

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE AKLI MOAND OULHADJE-BOUIRA**



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées  
Département : Génie Electrique

**Mémoire de fin d'étude**

Présenté par :

**LOUNICI Khaled      BOUHLALI Messaoud**

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Filière : Electronique  
Option : Electronique Systèmes Embarqués

**Thème :**

**Etude et réalisation d'un robot suiveur à l'aide d'une carte Arduino.**

**Titre du mémoire.**

**Devant le jury composé de :**

HAMMOUCHE      MCA  
LADJOUZI Samir      MCB  
BENSAFIA      MAB  
DJEBIRI      MAA

UAMOB  
UAMOB  
UAMOB  
UAMOB

Président  
Encadreur  
Examinateur  
Examinateur

**Année Universitaire 2018/2019**

# Remerciements

*Nous rendons nos profondes gratitude à Dieu tout puissant qui nous a aidés à réaliser ce modeste travail.*

*Nous exprimons nos profondes gratitude à nos parents pour leurs encouragements, leurs soutiens et pour les sacrifices qu'ils ont enduré.*

*Nous remercions, notre promoteur **Mr LADJOUZI Samir** pour les efforts qu'il a déployé, pour nous aider, conseiller, encourager et corriger. Nous tenons à remercier les membres de jury d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Nous remercions aussi tout le corps enseignant dans le département de Génie Electrique qui a contribué à notre formation universitaire.*

*Sans oublier tous nos amis Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouvent ici notre sincère reconnaissance.*

# *Dédicaces*

*A mon père et ma mère*

*A mes Sœurs mes Frères*

*A toute ma famille*

*A mon binôme*

*A ma promo de ESE 2018/2019*

*A tous mes ami(e)s, proches ou lointains, je vous dédie ce travail.*

*B.Messaoud*

# *Dédicaces*

*A mon père et ma mère*

*A mes Sœurs mes Frères*

*A toute ma famille*

*A mon binôme*

*A ma promo de ESE 2018/2019*

*A tous mes ami(e)s, proches ou lointains, je vous dédie ce travail.*

*L. Khaled*

## Sommaire

---

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| Listesdesfigures .....      | I  |
| Listesdes tableaux .....    | II |
| Résumés .....               | IV |
| Listesdesabréviations ..... | VI |
| Introductiongénérale.....   | 1  |

---

## *Chapitre 1 : Généralité et modélisation sur les robots*

---

|  |   |
|--|---|
| 1. Introduction .....                          | 2 |
| 2. Généralité surlesrobots .....               | 2 |
| Historique de l'évolution dela robotique ..... | 2 |
| Définition .....                               | 3 |
| Les composantsdesRobots.....                   | 3 |
| Manipulateur .....                             | 3 |
| Effecteurfinale .....                          | 4 |
| Actionneurs .....                              | 4 |
| Capteurs.....                                  | 5 |
| Contrôleur.....                                | 5 |
| Processeur.....                                | 5 |
| Logiciel.....                                  | 6 |
| Les typesdes robots .....                      | 7 |
| Lesrobotsmanipulateurs .....                   | 7 |
| a) Robotscylindriques.....                     | 7 |
| b) Robotsrectilignes.....                      | 7 |
| c) Robotssphériques.....                       | 7 |

# Sommaire

---

|   |    |
|---|----|
| d) Robots articulés .....                                   | 7  |
| e) Robots SCARA .....                                       | 8  |
| Les robots mobiles .....                                    | 8  |
| L'architecture des robots mobiles .....                     | 8  |
| Classes de robots mobiles à roues .....                     | 9  |
| a) Robot mobile de type unicycle .....                      | 9  |
| b) Robot mobile de type tricycle .....                      | 9  |
| c) Robot mobile de type voiture .....                       | 10 |
| d) Robot mobile de type omnidirectionnel .....              | 10 |
| Comparaison des différents types .....                      | 11 |
| Domaine d'utilisation des robots .....                      | 12 |
| Avantage et inconvénients des robots .....                  | 13 |
| Les avantages des robots sont .....                         | 13 |
| Les inconvénients des robots sont .....                     | 13 |
| 3. Modélisation des Robots .....                            | 13 |
| Modélisation du robot mobile de type unicycle .....         | 13 |
| Modélisation cinématique .....                              | 13 |
| Définition .....  | 13 |
| Roulements sans glissement .....                            | 14 |
| Modèle linéaire d'un moteur à courant continu (MCC) .....   | 16 |
| 3.3 Modèle dynamique du robot mobile de type unicycle ..... | 17 |
| 4. Conclusion .....   | 17 |

---

# *Chapitre 2 : Généralités sur les Capteurs et les Actionneurs*

---

|   |    |
|---|----|
| 1. Introduction .....                                       | 18 |
| 2. Les capteurs .....                                       | 18 |
| Définition d'un capteur .....                               | 18 |
| Structure et fonction principale d'un capteur .....         | 19 |
| Caractéristiques des capteurs .....                         | 20 |
| Classification des capteurs .....                           | 20 |
| Types des capteurs .....                                    | 21 |
| Chaîne de mesure d'un capteur .....                         | 22 |
| 3. Les actionneurs .....                                    | 23 |
| 3.1. Définition .....                                       | 23 |
| Mode de fonctionnement des actionneurs et des moteurs ..... | 24 |
| Mode tout ou rien .....                                     | 24 |
| Mode contrôlé en vitesse .....                              | 24 |
| Mode réglé en vitesse .....                                 | 24 |
| Mode servomoteur - réglé en position .....                  | 25 |
| Mode pas à pas .....  | 25 |
| Les familles d'actionneur .....                             | 25 |
| Actionneur électrique .....                                 | 25 |
| Les moteurs à courant continu .....                         | 25 |
| Les types de moteur à courant continu .....                 | 26 |
| Moteurs asynchrones .....                                   | 27 |
| Moteurs synchrones .....                                    | 27 |

## Sommaire

---

|   |    |
|---|----|
| Les Moteurs pasàpas .....               | 28 |
| 4. LacarteArduino.....                  | 29 |
| 4.1.Définition .....                    | 29 |
| Différents types descartesArduino ..... | 29 |
| La carteArduino Uno.....                | 30 |
| Bref historique surArduinouno .....     | 30 |
| LemicrocontrôleurArduino.....           | 31 |
| 4.5.L'alimentationélectrique .....      | 32 |
| Lelogiciel l'Arduino .....              | 33 |
| Les avantagesdel'Arduino .....          | 34 |
| Conclusion.....                         | 35 |

---

## *Chapitre 3 : Réalisation pratique et résultats*

---

|   |    |
|---|----|
| 1. Introduction .....                                   | 36 |
| 2. La structure de base du robot suiveurdeline .....    | 36 |
| 3. Lapartiemécanique .....                              | 37 |
| Le plaquedechâssis .....                                | 37 |
| Lesroues.....   | 37 |
| Lesmoteursélectriques .....                             | 38 |
| Caractéristiques du moteur utilisé dansceprojet.....    | 38 |
| 4. Lapartieélectronique .....                           | 39 |
| Unité de commande et de décision Durobot(Arduino) ..... | 39 |
| LesignalPWM.....  | 40 |
| PWM : conversion numérique/analogique .....             | 40 |

# Sommaire

---

|  |    |
|--|----|
| PWM surArduinoUno.....                                     | 40 |
| UnitédePerceptiondeL’environnement(infrarougeYL-70).....   | 41 |
| Définition.....  | 41 |
| Caractéristique decapteurYL-70. ....                       | 42 |
| Installation du capteur surlerobot .....                   | 42 |
| Ladétectiondeligneetdemouvementderobot.....                | 43 |
| Unité d’organisé Le mouvementdesmoteurs .....              | 45 |
| Carte depuissanceL298N.....                                | 45 |
| Description dumoduleL298N .....                            | 45 |
| Le pontenH.....  | 46 |
| Principe de fonctionnement du pontenH .....                | 46 |
| 5. Laprogrammation .....                                   | 47 |
| Définitionduprogramme .....                                | 47 |
| L’organigrammedeprogramme.....                             | 48 |
| 6. Laréalisation .....                                     | 49 |
| Simulation sousProteusIsis.....                            | 49 |
| Leschémadelaréalisationdecircuitdurobotssuiveurdeline..... | 49 |
| Le montage denotretravail.....                             | 50 |
| 7.Letestederobotssuiveurdeline.....                        | 51 |
| 8. Conclusion.....   | 51 |
| Conclusiongénérale .....                                   | 52 |
| Bibliographies .....                                       | 53 |

## Listes des figures

---

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure I.1</b> : Un bras manipulateur .....                                | 4  |
| <b>Figure I.2</b> : Effecteur final d'un manipulateur .....                   | 4  |
| <b>Figure I.3</b> : Différents actionneurs d'un robot .....                   | 4  |
| <b>Figure I.4</b> : Différents capteurs d'un robot .....                      | 5  |
| <b>Figure I.5</b> : Un contrôleur utilisé pour commander un robot.....        | 6  |
| <b>Figure I.6</b> : Le logiciel qui commande le robot .....                   | 6  |
| <b>Figure I.7</b> : Architecture d'un robot mobile.....                       | 8  |
| <b>Figure I.8</b> : Robot mobile de type unicycle.....                        | 9  |
| <b>Figure I.9</b> : Robot mobile de type tricycle .....                       | 10 |
| <b>Figure I.10</b> : Robot mobile de type voiture.....                        | 10 |
| <b>Figure I.11</b> : mobile de type omnidirectionnel.....                     | 11 |
| <b>Figure I.12</b> : Repérage d'un robot mobile.....                          | 14 |
| <b>Figure I.13</b> : Caractérisation du roulement sans glissement .....       | 16 |
| <b>Figure II.1</b> : Principe de fonctionnement d'un capteur .....            | 18 |
| <b>Figure II.2</b> : Fonction logique d'un capteur TOR.....                   | 21 |
| <b>Figure II.3</b> : Fonction d'un capteur analogique .....                   | 22 |
| <b>Figure II.4</b> : Fonction d'un capteur numérique.....                     | 22 |
| <b>Figure II.5</b> : Chaîne de mesure d'un capteur .....                      | 23 |
| <b>Figure II.6</b> : Schéma fonctionnel d'un actionneur .....                 | 23 |
| <b>Figure II.7</b> : Principe de la commande de vitesse en boucle fermée..... | 24 |
| <b>Figure II.8</b> : Moteur courant continu. ....                             | 26 |
| <b>Figure II.9</b> : Représentation d'un moteur asynchrone .....              | 27 |
| <b>Figure II.10</b> : Coupe d'un moteur à aimants permanents .....            | 28 |
| <b>Figure II.11</b> : les types de moteurs pas à pas .....                    | 29 |
| <b>Figure II.12</b> : Quelques types de cartes Arduino.....                   | 30 |
| <b>Figure II.13</b> : La carte Arduino Uno .....                              | 30 |

## Listes des figures

---

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure II.14:</b> La carte Arduino Uno avec son microcontrôleur MEGA16U2.....                  | 31 |
| <b>Figure II.15 :</b> Entrées et sorties de la carte Arduino.....                                 | 32 |
| <b>Figure II.16:</b> La carte Arduino Uno avec une alimentation électrique externe .....          | 33 |
| <b>Figure II.17 :</b> Vue d'écran du logiciel sous Windows .....                                  | 34 |
| <b>Figure II.18 :</b> La barre des boutons .....  | 34 |
| <b>Figure III.1:</b> La structure de base du robot suiveur de ligne .....                         | 36 |
| <b>Figure III.2:</b> Le plaqué de châssis.....  | 37 |
| <b>Figure III.3 :</b> Les différents types de roue du robot.....                                  | 37 |
| <b>Figure III.4 :</b> Roue motrices, la boule, et les deux moteurs montés sur châssis.....        | 38 |
| <b>Figure III.5 :</b> Les moteurs DC.....   | 38 |
| <b>Figure III.6:</b> Structure de la partie électronique .....                                    | 39 |
| <b>Figure III.7 :</b> La carte Arduino Uno .....  | 40 |
| <b>Figure III.8 :</b> Les pins de signal PWM sur l'Arduino Uno .....                              | 41 |
| <b>Figure III.9 :</b> Capteur infrarouge YL-70. ....  | 42 |
| <b>Figure III.10 :</b> La carte centrale infrarouge YL-70.....                                    | 42 |
| <b>Figure III.11 :</b> Installation du capteur sur le robot.....                                  | 43 |
| <b>Figure III.12 :</b> La disposition du Robot sur la ligne .....                                 | 44 |
| <b>Figure III.13 :</b> Module L298N et leurs broches de connexion .....                           | 45 |
| <b>Figure III.14 :</b> Le pontenH .....   | 47 |
| <b>Figure III.15 :</b> Sens du courant en fonction de l'état des interrupteurs d'un pontenH ..... | 47 |
| <b>Figure III.16 :</b> L'organigramme de notre programme .....                                    | 48 |
| <b>Figure III.17:</b> Le circuit électronique de notre système.....                               | 49 |
| <b>Figure III.18 :</b> Le testé notre robot dans le labo .....                                    | 50 |
| <b>Figure III.19 :</b> Le test de notre robot dans le labo.....                                   | 51 |

### Listes des tableaux

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau I.1:</b> Comparaison des différents types de robots mobiles à roues ..... | 11 |
| <b>Tableau I.2 :</b> Domaines d'utilisation des robots .....                         | 12 |
| <b>Tableau II.1 :</b> Spécifications de la carte Arduino Uno .....                   | 31 |
| <b>Tableau III.1 :</b> Les différents états des capteurs .....                       | 43 |
| <b>Tableau III.2 :</b> Le branchement du module L298N avec l'Arduino .....           | 46 |

# Résumés

## Français

Notre projet est un robot suiveur de ligne, de type tricycle composé par un châssis et 2 roues, deux roues motrices polarisées sur même axe et boule pour assurer l'équilibre du robot. Pour commander les deux moteurs CC une carte Arduino UNO a été utilisée.

L'objectif de notre travail est réalisé un robot suiveur de ligne est une base roulante, qui détecte une ligne de couleur (nous avons utilisé la ligne noire).

Le travail abordé dans ce mémoire comporte trois parties :

- L'objet de la première partie est une généralité et la modélisation sur les robots.
- La seconde est une généralité sur les capteurs et les actionneurs.
- La troisième partie présente la réalisation pratique et le résultat.

## Arabe

مشروعنا عبارة عن روبوت يتبع المسار، من نوع ثلاثي العجلات يتكون من هيكل وعجلتين، عجلتان للقيادة مستقطبتان على نفس المحور وكرة لضمان توازن الروبوت. للتحكم في كلا محركي التيار المستمر، تم استخدام لوحة اردوينو اونو، الهدف من عملنا هو تحقيق روبوت يتبع المسار

يتكون هذا العمل من ثلاثة أجزاء:

الجزء الأول تحدثنا بصورة عامة عن والنمذجة على الروبوتات.

الجزء الثاني تحدثنا بصورة عامة عن أجهزة الاستشعار والمحركات.

الجزء الثالث تشغيل الروبوت والنتيجة.

## English

Our project is a robot following line, tricycle type composed by a chassis and 2 wheels, two driving wheels polarized on the same axis and ball to ensure the balance of the robot. To control both DC motors an Arduino Uno board was used.

The goal of our work is realized a line follower robot is a rolling base, which detect a line of color (we used the black line).

The work in this memoir has three parts:

- The object of the first part is a generality and modeling on robots.
- The second is a generality about sensors and actuators.
- The third part presents the practical realization and result.

## Listes des abréviations

---

**MCC** : Moteur à courant continu.

**IDE** : Integrated Development Environment.

**TOR** : Tout ou rien.

**USB**: Universal Serial Bus. **GSM**: Global System for Mobile.

**V**: Volts.

**PC**: Personal Computer.

**ISO**: International Organization for Standardization (Organisation internationale de normalisation).

**r.s.g** : Roulement sans glissement

## Introduction générale

La robotique mobile vise à rendre une machine autonome, c'est-à-dire lui donner les capacités de perception, de décision et d'action pour agir de manière autonome sans assistance ni intervention humaine avec son environnement, c'est un axe de recherche à la croisée de plusieurs disciplines scientifiques et techniques tel que la mécanique, l'électronique, l'électrotechnique et l'informatique...etc[31].

Un robot est donc un système matériel possédant des capacités de perception, d'action, de décision et de communication, parfois capable d'améliorer ses propres performances par apprentissage automatique ou supervisé par des humains, pour :

- Agir dans un environnement ouvert ou confiné, dynamique et imparfaitement modélisé, voire inconnu.
- Exécuter de façon autonome ou en relation avec un humain, des tâches d'observation, d'exploration, de modélisation, de manipulation et/ou d'intervention sur l'environnement.
- Interagir le cas échéant avec d'autres machines ou avec des humains, matériellement ou virtuellement.

Malgré son aspect récent, la robotique tire ses origines des civilisations les plus antiques, au fil du temps la robotique est devenue un outil présent dans plusieurs domaines tel que : Industrie nucléaire, Chimique, Militaire Médecine, Agricole, etc.

L'objectif principal de notre travail est de réaliser un robot Suiveur de ligne en utilisant une carte électronique Arduino.

Cette mémoire est organisée en trois chapitres :

Le premier chapitre présente certaines généralités concernant la robotique, les différents types des robots et leur modélisation.

Le second chapitre introduit quelques composants du robot comme les capteurs, les actionneurs et d'autres concepts liés à leurs utilisations.

Le troisième chapitre est consacré à la réalisation pratique et des résultats obtenus.

