



UNIVERSITÉ D'ANTANANARIVO

INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR D'ANTSIRABE – VAKINANKARATRA

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de **LICENCE**

Domaine : Sciences de l'Ingénieur

Mention : AUTOMATISME ET INFORMATIQUE

Parcours : AUTOMATISME ELECTRONIQUE INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

Par : **RAZAFIMANDIMBY Solofomanana Roberto**

***Titre* : CHARIOT SUIVEUR DE LIGNE**

Soutenu le 9 Avril 2019, devant la Commission d'Examen composée de :

Président de Jury : Madame RANORONIRINA M. Jeanne

Examineurs : Monsieur RASAMIMANANA Francois De Salle

Madame RANAIVOSOA Mamitiana Lalaonirina Olivette

Encadreur pédagogique : Monsieur RANDRIANAMBININTSOA Manitra Léon



UNIVERSITÉ D'ANTANANARIVO

INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR D'ANTSIRABE – VAKINANKARATRA

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de **LICENCE**

Domaine : Sciences de l'Ingénieur

Mention : AUTOMATISME ET INFORMATIQUE

Parcours : AUTOMATISME ELECTRONIQUE INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

Par : **RAZAFIMANDIMBY Solofomanana Roberto**

***Titre* : CHARIOT SUIVEUR DE LIGNE**

Soutenu le 9 Avril 2019, devant la Commission d'Examen composée de :

Président de Jury : Madame RANORONIRINA M. Jeanne

Examineurs : Monsieur RASAMIMANANA Francois De Salle

Madame RANAIVOSOA Mamitiana Lalaonirina Olivette

Encadreur pédagogique : Monsieur RANDRIANAMBININTSOA Manitra Léon

FISAORANA

Voalohany dia manome voninahitra any Zanahary izaho noho ny fitiavany sy ny hatsarany,ny fanomezany ahy fahasalamana sy fotoana nanatontosana ity asa ity

Manarak'izany dia maneho fisaorana lehibe ho an' Andriamatoa Rajaonarison Eddie Franck tale ny Institut d'Enseignement Supérieur d'Antsirabe-Vakinakaratra,izay namela ahy hanatanteraka sy hanaraka hatrany ny fianarana teto anivony sekoly

Maneho fankasitrahana ihany koa izaho ho any Ramatoa RANAIVOSOA Mamitiana Lalaonirina Olivette, tompon-andraikitra voalohany eto anivony sampampianarana AUTOMATISME ELECTRONIQUE INFORMATIQUE INDUSTRIELLE,mpampianatra no sady mpanadina amin'ity tohakevitra ity,na dia teo aza ny adidy mavesatra izay sahaniny dia nanampy foana izy taminy torohevitra sy torolalana hanatsarana ity asa ity,tsy adino koa ireo mpanabe rehetra izay niahy anay teto anivony sekoly nandritra ny fotoana nianaranay.

Tolorako fisaorana manokana ianao Andriamatoa RANDRIANAMBININTSOA Manitra Léon taminy fahafoizana fotoana sy ny fampahafatarana maro na teo aminy lafiny siantifika izany na teo aminy lafiny arak'asa .Mankasitraka taminy fanampiana nataona ho ahy.

Ampanajana no isaorana any Ramatoa RANORONIRINA M. Jeanne sy Andriamatoa RASAMIMANANA François De Salle nanaiky ny hitsara sy hanadina ity asa ity.

Ary eto ampamarana dia tsy hay ny tsy hisaotra ny fianakaviana nanohana sy nanampy ary indrindra nankahery ahy,ianreo rehetra nanampy na mivantana na ankolaka taminy fanantontosana ity asa ity .

Mankasitraka mankatelina anareo rehetra tompoko

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je rends grâce à Dieu pour son Amour et sa Bonté, de m'avoir donné la force, la santé ainsi que le temps nécessaire pour compléter ce travail.

Ensuite je tiens à remercier Monsieur Rajaonarison Eddie Franck, Directeur de l'Institut d'Enseignement Supérieur d' Antsirabe-Vakinakaratra de m'avoir permis de poursuivre ma formation au sein de l'institut.

Je remercie aussi Madame RANAIVOSOA Mamitiana Lalaonirina Olivette, Chef responsable de notre parcours AUTOMATISME ELECTRONIQUE INFORMATIQUE INDUSTRIELLE, enseignant au sein du parcours et examinateur de ce mémoire, qui malgré ses lourdes responsabilités, m'a toujours prodigué ses conseils et ses critiques constructifs durant l'élaboration de ce travail. Sans oublier les professeurs qui nous ont encadrés pendant notre cursus universitaire.

Après j'exprime mes profondes gratitude et vifs remerciements à mon encadreur de thème, Monsieur RANDRIANAMBININTSOA Léon Manitra pour sa disponibilité de m'avoir fait profiter de ses qualités, aussi bien sur le plan scientifique que sur le plan professionnel. Un grand merci pour son aide.

Mes vifs remerciements s'adressent également au président de jury : Madame RANORONIRINA Marie Jeanne net à Monsieur RASAMIMANANA François De Salle d'avoir accepté de lire et d'évaluer ce mémoire.

Enfin, je m'adresse à ma famille pour leur soutien bienveillant et leur encouragement, tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Merci à toutes et à tous.

TABLE DES MATIERES

FISAORANA	i
REMERCIEMENTS	ii
TABLE DES MATIERES	iii
NOTATIONS	v
LISTES DES TABLEAUX ET DES FIGURES	vii
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 - GENERALITES SUR LES ROBOTS MOBILES.....	2
1.1 Introduction.....	2
1.2 Les Robots.....	2
1.2.1 Définition.....	2
1.2.2 Présentation des robots mobiles	2
1.2.3 Les composants des Robots.....	3
1.3 Les robots mobiles.....	6
1.3.1 Architecture d'un robot mobile	7
1.4 Robot mobile à roues.....	7
1.5 Principe de base de la navigation mobile	11
1.5.1 Les systèmes de perception	11
1.5.2 Localisation	12
1.5.3 Planification de trajectoire.....	13
1.6 Application.....	15
1.6.1 Caractéristique	15
1.6.2 Domaine d'application	16
1.7 Conclusion.....	17
CHAPITRE 2 – ANALYSE FONCTIONNEL.....	18
2.1 Introduction.....	18
2.2 Roulement sans glissement	18
2.3 Contraintes cinématiques du robot à entraînement différentiel.....	19
2.4 Méthodes de suivi de chemin	21
2.5 Modélisation du chariot.....	22
2.5.1 Modèle cinématique	22
2.5.2 Modèle odométrique du robot	24

2.5.3 Calcul de la position	25
2.6 Modélisation du moteur	25
2.7 Conclusion.....	28
CHAPITRE 3 –COMMANDE DU CHARIOT	29
3.1 Introduction.....	29
3.2 Contrôleur du moteur..	29
3.3 La fonction de transfert du moteur	30
3.4 Les diagrammes de Bode et Nichols	32
3.5 Contrôleur de suivi de ligne	33
3.6 Conclusion.....	34
CHAPITRE 4 – MATERIAUX ET REALISATION	35
4.1 Introduction.....	35
4.2 Matériaux.....	35
4.2.1 La structure de base du robot.....	35
4.2.2 Les capteurs	36
4.2.3 Le contrôleur	37
4.3 Les actionneurs.....	41
4.3.1 Pont en H	41
4.3.2 L293D.....	43
4.3.3 Moteurs électrique	45
4.4 Réalisation.....	49
4.4.1 Présentation du projet	49
4.4.2 Conception Informatique.....	50
4.4.3 Conception mécanique	54
4.4.4 Conception électronique.....	56
4.5 Conclusion.....	57
ANNEXES	ix
REFERENCES.....	xv
FICHE DE RENSEIGNEMENTS	xvii
RESUME ET MOTS CLES	xviii

NOTATIONS

1. Minuscules latines

d : distance du robot par rapport à la trajectoire de référence

e : force électromotrice

i : intensité du courant passant par la bobine du moteur

r : rayon de la roue

u : tension appliquée au moteur

\vec{v}_p : vitesse du centre de la roue

\vec{v}_Q : vitesse relative roue/sol

x, y : position du robot

x, y, θ : position odométrique du robot

2. Majuscules latines

A : matrice d'évolution d'état

C_r : couple résistant

C_m : couple moteur généré R : résistance interne de la bobine du moteur électrique

$H(p)$: fonction de transfert du moteur

J_T : moment d'inertie de la partie rotor du moteur

K_e : constante électrique

K_c : constante de couple

L : inductance de la bobine du moteur

U_{Min} : tension nominale du moteur

U_{Max} : tension maximale de travail du moteur

U_p : entrer commande

V_{moy} : vitesse moyenne du centre des roues

V_d, V_g : vitesses linéaires respectives des roues à gauche et à droites

$2L$: distance entre les deux roues du robot

3. Minuscules grecques

Ψ : angle d'orientation du robot dans le sens trigonométrique

ξ : facteur d'amortissement

θ : angle d'orientation des roues

ω : vitesse de rotation du rotor

ω_d, ω_g : vitesses angulaires respectives des roues à gauche et à droite

θ : vitesse angulaire du robot

4. Majuscules grecques

$\Omega(p)$: sortie vitesse angulaire

5. Abréviations

A.G.V: Automated Guided Vehicule

AC-DC:Alternative Curent-Direct Curent

GND :Ground

IDE :Integrated Développement Environnement

IR :Infrarouge

MCC: Moteur a Courant Continue

PWM: Pulse With Modulation

RX:Reception

TX:Transmition

TTL: Transistor Transistor Logic

USB: Universal Serial Bus

VREF :Verified

LISTES DES TABLEAUX ET DES FIGURES

1. Liste des tableaux

Tableau 1.01 : Roue simple à adhérence.....	8
Tableau 1.02 : Roues à déplacement latéral.....	8
Tableau 4.01 : Les principales caractéristiques de l'ArduinoUno	39
Tableau 4.02 : Table de vérité de pont en H	42
Tableau 4.03 : Type de Moteur CC.....	47
Tableau 4.04 : Correspondance bouton de l'application, commande et mouvement du chariot	54

2. Liste des figures

Figure 1.01-Un bras manipulateur [1].....	3
Figure 1.02- Effecteur finale d'un manipulateur [11].....	4
Figure 1.03- Quelques actionneurs.....	4
Figure 1.04- Différent capteur [7].....	5
Figure 1.05- Microcontrôleur Arduino Uno.....	6
Figure 1.06- Architecture d'un robot mobile	7
Figure 1.07- Robot de type différentielle	9
Figure 1.08- Robot de type tricycle.....	9
Figure 1.09- Robot de type voiture	10
Figure 1.10- Robot de type omnidirectionnelle	10
Figure 1.11- Chaîne fonctionnelle d'un système de navigation.....	11
Figure 2. 01- Exemple de roulement sans glissement [4]	19
Figure 2. 02 - Suivie de chemin selon C.Samson	21
Figure 2. 03 - Modèle Cinématique [12]	22
Figure 2. 04 Schéma linéaire du moteur DC	26
Figure 3.01-Schéma-blocs du système de contrôle des moteurs.....	29
Figure 3.02- Schéma bloc d'un modèle mathématique de moteur électrique.....	31
Figure 3.03- Diagramme de Bode	32
Figure 3.04- Diagramme de nichols	33

Figure 3.05- Capteur IR TRCT 5000	36
Figure 4.01- Schéma bloc du chariot.....	35
Figure 4.02- Capteur IR, TRCT 5000	36
Figure 4.03 - Capteur ultrason HC-SR 04.....	37
Figure 4.04- Carte Arduino Uno	41
Figure 4.05- Etat d'un pont en H : Moteur déconnecté, Rotation ou sens1, Rotation inverse ou sens inverse.	42
Figure 4.06- Brochages L293D [14]	43
Figure 4.07 Borniers shield L293D.....	44
Figure 4.08- Moteur électrique[9].....	46
Figure 4.09- Motoréducteur 1 :48	49
Figure 4.10- Organigramme principal.....	51
Figure 4.11- Organigramme du sous-programme suiveur de ligne	52
Figure 4.12- Interface de l'application	53
Figure 4.13- Châssis du chariot	54
Figure 4.14 – Schéma du chariot vue latérale droite.....	55
Figure 4.15- Schéma du chariot vue avant haut	55
Figure 4.16 - Schéma de montage des composants	56

INTRODUCTION GENERALE

Il est évident que les machines intelligentes jouent un rôle important dans les activités de tous les jours : distributeurs automatiques, contrôle d'accès, fabrication à la chaîne. Les robots font partie de ces machines et aident les humains dans des activités difficiles, répétitives ou ennuyeuses. Elle constitue le rêve de substituer la machine à l'homme dans ces tâches.

De ce fait les AGV ont été créés ils sont basés sur la technologie de chariots de magasinage. Des véhicules autoguidés et fonctionnent sans conducteur. Dans le cadre de l'intra logistique et de la production, ils sont utilisés pour augmenter les performances de production et d'entreposage. En matière de logistique, des performances élevées commencent par les processus. Des modèles de robot mobile industriel sont toujours conçus selon les processus des clients, aboutissant à des gains de performance mesurables. Auparavant, une grande attention était portée au perfectionnement de la production, au détriment de la logistique de production. Aujourd'hui, il est également essentiel que l'acheminement des matières soit au point.

Ce projet consiste à réaliser et étudier un chariot capable de suivre une trajectoire prédéfinie de manière autonome. Il doit être capable de suivre une ligne noire tracée sur un fond blanc, une ligne qui lui servira de guide durant son trajet. Ce chariot permettra l'acheminement d'une charge dans un environnement industriel. Pour se faire notre mémoire est organisée comme suit :

- Le premier chapitre présente des généralités sur les robots mobiles
- Le deuxième chapitre où l'on effectuera l'étude fonctionnelle de notre chariot
- Le troisième chapitre décrit les commandes appliquées au chariot
- Quatrième et dernier chapitre présente les matériels et la réalisation du projet

Enfin, terminons par une conclusion qui présente le bilan de ce travail et les perspectives envisagées.

CHAPITRE 1 - GENERALITES SUR LES ROBOTS MOBILES

1.1 Introduction

Les robots mobiles présentent un cas particulier en robotique. Leur intérêt réside dans leur mobilité, destinés à remplir des tâches pénibles comme le transport de charge lourde. Ils travaillent même en environnement hostile ; nucléaire, marine, spatiale, lutte contre l'incendie, surveillance. Il faut que le robot soit à même de percevoir son environnement, pour apprendre et comprendre cet environnement en vue de planifier ses actions. Le véhicule autonome dans la prise de décision et la sélection de sa destination est doté d'une forme d'intelligence

Dans ce chapitre nous allons présenter les différents types de ces robots. Puis nous aborderons les principes de base de la navigation de ces derniers. Enfin nous nous focaliserons sur quelques domaines d'applications de la robotique mobiles.

1.2 Les Robots

1.2.1 Définition

Le terme « robot » prend son origine du mot slave « Paboma, se prononce robota » qui veut dire en russe travail ou en tchèque corvée ou travail forcé [10]. Il désigne aussi une machine à l'aspect humain, capable de se mouvoir et d'agir, qu'un mécanisme automatique pouvant effectuer certaines opérations, et capable parfois de modifier de lui-même son cycle de fonctionnement et d'exercer un certain choix. Plus exactement manipuler des objets en réalisant des mouvements variés dictés par un programme aisément modifiable

1.2.2 Présentation des robots mobiles

De manière générale, on regroupe sous l'appellation robots mobiles l'ensemble des robots à base mobile, par opposition notamment aux robots manipulateurs. L'usage veut néanmoins que l'on désigne le plus souvent par ce terme les robots mobiles à roues. Les autres robots mobiles sont en effet le plus souvent désignés par leur type de locomotion, qu'ils soient marcheurs, sous-marins ou aériens. On peut estimer que les robots mobiles à roues constituent le gros des robots mobiles.

Historiquement, leur étude est venue assez tôt, suivant celle des robots manipulateurs, au milieu des années 70. Leur faible complexité en a fait de bons premiers sujets d'étude pour les roboticiens intéressés par les systèmes autonomes. Cependant, malgré leur simplicité apparente, leurs mécanismes plans à actionneurs linéaires, ces systèmes ont soulevé un grand nombre de problèmes difficiles. Nombre de ceux-ci ne sont d'ailleurs toujours pas résolus. Ainsi, alors que les robots manipulateurs se sont aujourd'hui généralisés dans l'industrie, rares sont les applications industrielles qui utilisent des robots mobiles. Ceux-ci viennent essentiellement du fait que, contrairement aux robots manipulateurs prévus pour travailler exclusivement dans des espaces connus et de manière répétitive, les robots mobiles sont destinés à évoluer de manière autonome dans des environnements peu ou pas structurés.

