionnel est le plus simple des correcteurs. il ne permet pas toujours d'obtenir des performances très élevées mais il peut suffire dans certains cas si le cahier des charges n'est pas trop contraignant ou si le système a un comportement assez simple. [34]
- La commande de ce régulateur est proportionnelle à l'erreur.

Commande = K_p * erreur $\longrightarrow$ $U(t) = K_p \varepsilon(t)$

- K_p est le coefficient de proportionnalité de l'erreur à régler de façon manuelle
- Si augment encore K_p $\longrightarrow$ des oscillations aux niveaux de la sortie, ce qui rend le système instable.

III.5.4 - La consigne est constante et la sortie s'est stabilisée à sa valeur finale :

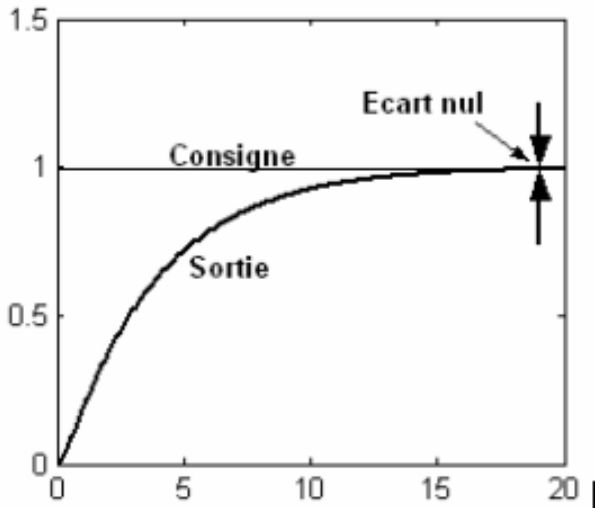


Figure 3.6 : *courbe de La consigne est constante et la sortie [35]*

III.5.5 - La sortie a atteint son état permanent et on note que l'écart n'est pas nul :

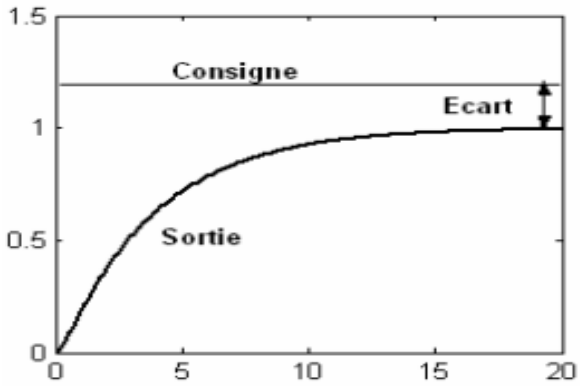


Figure 3.7 : *courbe de l'écart n'est pas nul dans la sortie [35]*

III.5.6 - Le dépassement :

Pour illustrer la notion du dépassement, on considère la réponse d'un système asservi représentée par-là Elle est caractérisée par la présence des oscillations d'amplitudes décroissantes. [35]

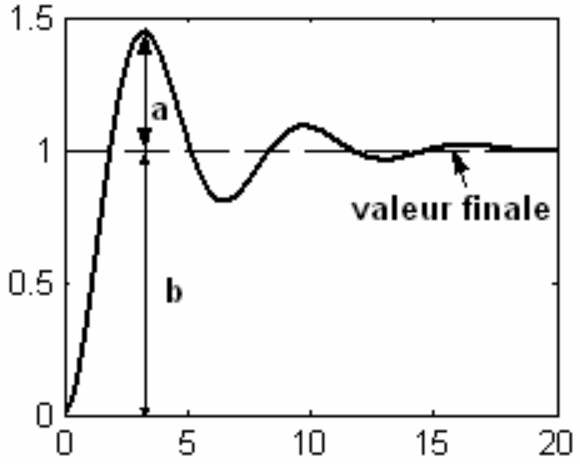


Figure 3.8 : *courbe de dépassement*

III.5.7 - La rapidité :

La rapidité est évaluée par le temps de réponse. Celui-ci est défini comme étant la durée pendant laquelle la réponse évolue d'un état stabilisé à un autre. Plus le temps de réponse est faible, plus l'asservissement est dit rapide.[35]

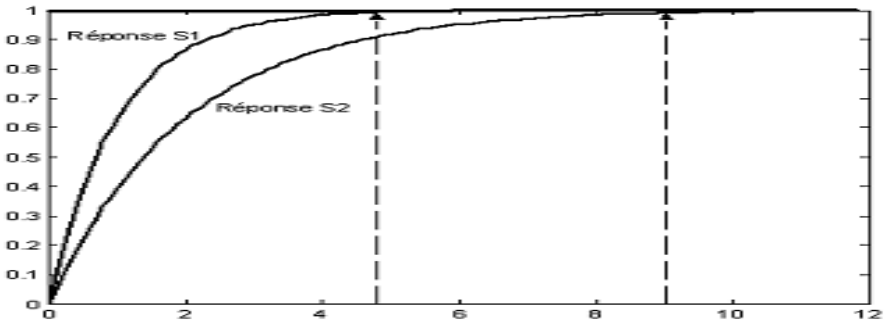


Figure 3.9 : *courbe de rapidité*

A comparaison entre les deux réponses ci-dessus permet de conclure que le système asservi dont la réponse est S1 est plus rapide que l'asservissement de réponse S2.

III.6 - Correcteur intégrale :

Ce correcteur corriger l'écart

Loi de commande I

- $K_i \int \varepsilon(t)dt$
- $K_i = \frac{K_p}{T_i}$

III.6.1 - Correcteur P.I. (actions proportionnelle et intégrale) :

- Ce correcteur permet un changement de classe de l'asservissement (de la classe 0 à la classe 1) donc permet une amélioration très sensible de la précision (plus d'erreur de position).
- Par contre, le retard de phase apporté par ce correcteur ne peut en aucune façon améliorer la qualité vélocité de l'asservissement, au contraire [36]

III.6.2 - Schéma bloc de référence PI :

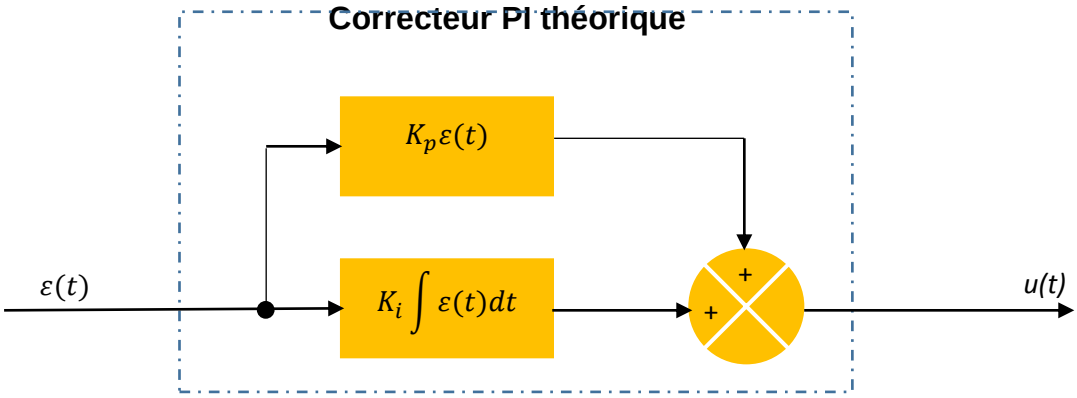


Figure 3.10 : *Schéma bloc de référence PI [37]*

Loi de commande PI

$$u(t) = K_p \left(\varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(u)du \right)$$

III.6.3 - Principe de fonctionnement :

On place le correcteur de telle sorte que le déphasage positif soit effectif avant la pulsation de résonance du système non corrigé de manière à ne pas rendre le système instable, Une autre solution consiste à simplifier « mathématiquement » le pole dominant par le numérateur du correcteur P.I.

III.7 - Correcteur Dérivé :

Il est utilisé pour éliminer les oscillations en vue de recherche le système stable.