## 1. Introduction

Les robots aujourd'hui ont un impact considérable sur de nombreux aspects de la vie moderne, de la fabrication industrielle aux soins de santé, le transport et l'exploration de l'espace et des profondeurs de la mer. Dans le futur, des robots seront aussi omniprésents et personnels comme les ordinateurs personnels. Le rêve de créer des machines qui seront qualifiées et intelligentes a fait partie de l'humanité depuis le début des temps. Ce rêve est entrainé de devenir une partie de la réalité de notre monde [1].

Aujourd'hui, la robotique est donc l'art d'automatiser des systèmes plus ou moins complexes mais en s'appuyant sur le savoir-faire acquis par les études sur la conception de robots, savoir-faire issu des développements d'une branche de l'automatique générale [3].

En effet, on constate a posteriori que la structure d'une machine ou d'un système n'a pas besoin d'adopter la forme physique de ce qu'on appelle généralement robot pour que son contrôle adopte les mêmes composants que ces machines, à savoir : des capteurs internes pour la régulation, des capteurs externes pour connaître l'environnement, des moyens d'action motorisés, ainsi qu'une informatique de commande pouvant faire appel à la programmation et aux techniques de l'intelligence artificielle. Tous ces composants et leurs actions peuvent être distribués dans l'espace au lieu d'être rassemblés ou de provenir d'une seule structure. Par ailleurs, une collaboration de divers ensembles est possible aboutissant donc à un système robotisé [4].

Dans notre projet, nous utilisons un robot mobile de type unicycle, et nous présentons dans ce chapitre deux types de modélisation : la modélisation cinématique et la modélisation dynamique, pour exprimer le mouvement du robot mobile par des équations de vitesse et d'accélération.

## 2. Généralités sur les robots

### Historique de l'évolution de la robotique

Le mot < robot > a été introduit pour la première fois en 1921 dans une pièce de théâtre écrite par le tchèque Karel Capek, et intitulée R.U.R (Rossum's Universal Robots).

En 1942, Isaac Asimov formule, dans sa nouvelle < Runaround > les trois lois de la robotique censées protéger l'être humain.

En 1961, le premier robot industriel commence à travailler sur une ligne d'assemblage dans une usine General Motors, pour soulever et tordre des pièces chaudes de métal.

En 1979, Le premier bras articulé fait son apparition sur une chaîne de production.

En 1986, Honda crée le premier robot capable de marcher sur deux pieds comme un humain.

En 1988, le premier robot de service fait son apparition à l'hôpital de Danbury (Etats-Unis).

En 1997, Le NASA envoie son premier robot explorateur sur Mars.

En 2013, la France a lancé la nouvelle France industrielle menée par le Ministre Arnaud Montebourg, contenant 34 plans dont le plan robotique, validé le 2 juillet 2014.

Le 3 juin 2014, La Commission Européenne et 180 entreprises de recherche ont lancé le programme SPARC, programme civil de recherche et d'innovation en robotique.

Au début de l'année 2017, le Royaume-Uni a annoncé la création d'un Fonds pour défi de la stratégie industrielle [5].

### Définition

Par définition, un robot est une machine ou agent virtuel, contrôlée par un programme informatique ou autre circuit électronique.

L'autonomie, totale ou partielle, est une condition préalable à la définition de robot. Cela peut aller d'une machine qui imite simplement l'humanoïde ou la vie comme des mouvements à la notion de robots pleinement réalisés qu'avoir une intelligence ou une conscience de soi [13].

### Les composants des Robots

Un robot, en tant que système, se compose des éléments, qui sont intégrés ensemble pour former un ensemble. La plupart des robots contient les éléments suivants :

#### Manipulateur

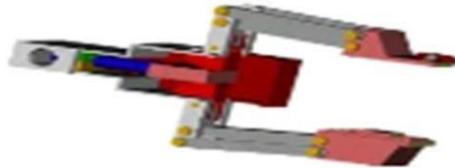
C'est le corps principal du robot qui comprend les jonctions, les articulations, et d'autres éléments de structure du robot. Il convient de noter ici que le manipulateur seul n'est pas un robot [06].



**Figure I.1** Un bras manipulateur

### Effecteur finale

Cette partie est reliée à la dernière jonction (main) d'un manipulateur qui gère généralement les objets, établit des connexions à d'autres machines ou effectue les tâches requises [06].



**Figure I.2** Effecteur final d'un manipulateur

### Actionneurs

Les actionneurs sont les « muscles » des manipulateurs. Le contrôleur envoie des signaux aux actionneurs, qui, à leur tour, déplacent les articulations du robot et des jonctions, les types communs des actionneurs sont les servomoteurs, les moteurs pas à pas, les actionneurs pneumatiques et les vérins hydrauliques. Les actionneurs sont sous le contrôle du contrôleur [06].



**Figure I.3** Différents actionneurs d'un robot

## Capteurs

Les capteurs sont utilisés pour recueillir des informations sur l'état interne du robot ou pour communiquer avec l'environnement extérieur. Comme chez l'humain, le dispositif de commande du robot doit connaître l'emplacement de chaque lien du robot afin de connaître la configuration du robot. Toujours comme les principaux sens de la vue, le toucher, l'ouïe, le goût, et la parole, les robots sont équipés de dispositifs sensoriels externes comme un système de vision, le toucher et les capteurs tactiles, synthétiseur de parole, et grâce à eux le robot peut communiquer avec le monde extérieur [06].



Figure I.4 Différents capteurs d'un robot

## Contrôleur

Le contrôleur reçoit les données de l'ordinateur (le cerveau du système), commande les mouvements des actionneurs, et coordonne les mouvements avec les informations envoyées par les capteurs [06].

## Processeur

Le processeur est le cerveau du robot. Il calcule les mouvements des articulations du robot, détermine combien et à quelle vitesse chaque joint doit se déplacer pour atteindre l'emplacement et la vitesse souhaitée, et supervise les actions coordonnées du contrôleur et les capteurs. Dans certains systèmes, le contrôleur et le processeur sont intégrés ensemble en une seule unité, et dans d'autres cas, ce sont des unités séparées [06].



Figure I.5 Exemple de contrôleur

### Logiciel

Trois groupes de logiciels sont utilisés dans un robot. L'un est le système d'exploitation qui exploite le processeur. Le second est le logiciel robotique qui calcule la motion nécessaire de chaque joint du robot basées sur des équations cinématiques. Ces informations sont envoyées au dispositif de commande. Ce logiciel peut être à différents niveaux, de la langue de la machine aux langues sophistiqués utilisés par les robots modernes. Le troisième groupe est la collection d'application - orientée les routines et les programmes développés pour utiliser le robot ou ses périphériques pour des tâches spécifiques telles que l'assemblage, le chargement de machines, la manutention et les routines de vision [06].



Figure I.6 Le logiciel qui commande le robot

Un robot manipulateur est en forme d'un bras et se compose d'un certain nombre de segments qui est conçu pour manipuler ou déplacer des matériaux, outilsetpièces sans contact humain direct. Ils sont des dispositifs qui permettent aux humains d'interagir avec des objets dans un environnement en toute sécurité. Les robots manipulateurs sont utilisés dans des applications industrielles pour effectuer efficacement des tâches telles que l'assemblage le soudage le traitement de surface, et le forage[4].

## Les types des robots

Il existe deux grandes familles de robots :

- Les robots manipulateurs.
- Les robots mobiles.

## Les robots manipulateurs

Les robots manipulateurs viennent sous plusieurs formes qui se répartissent en cinq grandes catégories :

- Robots cylindriques
- Robots rectilignes
- Robots sphériques
- Robots articulés
- Robots SCARA

### a) Robots cylindriques

Le robot cylindrique a deux axes de mouvement, un pour le mouvement en haut et bas. La rotation se fait par la jonction à la base. De plus, le bras horizontal peut se déplacer à l'intérieur et à l'extérieur, ce qui donne un troisième axe de mouvement limitée [10].

### b) Robots rectilignes

Les robots rectilignes à trois axes de mouvement (x, y, z). Pour cette raison, le robot rectiligne est parfois appelé Robot cartésien. Ces robots sont exploités par vérin pneumatique [10].

### c) Robots sphériques

Le robot sphérique est de grande taille avec un bras télescopique qui assure un mouvement à l'intérieur ou à l'extérieur. Les mouvements de base du robot sphérique sont de rotation (à la base) et angulairement en haut ou en bas (sur le bras) [10].

### d) Robots articulés

Le bras articulé du robot ressemble à un bras humain. Il se compose de deux éléments, nommés l'avant-bras et le bras supérieur. Ce type de robot n'a généralement pas besoin d'un lieu séparé [9].

e) Robots SCARA

Un robot SCARA est défini dans la norme ISO 8373 : 1994, No.3.15.6, en tant que « robot qui comporte deux liaisons pivots parallèles pour fournir conformément à un plan sélectionné ». et peut être considéré comme un cas particulier d'un robot cylindrique. Le terme « SCARA » signifie « Selective Compliance Arm for Robot Assembly » [6].

Les robots mobiles

Un robot mobile est celui qui peut se déplacer dans son environnement de façon indépendante. Pour ce faire, le robot doit pouvoir naviguer, et la portée et la précision de navigation requise varie en fonction de la taille du robot et du type de sa tâche.

L'architecture des robots mobiles

L'architecture des robots mobiles se structure en quatre éléments :

- La structure mécanique et la motricité.
- Les organes de sécurité.
- Le système de traitement des informations et gestion des tâches.
- Le système de localisation [8].

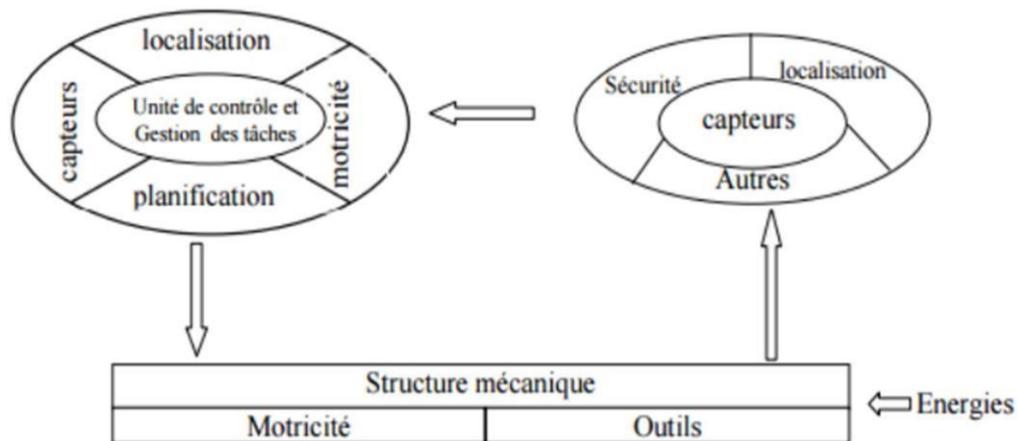


Figure I.7 Architecture d'un robot mobile

## Classes de robots mobiles à roues

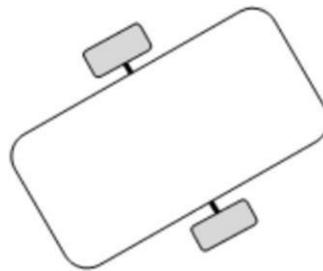
Il existe plusieurs classes de robots à roues déterminées, principalement, par la position et le nombre de roues utilisées.

Nous citerons ici les quatre classes principales de robots à roues [8].

### a) Robot mobile de type unicycle

Un robot de type unicycle est actionné par deux roues indépendantes, il possède éventuellement des roues folles (roue libre) pour assurer sa stabilité. Son centre de rotation est situé sur l'axe reliant les deux roues motrices [8].

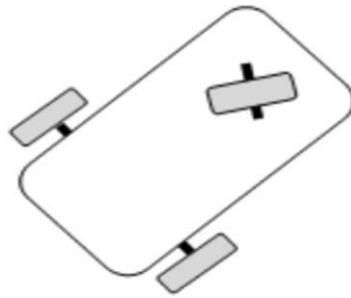
Sa commande peut être très simple, il est en effet assez facile de le déplacer d'un point à un autre par une suite de rotations simples et de lignes droites [8].



**Figure I.8** Robot mobile de type unicycle

### b) Robot mobile de type 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 fixes et par l'orientation de la roue orientable. Son centre de rotation est situé à l'intersection de l'axe contenant les roues fixes et de l'axe de la roue orientable, C'est un robot non-holonyme. En effet, il est impossible de le déplacer dans une direction perpendiculaire aux roues fixes. Sa commande est plus compliquée. Il est en général impossible d'effectuer des rotations simples à cause d'un rayon de braquage limité de la roue orientable [8].



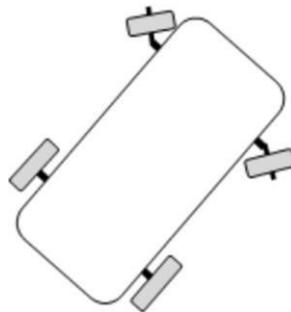
**Figure I.9** Robot mobile de type tricycle

### c) Robot mobile de type voiture

Un robot de type voiture est semblable au tricycle, il est constitué de deux roues fixes 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 d'appui supplémentaire.

Toutes les autres propriétés du robot voiture sont identiques au robot tricycle, le deuxième pouvant 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 [8].



**Figure I.10** Robot mobile de type voiture

### d) Robot mobile de type omnidirectionnel

Un robot mobile omnidirectionnel est un robot qui peut se déplacer librement dans toutes les directions. Il est en général constitué de trois roues décentrées orientables placées en triangle équilatéral. L'énorme avantage du robot omnidirectionnel est qu'il peut se déplacer dans toutes les directions. Mais ceci se fait au dépend d'une complexité mécanique bien plus grande [8].

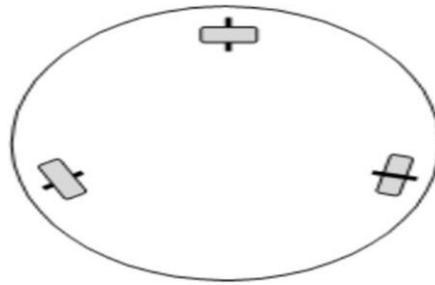


Figure I.11 mobile de type omnidirectionnel

### Comparaison des différents types

Nous pouvons observer dans le tableau ci-dessous un récapitulatif des avantages et des inconvénients des différents types de robots à roues [8].

Tableau I.1 : Comparaison des différents types de robots mobiles à roues.

| Type du robot    | Avantage   | Inconvénient   |
|------------------|--|--|
| Unicycle         | Stable<br>Rotation sur lui-même<br>Complexité mécanique faible | Non-holonyme   |
| Tricycle         | Complexité mécanique modérée                                   | Non-holonyme<br>Peu stable<br>Pas de rotation sur soi-même |
| Voiture          | Stable<br>Complexité mécanique modérée                         | Non-holonyme<br>Pas de rotation sur soi-même               |
| Omnidirectionnel | Holonyme<br>Stable<br>Rotation sur soi-même                    | Complexité mécanique importante                            |

**Domaine d'utilisation des robots**

Le tableau ci-dessus résume des différents domaines d'utilisation des robots [8].

**Tableau I.2 :** Domaines d'utilisation des robots.

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Industrie nucléaire.    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Surveillance des sites.</li> <li>- Manipulation de matériaux radioactifs.</li> <li>- Démantèlement de centrales.</li> </ul>               |
| Sécurité civile         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Neutralisation d'activité terroriste.</li> <li>- Déminage.</li> <li>- Posé d'explosif.</li> <li>- Surveillance de munitions.</li> </ul>   |
| Militaire               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Surveillance, patrouille.</li> <li>- Posé d'explosifs.</li> <li>- Manipulation de munitions.</li> </ul>                                   |
| Chimique                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Surveillance des sites</li> <li>- Manipulation de matériaux toxiques</li> </ul>   |
| Médecine                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Assistance d'urgence</li> <li>- Aide aux handicapés physiques, aux aveugles</li> </ul>  |
| Lutte contre l'incendie | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Localisation d'une source d'incendie</li> <li>- Détection de fumée</li> <li>- Suppression de flammes</li> </ul>                           |
| Sous-marine             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pose de câbles</li> <li>- Recherche de nodules</li> <li>- Recherche de navires immergés</li> <li>- Inspection des fonds marins</li> </ul> |
| Agricole                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cueillette de fruits</li> <li>- Traite, moisson, traitement des vignes...</li> </ul>  |
| Construction BTP        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Projection de mortier</li> <li>- Lissage de béton</li> </ul>  |
| Nettoyage               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coque de navire</li> <li>- Nettoyage industriel</li> </ul>  |
| Espace                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploration</li> </ul>  |
| Industriel              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Convoyage</li> <li>- Surveillance</li> </ul>  |

## Avantage et inconvénients des robots

### Les avantages des robots sont

- La Robotique et l'automatisation peuvent dans de nombreuses situations accroître la productivité, la sécurité, l'efficacité, la qualité et la cohérence des produits.
- Les robots peuvent travailler dans un environnement dangereux, sans le besoin de soutien de la vie, ou les préoccupations concernant la sécurité.
- Les Robots n'ont pas besoin de l'éclairage, la climatisation, de ventilation et de protection contre le bruit.
- Les Robots travaillent continuellement, sans ressentir une fatigue ou l'ennui, et ne nécessitent pas une assurance médicale ou de vacances.
- Les robots peuvent être beaucoup plus précis que les humains [12].

### Les inconvénients des robots sont

- L'inconvénient des robots est qu'ils manquent de capacité de réagir en cas d'urgence.
- Le manque de pouvoirs prendre une décision.
- Consommation de l'énergie.
- Ils peuvent causer des dommages à d'autres appareils, et blesser l'homme [12].