1.2.3 Les composants des Robots

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

Tout d'abord le 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. [20]



Figure 1.01-Un bras manipulateur [1]

Ensuite, l'effecteur final qui est une partie 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. [20]

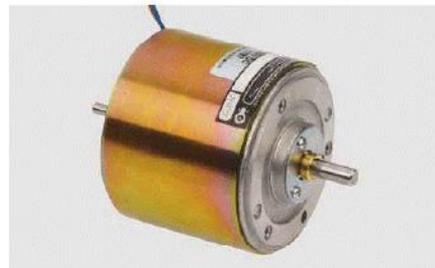


Figure 1.02- Effecteur finale d'un manipulateur [11]

Après les actionneurs qui sont les «muscles» de manipulateurs. Le contrôleur envoie des signaux aux actionneurs, qui à son 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. [20]



Vérin



Moteur électrique

Figure 1.03- Quelques actionneurs

Composé aussi de capteurs, le robot les utilise 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 de robot doit connaître l'emplacement de chaque lien du robot afin de connaître la configuration du robot. Toujours comme vos principaux sens de la vue, le toucher, l'ouïe, le goût, et l'odorat, 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. [20]

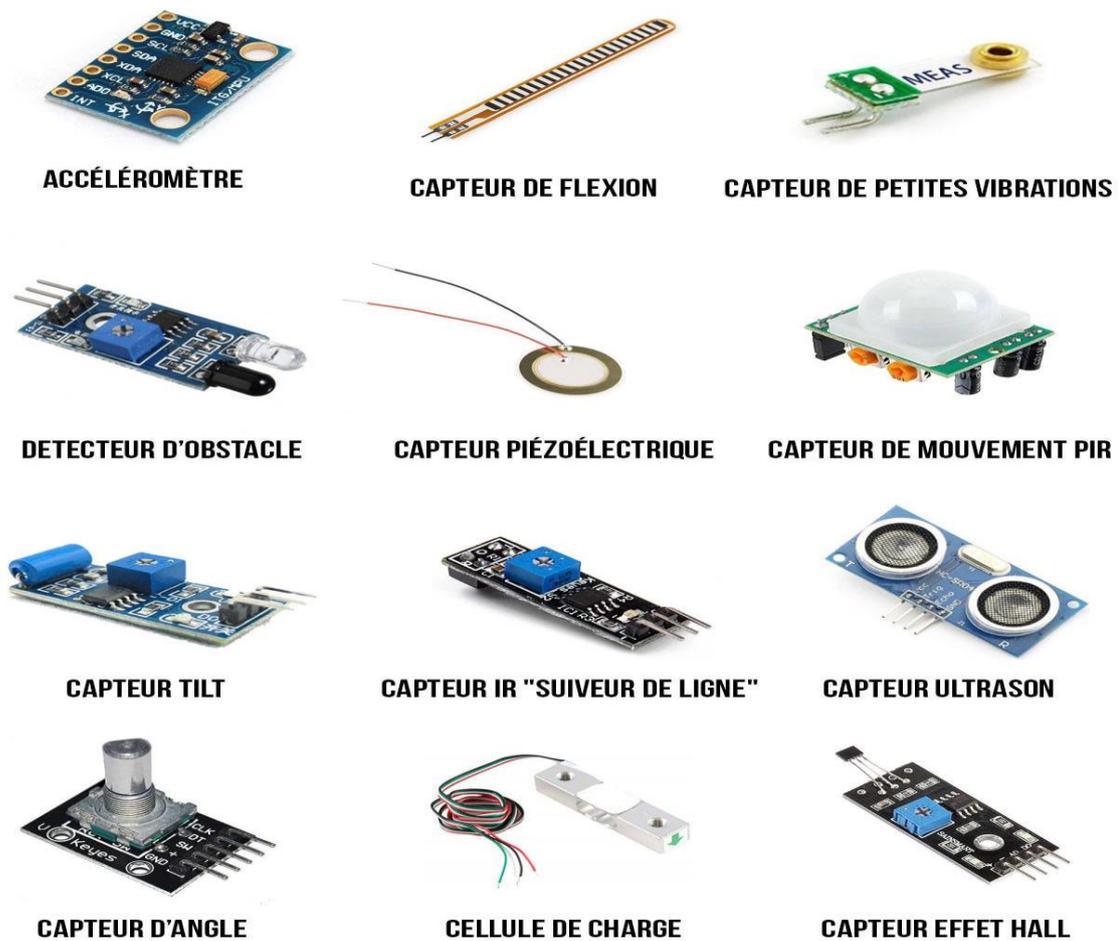


Figure 1.04- Diffèrent capteur [7]

Le contrôleur, plutôt proche de votre cerveau; même si elle n'a pas la puissance du cerveau; il contrôle toujours vos mouvements. 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. Le processeur est le cerveau du robot. Il calcule les mouvements 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. [20]

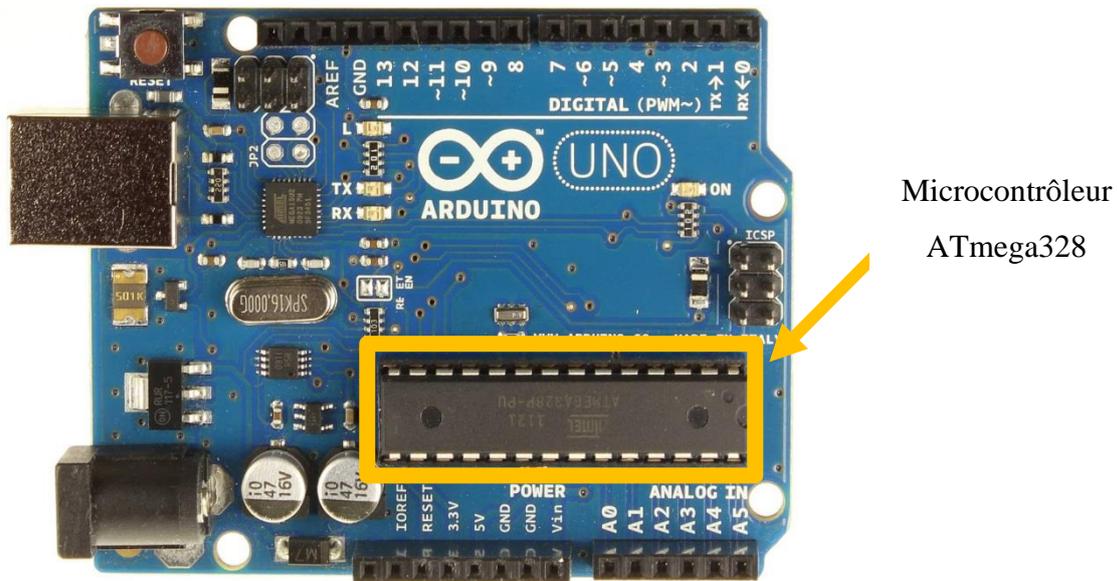


Figure 1.05- Microcontrôleur Arduino Uno

1.3 Les robots mobiles

Contrairement au robot industriel qui est généralement fixé, le robot mobile est doté de moyens qui lui permettent de se déplacer dans son espace de travail. 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. Actuellement, les robots mobiles les plus sophistiqués sont essentiellement orientés vers des applications dans des environnements variables ou incertains, souvent peuplés d'obstacles, nécessitant une adaptabilité à la tâche.

Un A.G.V ou véhicule à guidage automatique est un cas particulier d'un robot mobile voué à des applications purement industrielles. Il est parfois appelé au chariot automatique et il est doté d'un équipement de guidage automatique qu'il soit inductif (filoguidé), optique, électromagnétique ou autre. Ce type de véhicule est capable de suivre des chemins prédéfinis et programmables ou de planifier ses propres trajectoires selon le type de guidage et de navigation utilisée. Les A.G.V se présentent sous des aspects assez variés, que ce soit par leur forme, par leur taille ou par leur poids.[8]

1.3.1 Architecture d'un robot mobile

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

- **Structure instrumentale** : un robot est équipé d'un certain nombre de capteurs afin de leur donner une certaine connaissance de l'environnement. Selon l'application
- **Structure informatique** : une commande numérique est impérative, afin de bien analyser les différentes informations, soit du système de perception ou de localisation. Cette commande peut être à base d'un microprocesseur ou microcontrôleur.
- **Structure mécaniques** : elle assure le mouvement du robot par des roues motrices placées selon le type de mouvement et la précision de la tâche voulue.

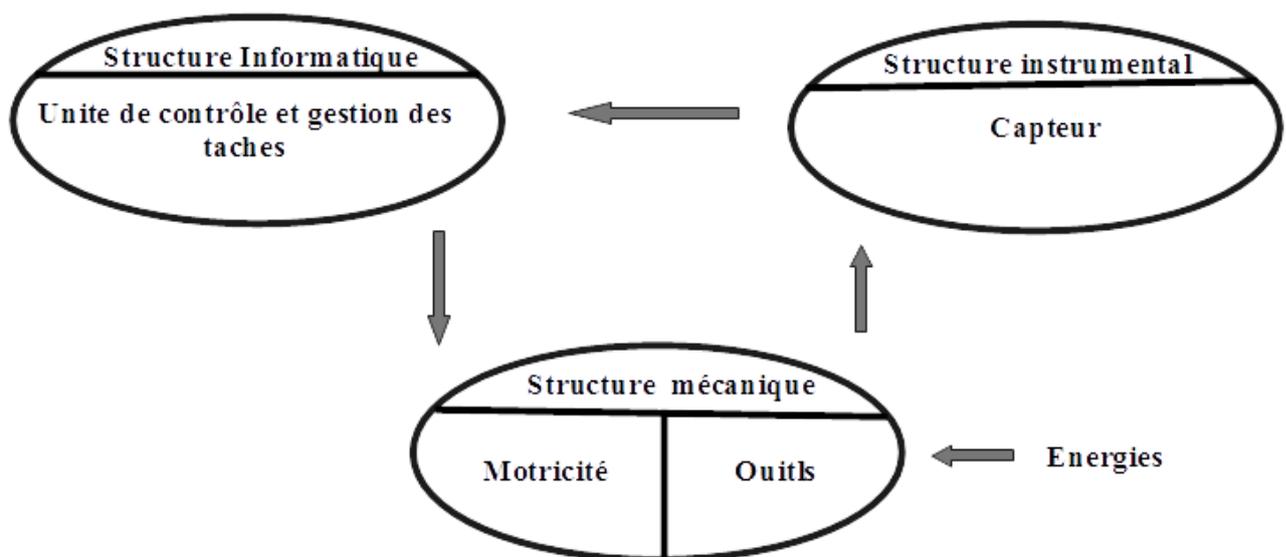


Figure 1.06- Architecture d'un robot mobile

1.4 Robot mobile à roues

La mobilité par roues est la structure mécanique la plus utilisée. Ce type de robot assure un déplacement avec une accélération et une vitesse rapide mais nécessite un sol relativement plat

Il existe plusieurs classe de robot à roues déterminées principalement par la position et le nombre de roues utilisées. En robotique il existe de nombreux types de roues citons [3]:

Tableau 1.01- Roue simple à adhérence

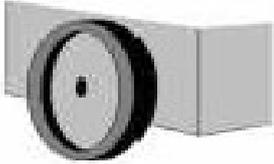
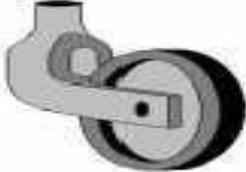
roue centrée fixe	roue centrée orientable	roue décentrée orientable
		

Tableau 1.02-Roues à déplacement latéral

roue à galets	roue suédoise	roue omnidirectionnelle
		

De la position et de la possibilité de mouvement de ces roues se définissent le système de locomotion des robots, on en peut distinguer quatre classes principales de robots à roues

- **Robot différentielles** : Plateforme a deux roues, fixes indépendantes, de même axe de rotation et une roue libre auto directionnelle. L'orientation se fait par la différence de marche des deux roues de propulsion, Cette plate-forme est très simple à commander, puisqu'il suffit de spécifier les vitesses des deux roues, et permet de plus au robot de tourner sur place. Cette possibilité permet de traiter le robot comme un robot holonome, c'est à dire un robot pouvant se déplacer dans toutes les directions depuis sa position courante. Cette propriété simplifie énormément la planification de déplacement et la commande du robot .D'où le choix de ce plateforme pour notre chariot.

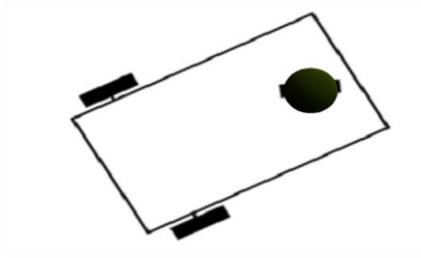


Figure 1.07- Robot de type différentielle

- **Robot Tricycle** : Plateforme a deux roues fixes indépendantes de même axe de rotation et une roue centrée orientable sur l'axe longitudinal du robot, son configuration est équivalent à une voiture usuelle .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.

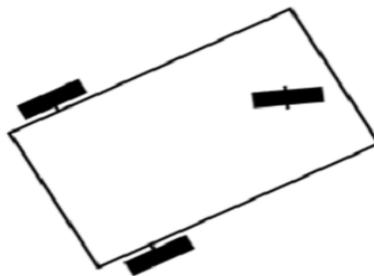


Figure 1.08- Robot de type tricycle

- **Robot 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.

Ces plates-formes sont toutefois plus difficiles à commander car elles ne peuvent pas tourner sur place et doivent manœuvrer, ce qui peut être difficile dans des environnements encombrés. La commande de ces plates-formes pour réaliser un déplacement particulier est un problème à part entière.

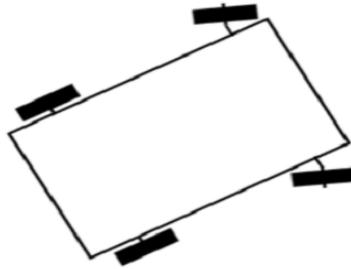


Figure 1.09- Robot de type voiture

- **Robot Omnidirectionnel** : Equipé de trois roues suédoises, peut se déplacer dans toutes les directions du plan et s'orienter indépendamment. Totalement libre en 3 degrés de liberté (2 translations, 1 rotation). Les plates-formes omnidirectionnelles permettent de découpler de manière encore plus nette le contrôle de la rotation et de la translation d'un robot et en font une plateforme réellement holonome. Elles utilisent pour cela 3 ou 4 roues qui tournent à la même vitesse pour fournir une translation et un mécanisme qui permet d'orienter simultanément ces roues dans la direction du déplacement souhaité. Le corps du robot lui-même n'effectue pas de rotation mais uniquement des translations. Ce système permet un contrôle très simple et relativement rapide car les changements de direction ne concernent que les roues et peuvent donc se faire très vite. Par contre ces plates-formes sont relativement limitées en capacité de franchissement et requièrent un sol très plan

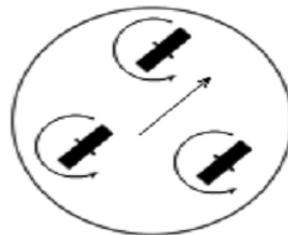


Figure 1.10- Robot de type omnidirectionnelle

1.5 Principe de base de la navigation mobile

Quand on parle de robot mobile, la décomposition du problème de la mobilité pour les systèmes mécatroniques amène à définir une architecture classique en robotique, organisée suivant un fonctionnement séquentiel perception - décision - action.

1.5.1 Les systèmes de perception

La fonction de perception en robotique mobile est relative à la capacité du système à recueillir, traiter et mettre en forme des informations utiles au robot pour agir et réagir dans le monde qui l'entoure. Alors que pour des tâches de manipulation on peut considérer que l'environnement du robot est relativement structure, ce n'est plus le cas lorsqu'il s'agit de naviguer de manière autonome dans des lieux très partiellement connus. Aussi, pour extraire les informations utiles à l'accomplissement de sa tâche, il est nécessaire que le robot dispose de nombreux capteurs mesurant aussi bien son état interne que l'environnement dans lequel il évoluera. La figure ci-dessus représente la chaîne fonctionnelle de la navigation, qui constitue les différentes étapes, pour le processus de localisation d'un robot mobile, de perception à l'action.