- $K_d = K_p T_d$

La loi de commande D

$$u(t) = K_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$$

III.7.1 - Schéma bloc de référence PD :

Correcteur PD théorique

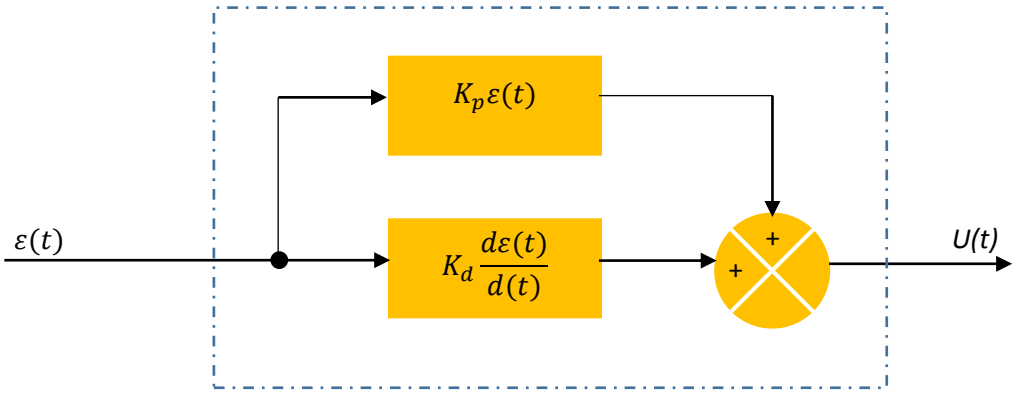


Figure 3.11 : *Schéma bloc de référence PD*

Loi de commande PD

$$u(t) = K_p \left(\varepsilon(t) + K_d . \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \right)$$

III.7.2 - Correcteur PD (correcteur proportionnelle dérivé) :

Ce correcteur ne change pas la classe de l'asservissement mais permet de remonter la courbe de gain en boucle ouverte dans le domaine des basses pulsations, ce qui diminue soit l'erreur de position en classe 0 soit l'erreur de traînage en classe 1. Mais surtout ce correcteur décale la courbe de gain en boucle ouverte vers la droite (hautes pulsations) ce qui permet une augmentation importante de la bande passante de l'asservissement, donc une amélioration sensible de la vélocité.[38]

III.7.3 - Principe de fonctionnement :

La constante de dérivation doit permettre d'agir (apporter une phase positive) avant la résonance du système non corrigé.

III.8 - Correcteur proportionnel Intégrateur Dérivateur PID :

III.8.1 - Principe de fonctionnement

L'intérêt du correcteur PID est d'intégrer les effets positifs des trois correcteurs précédents. La détermination des coefficients Kp, Ki, Kd du correcteur PID permet d'améliorer à la fois la précision (Kd et Kp) la stabilité (Kd) et la rapidité (Kd, Kp).

Le réglage d'un PID est en général assez complexe, des méthodes pratiques de réglages permettent d'obtenir des bons résultats.

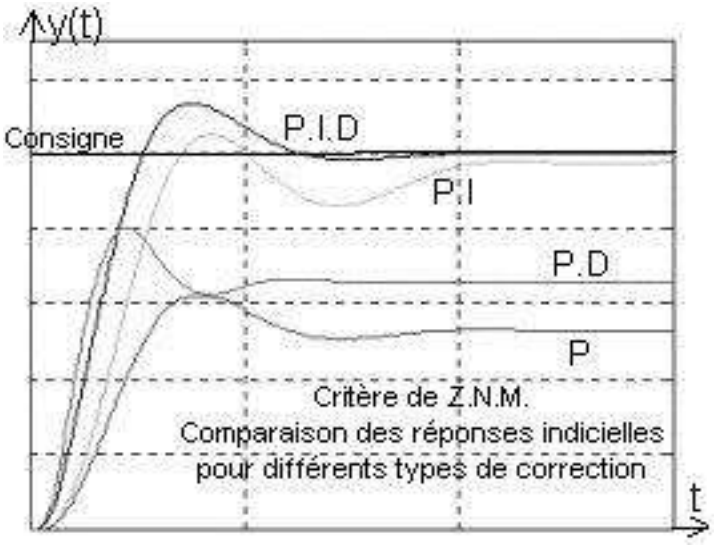


Figure 3.12 : *la courbe pour comparaison des réponses indicielles PI, PD, PID*

Le PID parfait n'existe pas, tout est une question de compromis. Certaines applications autoriseront un dépassement afin d'améliorer le temps de stabilisation, alors que d'autres ne l'autoriseront pas (exemple, contrôler un stylo pour écrire sur une feuille. S'il y a dépassement dans le PID, le stylo traversera la feuille). Tout dépend donc du cahier des charges. Chacun des coefficients à un rôle à jouer sur la réponse à une consigne :

- L'erreur statique, c'est l'erreur finale une fois que le système est stabilisé. Cette erreur doit être nulle. Pour diminuer l'erreur statique, il faut augmenter Kp et Ki.
- Le dépassement, c'est le rapport entre le premier pic et la consigne. Ce dépassement diminue si Kp ou Ki diminuent ou si Kd augmente.
- Le temps de montée est l'intervalle de temps correspondant à la croissance du signal de 10 % à 90 % de sa variation totale.
- Le temps de montée diminue si Kp ou Ki augmentent ou si Kd diminue.
- Le temps de stabilisation, c'est le temps qu'il faut pour que le signal commette une erreur inférieure à 5% de la consigne. Ce temps de stabilisation diminue quand Kp et Ki augmentent.

III.9 - Les déférentes méthodes de correction :

III.9.1 - PID à structure série :

Dans la structure série, les trois actions *P*, *I* et *D* sont associées en série, c'est-à-dire le signal de l'erreur subit à trois transformations successives comme illustré par **la Figure 3.13** Dans cette structure le signal de commande (t) est défini par :

$$u(t) = \alpha K_p \varepsilon(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t \varepsilon(\tau)dt + T_d K_p \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$$

$$\alpha = \frac{T_i + T_d}{T_i} \; et \; \varepsilon(t) = u(t) - y(t)$$

Avec :

- ***u(t) :*** *Le signal de référence*
- ***y(t) :*** *la sortie du système.*

En appliquant la transformée de La place on obtient la fonction de transfert (p) du régulateur PID série :

$$C(p) = \frac{U(p)}{E(p)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i p}\right)(1 + T_d p)$$

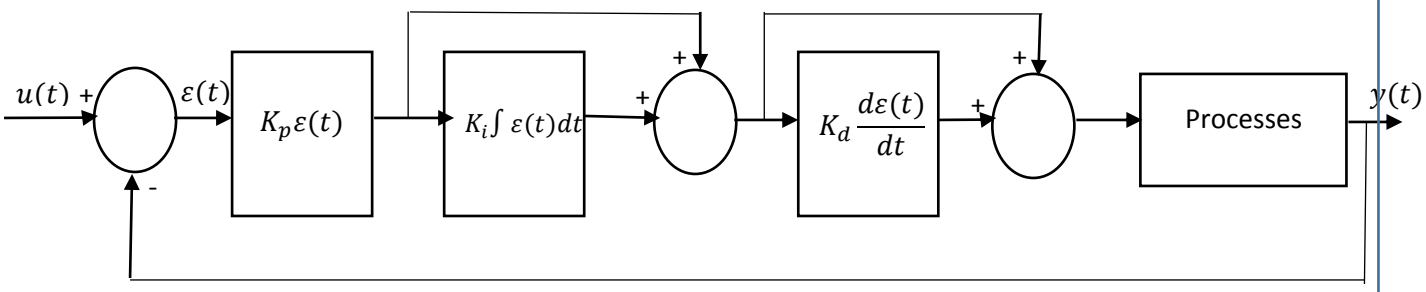


Figure 3.13 : *Structure série d'un régulateur PID*

III.9.2 - PID à structure parallèle :

Dans la structure parallèle, les trois actions *P*, *I* et *D* sont associées en parallèle, comme illustré par **la Figure 3.14**

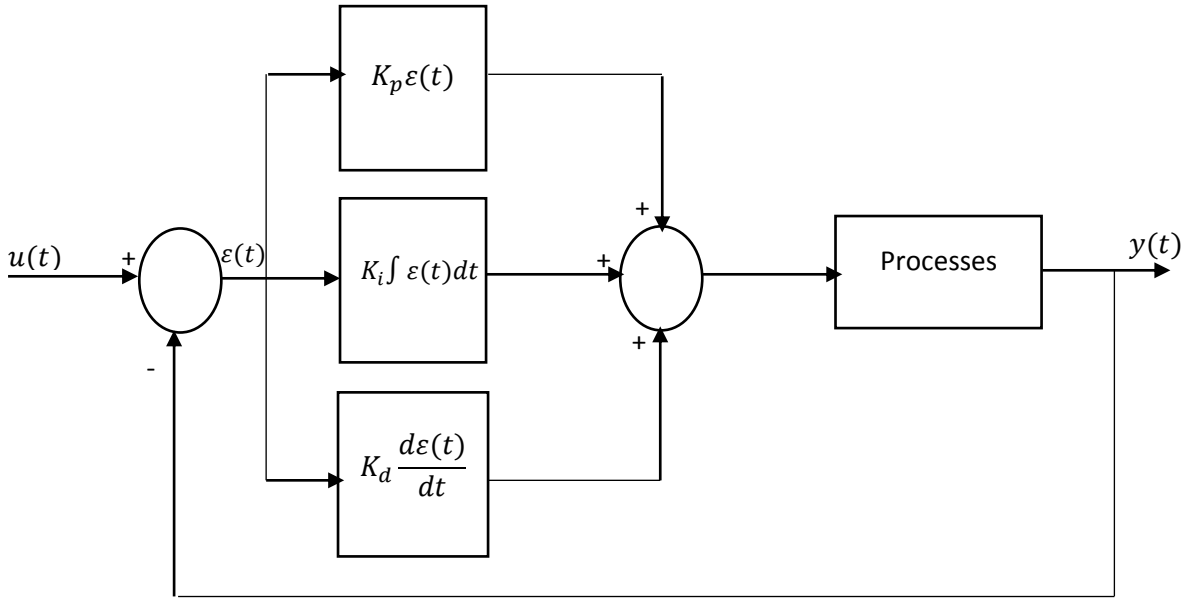


Figure 3.14 Structure *parallèle d'un régulateur PID.*

Dans cette structure le signal de commande (t) donné est défini par :

$$u(t) = K_p\varepsilon(t) + K_i\int_0^t \varepsilon(t)dt + K_d\frac{d\varepsilon(t)}{dt}$$