## 3. Modélisation des Robots

### Modélisation du robot mobile de type unicycle

#### Modélisation cinématique

Pour la modélisation cinématique du robot mobile suiveur de ligne, nous avons besoin de déterminer les équations de quelques paramètres du robot. La figure II.1 représente le paramétrage nécessaire pour la modélisation de notre robot [16].

#### Définition

On note  $R=(O,x,y,z)$  un repère fixe quelconque, dont l'axe est vertical et  $R'=(O', x', y', z')$  un repère mobile lié au robot. On choisit généralement pour  $O'$  un point remarquable de la plate-forme, typiquement le centre de l'axe des roues motrices s'il existe, comme illustré à la figure II.1 [55].

Par analogie avec la manipulation, on appelle situation ou souvent posture du robot le vecteur :

$$\xi = \begin{pmatrix} x \\ y \\ \theta \end{pmatrix} \quad (\text{II.1})$$

Où  $x$  et  $y$  sont respectivement l'abscisse et l'ordonnée du point  $O'$  dans  $R$  et  $\theta$  l'angle  $(\vec{x}, \vec{x}')$ . La situation du robot est donc définie sur un espace  $M$  de dimension  $m = 3$ , comparable à l'espace opérationnel d'un manipulateur plan [16].

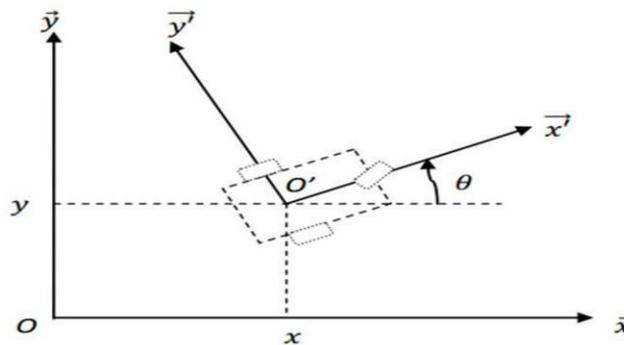


Figure I.12. Repérage d'un robot mobile.

La posture du robot exprimée dans son propre repère peut être exprimée en fonction de  $\xi$  en utilisant la matrice d'orientation:

$$\xi' = R(\theta) \cdot \xi = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \xi \quad (\text{II.2})$$

Avec  $R(\theta)$  est la matrice de rotation ayant la propriété :  $R(\theta)^{-1} = R(\theta)^T$ . Cette matrice peut être utilisée pour la transformation des vitesses.

### Roulement sans glissement

La locomotion à l'aide de roues exploite la friction au contact entre roue et sol. Pour cela, la nature du contact (régularité, matériaux en contact) a une forte influence sur les propriétés du mouvement relatif de la roue par rapport au sol. Dans de bonnes conditions, il y a roulement sans glissement de la roue sur le sol, c'est-à-dire que la vitesse relative de la roue

par rapport au sol au point de contact est nulle. Théoriquement, pour vérifier cette condition, il faut réunir les hypothèses suivantes :[16]

- Le contact entre la roue et le sol est ponctuel.
- Les roues sont indéformables, de rayon  $r$ .

En pratique le contact se fait sur une surface, ce qui engendre bien évidemment de légers glissements. De même, alors qu'il est raisonnable de dire que des roues pleines sont indéformables, cette hypothèse est largement fautive avec des roues équipées de pneus. Malgré cela, on supposera toujours qu'il y a r.s.g. et, par ailleurs, que le sol est parfaitement plan.

Mathématiquement, on peut traduire la condition de roulement sans glissement sur une roue. On a : [16]

$$P=(x,y,r)^T, Q=(x,y,0)^T, V=(x,y,0)^T \tag{II.3}$$

$V_p$  : la vitesse du centre P.

$V_q$  : la vitesse au point de contact.

$P$  : centre de la roue.

$Q$  : point de contact de la roue avec le sol.

$\phi$  : angle de rotation propre de la roue (*dans le sens trigonométrique*).

$\theta$ : Angle entre le plan de la roue et le plan  $(o, x, z)$  (orientations).

La nullité de la vitesse relative  $V_q$  roue/sol, au point de contact, permet d'obtenir une relation vectorielle entre la vitesse  $V_p$  du centre P de la roue et la vitesse de rotation  $W$  de la roue :

$$V_q = V_p + W \wedge PQ = 0 \tag{II.4}$$

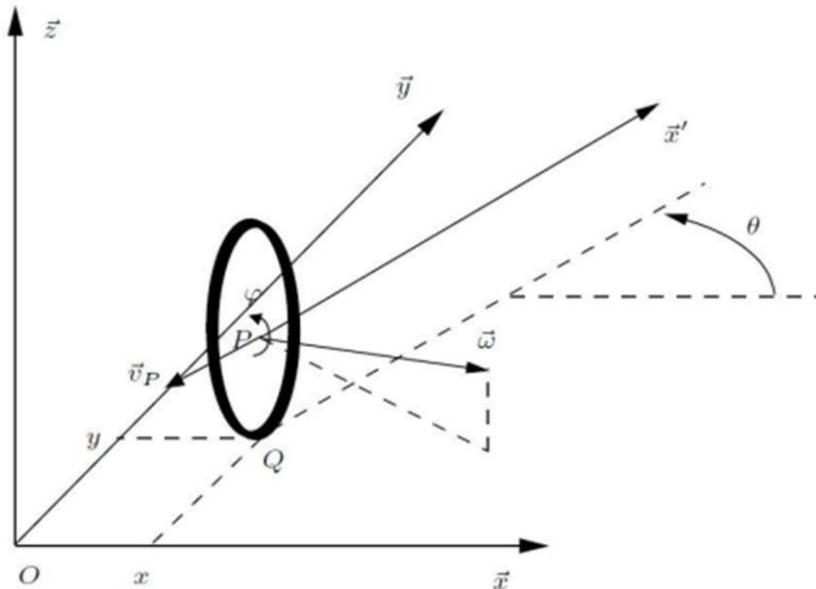


Figure I.13 Caractérisation du roulement sans glissement

### Modèle linéaire d'un moteur à courant continu(MCC)

Le robot que nous étudions (robot de type unicycle) est propulsé par deux moteurs à courant continu (CC). Dans cette section, nous découvrons le modèle d'espace d'état du moteur à courant continu. Ce modèle est ensuite utilisé dans le modèle dynamique de l'équilibrage de robot pour fournir une relation entre la tension d'entrée aux moteurs et le couple de commande nécessaire pour équilibrer le robot [15].

La dynamique du moteur peut être représentée par un modèle d'espace d'état, c'est un système du premier ordre d'équations différentielles avec les paramètres de position

$$\begin{bmatrix} \dot{\varphi} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{m \epsilon}{R I_m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{k}{I_m} \end{bmatrix} V_a \quad (II.6)$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ \tau_a \end{bmatrix} \quad (II.7)$$

$v$  : La vitesse longitudinale ou d'avancement du robot

$w$  : La vitesse de rotation autour de l'axe perpendiculaire au plan de roulement

$k_m$  : Constante du moteur

$k_e$  : constant EMF Retour

$m$  : La masse du robot unicycle

$R$  : Résistance Terminal nominale

$I$  : le moment d'inertie autour de l'axe vertical

$\tau_a$  : Le couple appliqué

### 3.3 Modèle dynamique du robot mobile de type unicycle

Le modèle dynamique du robot est [14] :

$$\begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{w} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2 \frac{k_e k_m}{m r R} & 0 \\ L k & k \\ 0 & -2 \frac{m e}{I r^2 R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{k_m}{m R r} & \frac{k_m}{m R r} \\ \frac{L k}{I R r} & -\frac{L k}{I R r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ad} \\ V_{ag} \end{bmatrix} \quad (II.8)$$

$r$  : Rayon de roue

$L$  : Longueur au centre de la masse de corps du robot

$V_{ad}$  : La tension appliquée au moteur M1 pour commander la roue droite

$V_{ag}$  : La tension appliquée au moteur M2 pour commander la roue gauche

### 4. Conclusion

A travers ce chapitre on peut dire que dans le cadre de la robotique et nous avons traité la modélisation du robot unicycle.

La robotique joue un rôle à part. Contrairement aux robots industriels manipulateurs qui travaillent de façon autonome dans un grand nombre d'usines automatisées et nous avons présenté aussi les différents types des robots mobiles qui sont utilisés à jouer un rôle de plus en plus important dans notre vie mais ceci n'annule pas l'existence de certains problèmes pour assurer une bonne application de ces robots.

Le modèle cinématique d'un unicycle est en général connu mais nous avons essayé de rappeler les principales étapes, le modèle linéaire d'un moteur à courant continu est présenté.

Enfin, on a présenté le modèle dynamique, qui concerne les mouvements du robot par des équations de vitesse et d'accélération.

## 1. Introduction

Ce chapitre traite quelques notions des capteurs, actionneurs, des généralités sur les moteurs ainsi que quelques informations sur la carte Arduino.

## 2. Les capteurs

### Définition d'un capteur

Un capteur est un dispositif ayant pour tâche de transformer une mesure physique observée en une mesure généralement électrique qui sera à son tour traduite en une donnée binaire exploitable et compréhensible par un système d'information. Parmi les différents types de mesures enregistrées par les capteurs, on peut citer entre autres : la température, l'humidité, la luminosité, l'accélération, la distance, les mouvements, la position, la pression, la présence d'un gaz, la vision (capture d'image), le son, etc [17].

La notion de capteur s'est évoluée avec le temps puisque leur domaine d'application s'est élargi. Les premiers capteurs n'étaient dédiés qu'à un unique type de mesure, les capteurs contemporains sont la combinaison de plusieurs dispositifs capables de mesurer différentes mesures physiques. En outre, à ces possibilités de mesures multiples, les capteurs actuels ont vu s'élargir leurs fonctionnalités qui leur permettent, en plus de l'enregistrement et de la détection d'événements mesurables, le traitement de ces données et leur communication vers un autre dispositif. On parle alors de capteur intelligent, capable à la fois de mesurer des données et de les communiquer avec d'autres capteurs au sein d'un réseau, tel qu'il est caractérisé par sa capacité à effectuer une collecte des mesures, les traiter et à les communiquer au monde extérieur [17].

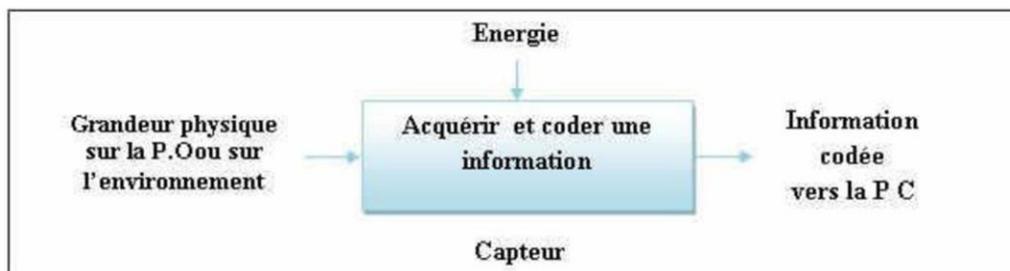


Figure II.1: Principe de fonctionnement d'un capteur

### Structure et fonction principale d'un capteur

Le capteur est chargé de prélever une grandeur physique à mesurer et de la transformer en une grandeur exploitable.

**a.** La grandeur physique à mesurer, souvent appelée « mesurande », n'est en général pas directement utilisable. Elle constitue le signal d'entrée (ou stimulus) du capteur.

**b.** La grandeur exploitable est souvent de nature électrique. Elle constitue le signal de mesure (ou signal de sortie, ou réponse) du capteur. Elle est une représentation de la grandeur à mesurer et doit être indépendante des autres grandeurs pouvant influencer sur le capteur. Ces grandeurs étrangères portent le nom de grandeurs d'influence [18].

**c.** Les grandeurs d'influence sont des grandeurs étrangères qui, selon leur nature et leur importance, peuvent provoquer des perturbations sur le capteur. C'est donc une cause d'erreurs agissant sur le signal de sortie. Citons en particulier:

- La température.
- La pression environnement.
- Les vibrations.
- L'humidité, la projection d'eau.
- Les ambiances corrosives.
- Les perturbations électromagnétiques.
- Les accélérations et la pesanteur.
- L'alimentation électrique du capteur [18].

De façon simple, un capteur peut être défini comme un transducteur convertissant une grandeur physique en un signal électrique. Cette transformation peut être directe dans quelques cas simples (exemple : thermocouple). Mais en réalité, la technologie des capteurs fait souvent appel à plusieurs conversions de phénomène physique avant d'arriver au signal de sortie [18].

Le capteur proprement dit est formé du corps d'épreuve et du transducteur :

**Corps d'épreuve :** C'est l'élément mécanique réagissant à la grandeur physique à mesurer.

Exemple : Support métallique pour une jauge de déformation [18].

**Transducteur :** C'est l'élément lié au corps d'épreuve traduisant la réaction reçue en un signal électrique, une variation de résistance, de capacité, d'inductance.

Exemple : Fil résistant disposé en zigzag pour une jauge [18].

**Conditionneur :** Circuit électronique traitant la grandeur mesurable pour délivrer un signal de sortie ayant des caractéristiques spécifiées (V, I, f, ...).

Exemple : Pont de Wheatstone suivi d'un amplificateur d'instrumentation [18].

On intègre de plus en plus le conditionneur dans le même boîtier que le capteur : l'ensemble forme alors un capteur intégré. Les fonctions assurées par ce conditionneur vont de la simple mise en forme et adaptation du signal, jusqu'aux traitements élaborés de correction de grandeurs d'influence, formant ce qu'on appelle aujourd'hui les capteurs intelligents à microprocesseur [18].

### Caractéristiques des capteurs

- **Etendue de mesure :** c'est la différence entre le plus petit signal détecté et le plus grand perceptible sans risque de destruction pour le capteur.
- **Résolution :** Plus petite variation de grandeur mesurable par le capteur.
- **Sensibilité :** c'est la plus petite variation d'une grandeur physique que peut détecter un capteur.
- **Précision :** c'est la culpabilité de propriété d'une position, d'une vitesse...
- **Rapidité :** c'est le temps de réaction d'un capteur entre la variation de la grandeur physique qu'il mesure et l'instant où l'information prise en compte par la partie commande.
- **Linéarité :** représente l'écart de sensibilité sur l'étendue de mesure sa reproductibilité.
- **La bande passante :** est un intervalle de fréquences pour lesquelles l'amplitude de la réponse d'un système correspond à un niveau de référence [18].

### Classification des capteurs

Les capteurs fonctionnent selon deux principes de base suivant l'origine du signal électrique de sortie. On distingue :

#### ➤ Les capteurs actifs

Fonctionnement en générateur dans les capteurs actifs, une partie de l'énergie physique prélevée sur la mesurande est transformée directement en une énergie électrique qui constitue

le signal de sortie. Ce signal est un courant, une tension ou une quantité d'électricité. Les signaux de sortie délivrés par les capteurs actifs sont de très faible puissance, ils doivent être amplifiés pour pouvoir ensuite être transmis à distance.

Exemple : Thermocouple, Capteur piézoélectrique [18].

### ➤ Les capteurs passifs

Fonctionnant en modulateur, Pour les capteurs passifs, c'est l'impédance du capteur qui est sensible aux variations de la mesure. Ces variations d'impédance ne sont mesurables que par l'intermédiaire d'un circuit électronique de pré conditionnement. Les capteurs passifs doivent être alimentés par une source d'énergie électrique extérieure [18].

Exemple : Potentiomètre, Jauges extension métriques. Le pré conditionnement peut se faire généralement de deux façons :

- a. Le montage potentiométrique.
- b. Le montage en pont [18].

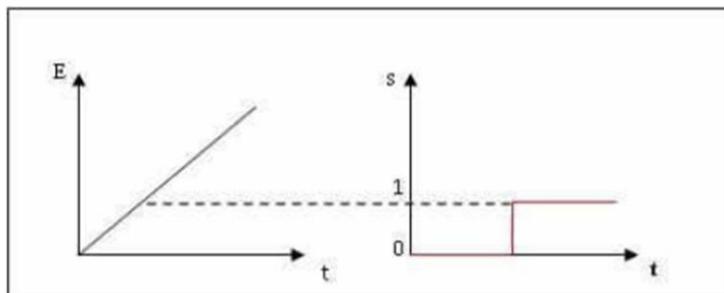
## Types de capteurs

On peut effectuer une première classification des capteurs par la nature des signaux transmis :

### ➤ Capteur logique

Ils délivrent une sortie logique de type TOR (tout ou rien). Ils sont en général appelés détecteurs car ils servent surtout à prélever l'information "présence" ou "proximité" d'un objet. [18]

**Figure II.2** Fonction logique d'un capteur TOR



### ➤ Capteur analogique

Ils délivrent un signal de sortie sous la forme d'une tension ou d'un courant variant continuellement. De tels signaux nécessitent un traitement particulier (conversion analogique-

numérique) pour être exploitables par l'automate programmable industriel ou micro-ordinateur [18].