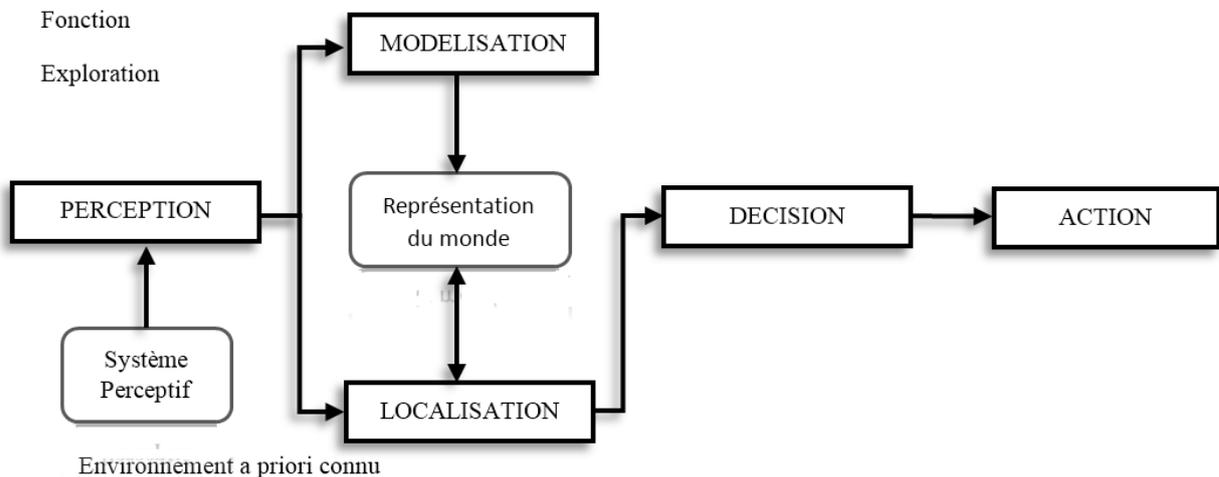


Figure 1.11- Chaîne fonctionnelle d'un système de navigation

Le système de perception d'un robot mobile est basé sur la mise en place des capteurs classifiés en deux catégories :

- Les capteurs proprioceptifs qui fournissent des informations propres au comportement interne du robot, c'est-à-dire sur son état à un instant donné.
- Les capteurs extéroceptifs qui fournissent des informations sur le monde extérieur au robot.

1.5.2 Localisation

La suite logique de la synthèse faite sur les capteurs portera donc sur les différentes méthodes de localisation. Par analogie avec la classification des capteurs, nous pourrions distinguer trois types de méthodes de localisation :

- Les méthodes de localisation relatives, basées sur l'utilisation des capteurs proprioceptifs.
- Les méthodes de localisation absolues, basées sur l'utilisation des capteurs extéroceptifs.
- Les méthodes dites hybrides qui sont basées sur l'utilisation conjointe des deux types de capteur.

Localisation par estime

La navigation à l'estime, ou navigation relative, consiste à évaluer la position, l'orientation, et éventuellement la vitesse du robot mobile par intégration des informations fournies par des capteurs proprioceptifs. L'intégration se fait par rapport au point de départ du robot. Ces données peuvent être des informations de déplacement captées par un odomètre. L'odométrie permet de déterminer la position (x, y, θ) d'un véhicule par intégration de ses déplacements élémentaires et par rapport à un repère lié à sa configuration initiale.

Localisation absolue

La localisation absolue est une technique qui permet à un robot de se repérer directement dans son milieu d'évolution, que ce soit en environnement extérieur comme en mer, dans l'espace, sur terre, ou en environnement intérieur comme dans des ateliers, des immeubles, des centrales nucléaires. Ces méthodes de localisation sont basées sur l'utilisation de capteurs extéroceptifs. Pour répondre à la problématique qu'est la localisation d'un robot dans son environnement, deux types de stratégies sont utilisables :

- La première consiste à utiliser des points de repère naturels.
- La deuxième utilise des points de repère artificiels.

Notons que quel que soit le cas de figure, la localisation absolue nécessite toujours une représentation de l'environnement. Le robot possède ainsi une banque de données regroupant les caractéristiques des références externes qui est appelée carte de l'environnement.

Localisation par méthode hybride

Cette méthode consiste à utiliser conjointement la localisation à l'estime et la localisation absolue. On parle alors de recalage dynamique. Mais les méthodes hybrides intègrent aussi celles qui s'appuient sur la coopération de plusieurs capteurs proprioceptifs ou extéroceptifs.

1.5.3 Planification de trajectoire

Les robots mobiles pour pouvoir naviguer dans son environnement de travail, ils ont été munis de système de planification, système leur permettant de planifier leur trajet à faire avant de mouvoir. Citons :

Approche globale: Elle est utilisée lorsque le robot évolue dans un environnement entièrement connu. Le principe de cette approche est de capturer la connexité globale de l'espace libre dans un graphe qui est ensuite exploré. La connaissance de l'environnement nécessite sa modélisation.

Approche locale : Contrairement à l'approche globale, cette approche ne nécessite pas une connaissance a priori de tout l'environnement, mais découvre celui-ci au fur et à mesure à l'aide de systèmes de perception. Cette approche est itérative (incrémentale). A chaque itération, on détermine l'incrément du déplacement. A titre d'exemple on peut citer deux méthodes [13] :

- **Méthodes des champs de potentiel :** le robot est assimilé à un point plongé dans un champ de potentiel artificiel. Ce champ de potentiel est défini comme la combinaison d'un potentiel qui attire le robot vers sa cible et de potentiels qui l'écartent des différents obstacles. Des améliorations de cette méthode ont vu le jour après le résultat satisfaisant qu'elle a donné.
- **Méthode de HUANG:** le principe de cette méthode est d'essayer de joindre la cible en ligne droite (reliant les positions initiale et finale). Si un obstacle intervient en cours du chemin, détecté par les ultrasons placés sur l'avant du robot, il est alors contourné. Des méthodes similaires ont été développées au paravent considérant le robot comme un point matériel et en utilisant d'autres systèmes de perception, mais ayant toujours un principe semblable. Une adaptation de la méthode de HUANG permettant de prendre en compte les contraintes cinématiques du robot a été testée

avec succès. L'avantage des méthodes utilisant cette approche réside dans leurs efficacités en termes de temps de calcul qui permet leurs utilisations dans des applications temps réel. En revanche elles présentent l'inconvénient de tomber dans des minima locaux et de générer une trajectoire souvent non optimale.

Approche mixte: L'intérêt de cette approche est de profiter des avantages des deux approches précédentes, à savoir :

- Temps de calcul faible pour l'approche locale.
- Chemin généré optimal pour l'approche globale.

L'idée de cette approche est de générer un chemin optimal, en utilisant une méthode globale, donnant l'allure générale de la trajectoire à suivre. Ensuite, le robot exécutera cette trajectoire, à l'aide d'un générateur local de trajectoire et de son système de perception, tout en évitant de rentrer en collision avec des obstacles imprévus au moment de la modélisation (changements éventuels de l'environnement, obstacles mobiles) [13].

Approches réactives: Les approches réactives consistent à calculer à chaque pas de temps (après récupération des informations sur l'environnement fournies par les capteurs du système) le contrôle instantané à appliquer sur les actionneurs du système [6].

- **Planification de mouvement partiel:** une dernière approche réactive mérite d'être notée : il s'agit de la planification de mouvement partiel. Celle-ci consiste à calculer relativement, en un temps de décision fixe, une trajectoire se rapprochant le plus possible du but. Cette méthode consiste en un algorithme à trois étapes répète à chaque pas de temps :

- Mise à jour du modèle de l'environnement à partir des entrées capteurs du robot.

- Recherche délibérative d'une trajectoire menant à l'état but. Si le but n'a pas été atteint après un temps de décision fixe, la trajectoire calculée s'en rapprochant le plus est choisie comme trajectoire à suivre.

Enfin, le mouvement planifié au pas de temps précédent est exécuté. Cette approche permet donc d'être réactive aux diverses évolutions de l'environnement tout en étant capable de sortir des impasses non détectées a priori. Elle reste sujette à des minima locaux, mais en est néanmoins bien plus robuste que les approches citées précédemment [6].

- **Histogramme de champs de vecteurs:** dans la lignée des approches par champs de potentiels, sont apparus les histogrammes par champs de vecteurs. Ceux-ci, introduits par Koren et Borenstein sont nés de la combinaison des champs de potentiels et des grilles d'occupation [6] : histogramme basé sur une grille cartésienne de l'environnement est construit et mis à jour au fur et à mesure de la navigation afin de reporter la présence d'obstacles à proximité du robot. Afin de choisir une direction à suivre, un histogramme polaire est construit à partir de la grille d'occupation : en discrétisant les différentes directions possibles autour du robot, l'histogramme polaire est construit en pondérant pour chaque secteur de la discrétisation polaire les cellules traversées de la grille d'occupation contenant des obstacles. Une fois cet histogramme polaire construit, des "vallées candidates" sont d'exterminés comme les suites de secteurs continus de l'histogramme polaire libres d'obstacles. La direction à prendre par le système est alors déterminée par le milieu de la Vallée menant le plus directement au but. Initialement conçue pour la navigation de robots holonomes (pouvant naviguer dans toutes les directions), cette méthode a été étendue à plusieurs reprises afin de prendre en compte les dimensions du robot (par un espace de configuration implicite) et ses contraintes de vitesse.

1.6 Application

1.6.1 Caractéristique

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

- **La charge maximale transportable**

De quelques kilos à quelques tonnes, à déterminer dans les conditions les plus défavorables (en élongation maximum).

- **Le volume de travail**

Défini comme l'ensemble des points qu'on peut atteindre par l'organe terminal. Tous les mouvements ne sont pas possibles en tout point du volume de travail. L'espace (volume) de travail (reachable

workspace), également appelé espace de travail maximal, est le volume de l'espace que le robot peut atteindre via au moins une orientation. L'espace de travail dextre (dextrous- workspace) est le volume de l'espace que le robot peut atteindre avec toutes les orientations possibles organe terminal. Cet espace de travail est un sous-ensemble de l'espace de travail maximal.

- **Le positionnement absolu**

Correspondant à l'erreur entre un point souhaité (réel), défini par une position et une orientation dans l'espace cartésien et le point atteint. Il est calculé via le modèle géométrique inverse du robot. Cette erreur est due au modèle utilisé, à la quantification de la mesure de position et à la flexibilité du système mécanique.

En général, l'erreur de positionnement absolu, également appelée précision, est de l'ordre de 1 mm.

- **La répétabilité**

Ce paramètre caractérise la capacité que le robot à retourner vers un point (position, orientation) donné. La répétabilité correspond à l'erreur maximum de positionnement sur un point prédéfini dans le cas de trajectoires répétitives.

- **La vitesse de déplacement**

Vitesse maximum en élongation maximum ou accélération.

Il existe d'autres caractéristiques comme la masse du robot, le coût du robot, la maintenance, ...

1.6.2 Domaine d'application

Bien que le champ d'application des robots mobiles reste illimité, nous présentons ici quelques domaines d'application.

- **Les robots industriels et de service**

Il existe des robots mobiles destinés à des applications industrielles. Celles-ci concernent principalement le transport et la distribution (dans les usines, les mines, les hôpitaux et les ateliers), le nettoyage, l'entretien et la maintenance, la surveillance et la manutention. Quant aux robots de service, ils sont destinés à aider des handicapés moteurs, à guider les aveugles et à piloter des voitures automatiques.

- **Les robots militaires**

Les applications militaires de la robotique mobile sont nombreuses. Ce champ d'application présente l'intérêt de fournir des spécifications serrées telles que la vitesse des véhicules, leurs capacités de franchissement des obstacles et leur rapidité de réaction.

- **Les robots de laboratoires**

De nombreux laboratoires travaillant dans le domaine de la robotique, disposent de plates-formes expérimentales pour valider des travaux théoriques en perception ou en planification de mouvement.

1.7 Conclusion

Nous avons présenté, dans ce chapitre les robots mobiles qui sont des véhicules qui remplacent l'homme dans les tâches pénibles et dangereuses actuellement plus encore dans l'avenir ,les robots sont utiliser à jouer un rôle de plus en plus important dans notre vie mais ceci n'excluent pas l'existence de certains problèmes pour assurer une bonne application de ces robots ,comme exemples nous citons l'analyse de l'environnement, planification, navigation

CHAPITRE 2 – ANALYSE FONCTIONNEL

2.1 Introduction

L'exécution d'actions concrètes liées à la mobilité dans un environnement qui se veut le plus réaliste possible impose à tous les niveaux constitutifs d'un robot mobile une problématique très riche qui s'étend à d'autres thèmes. Cependant, un robot mobile doit disposer et utiliser toutes les capacités nécessaires à son usage, qui en premier lieu, s'appuie sur le déplacement.

C'est pourquoi on présente dans ce chapitre quelques éléments de synthèse sur l'architecture des robots mobiles. En effet, ceci est une description fonctionnelle de notre chariot. Elle met l'accent sur la modularité pour la conception de ce dernier.

2.2 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 comme 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, Autrement dit 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 :

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

Mathématiquement, on peut traduire cette condition. Soit P le centre de la roue, Q le point de contact de la roue avec le sol, On travaille dans le plan $(O ; \vec{x}; \vec{z})$ comme indique la figure. La nullité de la vitesse relative \vec{v}_Q roue/sol au point de contact permet d'obtenir une relation vectorielle entre la vitesse \vec{v}_p du centre P de la roue et le vecteur vitesse de rotation $\vec{\omega}$ de la roue :

$$\vec{v}_Q = \vec{v}_p + \vec{\omega} \wedge \overrightarrow{PQ} \quad (2.01)$$

2.3 Contraintes cinématiques du robot à entraînement différentiel

Si le robot peut instantanément se déplacer en avant et en arrière mais il ne peut pas se déplacer à droite et à gauche sans que les roues glissent, on dit qu'il possède une contrainte non holonome. Par contre si chaque roue est capable de se déplacer en avant et à coté, on dit qu'il s'agit d'un comportement holonome du robot. [4]

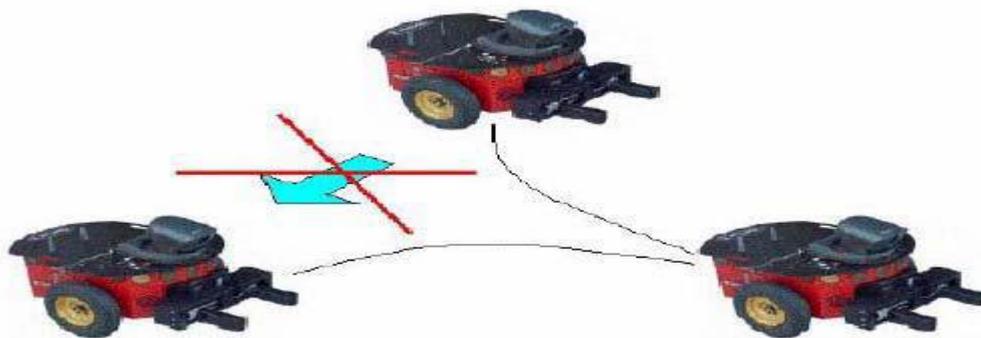


Figure 2. 01- Exemple de roulement sans glissement [4]

L'équation précédente, caractérisant le roulement sans glissement d'une roue sur le sol, est un des contraintes non holonomes. Nous nous proposons dans ce paragraphe de préciser ce que recouvre ce terme et de caractériser les systèmes non holonomes.

Le mouvement d'un robot mobile différentiel est caractérisé par des équations de contrainte non-holonomes, qui sont obtenues par deux principales hypothèses :

Hypothèse 1: Aucun glissement latéral: cette contrainte signifie simplement que le robot peut se déplacer uniquement en avant et en arrière, mais pas latéralement.

Hypothèse 2: Roulement pur sans glissement: la contrainte roulement pure représente le fait que chaque roue maintient un point en contact ponctuel avec le sol. [18].