En appliquant la transformée de Laplace, on obtient la fonction de transfert (p)du régulateur PID parallèle :

$$C(p) = \frac{y(t)}{u(t)} = K_p + \frac{K_i}{p} + K_d p$$

III.9.3 - PID à structure mixte :

Dans la structure mixte, les deux actions *I* et *D* sont associé en parallèle, et leur sommes multipliée par l'action *P*, comme illustré par **la Figure 3.15 [39]**

Dans cette structure le signal de commande u est donné par

$$u(t) = K_p\left(\varepsilon(t) + \frac{1}{T_i}\int_0^t \varepsilon(t)dt + T_d\frac{d\varepsilon(t)}{dt}\right)$$

En appliquant la transformée de Laplace, on obtient la fonction de transfert (p) du régulateur PID mixte :

$$C(p) = \frac{y(t)}{u(t)} = K_p\left(1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p\right)$$

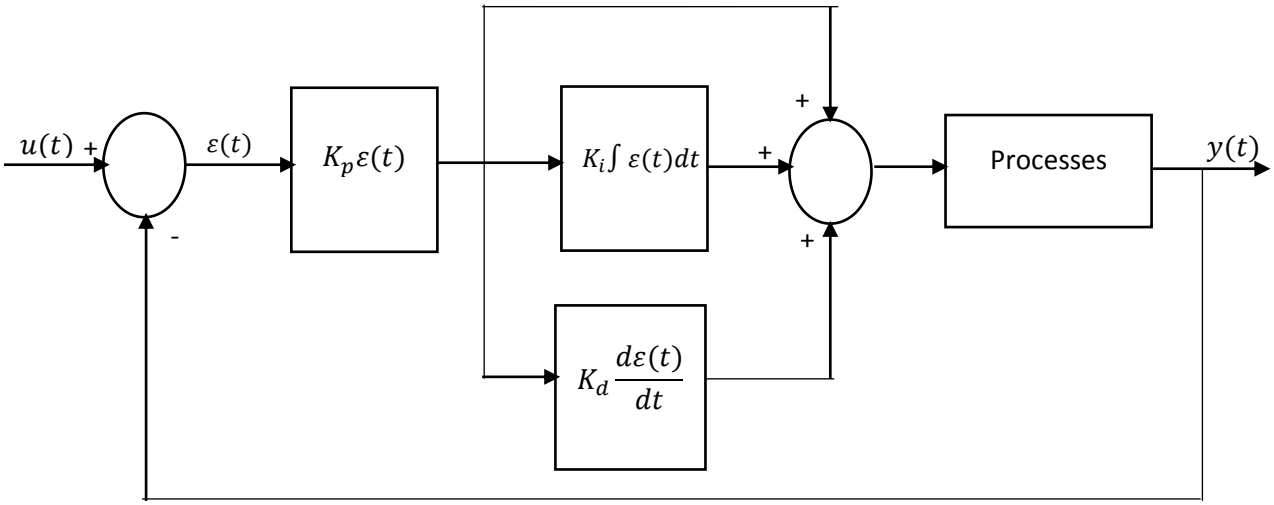


Figure 3.15 *Structure mixte d'un régulateur PID*

La principale différence entre ces trois structures concerne l'effet des gains de réglage (*K*p, *K*i et *K*d) sur le comportement du régulateur.

On remarque que contrairement aux deux structures série et mixte Où les trois actions sont couplées entre elles, dans la structure parallèle les trois actions sont découplées entre elles complètement, c'est-à-dire, la modification du gain proportionnel *K*p ne modifiée que l'action proportionnelle, tandis que, dans les deux autres structures (série et mixte), la modification du gain proportionnel *K*p va modifier simultanément les trois actions (proportionnelle, intégrale et dérivée).

III.10 - Tableau récapitulatif des correcteurs usuels :

Correcteurs	Avantages	Inconvénients
P	Simplicité Meilleure précision	Risque d'instabilité si *Kc* >> 1
PI	Simplicité Erreur statique nulle	Système parfois lent en BF
Avance de phase	Amélioration stabilité et rapidité	Sensibilité du système aux bruits
PID	Très utilisé en industrie Action PI + PD	Réglage des paramètres plus difficile
Retard de phase	Diminution de l'erreur statique	Rapidité diminuée

III.11 - Tableau des actions de PID :

action	avantage	désavantage
P	• Assurer la rapidité	• ne permet pas d'annuler une erreur statique
I	• annulation d'erreur statique • amélioration de la robustesse	• action lente, ralentit le système (effet déstabilisant)
D	• améliore la rapidité (effet stabilisant)	• sensibilité aux bruits forte sollicitation de l'organe de commande

III.12 - Organisation de système en boucle fermée :

Dans le système en boucle fermée, on trouve un capteur pour mesurer la sortie dans notre cas nous avons utilisé le gyroscope mpu6050 qui va permettre de mesuré l'inclinaison de corps du robot ensuit envoie les valeurs vers l'arduino qui nous avons le utilisé comme comparateur pour élaborer l'erreur entre la consigne et la mesure de sortie aussi comme correcteur qui commande les moteur en fonction de signal d'erreur [40]

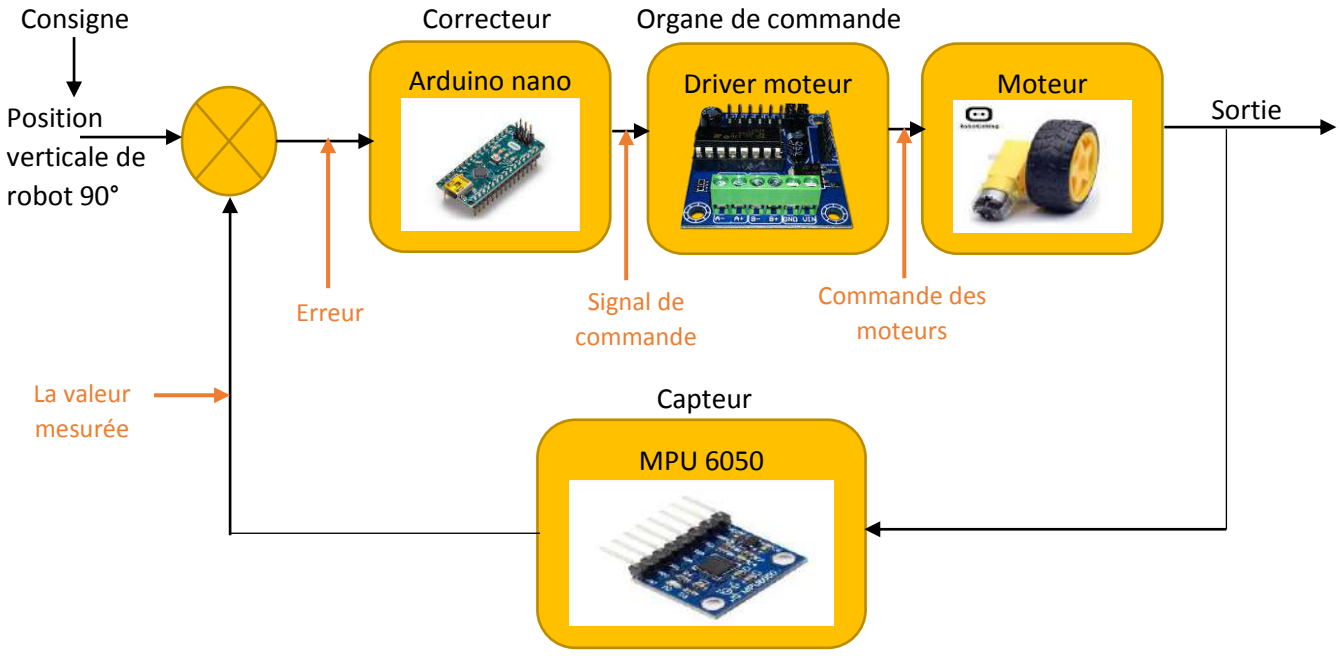


Figure 3.16 : *Schéma de régulation d'une boucle fermée.*

III.13 - Organigramme de fonctionnement de robot auto balance :