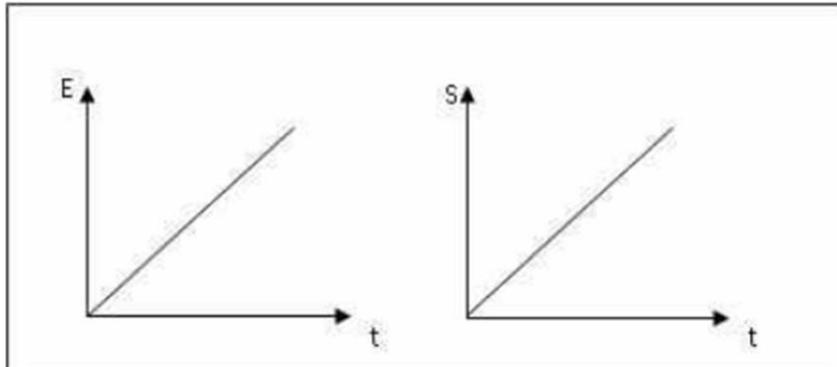


Figure II.3 Fonction d'un capteur analogique

➤ Capteur numérique

Ils délivrent un signal de sortie sous la forme, soit d'un train d'impulsions dont le nombre ou la fréquence est l'image de la grandeur d'entrée, soit d'un code numérique binaire. On trouve parmi les principaux capteurs numériques industriels, les capteurs de positions angulaires incrémentaux, les codeurs absolus, les lecteurs de code à barres et les lecteurs de pistes magnétique [19].

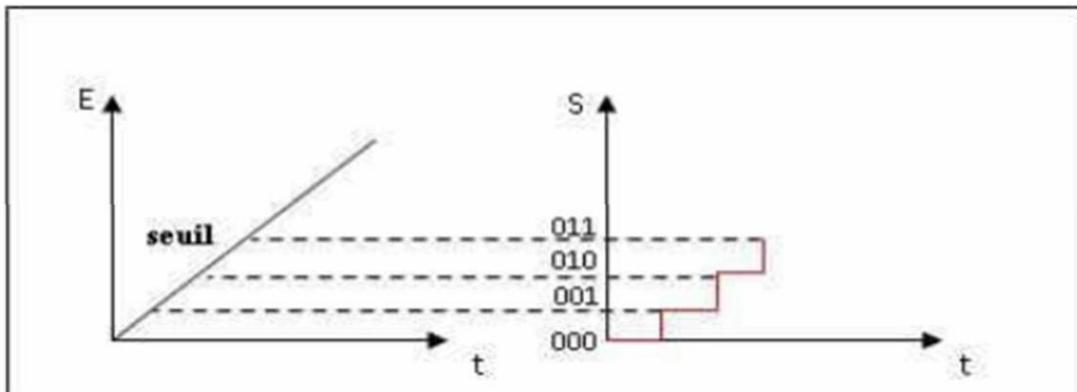


Figure II.4 Fonction d'un capteur numérique

Chaîne de mesure d'un capteur

Généralement, le signal de sortie de capteur n'est pas directement utilisable. On appelle chaîne de mesure l'ensemble des circuits ou appareils qui amplifient, adaptent, convertissent, linéarisent, digitalisent le signal avant sa lecture sur le support de sortie [4].

Pour obtenir une image d'une grandeur physique, la chaîne de mesure peut faire intervenir plusieurs phénomènes différents [4].

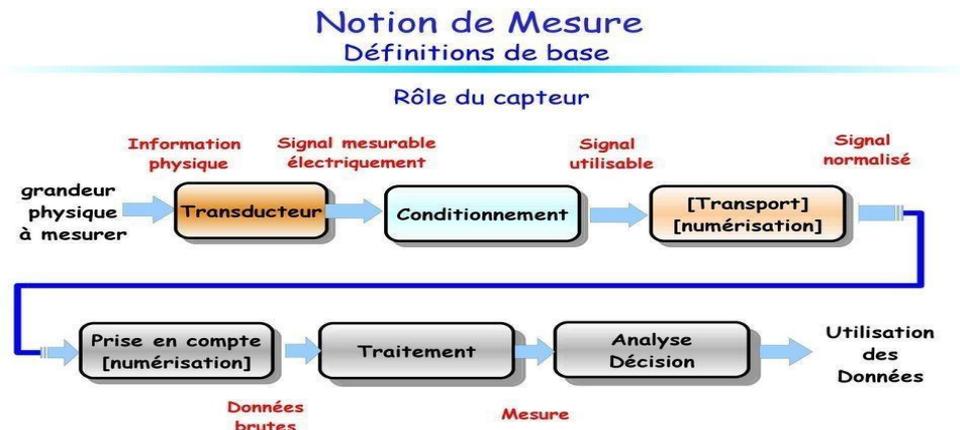


Figure II.5 Chaîne de mesure d'un capteur

### 3. Les actionneurs

#### Définition

Un actionneur est un dispositif qui transforme l'énergie délivrée par l'interface de puissance, en énergie utilisable par les effecteurs de processus. Le schéma fonctionnel d'un actionneur ainsi que les schémas des principaux actionneurs sont représentés à la Figure II.6. Les moteurs électriques, les vérins pneumatiques ainsi que les éléments chauffants sont des exemples typiques d'actionneurs utilisés en automatisation industrielle [20].

**Les effecteurs** : un effecteur est un dispositif qui transforme l'énergie délivrée par un actionneur, en valeur ajoutée. Selon le cas, un effecteur peut être séparé ou non de l'actionneur.

Quelques exemples d'effecteurs rencontrés en milieu industriel sont : les ventilateurs, les broyeurs, les pinces à outils de robots articulés, dispositifs de transfert de chaleur...

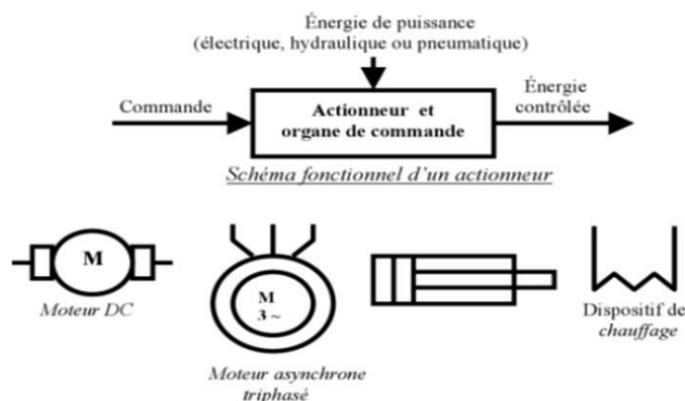


Figure II.6 Schéma fonctionnel et symboles des actionneurs

## Mode de fonctionnement des actionneurs et des moteurs

### Mode tout ou rien

L'actionneur ou le moteur est connecté à une alimentation hydraulique ou pneumatique de pression constante ou à une alimentation électrique de tension et fréquence constantes. Sa vitesse de déplacement ou de rotation dépend de son principe de fonctionnement et des caractéristiques de son alimentation, mais aussi de la charge (frottement, couple d'usinage, etc.). Non alimenté, il ne produit plus aucune force ou couple et se laisse entraîner par la charge, généralement, il s'arrête après un temps plus ou moins long sous l'effet des frottements, ou soudainement sous l'action d'un frein mécanique. La commande est alors particulièrement simple à réaliser, à l'aide d'un distributeur pour les entraînements pneumatiques ou hydraulique et d'un interrupteur pour les entraînements électriques [4].

### Mode contrôlé en vitesse

En ajustant la pression hydraulique ou pneumatique, la tension électrique ou la fréquence, il est possible de modifier la vitesse d'un actionneur ou d'un moteur de manière continue, au moins dans une certaine plage (par exemple de 20% à 100% de la vitesse nominale). Toute fois la vitesse reste plus ou moins dépendante de la charge [4].

### Mode réglé en vitesse

Le principe de la régulation est illustré dans la figure ci-dessous : l'opérateur ou le programme d'automate choisit une valeur de consigne en fonction de la vitesse qu'il souhaite obtenir. La valeur réelle est mesurée et fournit le signal de contre-réaction, qui est comparé à la valeur de consigne. La différence entre ces deux valeurs est appelée écart de régulation. L'opérateur se efforce de le minimiser en ajustant la grandeur de réglage et, par l'intermédiaire de l'amplificateur de puissance, l'alimentation du moteur [4].

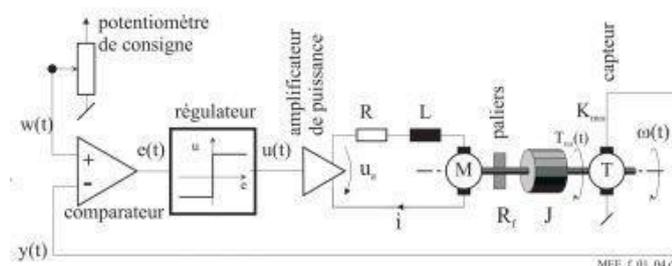


Figure II.7 Principe de la commande de vitesse en boucle fermée

### **Mode servomoteur-réglé en position**

En ajustant un capteur de position sur l'arbre du moteur ou sur la charge en mouvement, il est possible de réaliser des déplacements point à point et d'arrêter le moteur à des positions très précises [4].

### **Mode pas à pas**

Il combine le mode tout ou rien et le mode servomoteur. L'actionneur travaille bien en mode tout ou rien, mais il est alimenté par une succession d'impulsions. A chaque impulsion, il avance d'une petite distance appelée pas ou incrément. La distance parcourue dépend directement du nombre d'impulsions reçues. La vitesse dépend de la fréquence des impulsions. De plus, lorsqu'il ne reçoit plus d'impulsions, un tel actionneur est tenu en place avec une certaine force de maintien [4].

### **Les familles d'actionneur**

Le mouvement est imposé au robot par un ou plusieurs actionneurs par transformation d'une énergie source en énergie de base utilisée peut être :

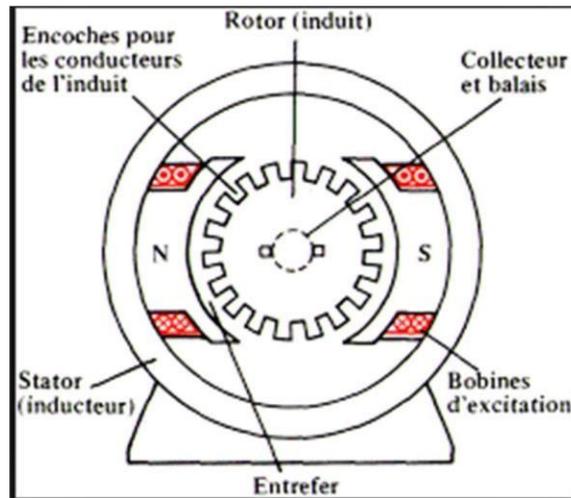
- Pneumatique
- Electrique
- Hydraulique
- Mécanique (dispositif à câbles et poulies) [20].

### **Actionneur électrique**

En fonction de la nature de l'énergie issue de la conversion effectuée par l'actionneur, on distingue différents types d'actionneurs électriques, selon la conversion de l'énergie électrique.

### **Les moteurs à courant continu**

Un moteur à courant continu est une machine électrique tournante mettant en jeu des tensions et courants continus et qui permet la conversion d'énergie électrique en une énergie mécanique. Cette machine peut également fonctionner en mode générateur qui est la fonction réversible du moteur.



**Figure II.8** Moteur courant continu.

Le moteur à courant continu est constitué de trois parties principales :

- **Stator** : C'est la partie fixe du moteur dont le rôle est de créer un flux magnétique. Cette fonction peut être assurée par un aimant permanent ou par un courant électrique circulant dans un bobinage (électroaimant) enroulé autour d'un noyau qui est une partie d'un circuit ferromagnétique. Ce dernier a comme fonction de canaliser le flux magnétique, il est constitué d'une culasse, au moins deux noyaux et deux épanouissements polaires[20].
- **Rotor**: Partie mobile du moteur, aussi appelé induit, il est composé d'un châssis métallique, comprenant un certain nombre d'encoches, sur lesquelles sont placés un certain nombre de bobinages. Le châssis métallique est constitué de tôles circulaires isolées et empilées sur l'arbre (feuilleté) afin de réduire les pertes par hystérésis et par courants de Foucault dues aux variations du flux[20].
- **Collecteur / balais** : C'est un dispositif permettant de relier le circuit induit tournant à un circuit électrique extérieur fixe. Le collecteur est formé d'une série de lames de cuivre juxtaposées et isolées entre elles. Les balais sont fixés sur la carcasse, ils sont formés de blocs de carbone (contacts glissant) qui frottent sur le collecteur en assurant un bon contact électrique[20].

Le sens de rotation est défini par les polarités de l'inducteur et de l'induit. Pour changer le sens de rotation de ce moteur, il suffit d'inverser la polarité de l'inducteur ou de l'induit[21].

### Les types de moteur à courant continu

De construction, les moteurs à courant continu peuvent être :

- ✓ À excitation indépendante : inducteur et induit sont séparés.
- ✓ Des moteurs « série » : inducteur et induit sont en série.
- ✓ Des moteurs « dérivation » : inducteur et induit sont en parallèle.

### Moteurs asynchrones

Leur fonction est de transformer l'énergie électrique (courant alternatif) en l'énergie mécanique. Le moteur asynchrone, comme le moteur à courant continu, comporte deux parties (voir figure II.9):

- ✓ Une partie fixe, le stator.
- ✓ Une partie mobile, le rotor.



**Figure II.9 :** Représentation d'un moteur asynchrone.

Le circuit électrique de stator est composé de trois enroulements qui sont reliés à la plaque à borne d'un moteur [18].

### Moteurs synchrones

Le moteur synchrone se compose, comme le moteur asynchrone, d'un stator et d'un rotor séparé par un entrefer. La seule différence se situe au niveau de la conception du rotor. La figure II.10 montre un rotor à pôles saillants constitués d'aimants permanents ou d'électroaimants alimentés en courant continu. Après le démarrage, le moteur tourne en synchronisme avec le champ tournant. À vide les axes des pôles du champ tournant et du rotor sont confondus. En charge, les axes sont légèrement décalés. La vitesse du moteur synchrone est constante quelle que soit la charge. On notera aussi que :

- ✓ La charge ne doit pas dépasser l'effort de démarrage entre le rotor et le champ tournant,
- ✓ Le couple moteur est proportionnel à la tension à ses bornes [18].

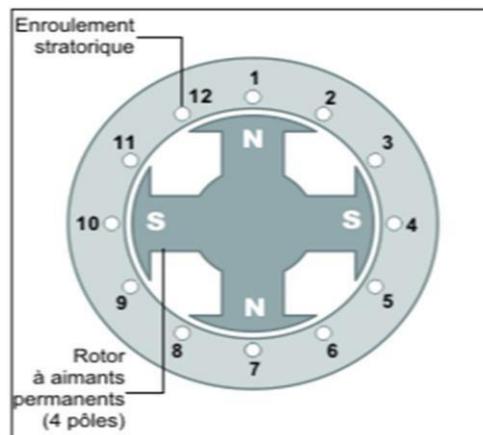


Figure II.10 Coupe d'un moteur à aimants permanents.

### Les Moteurs pas à pas

Le moteur pas à pas permet de transformer une impulsion électrique en un mouvement angulaire. Ce type de moteur est très courant dans tous les dispositifs où l'on souhaite faire du contrôle de vitesse ou de position, comme par exemple les imprimantes. Le stator est constitué de bobines qui sont alimentées, à tour de rôle, en courant continu par une carte électronique. Le rotor est un croisillon, en métal ferreux ne conservant pas le magnétisme. Si on compte électroniquement les impulsions envoyées aux bobines on sait, connaissant le pas, le nombre de rotations que le rotor a effectué. Représentation du moteur pas à pas. La figure II.11 représente les constituants du moteur pas à pas [21].

On trouve trois types de moteurs pas à pas :

- Le moteur à aimants permanents.
- Le moteur hybride.
- Le moteur à réluctance variable.

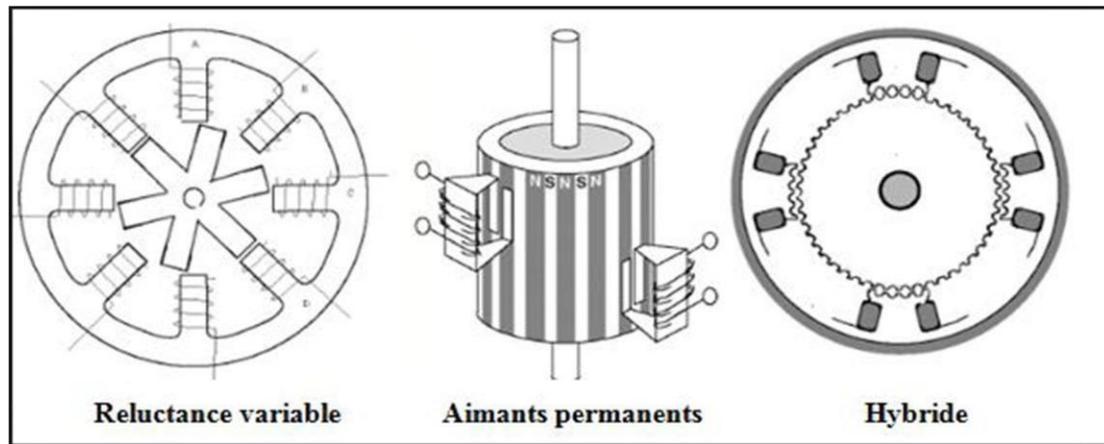


Figure II.11 les types de moteurs pas à pas

## 4. La carte Arduino

### Définition

Arduino est une plate-forme de développement de cartes grâce à laquelle nous pouvons développer une application intégrée avec plusieurs dispositifs actionneurs. Arduino est un matériel basé sur l'open source[22].

### Différents types des cartes Arduino

On distingue plusieurs types de cartes Arduino, nous utiliserons surtout la carte Arduino la plus répandue, la Figure II.12 illustre quelques modèles :

- Arduino Leonardo
- Arduino Uno R3.
- Arduino Nano.
- Arduino Mega 2560.