Soit un système de configuration q soumis à des contraintes indépendantes sur les vitesses, regroupées sous la forme (pfaffienne) $A^T(q)\dot{q} = 0$. S'il n'est pas possible d'intégrer l'une de ces contraintes, elle est dite non intégrable ou non holonome. Il n'est pas évident de dire a priori si une contrainte est intégrable ou non. Pour cela, on a recours à l'application du théorème de Frobenius[5]

Théorème : Soit un système de configuration q , de dimension n , soumis à un ensemble de contraintes indépendantes s'écrivant sous la forme $A^T(q)\dot{q} = 0$. Soit $B(q) = (b_1(q) \ b_2(q) \dots \ b_m(q))$ une matrice de rang plein m , orthogonale à $A(q)$ sur tout l'espace des configurations. Soit enfin l'algèbre de Lie de dimension p , avec $m \leq p \leq n$, engendrée par l'ensemble des colonnes de $B(q)$, auxquelles s'ajoutent les crochets de Lie successifs formés à partir de ces colonnes, à condition qu'ils augmentent la dimension de l'algèbre.

Alors, parmi les contraintes auxquelles est soumis le système, $n - p$ sont intégrables

Pour notre roue dont on a écrit le modèle précédemment. Sa configuration est entièrement définie par sa configuration $q = (x \ y \ \theta \ \varphi)^T$. D'après les composantes de vitesse dans le plan de la roue d'une part et perpendiculairement à la roue d'autre part :

$$\begin{aligned} -\dot{x}\sin\theta + \dot{y}\cos\theta &= 0 \\ \dot{x}\cos\theta + \dot{y}\sin\theta &= -r\dot{\varphi} \end{aligned} \quad (2.02)$$

On peut déterminer :

$$A(q) = \begin{pmatrix} -\sin\theta & \cos\theta \\ \cos\theta & \sin\theta \\ 0 & 0 \\ 0 & r \end{pmatrix} \quad (2.03)$$

Et en déduit :

$$B(q) = \begin{pmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \\ -\frac{1}{r} & 0 \end{pmatrix} \quad (2.04)$$

Après application du théorème on en conclue que ses équations sont donc des contraintes non holonomes.

2.4 Méthodes de suivi de chemin

L'idée principale de ce travail est la mise en œuvre robot en suivi d'un chemin. Plusieurs approches du problème existent, mais la méthode de référence dans le domaine reste celle proposée par le Français Claude Samson .

Loi de commande de C.Samson

C. Samson propose une loi de commande permettant de suivre un chemin de manière géométrique indépendamment de la vitesse du robot. La seule variable de commande utilisée est la vitesse angulaire $\omega = \dot{\theta}$ du robot [16].

Soit C le chemin suivi et (s) sa courbure au point d'abscisse curviligne s , on note R' le point de C le plus proche de R (point de référence du robot) et d la distance $\|RR'\|$ (voir Figure 2.02). De même on note θ_{des} l'angle de la tangente à la courbe en R' dans le repère principal. Cet angle représente l'orientation désirée pour le robot.

Le but de la loi de commande proposée est de réduire à la fois l'erreur en distance d et l'erreur en orientation :

$$\theta_e = \theta - \theta_{des} \quad (2.03)$$

Elle est donnée dans sa forme la plus simple par :

$$\omega = v. (\rho(S_{R'}) - k_1. d - k_2. \theta_e) \quad (2.04)$$

Où $S_{R'}$ est l'abscisse curviligne du point R' et k_1 et k_2 sont deux constantes positives

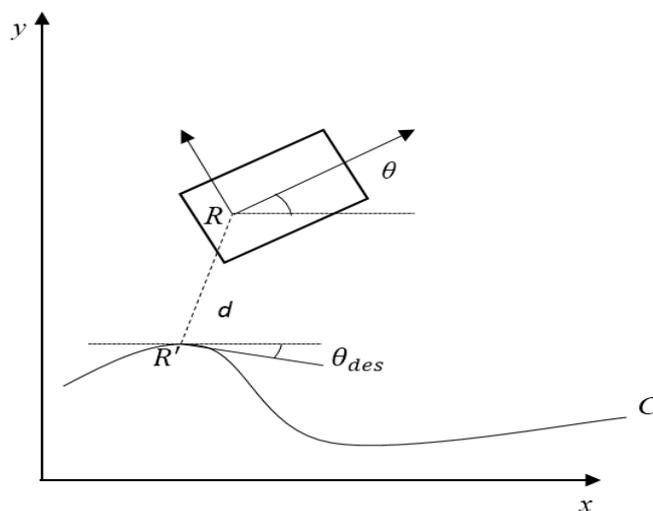


Figure 2. 02 - Suivi de chemin selon C.Samson

2.5 Modélisation du chariot

2.5.1 Modèle cinématique

Le modèle cinématique représente le comportement instantané du mouvement du chariot. Cet engin est constitué de trois degrés de liberté tels que x , y et Θ . Le robot sur la figure représente le chariot qui est repéré dans le repère de référence (O, x, y) .

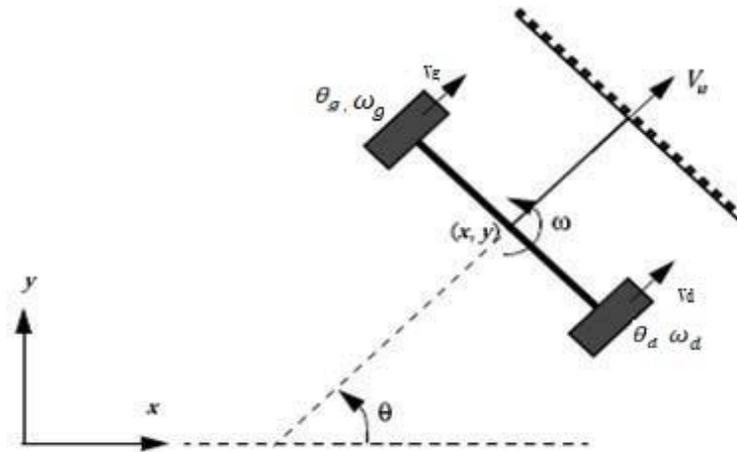


Figure 2. 03 - Modèle Cinématique [12]

Avec :

$2l$: distance entre les roues

r : rayon de la roue

ω_d, ω_g : vitesse angulaire respective de la roue droite et gauche

V_d, V_g : Vitesse linéaire des roues à gauche et à droite

ω : Vitesse angulaire du robot

x, y : position du robot

θ : orientation du robot

À partir de ces données, les équations suivantes sont utilisées pour retrouver les différents paramètres cinématiques du robot.

Pour commencer, nous allons calculer la vitesse linéaire des roues (V_g et V_d) :

$$\begin{aligned} V_d &= r \cdot \omega_d \\ V_g &= r \cdot \omega_g \end{aligned} \tag{2.05}$$

Nous pouvons par ailleurs en déduire la vitesse moyenne du centre des roues V_{moy} s'écrit :

$$V_{moy} = \frac{V_d + V_g}{2} \quad (2.06)$$

La vitesse angulaire respective des roues à gauche et à droite est fonction de l'angle de position

$$\omega_d = \frac{d\theta_d}{dt} \quad (2.07)$$

$$\omega_g = \frac{d\theta_g}{dt} \quad (2.08)$$

La vitesse angulaire du robot est inversement proportionnelle à la distance entre les deux roues:

$$\omega = \frac{V_d + V_g}{2l} \quad (2.09)$$

Selon les relations (2.2) et (2.3), l'angle d'orientation des roues est :

$$\theta = \int \omega dt \quad (2.10)$$

La position x, y est en fonction de la vitesse moyenne du robot :

$$\begin{aligned} x &= \int V_{moy} \cos \theta dt \\ y &= \int V_{moy} \sin \theta dt \end{aligned} \quad (2.11)$$

Par la condition de la dérivabilité, la vitesse moyenne et la vitesse angulaire du robot s'écrivent :

$$V_u = \int \dot{V}_{moy} \quad (2.12)$$

$$\omega = \int \dot{\omega} \quad (2.13)$$

D'où, les équations (2.07) et (2.08) deviennent :

$$\omega_d = \frac{V_{moy} + \frac{\omega l}{2}}{r} \quad (2.14)$$

$$\omega_g = \frac{V_{moy} - \frac{\omega l}{2}}{r} \quad (2.15)$$

Ainsi, l'expression de la vitesse angulaire du robot est donnée par :

$$2l \cdot \dot{\theta} = rV_g - rV_d \quad (2.16)$$

$$\dot{\theta} = \omega = \frac{rV_g - rV_d}{2l} \quad (2.17)$$

Le modèle cinématique de notre robot sous forme matricielle s'écrit finalement dans le repère (O, x, y) :

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} = \frac{r}{2} \begin{pmatrix} \cos(\psi) & \cos(\psi) \\ \sin(\psi) & \sin(\psi) \\ \frac{1}{l} & \frac{-1}{l} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_d \\ V_g \end{pmatrix} \quad (2.18)$$

Où ψ est l'orientation du robot dans le sens trigonométrique.

2.5.2 Modèle odométrique du robot

En discrétisant le modèle cinématique moyennant des hypothèses de simplification c'est-à-dire que le mouvement des roues est un roulement sans glissement (formule 2.02) [14]:

$$\dot{y} \cos(\psi) - \dot{x} \sin(\psi) = 0 \quad (2.19)$$

Par contre, la vitesse longitudinale s'écrit :

$$\dot{y} \cos(\psi) + \dot{x} \sin(\psi) = V_{moy} \quad (2.20)$$

Par la méthode de linéarisation, le modèle odométrique correspondant est :

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + u \cdot \cos(\theta_{k+1}) dt \\ y_{k+1} = y_k + u \cdot \sin(\theta_{k+1}) dt \\ \theta_{k+1} = \theta_k + \dot{\theta}_{dt} \end{cases} \quad (2.21)$$

Soit

$$\begin{cases} \theta(k) = \frac{r[\theta_d(k) - \theta_g(k)]}{1} \\ x(k) = x(k-1) + \frac{r(\Delta\theta_d + \Delta\theta_g)}{2} \cdot \cos\left(\frac{\theta(k) - \theta(k-1)}{2}\right) \\ y(k) = y(k-1) + \frac{r(\Delta\theta_d + \Delta\theta_g)}{2} \cdot \sin\left(\frac{\theta(k) - \theta(k-1)}{2}\right) \end{cases} \quad (2.22)$$

2.5.3 Calcul de la position

Une fois qu'on connaît les vitesses instantanées, on peut facilement calculer la position du robot, en intégrant V_x , V_y et θ_ψ . Pour intégrer ses valeurs, il suffit d'effectuer une sommation discrète des valeurs depuis le début :

$$x = \sum_0^n V_x \quad (2.23)$$

$$y = \sum_0^n V_Y \quad (2.24)$$

$$\theta_\psi = \sum_0^n \dot{\theta}_\psi \quad (2.25)$$

2.6 Modélisation du moteur

Le robot que nous étudions, robot de type unicycle est propulsé par deux moteurs à courant continu (CC). L'objectif du projet est de commander directement le mouvement du chariot sans prédéfinir la nature de la trajectoire. Dans cette section, nous découvrons le modèle d'espace d'état du moteur à courant continu. Ce modèle est ensuite utilisé pour fournir une relation entre la tension d'entrée aux moteurs et le couple de commande nécessaire pour le mouvement du le chariot.

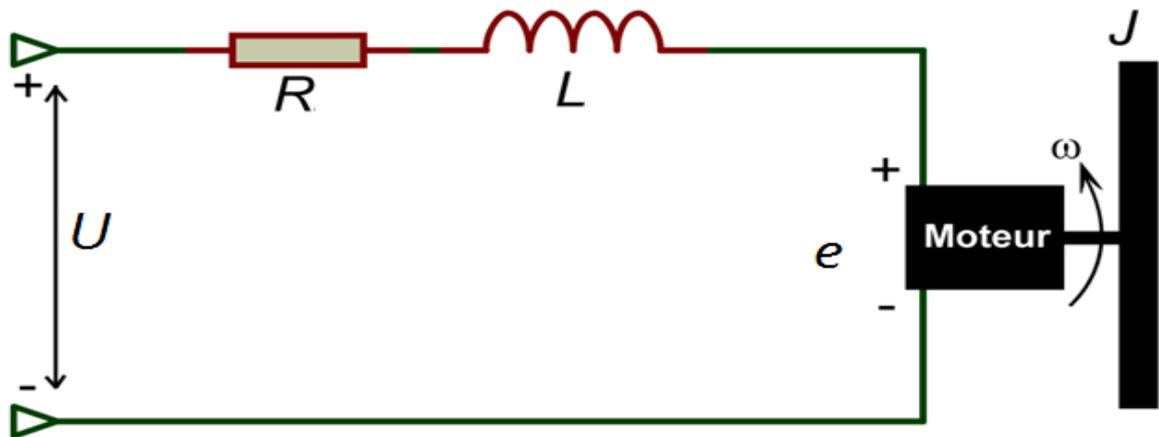


Figure 2. 04 Schéma linéaire du moteur DC

Lorsqu'une tension est appliquée aux bornes du moteur, un courant i est généré dans le rotor du moteur. Le moteur produit un couple C_m , qui est proportionnel au courant. Cette relation peut être exprimée en :

$$C_m = K_c \cdot i \quad (2.26)$$

Une paire de résistance-inductance en série avec une tension de force contre électromotrice e , peut être utilisée pour modéliser le circuit électrique du moteur. Cette tension de force contre électromotrice est produite parce que les bobines du moteur se déplacent dans un champ magnétique. La tension produite peut être approximée par une fonction linéaire de la vitesse de l'arbre, qui peut s'écrire sous la forme :

$$e = K_e \omega \quad (2.27)$$

A ce point, une équation différentielle linéaire du circuit électrique du moteur à courant continu peut être écrite en utilisant la loi de Kirchoff, la loi stipule que la somme de toutes les tensions dans le circuit doit être égale à zéro. Pour le moteur à courant continu, ce qui peut être écrit comme :

$$U(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + e(t) \quad (2.28)$$

et si $L \ll R$ nous pouvons écrire :

$$U(t) \cong Ri(t) + e(t) \quad (2.29)$$

Et a partir des lois de Newton nous pouvons écrire :

$$J_T \frac{d\omega(t)}{dt} = e \quad (2.30)$$

ou J_T est le moment total d'inertie : J_m (moteur) + J_c (charge)

Le système « moteur » est considéré comme un système:

- une entrée : la tension appliquée au moteur.
- une sortie : la position angulaire du moteur, donnée par un encodeur

Mais pour la mise en évidence de la régulation en vitesse, on se focalisera sur un seul moteur dont le modèle mathématique est le suivant:

$$\left\{ \begin{array}{l} u(t) = e(t) + R \cdot i(t) + L \frac{di}{dt} \\ e(t) = K_e \cdot \omega(t) \\ C_m(t) = K_c \cdot i(t) \\ C_m(t) - C_r(t) = J \frac{d\omega}{dt} \end{array} \right. \quad (2.31)$$

Avec

u : Tension appliquée au moteur

e : Force électromotrice

i : Intensité traversant le moteur

ω : Vitesse de rotation du rotor

C_m : Couple moteur généré

C_r : Couple résistant

K_c : constante de couple

K_e : constante électrique

J : moment d'inertie du rotor

2.7 Conclusion

Nous avons traité dans ce chapitre le modèle cinématique et odométrique d'un unicycle qui est en général connu, mais nous avons essayé de rappeler les principales étapes. La structure des contraintes cinématiques découlant du roulement pur des roues a été analysée, il est démontré que ces contraintes sont en général non holonomes et par conséquent réduisent la mobilité locale du robot. Enfin, le modèle linéaire d'un moteur à courant continu est présenté.

CHAPITRE 3 –COMMANDE DU CHARIOT

3.1 Introduction

Le déplacement du robot mobile dépend de la tension appliquée à chaque moteur. Lorsque ces tensions sont identiques, leurs vitesses le sont aussi. Ce qui conduit à un déplacement rectiligne du système embarqué. Dans le cas où ces tensions sont différentes, leurs vitesses le sont donc aussi. Si la vitesse du moteur de gauche est inférieure à celle de droite, alors le robot effectue un virage à gauche. Dans le cas contraire, il effectue un virage à droite. D'où la présentation des commandes applique au moteur pour que le robot ait une tenue de route stable.