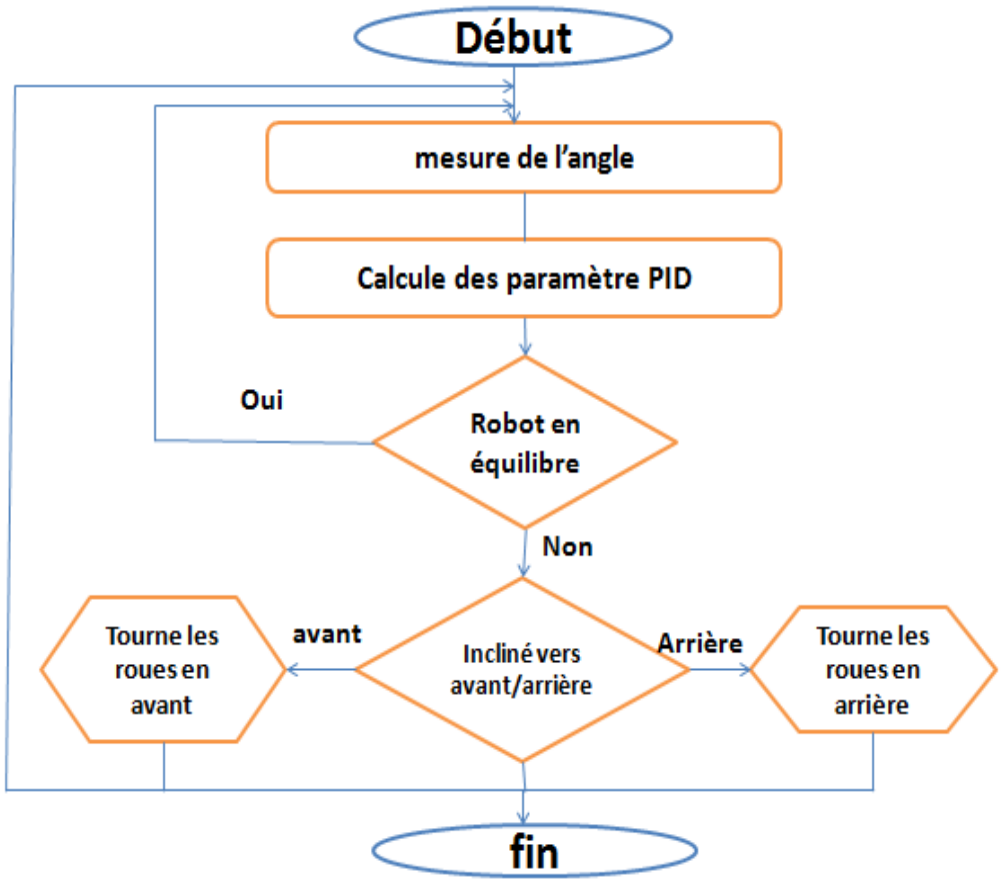


Figure 3.17 : *Organigramme de fonctionnement de robot auto balance*

III.14 - Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons vu le principe de fonctionnement de robot auto balance et les solutions pour les calculs et les équations dynamiques mais pour notre projet nous utilisons une méthode plus facile pour le faire fonctionner avec une implémentation de régulation PID sans faire des calculs compliqués.

CHAPITRE : IV

CONCEPTION ET REALISATION



IV.1 – Introduction :

Les systèmes embarqués sont composés d'une partie logiciel « Software » et une partie « Hardware ». Dans le chapitre précédent, on s'est intéressés à l'asservissement de notre robot. Dans ce chapitre, nous allons discuter de la partie hardware (les étapes pour réaliser le robot) et la partie software (à base de L'Arduino). En outre, nous allons donner les différentes solutions aux contraintes rencontrées au cours de ce projet.

Pour que le robot reste en équilibré, les moteurs doivent contrecarrer la chute du robot. Cette action nécessite une rétroaction et des éléments de correction. L'élément de rétroaction est un gyroscope plus un accéléromètre. Ces deux derniers sont incorporés dans un même boitier à savoir le (MPU6050), qui fournit à la fois une accélération et une rotation dans les trois axes (bases du MPU6050 I2C). L'Arduino utilise ce signal pour connaître l'orientation actuelle du robot. L'élément correcteur est la combinaison moteur / roue.

Donc la première étape on va concevoir un montage afin de lire la valeur générée par le circuit mpu6050.

IV.2 - Mise en place et fonctionnement du mpu6050 :

Pour mesurer, une inclinaison, une accélération, le MPU6050 est la meilleure solution. Sa mise en place est facile, un composant facilement implantable dans tout projet sous Arduino. Il nous permettra de déterminer une inclinaison dans les trois axes, déterminer une accélération, par une première intégration de l'accélération en fonction du temps, il pourra donner la vitesse, par une seconde intégration de l'accélération en fonction du temps, il donnera une distance Ce module communique avec la carte arduino via un bus de communication I2C, une brève introduction est donnée dans la section suivante.

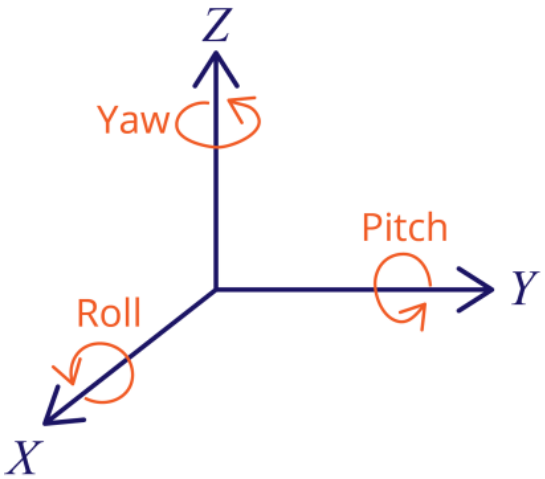


Figure 4.1 : *orientation accélération et gyroscope MPU6050*

IV.3 - Logiciels utilisés :

IV.3.1 - ISIS PROTEUS :

La simulation en robotique mobile consiste tout d'abord à implémenter sur un système informatique, lui-même embarqué sur un système mécanique, les méthodes théoriques résolvant les différentes fonctionnalités. Il s'agit ensuite de définir une mission que le robot doit exécuter, et évaluer notre commande.

L'expérimentation démontre deux propriétés :

- La faisabilité de l'implémentation
- La capacité à résoudre des problèmes réels.

Lors de la simulation, nos préoccupations ont été d'assurer l'évolution simultanée et cohérente d'un ensemble d'agents indépendants évoluant dans un environnement continu, Offrir une grande flexibilité au niveau des possibilités d'interprétation des données pour cela on a travaillé avec le logiciel Proteus 8.0 est composé de trois modules

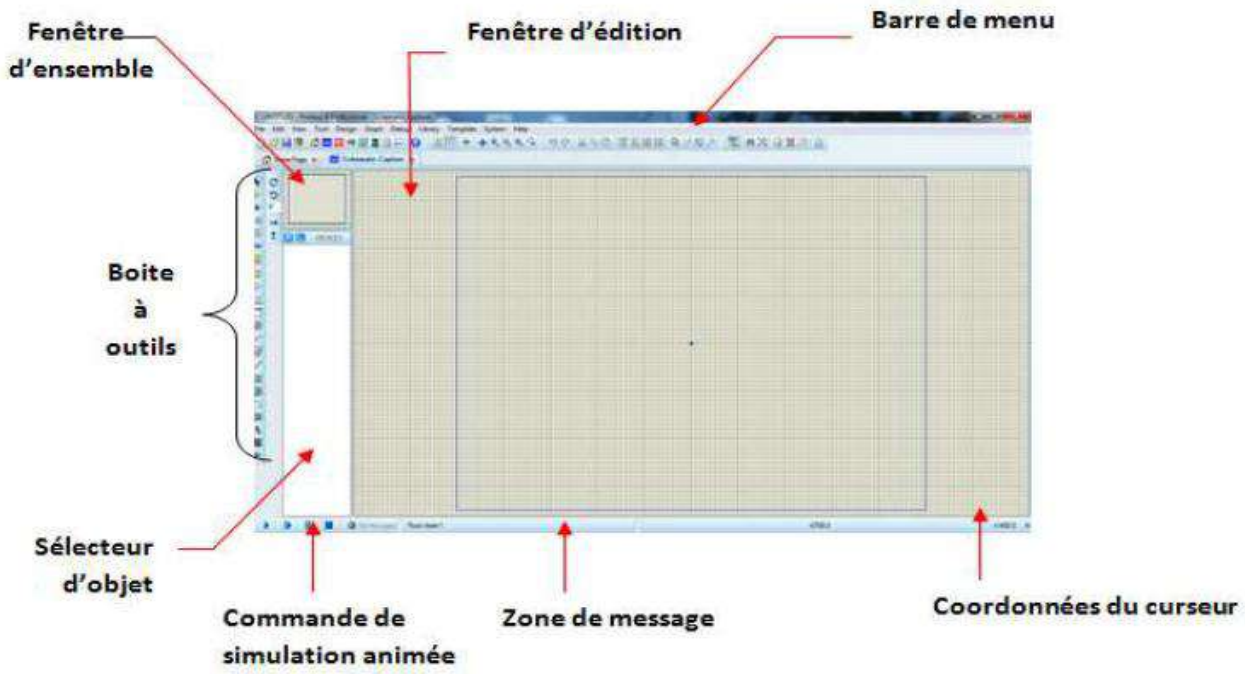


Figure 4.2. *Interface d'utilisateur du logiciel*

IV.3.2 - Logiciel de programmation Arduino :

Ce logiciel nous a permet de faire un programme sur la commande de nos moteurs et leur fonctionnement à l'aide des capteurs.