Nous utiliserons surtout la carte la plus répandue : l'Arduino Uno [26].

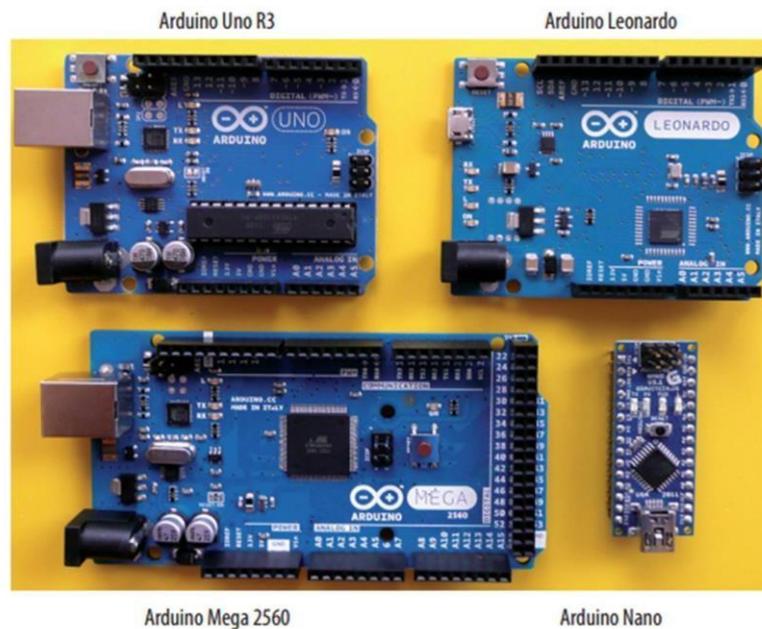


Figure II.12 Quelques types des cartes Arduino

## La carte Arduino Uno

### 4.3.1 Bref historique sur Arduino uno

La carte Arduino Uno c'est une carte à microcontrôleur à source ouvert basée sur le microcontrôleur Microchip ATmega328P et développée par Arduino.cc, le mot « Uno » signifie « un » en italien et été choisi pour marquer la libération initiale du logiciel Arduino [28].

Les principaux composants de la platine sont identifiés sur la Figure II.13 [24].

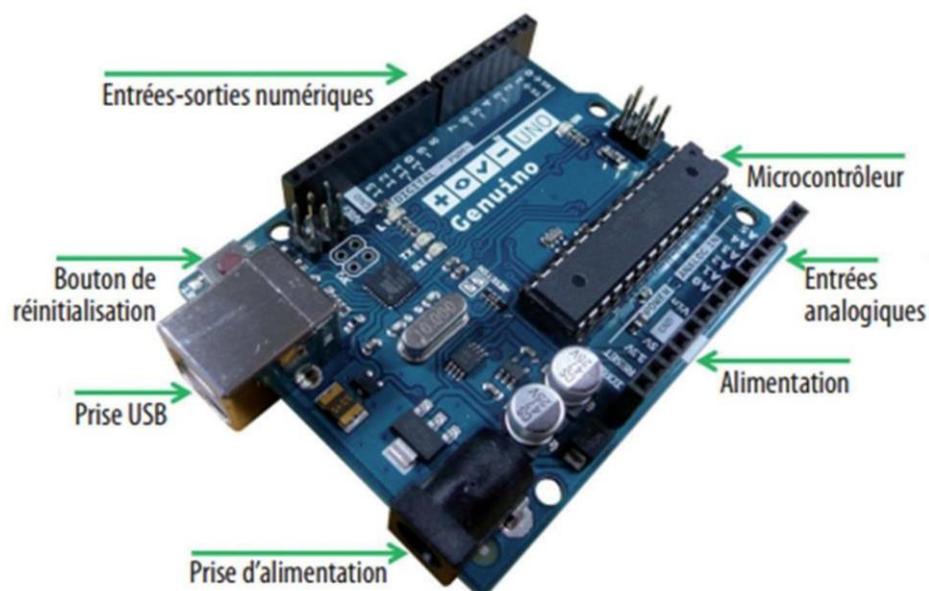


Figure II.13 La carte Arduino Uno.

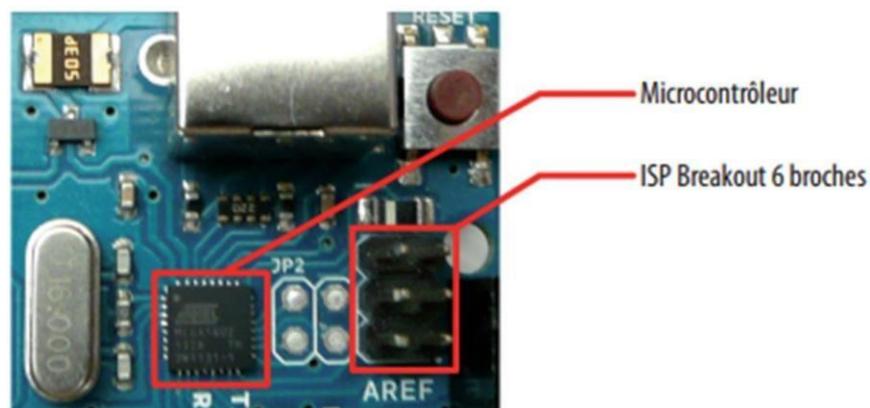
Les différents éléments de la carte Arduino Uno sont illustrés dans le tableau ci-dessous : [24]

**Tableau II.1** Spécifications de la carte Arduino Uno

| Catégorie                             | Valeur   |
|---------------------------------------|--|
| Microcontrôleur                       | ATmega328  |
| Tension de service                    | 5V   |
| Tension d'entrée (recommandée)        | 7-12V  |
| Tension d'entrée (limites)            | 6-20V  |
| Ports numériques                      | 14 entrées et sorties (6 sorties commutables en MLI – modulation de largeur d'impulsion) |
| Ports analogiques                     | 6 entrées analogiques  |
| Courant maxi. par broche d'E/S (c.c.) | 40 mA  |
| Courant maxi. par broche 3,3V         | 50 mA  |
| Mémoire                               | 32 Ko (ATmega328), dont 0,5 Ko est utilisé par le chargeur d'amorçage                    |
| SRAM                                  | 2 Ko (ATmega328)   |
| EEPROM                                | 1 Ko (ATmega328)   |
| Fréquence d'horloge                   | 16 MHz   |

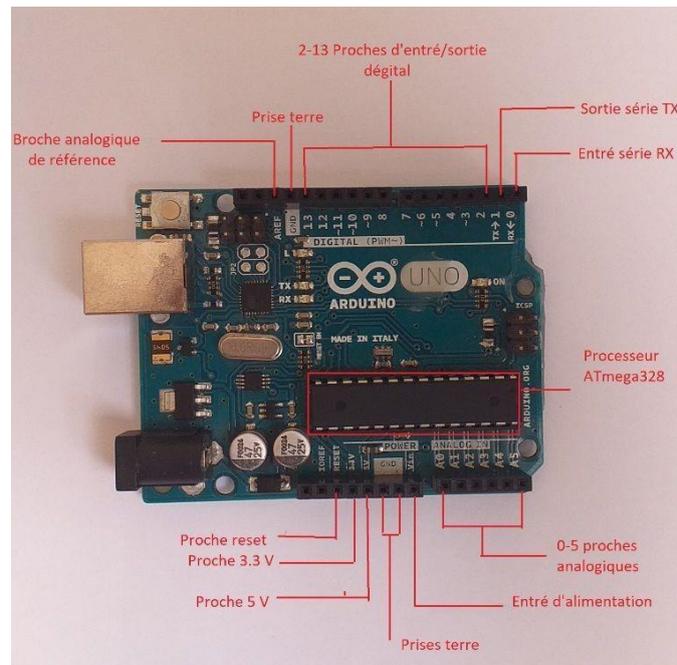
### Le microcontrôleur Arduino

La programmation peut s'effectuer par le biais de la liaison ISP (In System Programmer) Breakout à condition de disposer du programmeur correspondant. Le modèle présenté sur la Figure II.14 est doté d'un module d'interfaçage bon marché, fabriqué en Chine, de type CH340 [24].



**Figure II.14** La carte Arduino Uno avec son microcontrôleur MEGA16U2

Le microcontrôleur est le cœur de la carte Arduino. L'Arduino Uno que nous utiliserons pour notre projet est équipé d'un microcontrôleur Atmel AVR de type ATmega328 sur la Figure II.15. Un certain nombre d'entrées ou de sorties sont disponibles pour communiquer avec la carte Arduino. Elles constituent l'interface avec le monde extérieur et permettent d'échanger des données avec le microcontrôleur, comme l'indique le schéma ci-après [24].



**Figure II.15** Entrées et sorties de la carte Arduino

Sur le côté gauche, un port est ici un chemin d'accès défini au microcontrôleur, pratiquement une porte vers l'intérieur qu'il est possible d'actionner [24].

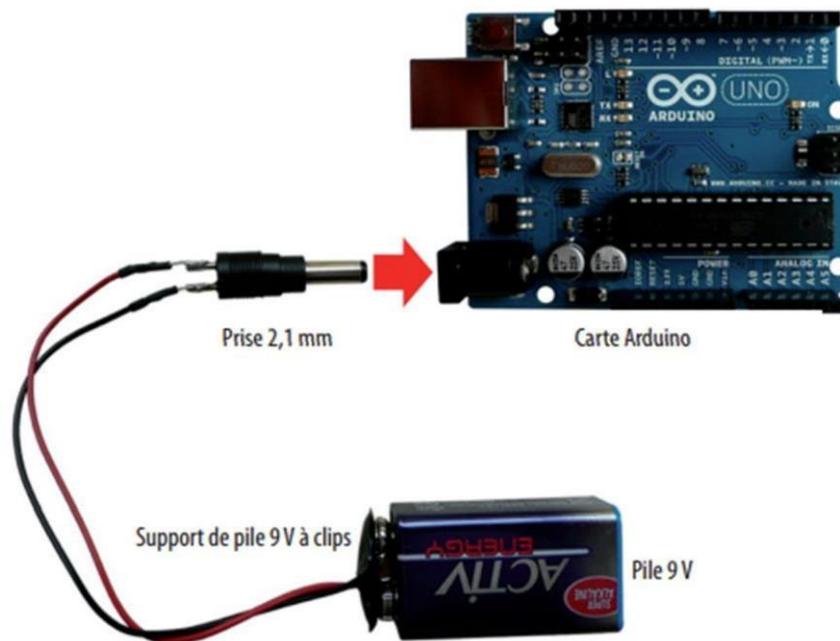
#### 4.5. L'alimentation électrique

Commençons par la tension d'alimentation, car sans elle, rien n'est possible. Il existe différentes possibilités. Quand nous travaillons avec l'Arduino ou que nous le programmons, il est indispensable d'établir une connexion USB avec l'ordinateur. Cette liaison assure deux fonctions :

- transmettre l'indispensable tension d'alimentation de 5V.
- offrir un canal de communication entre l'ordinateur et la carte Arduino [24].

Le câble USB limite considérablement le rayon d'action du véhicule. Nous avons simplement besoin d'une alimentation électrique pour la carte et éventuellement pour les moteurs [24].

La Figure II.16 présente une alimentation électrique externe à l'aide d'un bloc 9 V.



**Figure II.16** La carte Arduino Uno avec une alimentation électrique externe.

L'Arduino se programme en "C" ou un langage très proche avec des conversations d'écriture inhérent à celui-ci [25].

### Le logiciel Arduino

IL est totalement gratuit et proposé en libre téléchargement sur le site internet de l'Arduino. Les codes source, même les plus simples, sont très largement commentés afin de faciliter le travail, il suffit maintenant de relier le cordon USB du module Arduino-Uno à ordinateur, d'ouvrir un des croquis sous Logiciel Arduino et de lancer la compilation suivie du chargement Lorsque l'opération s'est correctement déroulée, l'Arduino-Uno devient autonome et n'a plus besoin de l'ordinateur, hormis pour son alimentation. Le projet fonctionne directement.

La Figure II.17 montre une vue d'écran du logiciel sous Windows avec un croquis en cours de développement : [25]



Figure II.17 Vue d'écran du logiciel sous Windows

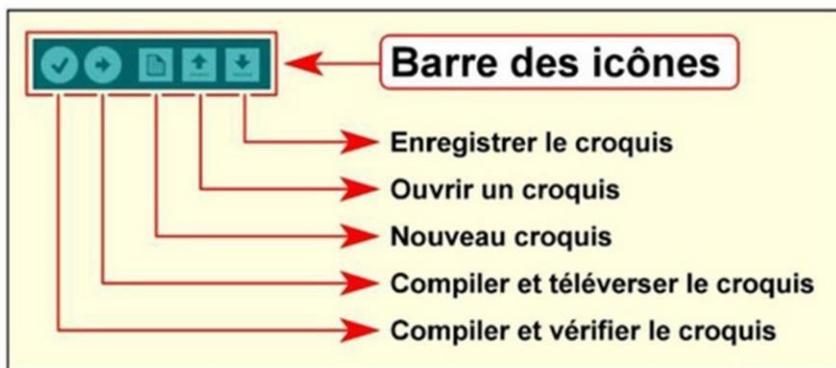


Figure II.18 La barre des boutons

### Les avantages de l'Arduino

1. Faible coût : les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses par rapport à d'autres plates-formes à microcontrôleur.
2. Convivial (facile d'utilisation) : le logiciel Arduino (IDE) est convivial et facile à utiliser pour les débutants et offre une grande souplesse aux programmeurs expérimentés.

3. Multiplateforme : le logiciel Arduino (IDE) est compatible avec les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh OSX et Linux, que la plupart des systèmes microcontrôleur ne sont pas compatibles.
4. Open source : Arduino est un logiciel open source et peut être programmé avec les langages C, C ++ ou AVR-C. Ainsi, différents modules peuvent être conçus par les utilisateurs.
5. La plateforme Arduino comprend un microcontrôleur. Il peut être connecté à un PC via un câble USB. Peut également être modifié par le programmeur. Sur le marché, différentes versions de cartes Arduino sont disponibles et en fonction des besoins de l'utilisateur [27].

### Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné quelques concepts théoriques, cités, et expliqué le fonctionnement des matériaux utilisés.

Pour l'Arduino, nous avons expliqué un de ses deux parties essentielles (la partie matérielle) en citant ces caractéristiques, les différents types des cartes Arduino et la composition particulièrement d'Arduino. La partie de programmation sera expliquée dans le prochain chapitre.

### 1. Introduction

Le but essentiel de notre travail est d'utiliser l'Arduino pour commander le robot suiveur de ligne. On doit construire un prototype de ce robot qui circule à l'aide des trois roues, deux roues connectées avec deux moteurs et une roue libre. Pour pouvoir commander le châssis du robot on doit le connecter à des circuits d'alimentation, de commande et des capteurs puis à une carte Arduino contenant le programme qui nous permettra de gérer ce robot.

La réalisation se compose à trois parties essentielles :

- La partie mécanique.
- La partie électronique.
- La partie programmation.

Dans ce chapitre on présentera et on expliquera les différentes étapes de la conception et la réalisation de notre robot.

### 2. La structure de base du robot suiveur de ligne

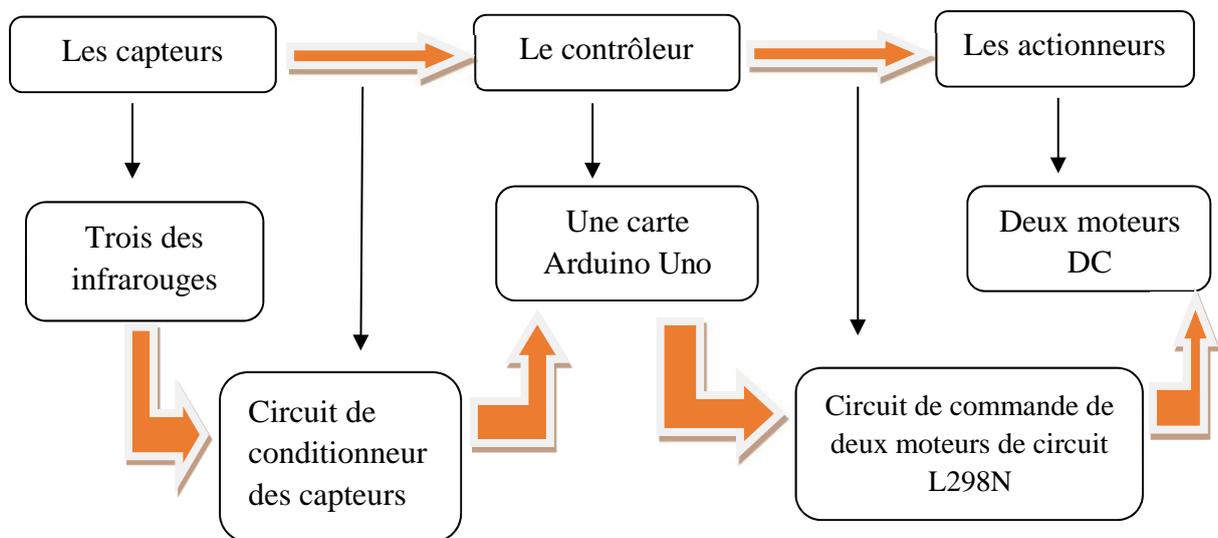


Figure III.1 La structure de base du robot suiveur de ligne

### 3. La partie mécanique

#### Le plaque de châssis

Le châssis est une base sur laquelle sont disposés les éléments de notre robot, il doit être solide et léger pour obtenir une forme adaptée pour notre application. Pour notre application nous avons utilisé un châssis en plexiglas ayant la forme représentée à la figure III-2 qui permettant de placer et installer les moteurs, les capteurs infrarouges et les autres composants.