3.2 Contrôleur du moteur

En fait on pourrait imaginer qu'il suffirait d'envoyer au moteur une puissance constante pour qu'il tourne tout le temps à la même vitesse. Ce n'est pas vrai du tout. Tout d'abord 2 moteurs d'une même série n'auront pas forcément le même comportement. Ensuite parce que les niveaux de tension ou d'autre différences électriques peuvent jouer. Enfin parce que des influences extérieures (obstacles, frein, mécanique du robot) peuvent jouer. Du coup il est très difficile de faire aller un moteur à la vitesse voulue. Notre robot a 2 roues motrices, pour que ce robot aille droit, il faut que les 2 moteurs aillent exactement à la même vitesse. La solution est de faire un asservissement. C'est à dire moduler la tension envoyé aux moteurs suivant leur vitesse mesurée, afin d'adapter celle-ci à ce qui est désirée.

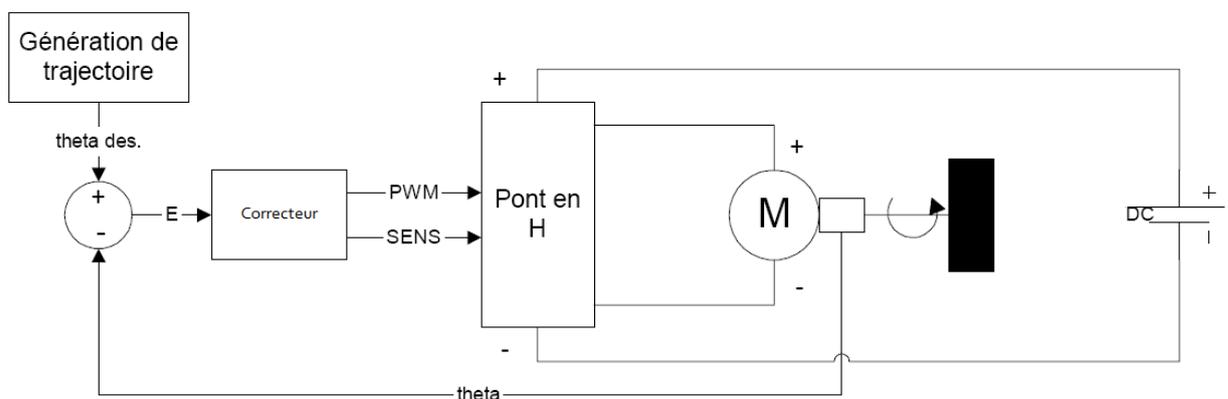


Figure 3.01-Schéma-blocs du système de contrôle des moteurs

3.3 La fonction de transfert du moteur

La fonction de transfert du moteur met en évidence la relation entre la vitesse et la tension appliquée aux bornes du moteur.

Pour chaque équation du système on obtient après transformation de Laplace

$$\begin{cases} R \cdot I(p) + L \cdot p \cdot I(p) + E = U(p) \\ E = K_e \cdot \Omega(p) \\ J_{Tp} \cdot \Omega(p) = C_m(p) - C_r(p) \end{cases} \quad (3.01)$$

Substituons ensuite l'expression de la couple résistant $C_r = -\epsilon \Omega(p)$ et le couple moteur dans le système on obtient :

$$\begin{cases} U(p) = R \cdot I(p) + L \cdot p \cdot I(p) + K_e \cdot \Omega(p) \\ J_{Tp} \cdot \Omega(p) = K_c \cdot I(p) - C_p - \epsilon \Omega(p) \end{cases} \quad (3.02)$$

On en déduit l'expression de la vitesse angulaire du moteur :

$$\Omega(p) = \frac{K_c \cdot I(p) - C_p}{f + J_{Tp}} \quad (3.03)$$

Et l'expression de la tension $U(p)$ s'écrit:

$$U(p) = \Omega(p) \left[\frac{(R + Lp)(f + J_{Tp})}{K_c} + K_e \right] \quad (3.04)$$

Ainsi que l'intensité du courant dans les bobines :

$$I(p) = \frac{f + J_{Tp}}{K_c} \cdot (\Omega(p) + \frac{C_p}{f + J_{Tp}}) \quad (3.05)$$

Soit la fonction de transfert du moteur s'écrit :

$$H(p) = \frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{K_c}{JLp^2 + JRp + K_e K_c} = \frac{A}{1 + \frac{2\xi}{\omega_0} p + \frac{1}{\omega_0^2} p^2} \quad (3.06)$$

Avec :

$$A = \frac{1}{K_e} \quad (3.07)$$

$$\zeta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{J_T}{K_e K_C L}} \quad (3.08)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K_e K_C}{J_T L}} \quad (3.09)$$

Le Schéma fonctionnel correspondant à cette fonction est représenté par la figure ci-dessous

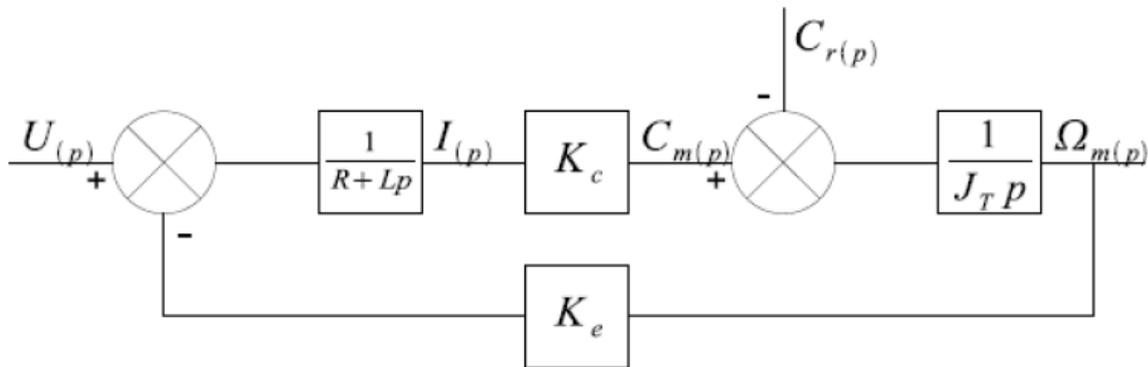


Figure 3.02- Schéma bloc d'un modèle mathématique de moteur électrique

On observe que le système modélisé est du second ordre. Lorsque l'inductance interne est négligeable devant la résistance interne, ce qui est généralement le cas, il s'apparente à un système du premier ordre.

Notons que la valeur de la vitesse angulaire dépend de celle de la tension appliquée au moteur.

Les caractéristiques numériques de notre moteur utilisées sont les suivantes :

- Tension nominale : $U_{nom} = 3V$
- Tension maximale de travail : $U_{max} = 6V$
- Courant maximal : $I_{max} = 200 \text{ mA}$
- Résistance aux bornes : $R = 3 \Omega$
- Constante du couple : $K_c = 0,01 \text{ mN.m. } A^{-1}$
- Constante de vitesse : $K_e = 0,01 \text{ mV.s}$
- Inductance : $L = 0.3 \text{ mH}$
- Moment d'inertie rapporté au rotor : $J_T = 3.10^{-6} \text{ Kg.m}^2$

Selon les caractéristiques numériques du moteur utilisé, nous avons déterminé les valeurs de paramètres suivantes :

- La pulsation propre $\omega_0 = 55,55$ rad/s
- Le facteur d'amortissement $\xi = 3,6$
- Le gain statique : $A = 100$

3.4 Les diagrammes de Bode et Nichols

Les diagrammes de Bode et Nichols des figures suivant représentent respectivement le comportement fréquentielle du système et la variation de gain en décibel en fonction du temps.

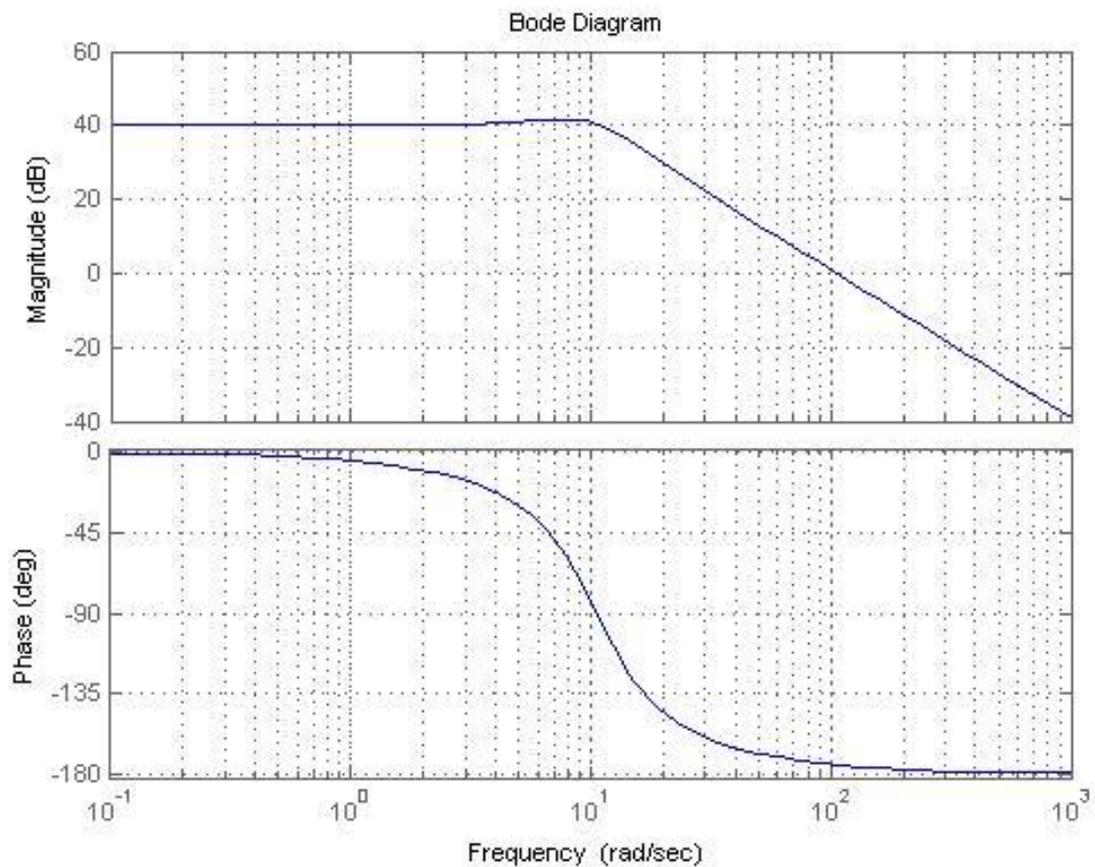


Figure 3.03- Diagramme de Bode

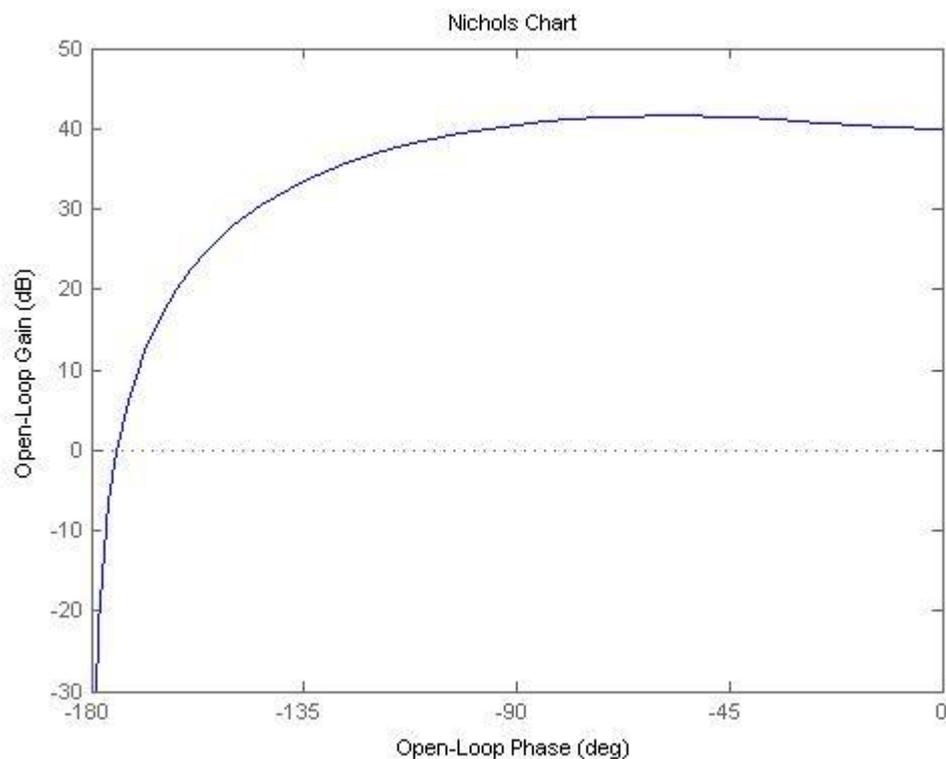


Figure 3.04- Diagramme de nichols

Ce diagramme présente deux courbes :

- La première nous montre qu'il existe un maximum. Il signifie qu'on a un système du second ordre avec un amortissement ξ proche de 3,6 et de la pulsation propre $\omega = 55,55 \text{ rad/s}$. D'où le moteur fonctionne rapidement.
- La deuxième courbe montre que le moteur est stable car sa phase est égale à $-\pi$, appartient à la partie réelle négative et est laissé à gauche du lieu de transfert lorsqu'on parcourt le lieu de la boucle ouverte dans le sens des ω croissants.

3.5 Contrôleur de suivi de ligne

Le contrôleur de suivi de ligne permet d'asservir le robot sur le tracé qu'il doit parcourir. Les objectifs de ce contrôleur sont d'obtenir un suivi qui soit rapide puisque la vitesse moyenne doit être la plus élevée possible, mais également un suivi qui soit robuste puisqu'il est très difficile de reprendre

le tracé lorsque le robot décroche de la trajectoire désirée. Pour illustrer le fonctionnement de ce contrôleur, nous pouvons observer le schéma-blocs du système présenté en figure 2-03. En fait, la stratégie de commande consiste à asservir la vitesse angulaire en fonction de la position de la ligne et à conserver une vitesse tangentielle désirée constante, mais la plus élevée possible. Le contrôleur de suivi de ligne reçoit donc en entrée la position de la ligne détecté par les capteurs de suivi de ligne. Grâce à la position de la ligne, le contrôleur est alors en mesure de déterminer la vitesse angulaire désirée pour corriger l'erreur sur la position de la ligne. L'erreur est corrigée selon un compensateur

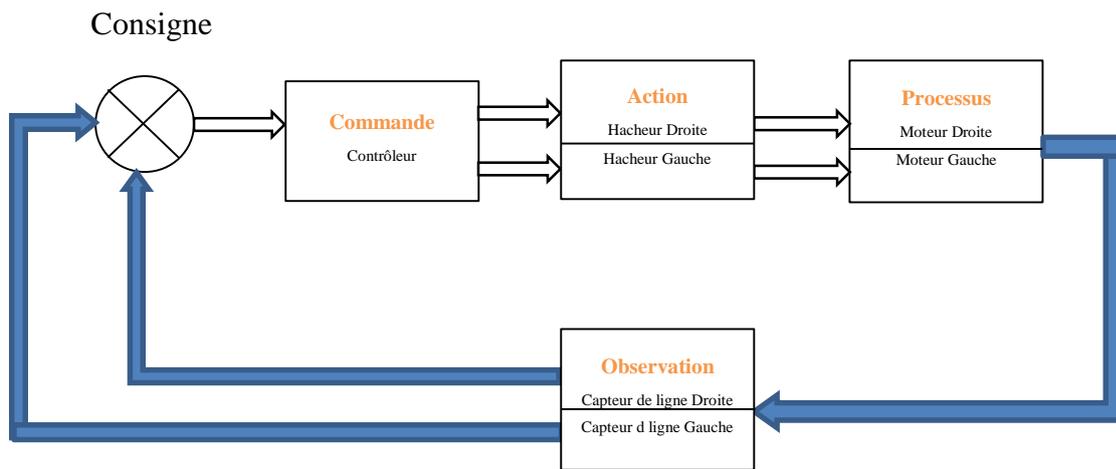


Figure 3.05 - Schéma-blocs du contrôleur de suivi de ligne

3.6 Conclusion

Notre but est la commande du mouvement d'un robot mobile. Cette commande dépend de l'impulsion électrique que l'on donne aux moteurs. Ce chapitre décrit le comportement dynamique d'un MCC, Ainsi que les contrôleurs utilisés par le robot