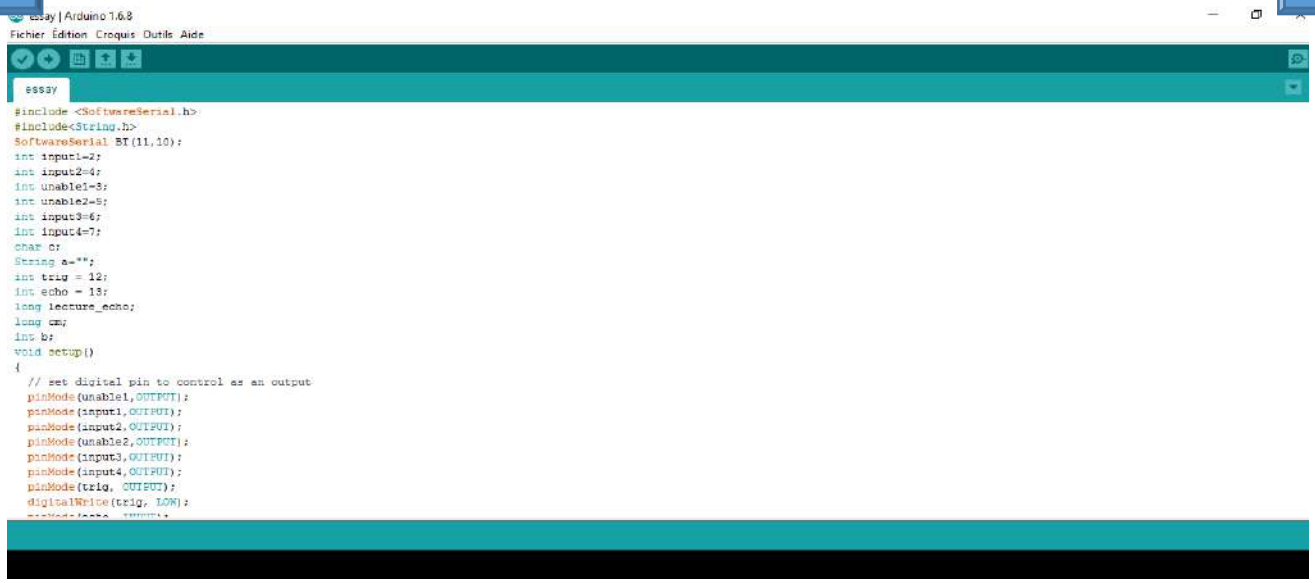


Figure 4.3. *Programmation sur Arduino*

Après plusieurs tests et corrections nous avons réussis à réaliser la commande de notre robot mobile et à faire la simulation.

IV.3.3 - Bus I2C :

I2C est un bus de données qui a émergé de la « guerre des standards » lancée par les acteurs du monde électronique. Conçu par Philips pour les applications de domotique et d'électronique domestique, il permet de relier facilement un microprocesseur et différents circuits, notamment ceux d'une télévision moderne : récepteur de la télécommande, réglages des amplificateurs basses fréquences, tuner, horloge, gestion de la prise péritel, etc. [41]

I2C est un bus série synchrone bidirectionnel half-duplex. Plusieurs équipements, soit maîtres, soit esclaves, peuvent être connectés au bus.

La connexion est réalisée par l'intermédiaire de deux lignes :

- SDA (Serial Data Line) : ligne de données bidirectionnelle,
- SCL (Serial Clock Line) : ligne d'horloge de synchronisation bidirectionnelle.

Le nombre maximal d'équipements est limité par le nombre d'adresses disponibles, 7 bits pour l'adresse et un bit pour définir si on écrit ou on lit, soit 128 périphériques. [42]

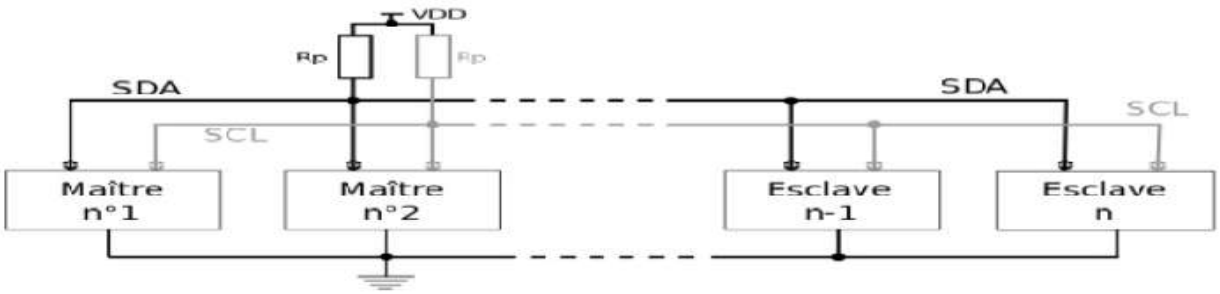


Figure 4.4. *Les lignes SDA et SCL.*

Pour l'instant en n'a qu'un capteur connecté en I2C à l'Arduino. En n'a donc pas besoin d'ajouter des résistances. En connecte donc directement A4 de l'Arduino à SDA (les données) et A5 à SCL (l'horloge).

Par ailleurs l'adresse par défaut d'un gyro MPU-6050 est 0x68. On peut donc dire à l'arduino où il est puis, dans setup (), lancer la communication sachant qu'on a défini l'adresse du gyro par constintMPU_addr=0x68 ;

Ici notre Arduino nano est le « maître » et le gyroscope est « esclave ». L'Arduino écrira (write) pour envoyer des données au gyroscope, ou lira (read) pour en recevoir des données.

Par exemple :

- Wire.write(0) ; // set to zero (wakes up the MPU-6050)
- AcX=Wire.read () <<8|Wire.read () ; // 0x3B (ACCEL_XOUT_H) & 0x3C (ACCEL_XOUT_L)

Pour communiquer en suivant le protocole I2C, on a inclus la bibliothèque ArduinoWire, Avec **#include<Wire.h>.**

IV.4 - Comprendre la lecture du gyroscope :

- ❖ C'est assez compliqué car il faut lire dans des registres de 16 bits les valeurs mesurées. int16_t AcX,AcY,AcZ,Tmp,GyX,GyY,GyZ; définit que les variables mesurées sont codés sur 16 bits et sont signées (peuvent être négatives). Elles peuvent donc prendre une valeur allant de -32 768 à 32 767
- ❖ On demande au gyroscope de commencer à fournir les données à partir du registre 0x3B qui contient une partie de l'accélération en x et on lui indique qu'on aura besoin de lire 14 registres en tout avec les lignes ***Wire.write(0x3B);*** *et* ***Wire.requestFrom(MPU_addr,14,true);***
- ❖ Ensuite on lit les registres deux par deux car chaque valeur que l'on recherche est codée sur deux registres différents. Par exemple l'accélération en x est codée dans 0x3B *(ACCEL_XOUT_H) et 0x3C (ACCEL_XOUT_L).*
- ❖ Pour les lire et les transformer en une seule valeur, on utilise, des « bit-shift », ou déplacements de bits.
- ❖ Le premier **Wire.read()** lit le premier registre : 0x3B puisqu'on a dit que c'est là qu'il faut commencer avec la commande **Wire.write(0x3B);** . Le deuxième lit le suivant (0x3C).
- ❖ L'accélération en x est calculée par la ligne **AcX=Wire.read()<<8|Wire.read();**
- ❖ Chaque **Wire.read()** renvoie un entier de 16 bits et le suivant se décale d'un registre. La ligne **AcX=Wire.read()<<8|Wire.read();** place xxxxxxxxXXXXXXXX dans l'entier de 16 bits AcX par le mécanisme illustré dans cette image :