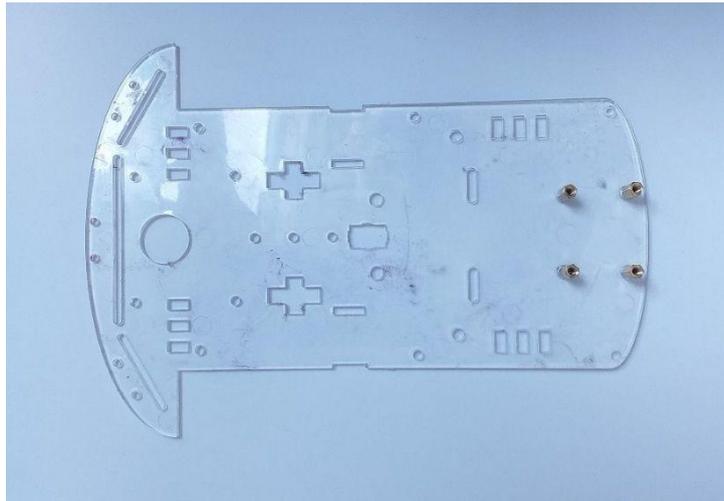


Figure III.2 Le plaque de châssis

#### Les roues

Les roues sont le moyen le plus utilisé pour les déplacements d'un robot suiveur de ligne. Il y a deux types des roues utilisés dans notre projet (roue motrice en caoutchouc et la boule).

Le choix des roues est important, la roue motrice de robots suiveur de ligne doit être en matière de caoutchouc pour éviter le glissement et les pertes du mouvement, et la boule utilisée pour la stabilité du robot pour les différents mouvements possibles.

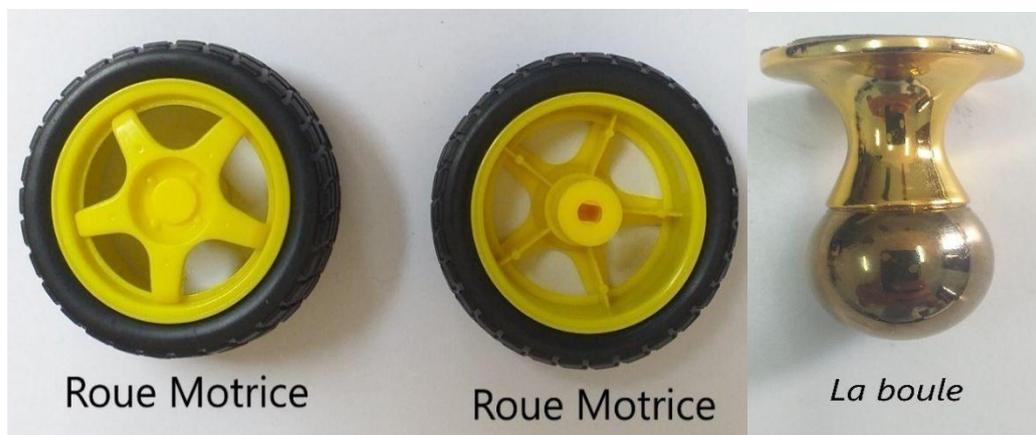
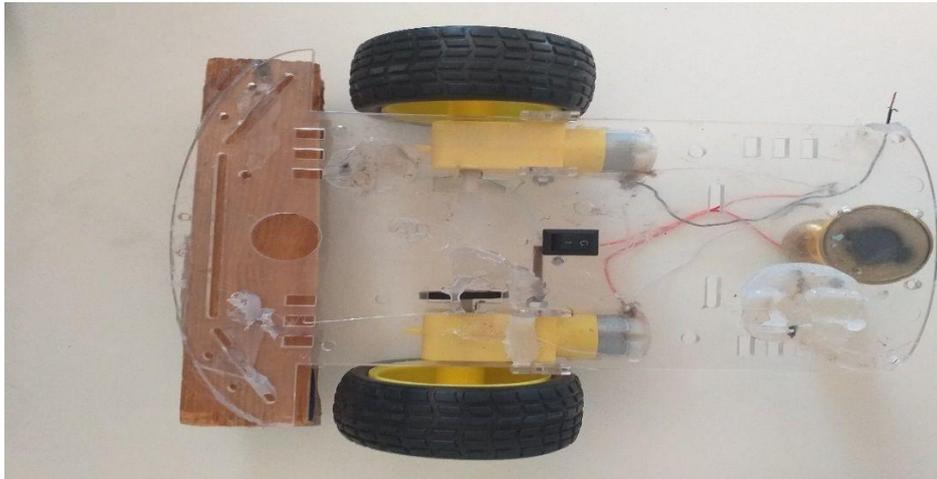


Figure III.3 Les différents types de roue du robot

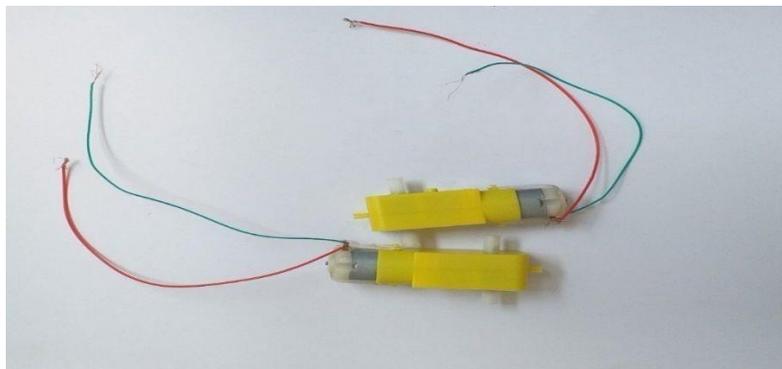
La Figure III.4 montre les deux roues motrices et la roue folle montées sur le châssis.



**Figure III.4** Roue motrices, la boule, et les deux moteurs montés sur châssis.

### Les moteurs électriques

Afin que le robot soit capable de se déplacer il est nécessaire d'utiliser les moteurs, et parce qu'on est décidé de réaliser un robot tricycle alors on utilise des moteurs DC (deux moteurs A et B) pour commander les deux roues arrière. L'utilisation de deux moteurs a été motivée par le coût qui n'est pas cher par rapport au servomoteur, il n'y a pas beaucoup de vibrations, une faible consommation d'énergie et plus rapide par rapport au moteur pas à pas.



**Figure III.5** Les moteurs DC

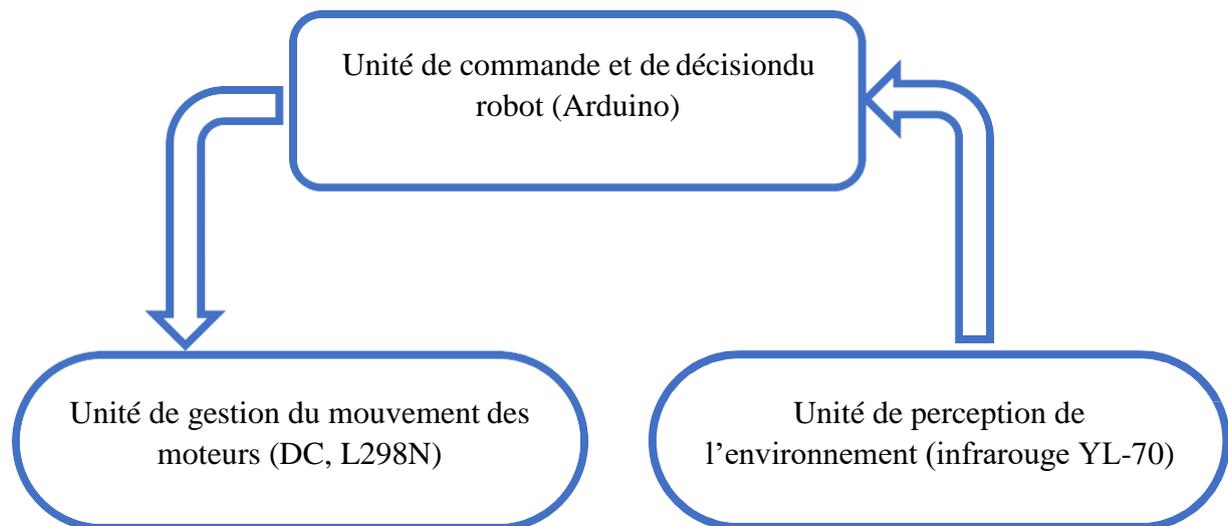
### Caractéristiques du moteur utilisé dans ce projet

- Taille du moteur : 70mm×22mm×18mm
- Poids du moteur (g) : 50/
- Tension : entre 3v et 12v
- Couple : environ 0.5kg.cm

- Vitesse : 15 tr/min (environ 2m/s)
- Taux de réduction : 48 :1
- Pignons :nylon.

#### 4. La partieélectronique

Après avoir décrit le principe et la construction de la partie mécanique, nous allons maintenant entamer la partie électronique qui va traiter tout le système. Commençons tout d'abord par une description des différents composants.



**Figure III.6** Structure de la partie électronique.

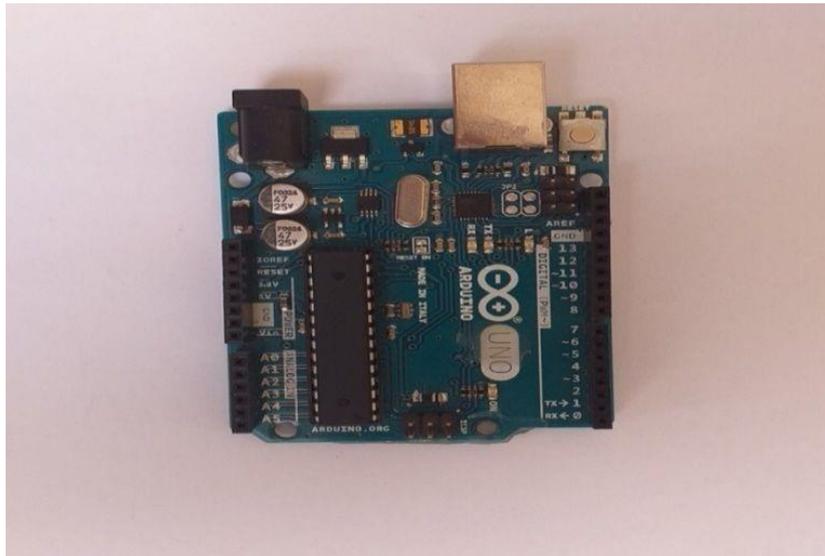
La figure ci-dessous représente la description de système qui est formé de trois unités.

On a utilisé des capteurs infrarouge YL-70 (Unité de Perception de l'environnement) qui reçoivent des informations de l'environnement, ces informations seront transmises vers la carte Arduino Uno (Unité de commande et de décision) qui va les traiter. Après le traitement, lacarteArduinodonne des décisions à l'unité de gestion du mouvement des moteurs (L298N). Pour que le robot se déplace, un moteur à courant continue de faible puissance est utilisé.

#### **Unité de commande et de décision Du robot(Arduino)**

Nous avons parlé de la carte Arduino dans le chapitre précédent. En donnant une description détaillée de cette carte

Pour notre travail on a utilisé la carte Arduino



**Figure III.7** La carte Arduino Uno

### **Le signal PWM**

Le PWM (Pulse Width Modulation) est un signal très connu en électronique. Il permet de commander un moteur à courant continu (DC). Le principe est de faire varier (moduler) la durée /la largeur d'une impulsion de 5v.

### **PWM : conversion numérique /analogique**

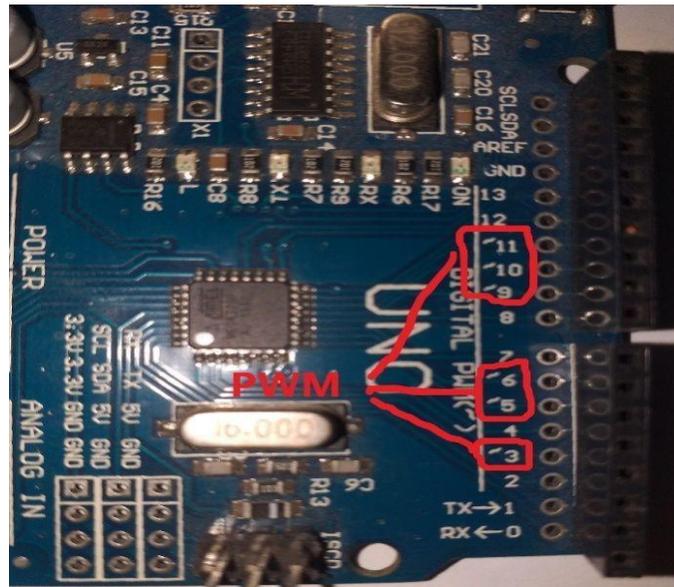
Avec un signal PWM on peut commander un composant électronique :

- Avec un rapport cyclique de 100%, le composant voit une tension en entrée de 5v.
- Avec un rapport cyclique de 50%, le composant voit une tension en entrée de 2.5v.

### **PWM sur ArduinoUno**

Le microcontrôleur de l'Arduino peut générer un signal PWM, Mais, on ne peut utiliser que certaines broches : 3,5,6,9,10 ,11, pour notre travail on a utilisé les broches 3 et 6.

Le rapport cyclique est exprimé en un chiffre entre 0 et 255 (50% correspond à 127) : codage sur 8 bits.



**Figure III.8** Les pines de signal PWM sur l'Arduino Uno

Le module Arduino n'est capable de générer de la PWM sur 6 broches de sortie grâce à la fonction `analogWrite`, cette fonction utilise les timers de microcontrôleur pour générer sur les sorties, un signal carré de fréquence fixe mais de largeur variable pour l'impulsion à l'état haut.

### Unité de Perception de L'environnement (infrarouge YL-70)

#### Définition

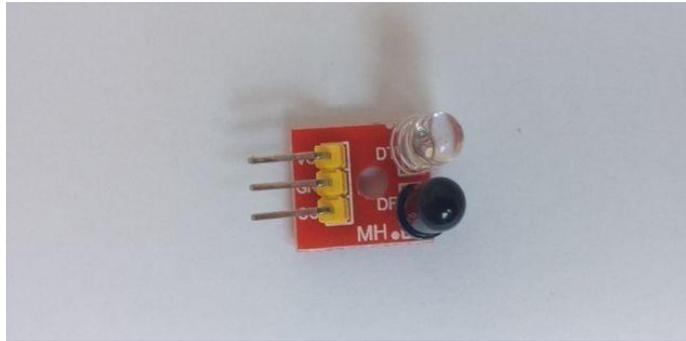
Tout d'abord et puisque la tâche principale de ce robot c'est le suivi une trajectoire, il a besoin d'un capteur de détection de la bande de trajectoire, le problème qui se pose est comment il reconnaît la présence de cette bande.

Parmi plusieurs capteurs qui peuvent effectuer la tâche nous avons choisi un capteur infrarouge, à cause de sa disponibilité, son schéma et sa réalisation ne sont pas compliqué et leur coût n'est pas cher.

On utilise trois capteurs infrarouges (IR SENSOR), chacun d'eux détermine le circuit du robot.

Dans notre travail on utilise l'infrarouge YL-70, C'est un module suiveur de ligne 4 voies infrarouge composé d'une plaque centrale et de 4 modules de détection infrarouge. Le modèle YL-70, peut être connecté directement à l'Arduino. Lorsque la lumière infrarouge qui reflète l'arrière par le capteur est détecté, La Led du voyant rouge s'allume et une basse de

tension apparaît en sortie, quand il n'y a pas, la lampe témoin brille pas, et une haute tension est détectée en sortie.



**Figure III.9** Capteur infrarouge YL-70



**Figure III.10** La carte centrale infrarouge YL-70

### Caractéristique de capteur YL-70

- Dimensions de la carte centrale : 44mm×40mm×12mm.
- Dimensions du capteur infrarouge : 25mm×12mm×12mm.
- Courant de fonctionnement : plus de 1A.
- Tension de fonctionnement : 3.3 ~ 5 VDC.
- Température de fonctionnement : -10 ~ +50°C.
- Distance de détection : 1mm ~60cm.

### Installation du capteur sur le robot

L'installation du capteur sur le robot est importante pour la détection de la ligne, pour cela on fixe les trois émetteurs-récepteurs avec des boulons en avant du robot, la distance entre eux est 3 cm comme c'est montré sur la figure suivante:

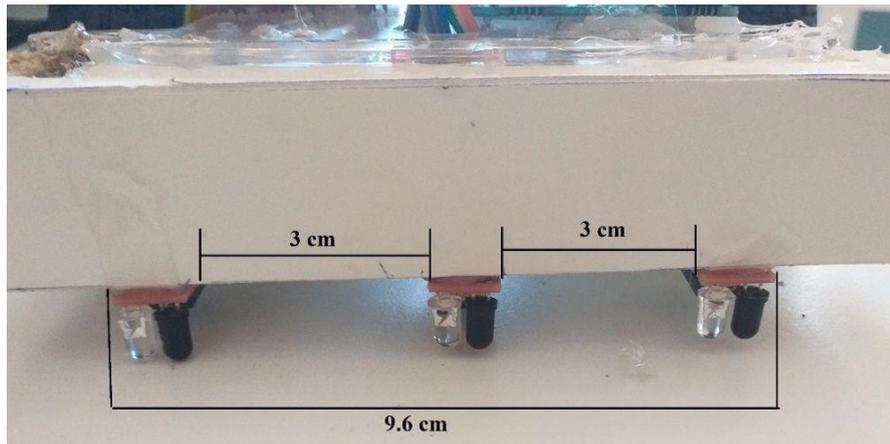


Figure III.11 Installation du capteur sur le robot.