CHAPITRE 4 – MATERIAUX ET REALISATION

4.1 Introduction

Le but de ce travail est d'utiliser le microcontrôleur arduino pour commander un robot mobile .On doit construire un prototype de ce robot, sous la forme d'un boîtier qui circule avec 4 roues, à vitesses différentielles : deux moteurs de propulsion couplés à deux roues motrices. Les roues motrices étant disposées à l'avant et deux roue-libre assurant la stabilité est disposée à l'arrière du chariot .Pour pouvoir commander ce boîtier on doit le connecter a des circuit d'alimentation ,de commande et des capteur puis a un carte arduino contenant le programme qui permet de gérer tous les application de ce robot . Dans ce chapitre nous allons citer les matérielles utiliser pour la réalisation de ce projet ainsi que leur fonctionnalité

4.2 Matériaux

4.2.1 La structure de base du robot

Voici la figure présentant les étages constituant notre chariot

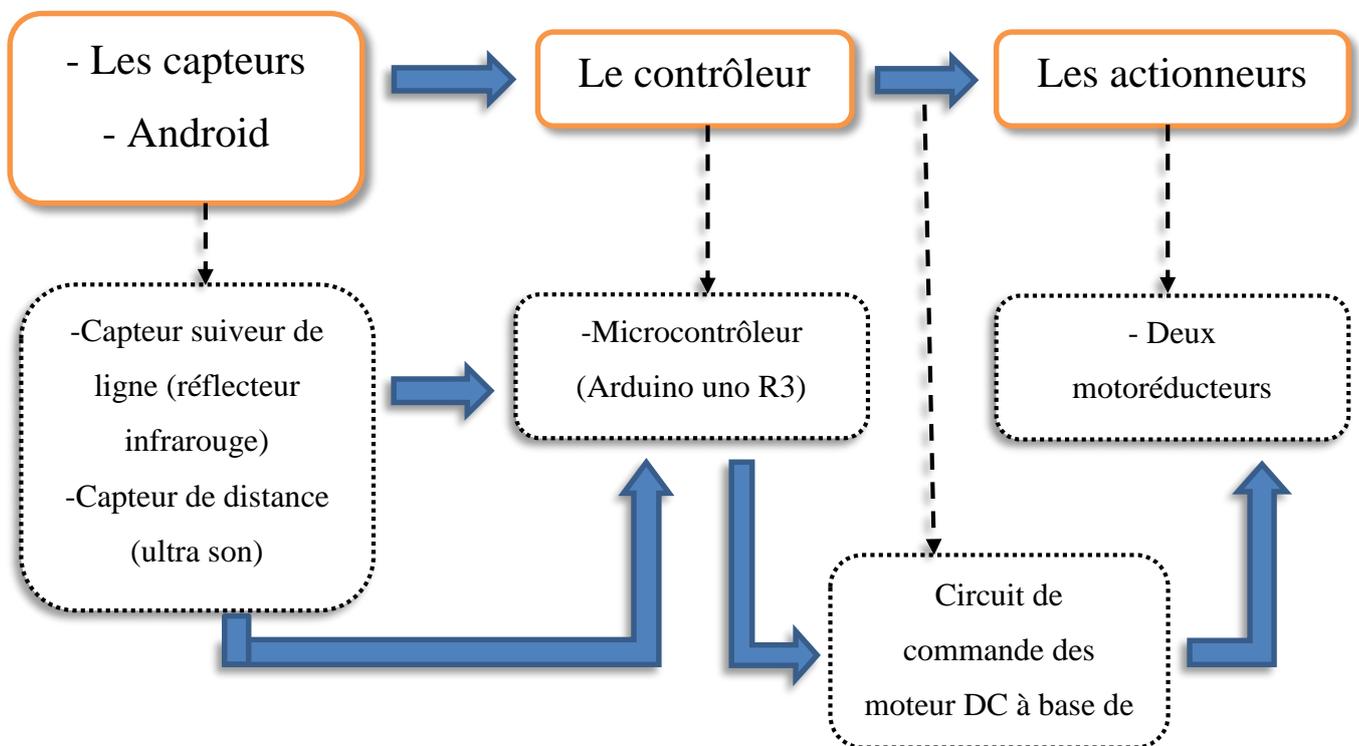


Figure 4.01- Schéma bloc du chariot

4.2.2 Les capteurs

Etant est un dispositif transformant l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable, pour que notre chariot soit capable de suivre une ligne trace au sol, nous utilisons des capteurs de proximité infrarouge. Plus précisément, nous utilisons un module suiveur de ligne basé sur le réflecteur TRCT500 et un amplificateur. Le module utilise des capteur de proximité infrarouge (émetteur-récepteur),il a 4 broches, dont deux sont les broches VCC et GND les deux autre étant une sortie analogique et une sortie numérique .La sortie analogique fourniras des données relatives à la distance de l'objet détecter tandis que la broche numérique, celle qu'on va utiliser aura une valeur de 0 ou 1 indiquant si la lumière et réfléchié ou non ,lors de la détection de lignes en noir et blanc .

Pour le chariot on a utilisé trois de ces capteurs, placé à 1 Cm au-dessus du sol. Un au centre permettant au chariot de savoir qu'il est sur la ligne, une à gauche et à droite pour savoir si le chariot sort de la ligne , pour pouvoir la redresser dans sa trajectoire. Ainsi notre robot est capable de savoir se positionner sur la ligne tracer et se met à le suivre avancer, tourner d'un côté ou de l'autre. Les tensions de sortie des 3 capteurs sont reliées à 3 des entrées analogiques de la carte Arduino. Puis il se chargera ensuite de traduire ça en positon grâce au programme que nous lui avons implanté. Le programme effectue ensuite les actions nécessaires pour remettre le chariot dans le droit chemin.

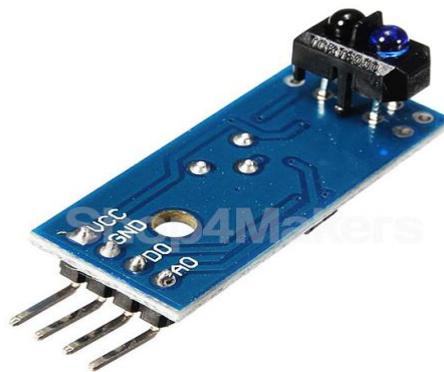


Figure 4.02- Capteur IR, TRCT 5000

Maintenant parce que le chariot peut se déplacer dans des différents lieux et des différent espace, il peut être entrave par des obstacles et de forage alors l'utilisation d'un capteur de distance devient nécessaire .nous avons choisi le capteur ultrason HC-SR04 low cost.

Ce capteur fonctionne avec une tension d'alimentation de 5 volts, dispose d'un angle de mesure de 15° environ et permet de faire des mesures de distance entre 2 centimètres et 4 mètres avec une précision de 3mm.

Le principe de fonctionnement du capteur est entièrement basé sur la vitesse du son. Voilà comment se déroule une prise de mesure :

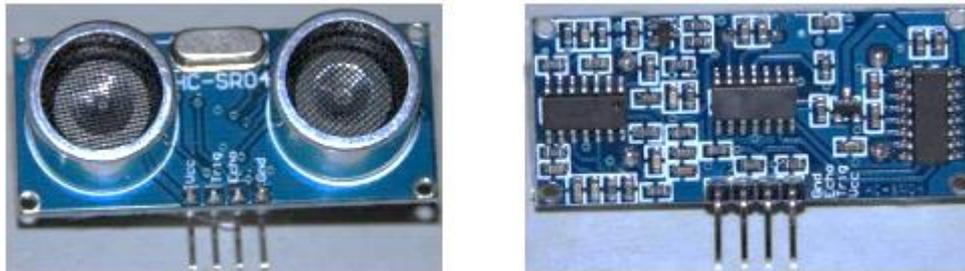


Figure 4.03 - Capteur ultrason HC-SR 04

1. On envoie une impulsion HIGH de 10µs sur la broche TRIGGER du capteur.
2. Le capteur envoie alors une série de 8 impulsions ultrasoniques à 40KHz (inaudible pour l'être humain, c'est quand plus agréable qu'un bip).
3. Les ultrasons se propagent dans l'air jusqu'à toucher un obstacle et retourne dans l'autre sens vers le capteur.
4. Le capteur détecte l'écho et clôture la prise de mesure.

Le signal sur la broche ECHO du capteur reste à HIGH durant les étapes 3 et 4, ce qui permet de mesurer la durée de l'aller-retour des ultrasons et donc de déterminer la distance. Détecter à moins de 10cm du chariot, Il s'arrête et reprend son trajet aussitôt que l'obstacle n'est plus détecté

4.2.3 Le contrôleur

Pour commander notre chariot nous utilisons un microcontrôleur de marque Arduino : l'Arduino Uno. Ce microcontrôleur est basé sur l'ATmega328, un microcontrôleur de chez Atmel.

La carte Arduino Uno:

Définition : Arduino Uno est une carte microcontrôleur basée sur l'ATmega328. Elle est dotée de 14 broches en Entrées /Sortie numérique (dont 6 peuvent être utilisées comme sorties

PWM-Modulation de largeur d'impulsion), 6 entrées analogiques, un oscillateur à quartz 16MHZ, une connexion USB, un jack d'alimentation, un support ICSP, un bouton 'reset'.

Elle contient tout le nécessaire pour fonctionner ; il suffit de la connecter à un ordinateur par le câble USB et de l'alimenter à l'aide d'un adaptateur USB ou des piles.

La carte Arduino Uno peut être alimentée par l'USB ou par une alimentation externe.

La source est sélectionnée automatiquement.

La tension d'alimentation extérieure (hors USB) peut être délivrée par un adaptateur AC-DC ou des piles. L'adaptateur peut être connecté grâce à un 'jack' de 2.1 mm positif au centre.

Le raccordement vers un bloc de piles peut utiliser les bornes Gnd et Vin du connecteur d'alimentation (POWER).

La carte peut fonctionner à l'aide d'une tension extérieure de 7 à 12 volts.

Les broches (pins) d'alimentation sont les suivantes :

- **VIN** : C'est la tension lorsque la carte est raccordée à une source extérieure (par opposition à la tension de 5 volts venant de l'USB ou d'un régulateur de tension).
- **5V** : La tension d'alimentation régulée : elle peut venir de VIN via le régulateur sur la carte, ou être fournie par l'USB ou un régulateur extérieur. Le courant maximum est de 50 mA.
- **GND** : Masse.

La carte Uno diffère des précédentes cartes en ce qu'elle n'utilise pas le chip convertisseur USB-Série, FTDI, mais le microcontrôleur ATmega8U2-sur la carte -programmée comme convertisseur USB-Série.

“Uno “ signifie “ Un“ en italien et ce nom annonce la sortie de l'Arduino 1.0.

Tableau 4.01- Les principales caractéristiques de l'ArduinoUno

Microcontrôleur	ATmega328
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'Input (recommandée)	7-12V
Tension d'Input (limites)	Tension d'Input (limites) 6-20V
Pins I/O digitales	14(dont 6 sont des PWM -modulation de largeur d'impulsion)
Pins Input Analogiques	6
Courant DC par pin I/O	40mA
Courant DC pour la broche 3.3V	50mA
Mémoire flash	32KB (ATmega328) dont 0.5KB utilisé par le 'bootloader'
SRAM	2KB(ATmega328)
16MHz	16MHz

Entrées/Sorties :

Chacune des 14 broches digitales de la Uno peut être utilisée en entrée ou sortie, en utilisant les fonctions `pinMode()`, `digitalWrite()`, et `digitalRead()`.

Elles fonctionnent en logique 0V-5V ; chacune pouvant fournir (source) ou recevoir un courant maximal de 40 mA et dispose si besoin d'une résistance interne de 'pull-up'.

En outre, certaines broches ont des fonctions spécialisées:

- Serial: 0 (RX) and 1 (TX). Permet de recevoir (RX) et de transmettre (TX) des données séries TTL. Ces broches sont raccordées à leurs homologues sur le chip ATmega8U2 spécialisé dans la conversion USB-to-TTL série.
- Interruptions externes 2 et 3. Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur une valeur LOW, sur un front montant ou descendant, ou encore sur le changement de valeur.
- PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11. Output 10-bits de PWM avec la fonction `analogWrite()`.
- SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Ces broches fournissent le support de communication SPI en utilisant la 'library' spécialisée.
- LED: 13. Il y a une LED connectée à la broche digitale 13.

La carte Uno a 6 broches d'entrées analogiques, A0 à A5, chacune avec 10 bits de résolution.

Par défaut les mesures sont effectuées de la masse à 5V (valeur de référence), mais il est possible de spécifier la valeur de référence en utilisant la broche VREF et la fonction `analogReference()`.

En outre, certaines broches ont des fonctions spécialisées :

- I2C: 4 (SDA) and 5 (SCL). Permettent le support du bus I2C (TWI) en utilisant la 'library' Wire.

Il y a encore quelques autres broches sur la carte:

- AREF. Tension de référence déjà mentionnée.
- Reset. Permet au niveau bas (LOW^o) de faire un reset du contrôleur. Elle est utilisée typiquement pour monter un bouton 'reset' aux cartes additionnelles ('shields') bloquant celui de la carte principale.

Communication :

La carte Arduino Uno a de nombreuses facilités de communications avec un ordinateur, une autre Arduino, ou un autre microcontrôleur. L'ATmega328 permet la communication série UART TTL, grâce aux broches digitales 0(RX) et 1 (TX).

Un contrôleur ATmega8U2 sur la carte, canalise cette communication série vers l'USB et apparaît comme un port de communication série virtuel pour le logiciel sur l'ordinateur. Le firmware de l'8U2 utilise le protocole USB, et aucun driver externe n'est nécessaire.

Logiciel de programmation de l'arduino uno :

- Le logiciel de l'Arduino inclut un moniteur série permettant l'envoi et la réception de simples données textuelles. Les leds RX et TX sur la carte clignotent pour indiquer la transmission de données via le chip USB-to-serial vers l'ordinateur.
- Une bibliothèque 'SoftwareSerial' permet la transmission de données série à partir de chacune des broches digitales du Uno.
- L'ATmega328 supporte le bus I2C (TWI) et le protocole synchrone maître-esclave SPI. Le logiciel de l'Arduino inclut un ensemble de fonctions pour mettre en œuvre ces fonctions.
- Logiciel de programmation de l'arduino uno. Arduino IDE 1.0 pour Windows.

Pour la réalisation de notre programme on a utilisé le langage C, et le logiciel Arduino IDE 1.0

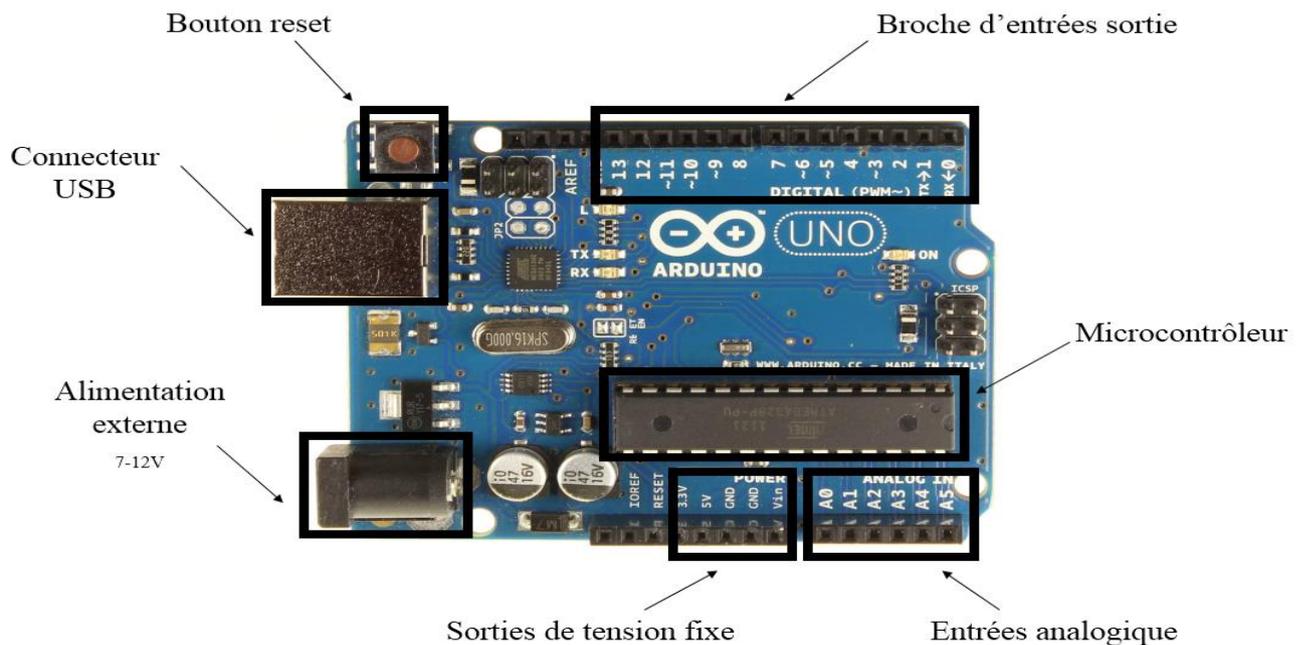


Figure 4.04- Carte Arduino Uno

4.3 Les actionneurs

4.3.1 Pont en H :

Le pont en H représente les cartes de puissances pour les moteur, dans notre cas il existe déjà dans le shield moteur, son rôle principale et d'amplifier les signaux provenant de la carte de contrôle en tension et en courant tout en respectant le sens de rotation afin de transmettre aux moteur les signaux de commande, elle est pratique pour notre système qui travaille sous une alimentation a batterie embarquée.