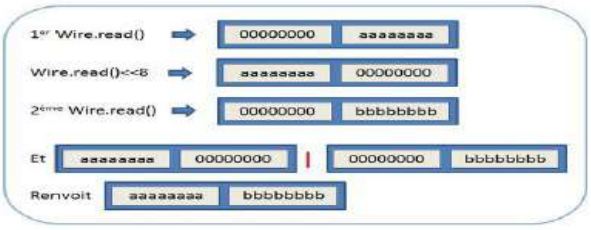


Figure 4.5. : *Mécanisme des adresses.*

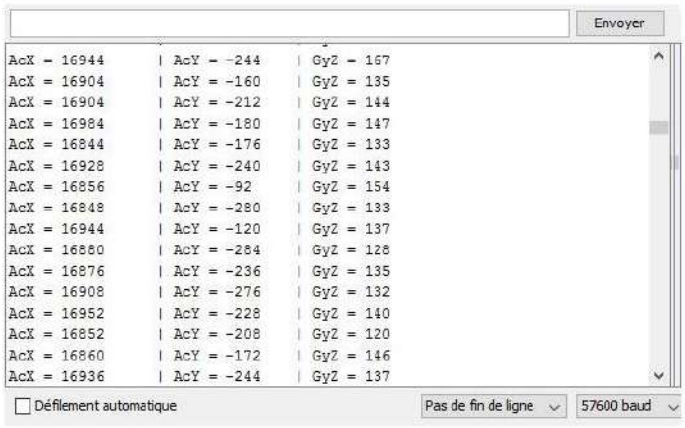


Figure 4.6 : *Affichage des valeurs de gyroscope.*

IV.4.1 - Positionnement du gyroscope *:*

La figure 4.6 illustre un prototype de fonctionnement du gyroscope sur lequel en s'est inspiré pour l'intégrer dans notre projet. Ainsi, le gyroscope sera donc placé à l'horizontale, avec la flèche X pointant vers l'avant du robot et la flèche Y dans le même axe que les roues.[43]

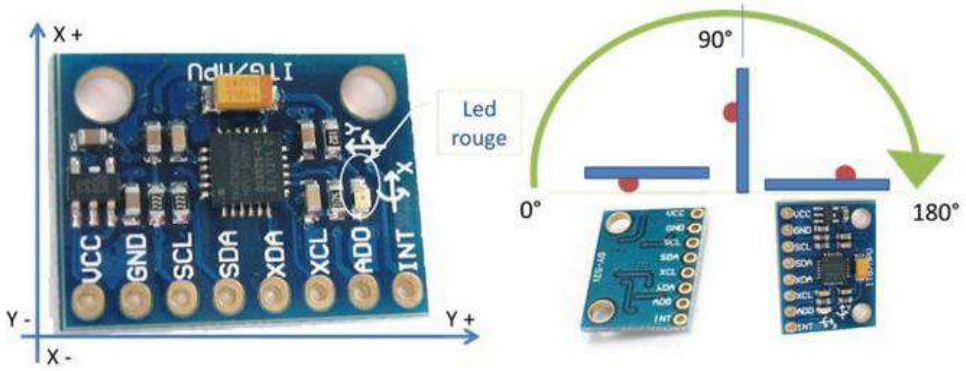


Figure 4.7 : *Orientation de gyroscope.*

IV.5 - La librairie PID sur arduino :

Afin de facilité l'intégration de la régulation PID dans notre robot, nous avons utilisé la bibliothèque PID_V1 compatible avec la carte Arduino. Pour installer la bibliothèque il suffit de suivre les étapes suivantes :[44]

Dans l'IDE Arduino, nous avons le menu Croquis/Importer bibliothèque/Ajouter la bibliothèque.ZIP. Pour utiliser cette bibliothèque, au début du programme en écrit : ***include<PID.V1.h***

Les trois correcteurs kp, ki et kd peuvent être déterminés mathématiquement ou expérimentalement.

Pour notre cas, nous avons essayé de déterminer quelles valeurs seraient les plus efficaces. Nous nous sommes inspirés d'un projet similaire, où nous avons donc tenté de trouver ces valeurs avec l'utilisation de trois potentiomètres. Les valeurs qu'ils renvoyaient étaient attribuées à celles des constantes recherchées. Les tests effectués devaient ainsi nous permettre de déterminer à quel moment notre robot était le plus stable, rapide et précis.

Pour conclure cette méthode, récapitulons les effets importants de chaque correcteur :

- kp et ki augmentent le temps de stabilisation
- ki diminue considérablement l'erreur statique
- kd diminue le temps de stabilisation et diminue les risques que la mesure dépasse la consigne.
-

IV.6 – Hardware :

IV.6.1 - Etape 1 : Réalisation Pratique du robot :

Pour la réalisation la structure de notre robot auto balancé, nous avons utilisé les matériaux nécessaires en respectant la minimisation du poids pour son bon fonctionnement. L'ensemble des composants utilisés dans la réalisation sont :

- ✓ plaques forex sur lesquelles nous allons installer nos matériaux.
- ✓ Des tiges filetées et des écrous pour relier les plaques forex.
- ✓ Des fils de raccordement.
- ✓ 2x moteurs pas à pas.
- ✓ 2x drivers moteurs L293d.
- ✓ 1x carte Arduino NANO.
- ✓ 1x gyroscope module MPU6050.
- ✓ Un module d'alimentaion lm2596
- ✓ Des piles.
- ✓ 2x roues 65 mm
- ✓ Interrupteur

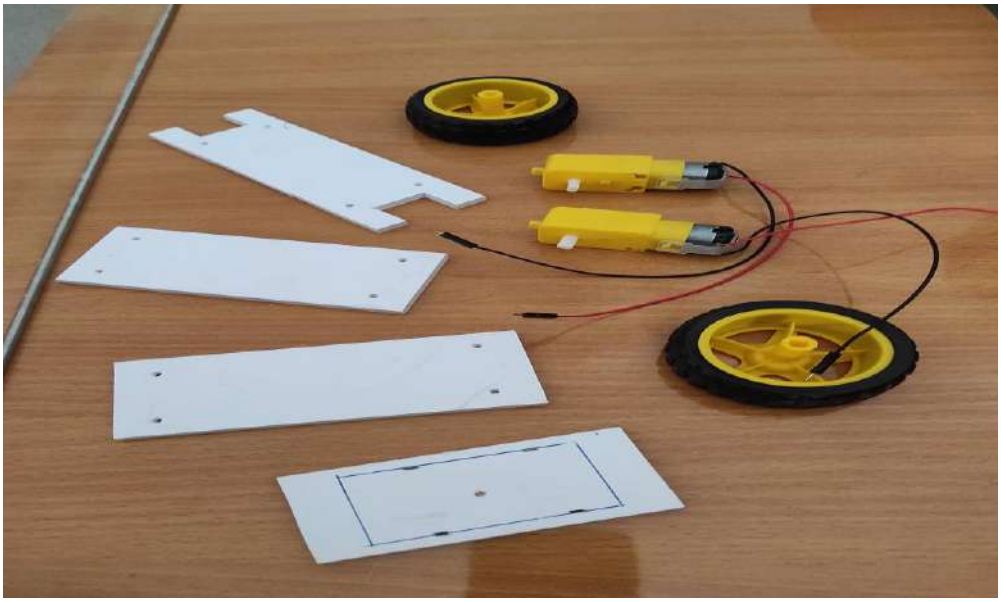


Figure 4.8 : *Les composants utilisés.*

IV.6.2 - Etape 2 : Le montage et câblage :

La figure suivante illustre le câblage des composants électrique en utilisant le Logiciel Protuce :

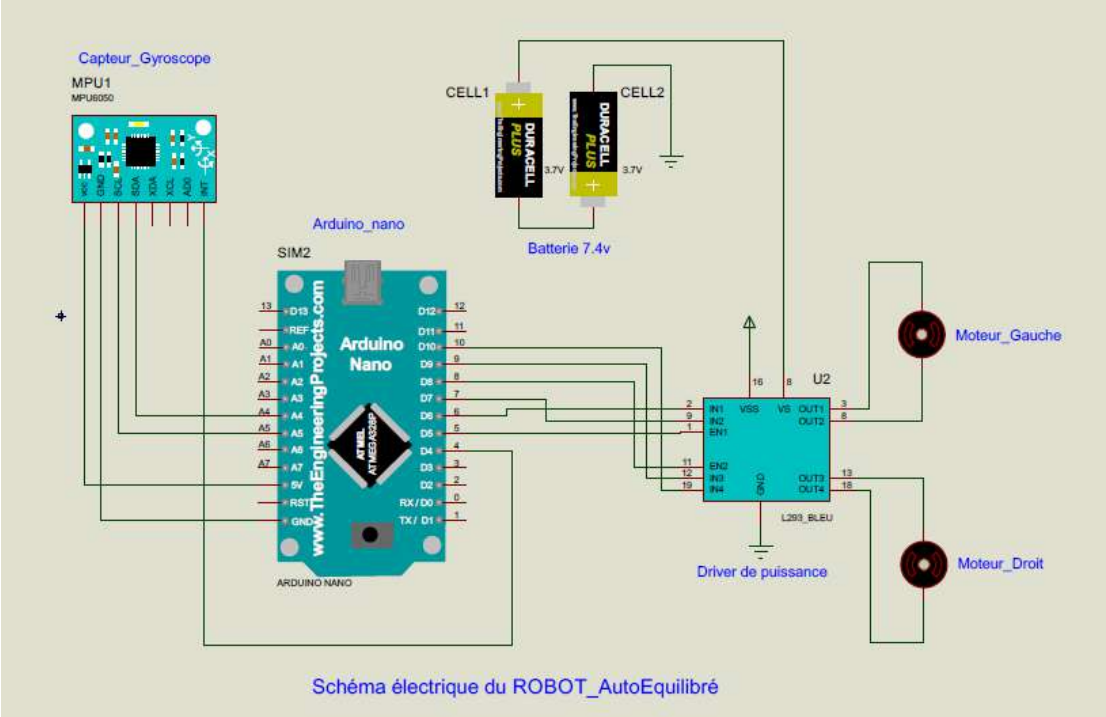


Figure 4.9 : *schéma électrique de câblage des composants électrique*

IV.6.3 - Etape 3 : Raccordement des composants :

L'une des contraintes du montage des composants du robot est la répartition du poids autour de l'axe verticale, c'est-à-dire que le centre de gravité doit être superposé à cet axe. En outre le centre de gravité doit être le plus bas possible.