### 4.2.4 La détection de ligne et de mouvement de robot

Le tableau III.1 montre les valeurs possibles des détecteurs de bande et le mouvement du robot

Tableau III.1 Les différents états des capteurs.

| État capteur à gauche | État capteur Centre | État capteur a droit | Mouvement De robot |
|-----------------------|---------------------|----------------------|--------------------|
| 0                     | 0                   | 0                    | Robot arrête       |
| 0                     | 0                   | 1                    | Marche à droit     |
| 0                     | 1                   | 0                    | Marche en avant    |
| 0                     | 1                   | 1                    | Marche à droit     |
| 1                     | 0                   | 0                    | Marche à gauche    |
| 1                     | 0                   | 1                    | Robot arrête       |
| 1                     | 1                   | 0                    | Marche à gauche    |
| 1                     | 1                   | 1                    | Robot arrête       |

Le capteur utilise dans notre travail permet à détecter la couleur noire ce qui implique.

L'état « 1 » du capteur indique la détection de la couleur à la bande « noire ».

L'état « 0 » du capteur indique la non détection de la couleur à la bande « noire ».

La figure III.13 indique la disposition du robot sur la bande de suivi

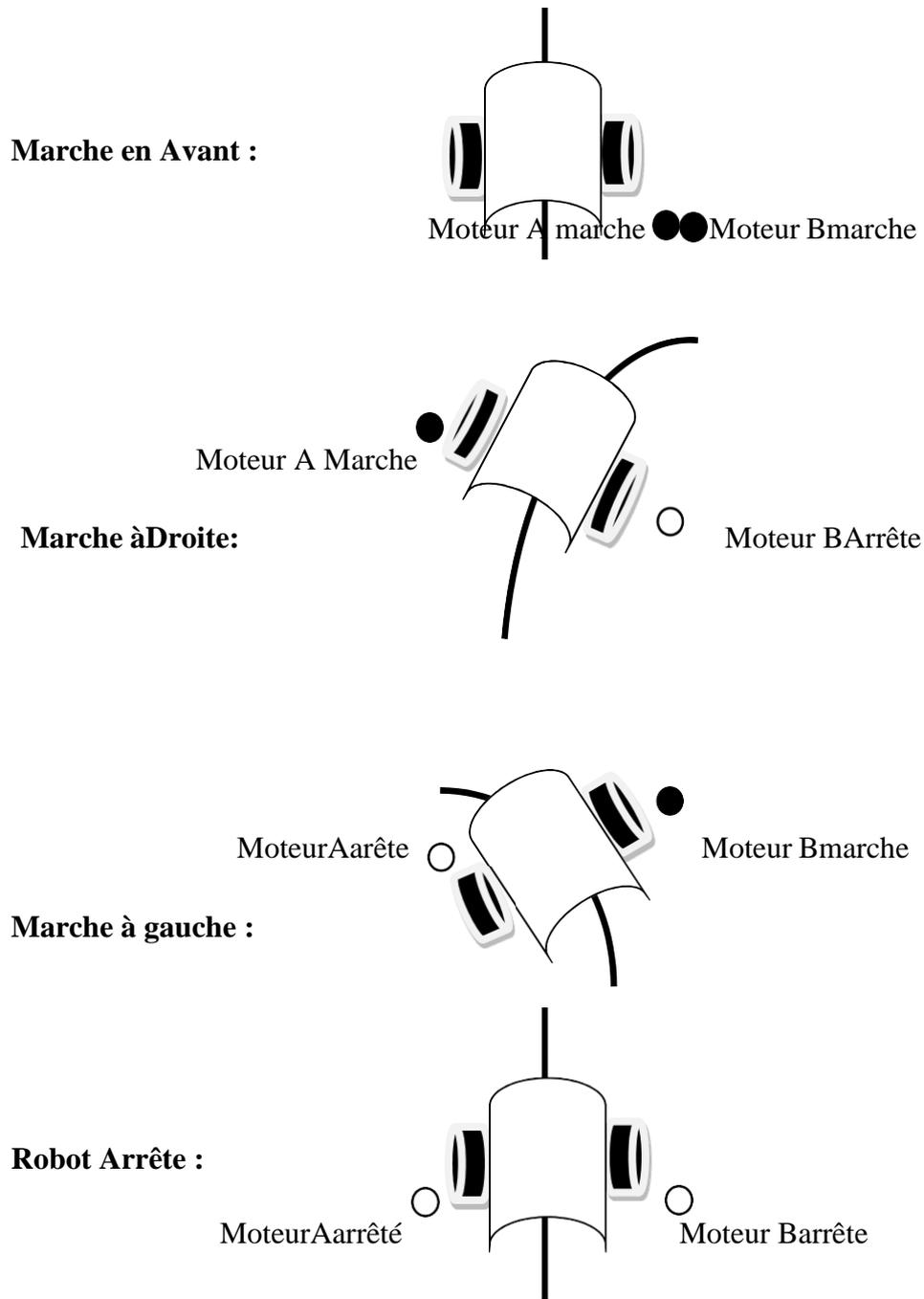


Figure III.12 La disposition du Robot sur la ligne

● Moteurmarche

○ Moteurarrête

### Unité d'organisé Le mouvement des moteurs

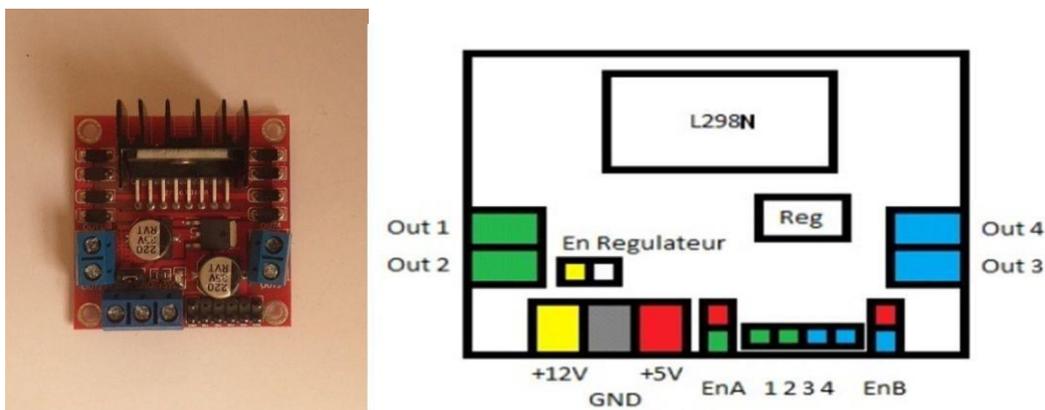
Pour assurer le déplacement du robot, on a utilisé deux moteurs CC. Dans notre projet, on se limite au contrôle des moteurs à courant continu les plus ordinaires.

Le module L298N a été choisi pour commander les moteurs. Pour cela, deux techniques sont utilisées:

- La commande du sens de rotation par un pont en H.
- La commande de puissance (et donc de la vitesse) par la modulation d'amplitude du signal (PWM ou Pulse Width Modulation)

### Carte de puissance L298N

Le L298N intègre deux ponts en H de 2A maximum. Ils doivent être protégés contre les courants inverses grâce à des diodes de roue libres. Il dispose de deux broches d'activation qui permettent de désactiver l'alimentation de chaque pont en H.



**Figure III.13** Module L298N et leurs broches de connexion.

Ce composant a besoin de deux alimentations pour fonctionner, l'alimentation (+VSS) jusqu'à 7V utilisée pour alimenter les portes logiques, et l'alimentation (+Vs) jusqu'à 36V utilisée pour alimenter les moteurs.

Nous utilisons un module déjà monté, il se compose du circuit intégré L298N avec dissipateur, d'un régulateur 5V (pour la partie logique), de diodes de protection (diodes de roue libre) contre les courants inverses, de deux connecteurs pour le branchement des moteurs.

### Description du module L298N

- La sortie Out1 est commandée par l'entrée 1 (IN1).
- La sortie Out2 est commandée par l'entrée 2 (IN2).
- La sortie Out3 est commandée par l'entrée 3 (IN3).

- La sortie Out4 est commandée par l'entrée 4(IN4).
- Les ports ENA et ENB permettent de gérer l'amplitude de la tension délivrée au moteur A et moteur B, grâce à un signal PWM.

12V = Vs du L298N.

5 V = VSS du L298N.

Le jumper en régulateur permet d'alimenter le régulateur afin de créer le signal VSS nécessaire au L298N grâce au 12V. Si le jumper est mis il suffit d'alimenter +12 et GND. Les deux jumper ENA et ENB permettent d'activer les ponts en H [30].

Le tableau III-2 illustre le brochage entre la carte Arduino et le module L298N dans notre projet.

**Tableau III.2** Le branchement du module L298N avec l'Arduino

| La carte Arduino | Le module L298N |
|------------------|-----------------|
| Pin 7            | IN1             |
| Pin 2            | IN2             |
| Pin 4            | IN3             |
| Pin 5            | IN4             |
| Pin 3            | ENA             |
| Pin 6            | ENB             |

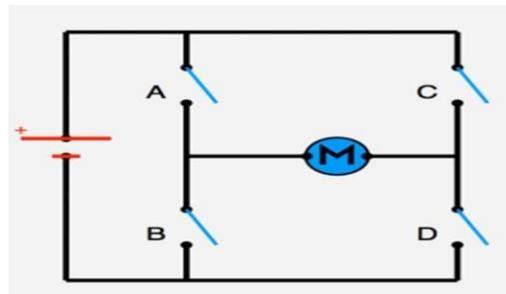
Les entrées IN1, IN2, IN3 et IN4 du module L298N sont utilisées pour commander le sens de la rotation du moteur A et du moteur B respectivement.

### Le pont enH

Le pont en H est une structure électronique servant à contrôler la polarité aux bornes d'un dipôle. Il est composé de quatre éléments de commutation généralement disposés schématiquement en une forme de H comme l'indique la figure III-14. Les commutateurs peuvent être des relais, des transistors, ou autres éléments de commutation en fonction de l'application visée [29].

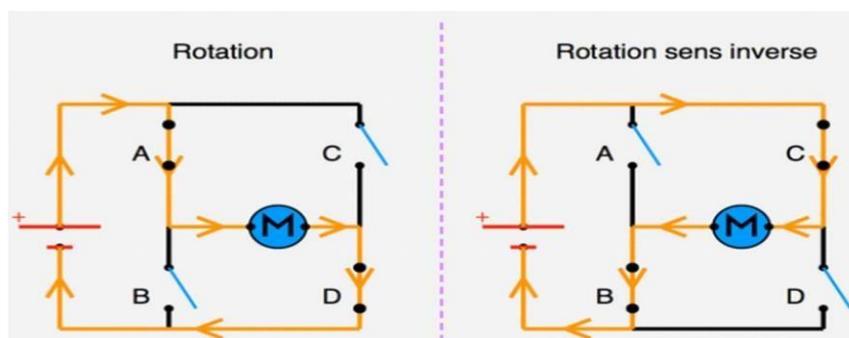
### Principe de fonctionnement du pont enH

Les interrupteurs fonctionnent deux par deux. Le A est associé au D et le B est associé au C. Dans le schéma ci-dessous, rien ne se passe car tous les interrupteurs sont ouverts (ils ne laissent pas passer le courant), donc le moteur est arrêté. [29]



**Figure III.14** Le pont en H

Voyons maintenant ce qui arrive lorsqu'on actionne en même temps les interrupteurs A et D (schéma de gauche), ou les interrupteurs B et C (schéma de droite) selon la figure III-15. Sur le schéma de gauche, les interrupteurs A et D sont fermés, donc le courant entre par la patte gauche du moteur et sort par sa droite et par conséquent le moteur tourne. Sur le schéma de droite, les interrupteurs B et C sont fermés, donc le courant entre par la patte droite du moteur et sort par sa gauche ce qui fait tourner le moteur dans le sens inverse.[29]



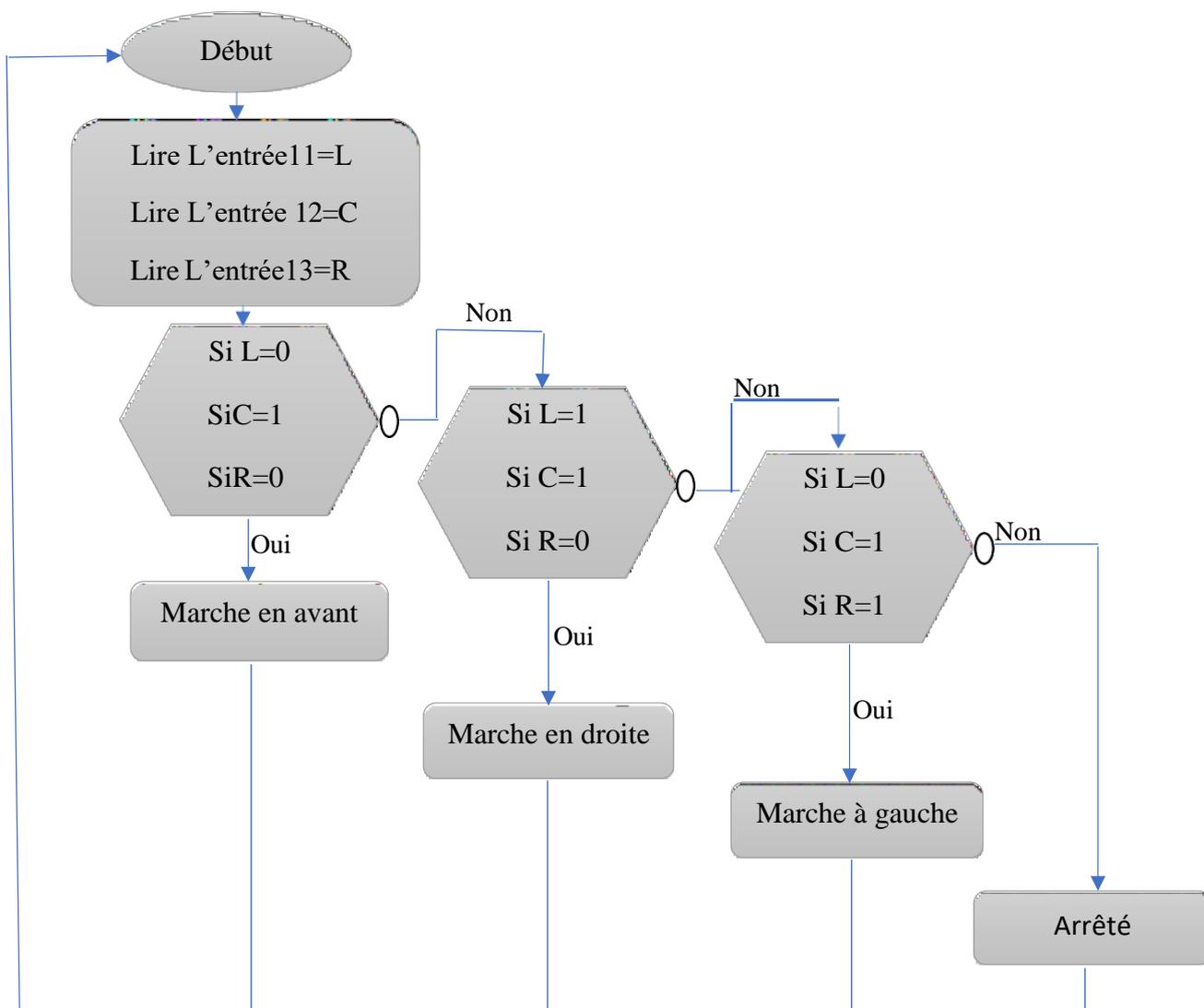
**Figure III.15** Sens du courant en fonction de l'état des interrupteurs d'un pont en H.

## 5. La programmation

### Définition du programme

Le robot reçoit la commande, selon cette dernière il fonctionne automatiquement. Dans le fonctionnement il vérifie s'il y a une trajectoire ou non, si oui il va se diriger vers la direction de la trajectoire puis il avance jusqu'à ce qu'il reçoive un autre ordre pour marcher vers la droite ou vers la gauche, et le logiciel qui permet de programmer la carte Arduino porte le nom d'IDE, ce qui signifie Integrated Development Environment ou encore Environnement de développement Intégré.

## L'organigramme de programme



**Figure III.16** L'organigramme de notre programme

La figure ci-dessus montre l'organigramme principal du robot suiveur de ligne, il se compose à une étape principale qui est représenté de lire les entrées 11, 12, et 13 et puis le robot décide s'il marche en avant ou marche droite ou marche à gauche.

Si  $L=0$ ,  $C=1$ , et  $R=0$ , le robot marche en avant, si Non ( $L=1$ ,  $C=1$ || $0$ , et  $R=0$ ) le robot marche à droite, si Non ( $L=0$ ,  $C=1$ || $0$ , et  $R=1$ ) le robot marche à gauche.

- **L** : le robot marche à gauche.
- **C** : le robot marche en avant.
- **R** : le robot marche à droite.

## 6. La réalisation

### Simulation sous Proteus Isis

Avant de passer à la réalisation pratique de notre système, nous avons eu recours à la simulation des différentes parties du système, pour cela on utilise le logiciel Proteus qui est un très bon logiciel de simulation en électronique

La simulation permet d'ajuster et de modifier le circuit comme si on manipulait un montage réel. Ceci permet d'accélérer le prototypage et de réduire son coût.