Il est composé de quatre éléments de commutation généralement disposés schématiquement en une forme de H d'où le nom. Les commutateurs peuvent être des relais, des transistors, ou autres éléments de commutation en fonction de l'application visée.

Le pont en H permet de contrôler la polarité de la tension aux bornes du moteur, ou de déconnecter l'alimentation des moteurs (moteur arrêté). Les commutateurs sont actionnés deux par deux soit S1-S4 ou S2-S3 pour faire tourner le moteurs dans un sens ou dans l'autre sens. Les paires de relais peuvent avoir des puissances différentes selon que l'utilisation ne requiert pas le même couple dans un sens que dans l'autre sens.

De plus, le pont en H permet d'effectuer un freinage magnétique s'il est capable d'en dissiper la puissance générée. Cette opération s'effectue en actionnant soit les deux commutateurs supérieurs ou inférieurs en même temps, ce qui court-circuite les bornes du moteur et le fait par conséquent freiner.

Les états d'un pont en H sont représentés ci-dessus.

Tableau 4.0 2 -Table de vérité de pont en H

Moteur	Commutateur				
	Q1	Q2	Q3	Q4	
Roue libre	0	0	0	0	0 : commutateur ouverte 1 : commutateur fermée
Sens 1	1	0	0	1	
Sens 2	0	1	1	0	
Arrêt	1	0	1	0	
	0	1	0	1	

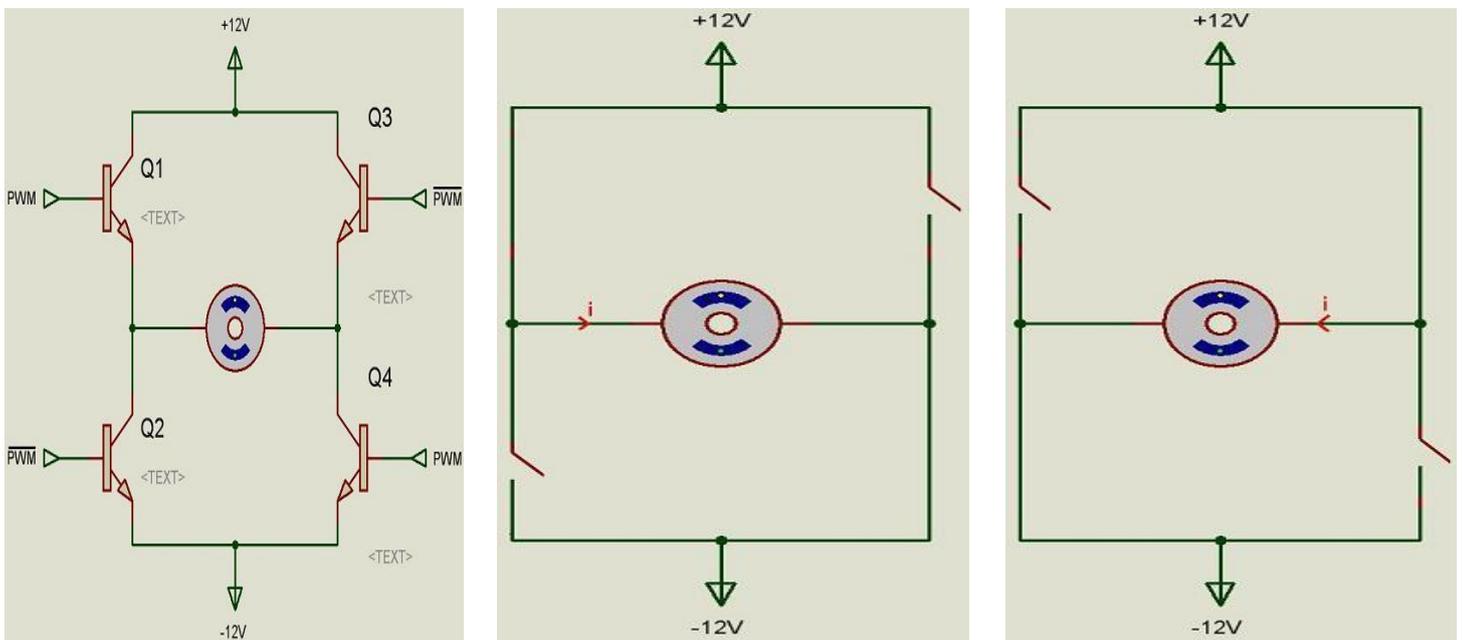


Figure 4.05- Etat d'un pont en H : Moteur déconnecté, Rotation ou sens1, Rotation inverse ou sens inverse.

4.3.2 L293D

Pour assurer le déplacement du robot, on a utilisé deux moteurs a courant continue .Ces dernier fonctionnent sous une tension de 3V.

Le circuit intégré L293D a été choisi pour commander les moteurs

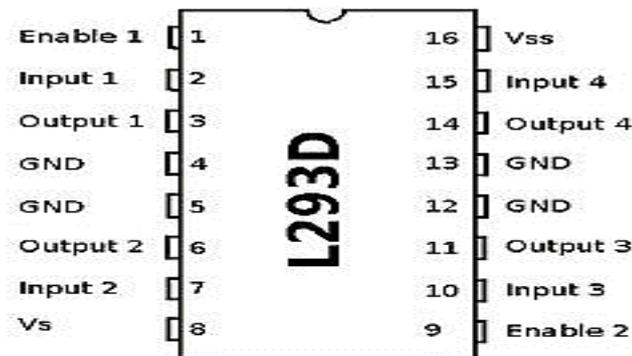


Figure 4.06- Brochages L293D [14]

Le L293D est un pilote demi-H quadruplex haute intensité. Ce dispositif est conçu pour fournir des courants d'entraînement bidirectionnels pouvant aller jusqu'à 600 mA à une tension de 4,5 V à 36 V et à conduire un large éventail de charges inductives tel que des relais, des solénoïdes, DC et moteurs pas à pas bipolaires ainsi que d'autres charges à courant élevé / haute tension dans les applications d'alimentation positive. Toutes les entrées sont compatibles TTL et tolèrent jusqu'à 7 V. Chaque sortie est un circuit d'entraînement totem complet, avec un transistor Darlington évier et une source pseudo-Darlington. Les pilotes sont activés par paires, avec des pilotes 1 et 2 activés par 1,2EN et 3 et 4 activés par 3,4EN. Quand une entrée de validation est Haute, les pilotes associés sont activés, et leurs sorties sont actives et en phase avec leurs entrées. Lorsque l'entrée de validation est basse, ces pilotes sont désactivés, et leurs sorties sont éteints et dans l'état de haute impédance. Avec les entrées appropriées de données, chaque paire de conducteurs forme un pont en H d'entraînement réversible adapté aux applications des électrovannes ou moteurs. Sur le L293D, des diodes sont intégrées pour réduire la complexité du système et la taille globale du système. Un terminal de VCC1, séparée de VCC2, est prévu pour les entrées logiques pour minimiser la dissipation de puissance périphérique. Ce dispositif est caractérisé pour un fonctionnement de 0 ° C à 70 ° C.

Le shield comporte 2 puces L293D, drivers de moteurs, et un registre à décalage 74HC595 à été adopté pour le commande des moteurs de notre chariot, le shield L293D s'emboîte directement sur une carte Arduino (Uno, Mega...) et rajoute des fonctions de commande de moteur

à courant continu et pas à pas : réglage de la vitesse (par pas de 0.5%) et du sens de rotation des moteurs.

Il peut gérer simultanément grâce à 4 ponts en H :

- 4 moteurs à courant continu DC ou 2 moteurs pas à pas (unipolaires ou bipolaires) en mode une seule bobine, double bobine, demi pas, ou micro pas.
- Il gère en même temps 2 servomoteurs de modélisme (standard 5V).

Une bibliothèque permet de gérer les accélérations et freinages des moteurs pas à pas.

Le PWM peut aussi commander un solénoïde, une intensité d'éclairage, un relais...avec les 8 demi-ponts.

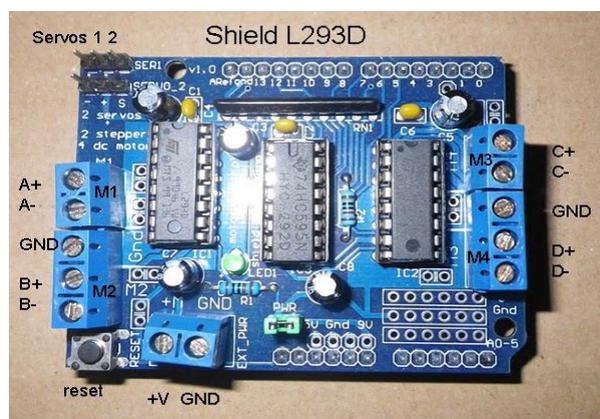


Figure 4.07 Borniers shield L293D

Caractéristiques techniques :

- L'alimentation des moteurs est possible entre 4.5 V et 36V.
- Il y a 4 canaux de haute tension, haute intensité avec 0.6A par pont (1.2A en courant de crête) avec protection thermique.
- Un bouton de reset.
- Des résistances de pull down désactivent les moteurs au cours de la mise sous tension.
- 2 interfaces d'alimentation pour séparer la partie logique de la partie puissance (moteurs)

. Celui-ci étend 3 pins de l'Arduino vers 8 pins pour contrôler la direction des drivers de moteurs.

Les sorties output enable des L293D sont directement connectées aux sorties PWM de l'Arduino (modulation de largeur d'impulsions), pour le contrôle de la vitesse de rotation des moteurs.

Une entrée 5V permet de ne pas utiliser le 5V de la carte Arduino pour alimenter les servo moteurs et éviter de faire chauffer la carte.

4.3.3 Moteurs électrique

Le moteur électrique a pris une place prépondérante parmi les actionneurs utilisés dans la robotique parce qu'il a un certain nombre d'avantages parmi lesquels : [2]

Une énergie facilement disponible, soit à partir du secteur soit à partir des batteries pour les engins autonomes.

Une adaptation aisée de l'actionneur et de sa commande du fait de la nature électrique de l'ensemble des grandeurs.

Type de moteur

Les moteurs rencontrés dans le domaine de la robotique sont essentiellement de trois types : [2]

- ✓ Le moteur à courant continu: représente la solution traditionnelle lorsqu'on a besoin de commander une vitesse ou une position, mais nécessite un asservissement.
- ✓ Le moteur à courant continu sans balais: est en fait une machine alternative associée à un commutateur électronique qui peut remplacer le moteur à courant continu classique avec des caractéristiques similaires.
- ✓ Le moteur pas à pas: est à la base un actionneur de positionnement ne nécessitant pas d'asservissement, mais peut être aussi utilisé pour une commande déplacement.

Moteur à courant continue

Pour son fonctionnement le moteur à courant continu se compose

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

Lorsque la bobine d'un inducteur du moteur est alimentée par un courant continu, sur le même principe qu'un moteur à aimant permanent, il crée un champ magnétique de direction Nord-sud. Une spire capable de tourner sur un axe de rotation est placée dans le champ magnétique. De

plus, les deux conducteurs formant la spire sont chacun raccordes électriquement à un collecteur et alimentés en courant continu via deux balais frotteurs.

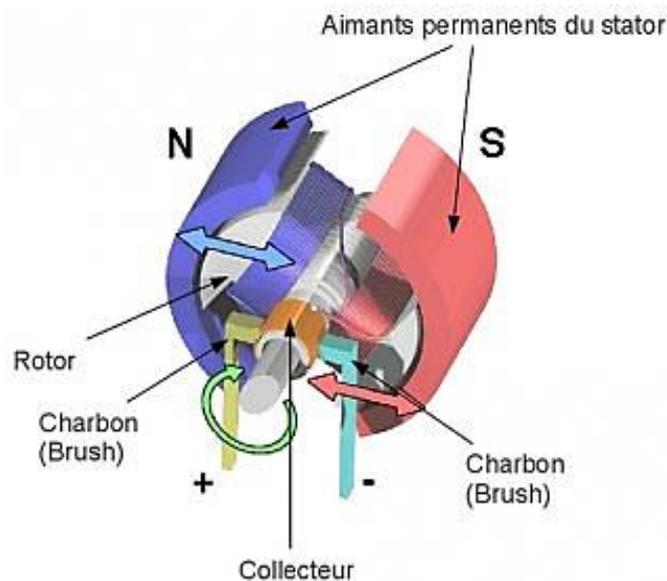


Figure 4.08- Moteur électrique[9]

Susceptible de se comporter soit en « moteur » soit en « générateur », les MCC dans le régime de fonctionnement des ascenseurs à traction, le treuil à courant continu peut :

Tantôt fonctionner en moteur lorsque le système cabine et contrepoids s'oppose au mouvement de rotation (charge dite "résistante"); le moteur prend de l'énergie au réseau.

Tantôt travailler en générateur lorsque le même système tend à favoriser la rotation (charge dite "entraînante"); le générateur renvoie de l'énergie au réseau

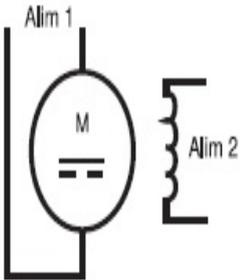
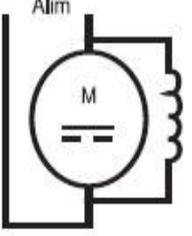
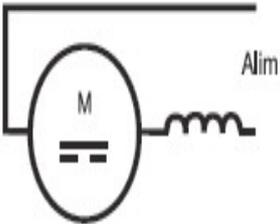
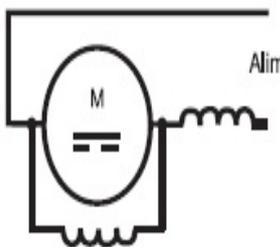
Accompagné d'un variateur de vitesse électronique, Les MCC possède une large plage de variation (1 à 100 % de la plage), régulation précise du couple, son indépendance par rapport à la fréquence du réseau fait de lui un moteur à large champ d'application,

Néanmoins elles sont, peu robuste par rapport au machine asynchrone, nécessite un investissement important et maintenance coûteuse (entretien du collecteur et des balais)

Type de moteur à courant continu :

En remplaçant les aimant par des électro aimants fixe appelés bobine inductrices. On retrouve en général 4 types de moteur selon le branchement envisagé :

Tableau 4.0 3-Type de Moteur CC

Moteurs à excitation indépendante	Moteurs à excitation parallèle	Moteurs à excitation série	Moteurs à excitation composée
<p>Moteur à excitation séparée</p> 	<p>Moteur à excitation shunt</p> 	<p>Moteur à excitation série</p> 	<p>Moteur à excitation composée</p> 
<p>Dans le cas d'un inducteur bobine, necessite deux alimentations .Petites puissances pour les moteur a aimants permanents</p>	<p>Vitesse relativement constante. Absence d'emballement a vide</p>	<p>Fort couple a la base vitesse Autoregulateur de puissance: la vitesse décroit lorsque la charge augmente</p>	<p>Couple de demarage meilleur en derivation mais plus faible en serie .Vitesse relativement stable quelle que soit la charge</p>

Moteur à courant continue sans balais

Moteur sans Balais, a une structure inversée par rapport au moteur à courant continu .Les aimants sont au rotor et les bobinages sont au stator .La particularité de ce moteur est qu'il est conçu grâce aux capacités de l'électronique moderne .Les phases de ce type des moteur sont alimentées successivement par un commutateur de phase électronique .Par contre ce n'est plus une horloge extérieur de communication ,mais la position fixe l'instant de communication ,mais la position du rotor par intermédiaire de capteurs. Le couple moteur dépendant pour chaque phase de la position du rotor au stator, les capteurs sont donc places de manière à obtenir en permanence un couple maximum

Le moteur pas à pas

Il existe trois types de moteur pas à pas: les moteurs à aimants permanents et les moteurs à réluctance variable et les moteurs hybrides [13].