- Relier des fils entre la carte Arduino NANO et le module MPU6050.
- Assembler les fils des drivers moteurs l293D et l'Arduino NANO.
- Enfin connecter les fils des moteurs pas à pas avec les drivers moteurs et les fils de la batterie vers la carte arduino

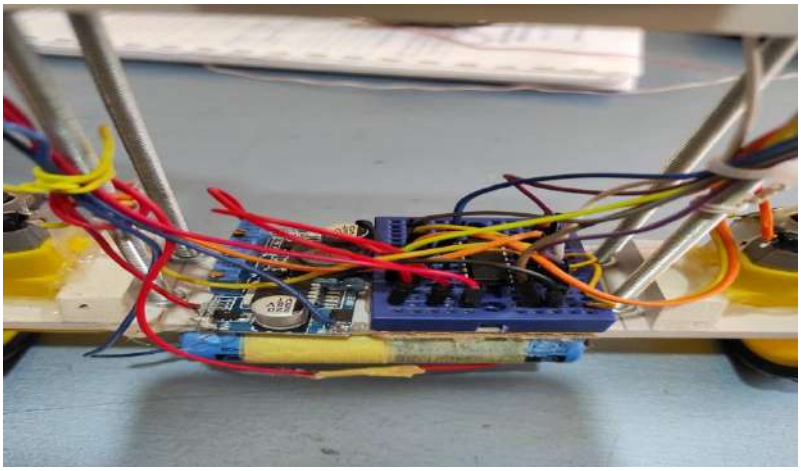


Figure 4.10 : *raccordement du driver moteur avec alimentation lm2596*

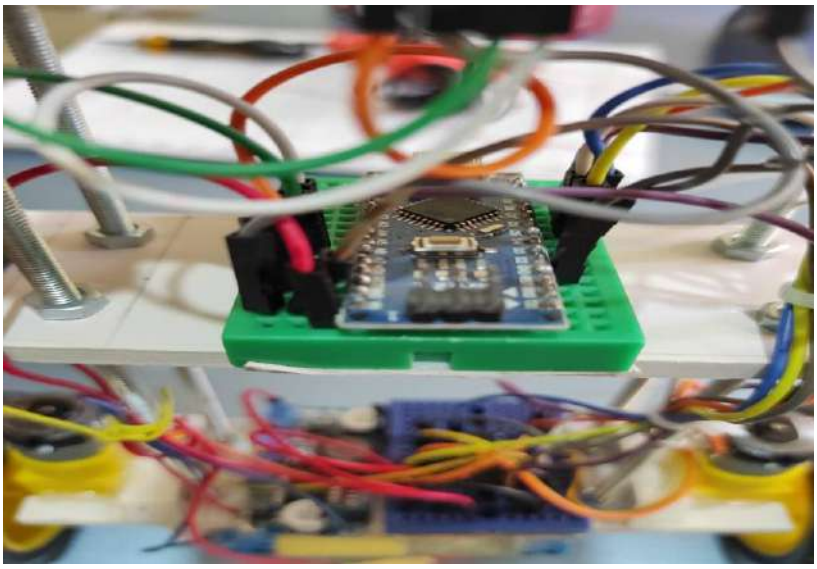


Figure 4.11 : *raccordement arduino avec driver et alimentation lm2596*

IV.6.4 - Etape 4 : Positionnement du gyroscope :

Pour avoir une bonne mesure d'angle d'inclinaison du châssis il faut que le gyroscope soit posé de façon plate au centre de la rotation des roues.

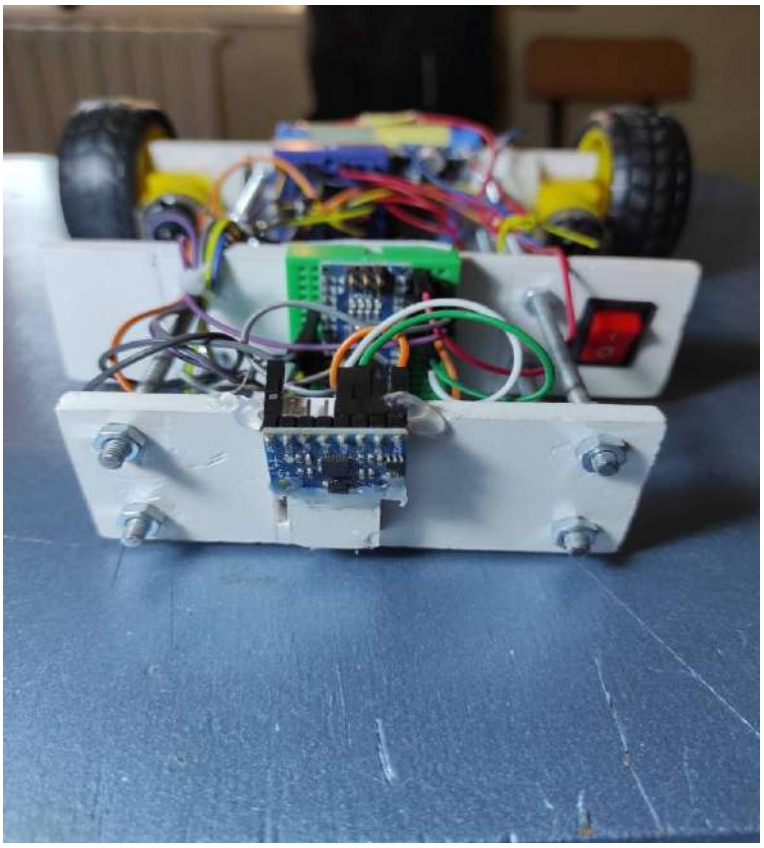


Figure 4.12 : *positionnement le gyroscope*

IV.6.5 - Etape 5 : Positionnement de batterie :

Pour réaliser la batterie, nous avons utilisé des batteries (lithium) d'abord les cellules sont testées et chargées, puis nous vérifions leurs capacités. Ensuite, nous avons réalisé et connecté trois batteries en série.

Et il vaut mieux être en dessous du bot au milieu des roues pour réduire le poids sur le robot
Enfin, la batterie finale est testée pour vérifier sa tension totale comme indiqué dans la figure ci-dessous

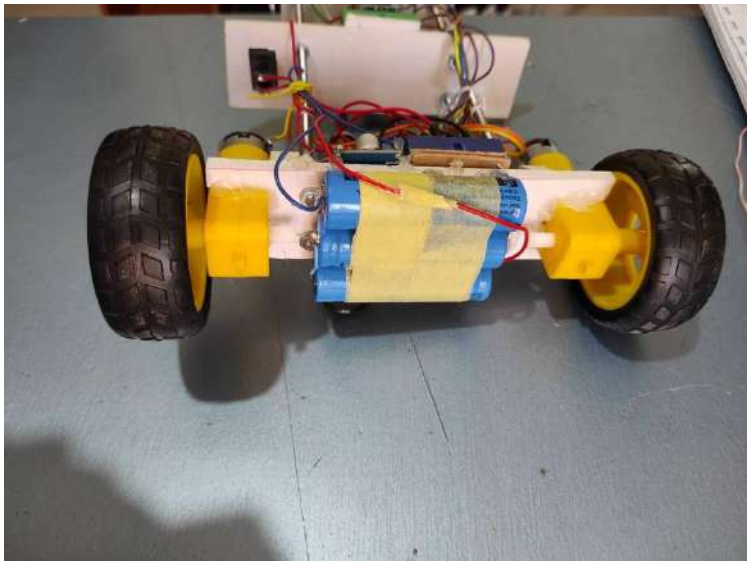


Figure 4.13 : *Positionnement de batterie*

IV.6.6 - Etape 6 : La forme finale du robot :

L'assemblage final du robot mobile auto-équilibré produit est illustré à la Figure 4.13. Lors de la mise en œuvre du projet, nous avons rencontré des difficultés, mais nous avons réussi à les surmonter. Le robot est maintenant prêt pour cette balançoire après qu'il ait été programmé, il fonctionne en autonomie et peut affronter les obstacles par lui-même :