ISIS est un éditeur de schémas qui intègre un simulateur analogique, logique ou mixte, toutes les opérations se font dans cet environnement, aussi bien la configuration des différentes sources que le placement des sondes et le tracé des courbes.

La figure III.18 montre le circuit complet électronique de notre système que nous avons simulé

### Le schéma de la réalisation de circuit du robot suiveur de ligne

On a utilisé le logiciel Proteus Isis.

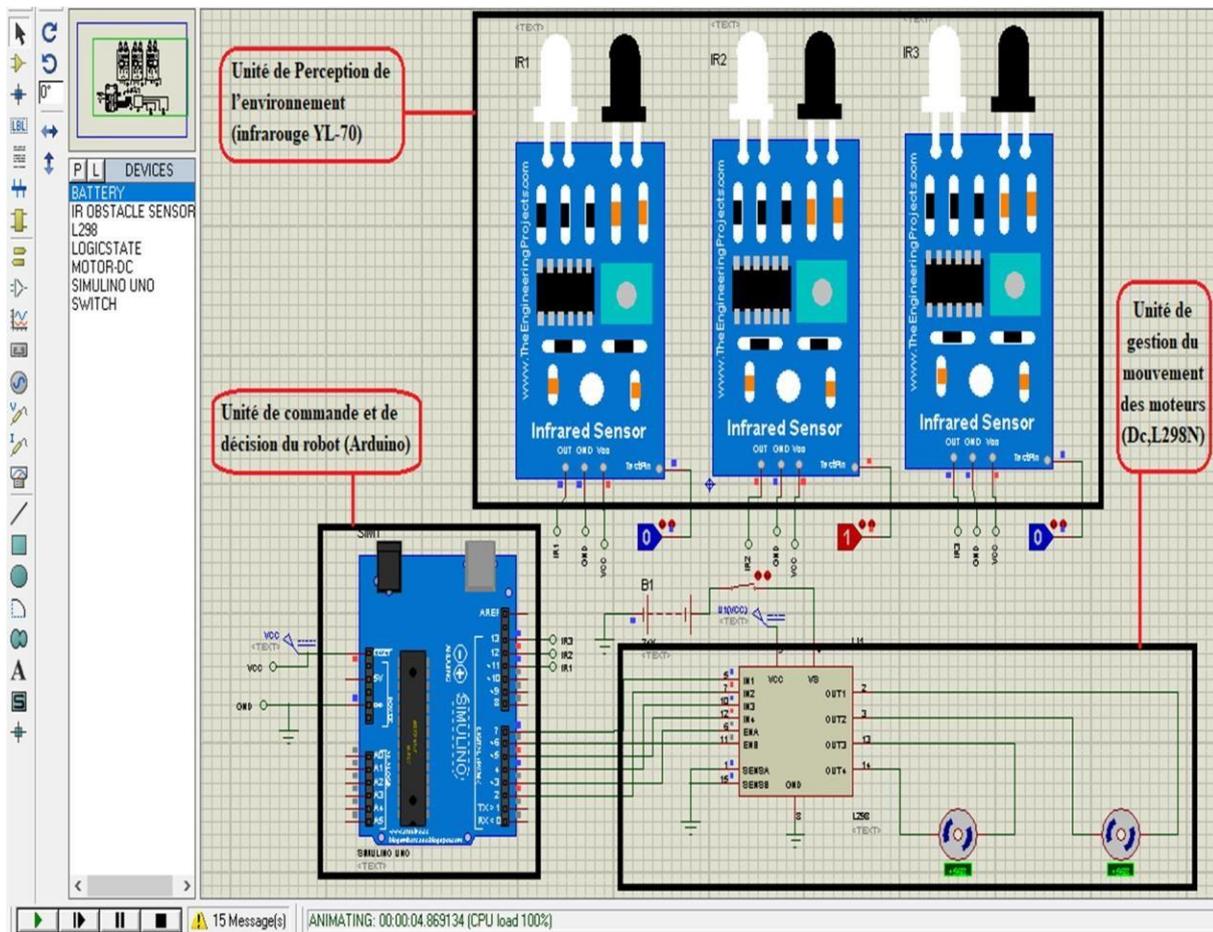


Figure III.17 Le circuit électronique de notre système.

La simulation sous ISIS [S8] montre que notre montage fonctionne sans problème. Maintenant après la simulation nous allons tester notre suiveur dans le labo.

**Le montage de notre travail**

Dans la figure III.19 montre le montage de notre robot suiveur de ligne.

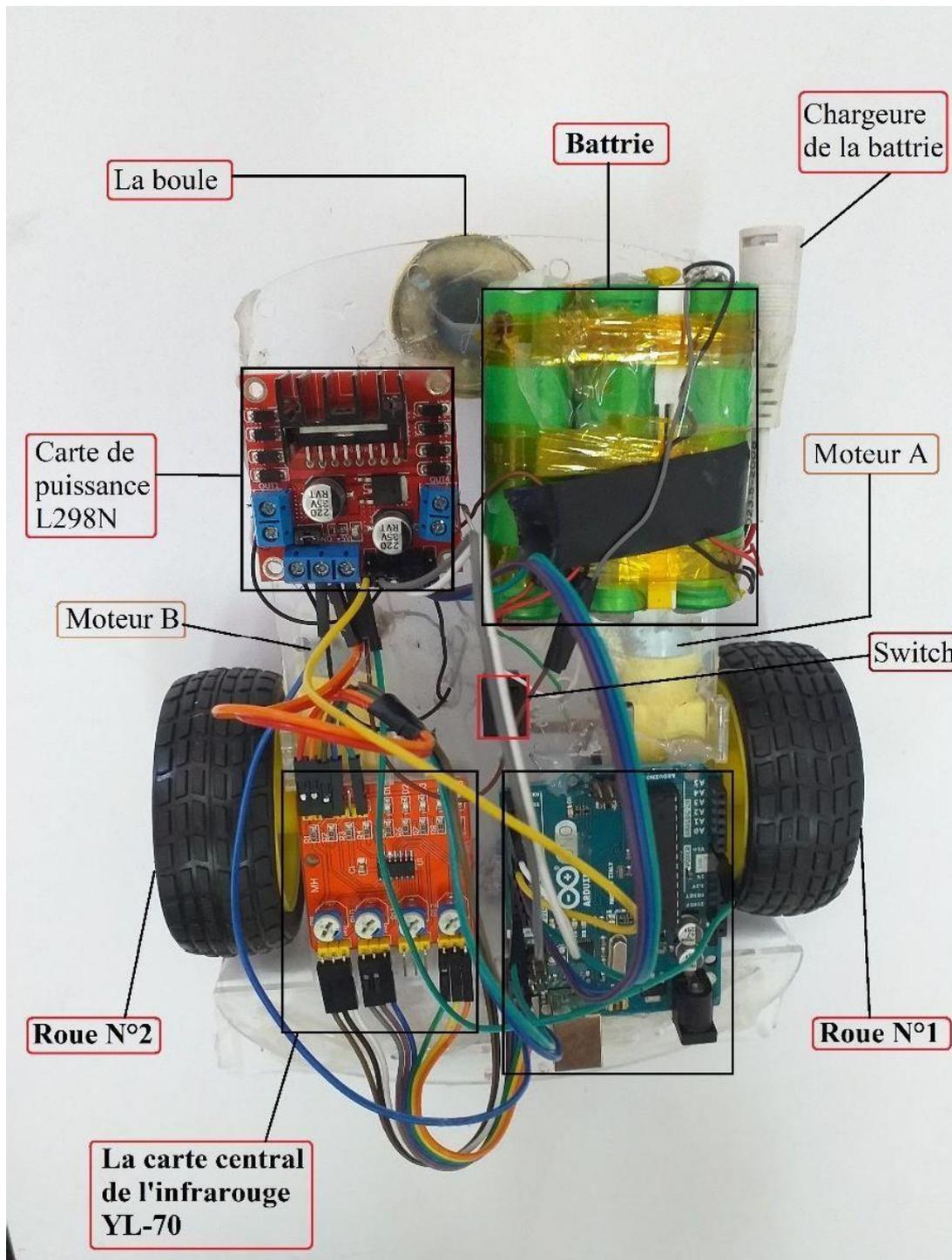
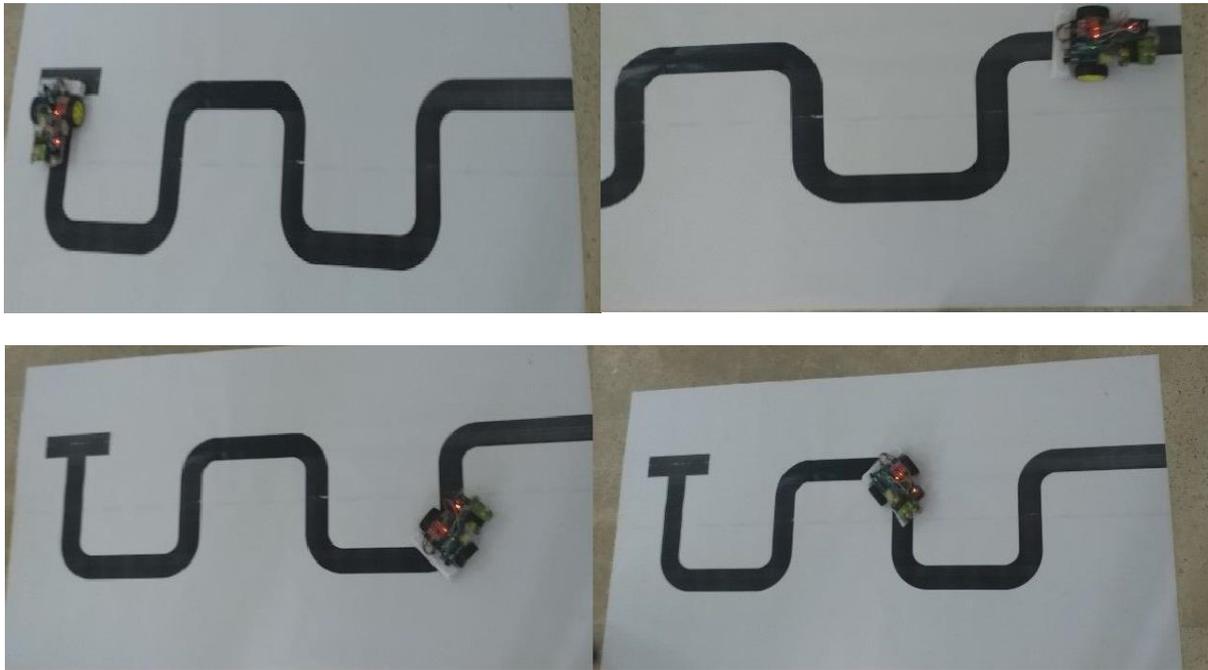


Figure III.18 Le montage réel du robot

## 7. Le teste de robot suiveur deligne

Après finalisation du montage, nous avons testé notre robot dans le labo.



La figure III.19 Le test de notre robot dans le labo.

## 8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les étapes de la réalisation de notre robot. Cette réalisation est constituée en trois étapes :

- La première étape consiste à construire une structure mécanique qui est composé d'une plateforme, les roues, et les moteurs.
- La deuxième partie nous avons identifié les structures de la partie électronique,
- La troisième partie la programmation.

Un test approfondi du robot suiveur de ligne a montré la validité de notre conception. D'après le test on peut conclure que notre robot suiveur de ligne suit la trajectoire avec succès.



## Conclusion générale

---

La robotique peut être définie comme l'ensemble des techniques et études tendant à concevoir des systèmes mécaniques, informatiques, électroniques ou mixtes, capables de se substituer à l'homme dans ses fonctions motrices, sensorielles et intellectuelles.

Nous avons donc pu réaliser l'objectif de notre projet qui est l'utilisation de logiciel et la carte électronique Arduino pour manipuler un robot suiveur de ligne à trois roues en utilisant des capteurs de type infrarouge (YL-70). Nous avons étudié tout d'abord les principales caractéristiques d'un robot et en particulier le robot suiveur de ligne. On a ensuite essayé de parler des différents composants utilisés pour construire ce robot.

Sur la base des connaissances et des informations des chapitres précédents, on a réalisé un robot suiveur de ligne à l'aide d'une carte Arduino et on l'a branché dans le module L298 pour la commande du sens de rotation des moteurs, après finalisation du montage, nous avons testé notre robot dans le labo et d'après le test on peut conclure que notre robot suiveur de ligne suit la trajectoire avec succès.

Pour conclure, ce projet nous a permis, d'une part, d'améliorer grandement nos compétences scientifiques, en électronique, en capteurs et du côté programmation en C pour l'Arduino. D'autre part ce projet nous a permis de nous mettre en situation puisque nous avons dû travailler en collectif que ce soit pour la répartition du travail, la programmation du robot ou résoudre les nombreux problèmes rencontrés.

A la fin, tout le monde sait que tout mémoire est par définition incomplet, Nous espérons, malgré sa chétivité, que ce modeste travail soit d'une utilité quelconque dans l'avenir de la recherche scientifique.

## Bibliographies

---

- [1] Bruno Siciliano, Oussama Khatib, "Springer Handbook of Robotics", ISBN :978-3-319-32550-7, 2016.
- [2] Philippe Coiffet, "10 questions à Philippe Coiffet sur les robots", Editions Le Manuscrit, ISBN 978-2-304-02880-5,2009.
- [3] Bruno Siciliano, Lorenzo Sciavicco,Luigi Villani,Giuseppe Oriolo. "Robotics: Modelling, Planning and Control ", ISBN 978-1-84628-642-1,2010.
- [4] Takhi Hocine et Attachi Redouane Cherif, "Conception et réalisation d'un robot mobile à base d'Arduino " Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master en électronique.Option : Instrumentation. Université Amar Telidji- Laghouat 2014/2015.
- [5] L'Harmattan, " Petit Guide Jurdique Pratique de la robotique ", ISBN : 987-2-343-16337-6, 2018.
- [06] Saeed B.Niku, "Introduction to robotics, control, applications", ISBN 978-0-470-60446-5 , 2010.
- [7] Belkhadria Khemisti, "commande d'un robot mobile par réseaux de neurones artificiels" Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister en électronique. Option : Robotique. Université El Hadj Lakhdar Batna2013/2014.
- [8] Hadj-djilani Fethi Rabah et Bennabi Nadjib, "Commande optimal appliqué à un robot mobile" Université Djilali Bounaama Khemis Miliana, en2017.
- [9] Elanchezhian,G, Shanmuga Sundar, "Computer Aided Manufacturing", Second Edition 2007.
- [10] V.S.Bagad, " Mechatronics ", ISBN9788184314908, Edition2008.
- [12] Appuu Kuttan, "Robotics" ISBN978-81-89866-38-9, Edition2007.
- [13] Matthew Kroh, Sricharan Chalikonda, "Essentials of robotic surgery", ISBN 879-3-319-09564-6, 2015.
- [14] BENHADDOUCHE DJELLAL « commande optimale appliquée à un robot Mobile. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme Magister option : contrôle Université de Batna Année2013.
- [15] Rich Chi Ooi Balancing a Two-Wheeled Autonomous Robot, Faculty of Engineering and Mathematical Sciences, University of Western Australia, November2003.

## Bibliographies

---

- [16] Redjradj Djilali et Kacimi Fares « Suivi de trajectoire d'un Robot mobile par la logique flou » Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master en électronique. Option : automatique. Université de Abderrahman Mira de bejaia2014.
- [17] MAAROUF Samia et OUADAH Souhila, "Implémentation et évaluation des schémas de routage sur une plateforme réelle de réseaux de capteurs sans fil" Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master en Informatique. Option Réseaux et systèmes distribués (R.S.D). Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen2014/2015.
- [18] SAHRAOUI OUSSAMA ALA EDDINE, "Système Automatisé de Palettisation Couche par Couche avec Entrepôt Automatisé " Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master en Sciences et Technologies Automatique. Option Automatique et Informatique Industriels. Université Mohamed Khider de Biskra2017/2018.
- [19] <https://docplayer.fr/10506177-Capteurs-chaines-de-mesures.html>.
- [20] MOUSSAOUI Amira Conception et réalisation d'un bras manipulateur commandé par l'Arduino Méga 2560 Université M'hamed Bougara de Boumerdes2016/2017.
- [21] Théodore Wildi, Gilbert Sybille, "Electrotechnique": 3<sup>ème</sup> Edition,2005.
- [22] Agus Kurniawan, "Arduino programming with.Net and Sketch", ISBN-13978-1-4842-2659-9, 2017.
- [23] Erik Bartmann, "Le Grand Livre d'Arduino", ISBN :978-2-212-67488-02018.
- [24] Matthew Kroh, Sricharan Chalikonda, "Essentials of robotic surgery", ISBN 879-3-319-09564-6, 2015.
- [25] Yves Mergy "Arduino-uno en pratique", ISBN : 978-2-3221-1339-2,2015.
- [26] <http://arduino.blaisepascal.fr/presentation/logiciel-ide-arduino/>.
- [27] Rajesh Singh, "Arduino meets MATLAB: Interfacing, Programs and Simulink", Anita Gehlot, Bhupendra, ISBN: 978-1-68108-728-3,2015.
- [28] [https://en.m.wikipedia.org/wiki/Arduino\\_Uno](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Arduino_Uno).
- [29] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Pont\\_en\\_H](https://fr.wikipedia.org/wiki/Pont_en_H).
- [30] <https://openclassrooms.com>, Développez votre site web avec le FrameworkDjango.

## Bibliographies

---

[31] KHIREDDIN Medel Amine et DRIHEM Nadia, "Contrôle d'un robot mobile" Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master en Informatique. Commande des machines électriques. Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen 2015.