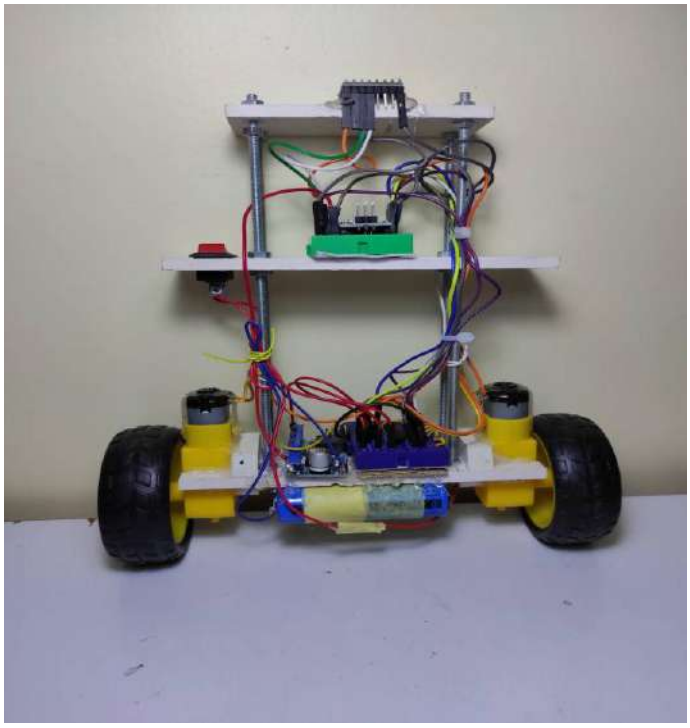


Figure 4.14 : *Photo finale de robot réalisé*

IV.6.7 - Etape 7 : téléchargé le programme vers arduino

IV.7 – Conclusion :

Ce chapitre fournit la partie de la programmation et de la mise en œuvre finale du robot mobile auto-équilibré. Nous avons parcouru les différentes étapes de mise en place d'un robot auto-équilibré.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans ce travail de portrait en cours, qui s'inscrit principalement dans le cadre du projet de fin d'étude et de recherche durant notre parcours, nous mettons en lumière l'un des principaux axes des recherches actuelles sur les systèmes robotiques mobile dans les milieux naturels, notamment : "La mise en place et le contrôle de robots à roues 'auto-équilibrés'. D'une part, selon un objectif bien prédéterminé et édicté sur la nature des problèmes rencontrés et clarifiés ; d'autre part,

Les résultats trouvés et obtenus sur les principes d'investigation notamment les contrôles électroniques vis-à-vis des premières séries de tests soit pour démontrer également les véritables réalisations sous des analyses rigoureuses pour mettre en place un remède des résolutions afin de gérer les anomalies constatées localement pour un meilleur système de fonctionnement plus normalisé.

Cette expérimentation donne une faisabilité logique et plus facile pour adopter des résultats similaires avec un régulateur PID

Comme il a été suggéré dans cette catégorie des techniques de filtrage complémentaires appliquées régulièrement avec succès pour éliminer réellement la dérive de rotation, à l'égard d'évaluer une mesure d'estimation perméable de donner une relativité correcte de l'angle d'inclinaison et de ces dérivés.

De plus, les emplois que nous démonterons couvrent généralement plusieurs domaines d'études concernant en priorité (Programmation, Electronique, Gestion de l'énergie et mécanique).

Cette conception nous à aider d'approfondir nos connaissances théoriques et pratiques pour améliorer notre niveau d'instruction dans la matière, et d'entrer en contact avec le côté des éléments fonctionnels à travers la réalisation et la gestion du projet.

Dans la dernière partie, nous sommes consacrés beaucoup de temps et d'efforts pour réaliser le prototypage d'un robot auto-équilibré, malgré nous avons rencontrés certaines limitations et de barrière mais heureusement nous avons pu les maitriser grâce à des améliorations de l'équilibre.

Enfin, nous espérons que d'autres camarades suivront ce travail dans le but de progresser et d'améliorer ces résultats vers le bon sens et confirmer les données que nous avons acquis dans les parties théorie et pratique.

BIBLIOGRAPHIE

[01]	Mémoire de Master en Génie des systèmes industriels. Université Mohamed Khider de Biskra. 2012. « Réalisation d'un robot mobile avec évitement d'obstacle et trajectoire programmé »	
[02]	Locomotion d'un robot mobile. 3ELIN. Université de Liège, 2008.	
[03]	http : // fr.wikipedia.org/wiki/robotique.	
[04]	Mémoire d'ingénieur d'état en automatique. Université de Biskra. Juin 2007. «Proposition d'une solution multi-agent pour la commande et la coopération multi -robot mobile»	
[05]	https://www.roboticbeast.com/les-differents-types-de-robot	
[06]	https://www.Robotshop.com What Types of Mobile Robots are there	
[07]	*Thèse Doctorat ; laboratoire d'automatique de Besançon (UMR CNRS 5696), 2005*	
[08]	http://introlab.3it.usherbrooke.ca.	
[09]	Thèse de doctorat en Electronique. Université de Batna. 2005. « Système de localisation pour robots mobiles	
[10]	https://www.robaut.fr/actualites/les-4-avantages-de-la-robotisation/ Michele Portolan, « Electronique, Electrotechnique, Automatique,	
[11]	Doctora l'institut national polytechnique, Décembre 2006.Télécommunications, Signal »,	
[12]	https://www.techno-science.net/definition/6737.html	
[13]	http://www.techmania.fr/arduino/Decouverte_arduino.pdf	
[14]	https://www.gotronic.fr	
[15]	https://www.generationrobots.com/fr/401278-carte-arduino-nano-30.html	
[16]	https://bentek.fr/2-arduino-uno/#	

[17]	www.energie plus.be.	
[18]	www.mdp.fr/documontation/courant continue.	
[19]	sam.electroastro.page perdo-orange.fr.	
[20]	ressources.univ-lemans.fr/accès libre/pas à pas.html.	
[21]	Institute of Engineering and Technology, Panjab University, Chandigarh. IEEE International conference, 2010. « Working and Analysis of the H – Bridge Motor Driver Circuit Designed for Wheeled Mobile Robots»,	
[22]	http//www.mdp.fr/Analysis on Modeling and Simulink/of DC Motorand its Driving System Used for Wheeled Mobile Robot	
[23]	école polytechnique de montréal, septembre 2009. << commande par supervision de systèmes mécatroniques via internet >>	
[24]	https://www.invensense.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050	
[25]	https://arduinotutoriels.com/mpu6050-schema-des-broches-circuit-et-connexion-avec-arduino/	
[26]	https://www.generationrobots.com/fr/403619-roues-pour-redbot-65mm-x2.html	
[27]	https://fr.made-in-china.com/co_naccon/product_Lithium-Ion-18650-1500mAh-3-7V	
[28]	https://docplayer.fr/58522250-Le-pendule-inverse-stabilise-par-volant-d-inertie-unsysteme-non-lineaire-sous-actionne.html	
[29]	http//www.robotique.fr/conception d'un micro robot a actionneur asservi électropneumatique pour l'inspection intra tubulaire.	
[30]	https://www.pobot.org/IMG/pdf/Pendule_inverse_en_robotique.pd	
[31]	https://www.pm-robotix.eu/2022/02/02/asservissement-et-pilotage-de-robot-autonome/	
[32]	école polytechnique, Référence du projet : STPI/P6-3/2011 – 2012« Robot à pendule inversé » Laboratoire d'Automatique,	

[33]	https://www.developpez.net/forums/d1410658/general.developpement/programmationsysteme/embarque/implementation-langage-c-d-regulateur-pid/	
[34]	http://eavr.u-strasbg.fr/~laroche/student/MasterIT ComMach/ComMach1/node56.html	
[35]	http://www.specialautom.net/introduction.htm	
[36]	https://public.iutenligne.net/automatique-etautomatismes.industriels/verbeken/cours_au_mv/chapitre7/chap72.html	
[37]	http://www.jdotec.net/s3i/Automatique/Asservissement/Correcteur-PI.php	
[38]	https://public.iutenligne.net/automatique-et-automatismes-industriels/verbeken/cours_au_mv/chapitre7/chap73.html	
[39]	P. Prouvost, Automatique-Contrôle et régulation 2/e : Cours, exercices et problème corrigés, Dunod, 2010.	
[40]	http://www.specialautom.net/introduction.html	
[41]	https://la-programmation.surleweb-france.fr/arduino-utiliser-mpu6050/	
[42]	https://docplayer.fr/42519577-Bus-i2c-classe-de-terminale-si.html	
[43]	https://knowledge.parcours-performance.com/ajouter-gyroscope-a-robot-arduino/	
[44]	http://blog.patrickmodelisme.com/post/qu-est-ce-qu-une-batterie-lipo	