Malgré les différences existant entre les moteurs, le résultat recherché est l'avance d'un seul pas, c'est-à-dire la rotation de leur axe suivant un angle déterminé à chaque impulsion que l'une ou l'autre de leurs différentes bobines recevra. Cet angle, qui varie selon la constitution interne du moteur, est en général compris entre 0.9° et 90° .

Les moteurs les plus couramment rencontrés possèdent des pas de :

- $0,9^\circ$ soit 400 pas par tour.
- $1,8^\circ$ soit 200 pas par tour.
- $3,6^\circ$ soit 100 pas par tour.
- $7,5^\circ$ soit 48 pas par tour.
- 15° soit 24 pas par tour.

Il est évident que les moteurs pas à pas, de par leur technologie, présentent une très grande précision et une durée de vie quasi illimitée, l'usure mécanique étant pratiquement inexistante (absence de frottements).

Afin que le robot soit capable de se déplacer il est nécessaire d'utiliser les moteurs, et parce qu'on a décidé de réaliser un robot à entraînement différentiel alors on utilise des moteurs à courant continu pour commander les deux roues arrière.

Nous avons utilisé deux moteurs avec réducteur présentés par la figure suivante. Pour commander le mobile et la rotation des roues. Le premier moteur est responsable pour commander les roues du côté à droite, et le deuxième moteur commande les roues du côté gauche. Pour marcher en avant le chariot, alimenté les deux moteurs en même temps en même sens (avant), et en sens inverse pour l'arrière, pour la rotation (gauche / droite) alimenté les deux moteurs en sens inverse l'une à l'autre.

Caractéristique du moteur

- Alimentation : 3-6Vcc
- Courant de charge : 70 mA -200 mA
- Couple max : 800gf
- Rapport de réduction de 1:48
- Vitesse à vide : 200 RPM \pm 10%



Figure 4.09- Motoréducteur 1 :48

4.4 Réalisation

Cette dernière partie de l'ouvrage propose une réalisation du robot. Rappelons que le robot est un chariot à vitesses différentielles : deux moteurs de propulsion couplés à deux roues motrices. Les roues motrices étant disposées à l'avant et deux roue-libre assurant la stabilité est disposée à l'arrière du chariot, ainsi le centre de masse se retrouve le plus près possible de l'axe des roues motrices.

Le plan à suivre est le suivant : tout d'abord une présentation générale du robot est faite, cela ayant pour but de constater l'agencement de tous les éléments le constituant ; ensuite une vue détaillée sur les différentes conceptions (conception mécanique, électronique et ainsi que la conception informatique) sera développée.

4.4.1 Présentation du projet

En général, notre robot sera commandé soit par les informations perçues des capteurs infrarouges soit par un téléphone android via une application implémenté dedans. Pour le premier mode, les capteurs infrarouges envoi des impulsions qui seront traduites en position, via un microcontrôleur .En fonction de cette position une commande reconnue par les deux moteurs est générer afin de redresse le chariot dans la position voulue. Pour le mode manuel, le chariot est doté d'un module récepteur ainsi recevoir les impulsions envoyer par le téléphone qui seront ensuite traduites en commande reconnue par les deux moteurs via le microcontrôleur.

4.4.2 Conception Informatique

Programmation

Dans cette section nous verrons toutes les étapes de programmation avec la reconnaissance de la ligne, puis le suivi de la ligne par les moteurs voir programme en annexe. Ainsi que la liaison série .Pour faciliter la programmation, nous allons créer des fonctions aux lieux de les repérer à chaque fois.

Le programme implémenter dans l'arduino est divisé en étapes simples. Lire la commande venant du module Bluetooth ,sélectionner une fonction à partir de la commande reçue et contrôler les moteurs en fonction du mode sélectionner .Le robot reçoit la commande, selon cette dernière il fonctionne soit automatiquement ou manuellement .Dans le fonctionnement automatique, il détecte la présence de ligne ou non sur le sol, si oui il génère un trajet en suivant cette ligne jusqu'à la fin de celui-ci .En chemin si le robot détecte un obstacle ,il devrait s'arrêter jusqu'à ce qu'on ne le détecte plus, et continue aussitôt son trajet .En ce qui concerne le fonctionnement manuel, il reçoit l'ordre puis agit selon lui, Les ordre sont avancer ,reculer ,tourner a droite, tourner a gauche , reprise de la mode suiveur de ligne

Algorithme de programme

Dans le programme on a créé les fonctions suivant :

- Fonction moteur :décrit le mouvement a effectuer soit avancer(),arrêter(),gauche(),droite(),pivoter G(),pivoterD()
- commande série():pour pour la réception des ordres du téléphone Android
- mode suiveur () : pour la suivie de ligne automatique

On doit tout d'abord initialiser le microcontrôleur pour permettre son fonctionnement. Ensuite, on reçoit des données provenant d'un sous-programme qui nous fournit le sens de rotation des moteurs. Selon les données reçues, le programme envoie des signaux qui permettent de gérer la direction des moteurs, c'est-à-dire sa marche avant, sa marche arrière, rotation ou arrêt.

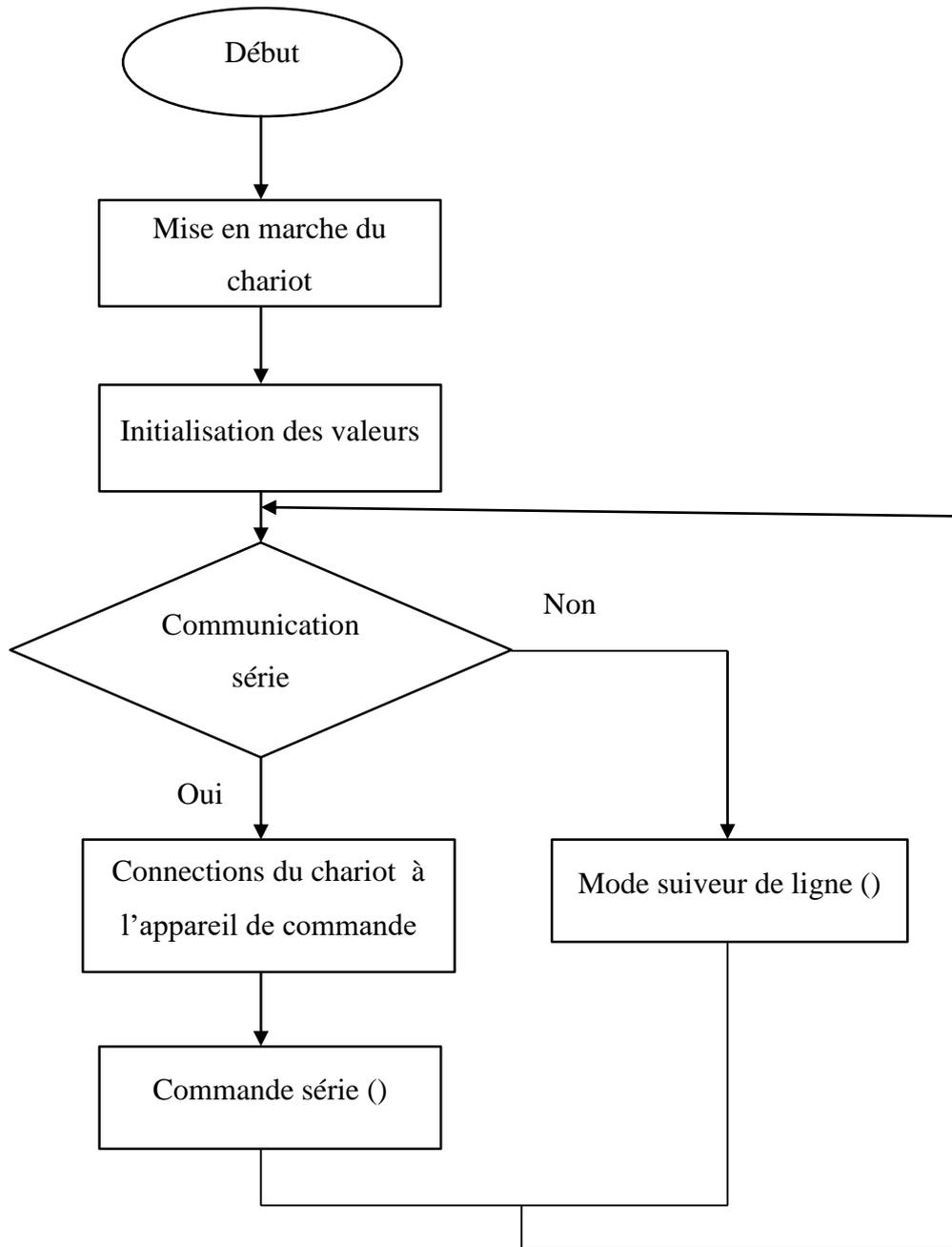


Figure 4. 10- Organigramme principal

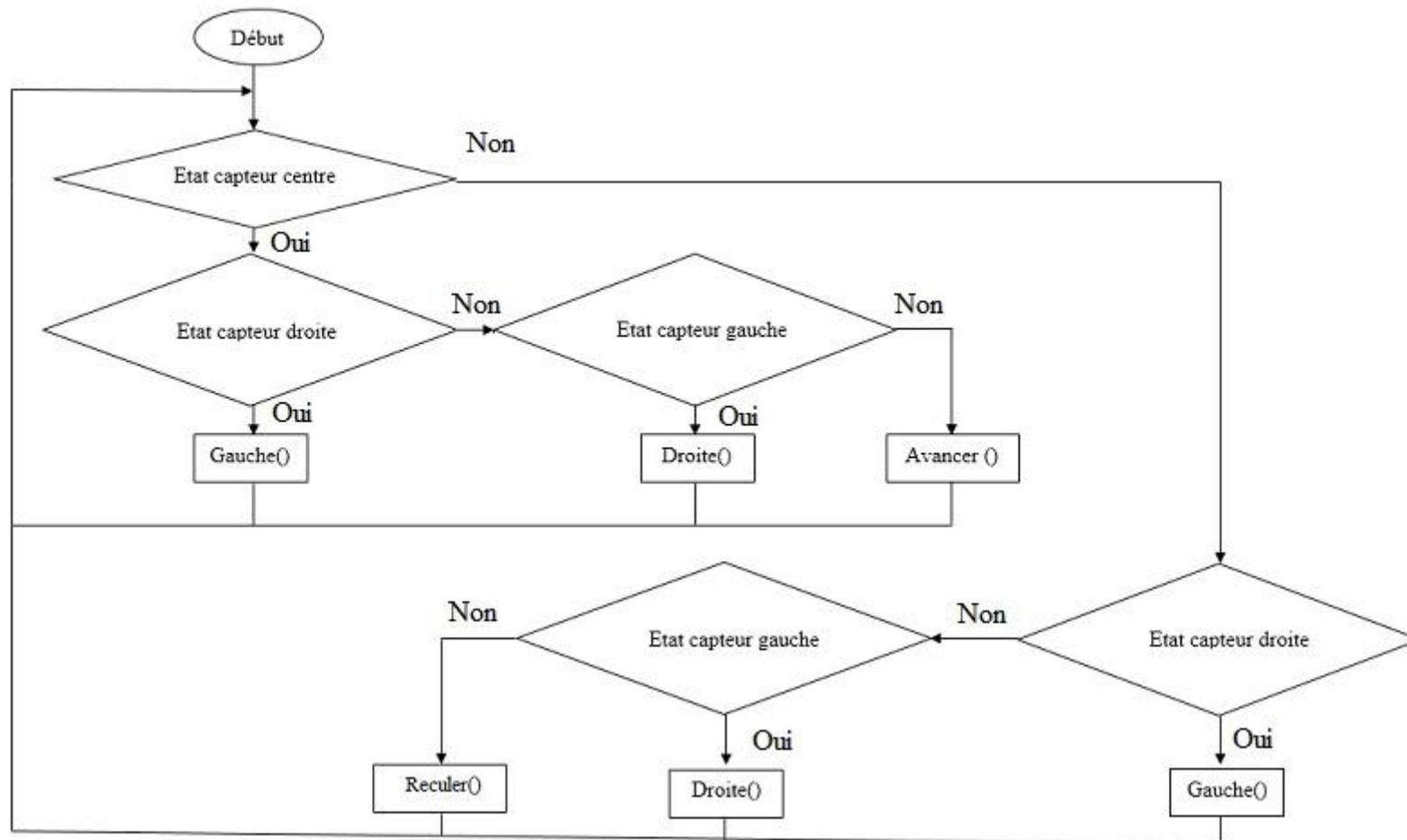


Figure 4.11- Organigramme du sous-programme suiveur de ligne

Contrôle à distance

Pour contrôler le robot à distance nous avons utilisé le logiciel Appinventor pour créer une télécommande spéciale pour le robot. La création d'une nouvelle télécommande se fait par l'ajout de la touche nécessaire puis la configuration des ordres émis par chaque touche.

Notre application présente 9 boutons, 6 d'entre eux représentent les directions du robot, et les 3 restes représentant les modes de fonctionnement du chariot. En outre, il y a un affichage pour gérer la connexion au Bluetooth.



Figure 4.12- Interface de l'application

Lorsqu'on appuie sur un bouton la commande correspondante est envoyée via Bluetooth sous forme de caractère.

Tableau 4.04- Correspondance bouton de l'application, commande et mouvement du chariot

Bouton	Commande	Mode/Mouvement
Haut	w	Avancer
Bas	s	Reculer
Stop	q	Arrêter
Gauche	a	Tourner à gauche
Droite	d	Tourner à droite
PDroite	z	Pivoter à droite
PGauche	x	Pivoter à gauche
Suiveur	2	Mode suiveur de ligne

4.4.3 Conception mécanique

La partie mécanique de notre réalisation concerne le choix des matériaux utilisés. La plate-forme est de forme rectangulaire de 15 cm de largeur et 20 cm de longueur afin de supporter à la fois le circuit de commande et la batterie d'alimentation. Il sera découpé dans une plaque de plastique. Les roues motrices ont 6,5 cm de diamètre et les deux roues folle 2,5 cm de diamètre. Les roues doivent assurer un roulement sans glissement.

Le haut du robot, c'est sur ce support que viendra la carte mère et l'interrupteur général qui ont été ajouté plus tard. Pour pouvoir commander l'alimentation du robot on y ajoutera également l'alimentation (batterie). Le dessous du robot, cette partie est celle qui supportera la plupart du poids du robot, on y fixera le bloc moteur, ainsi que les capteurs. Pour fixer la carte capteurs nous avons utilisé des petites équerres que nous avons dû recouper pour être le plus près possible du sol.

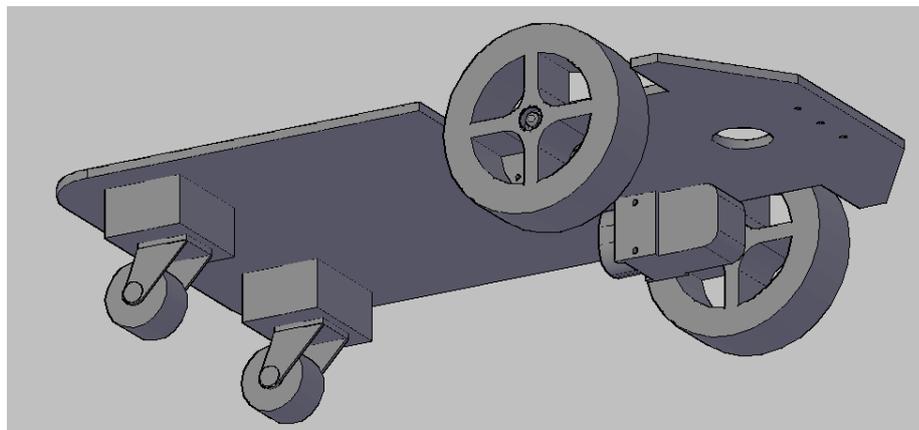


Figure 4.13- Châssis du chariot



Figure 4.14 – Schéma du chariot vue latérale droite

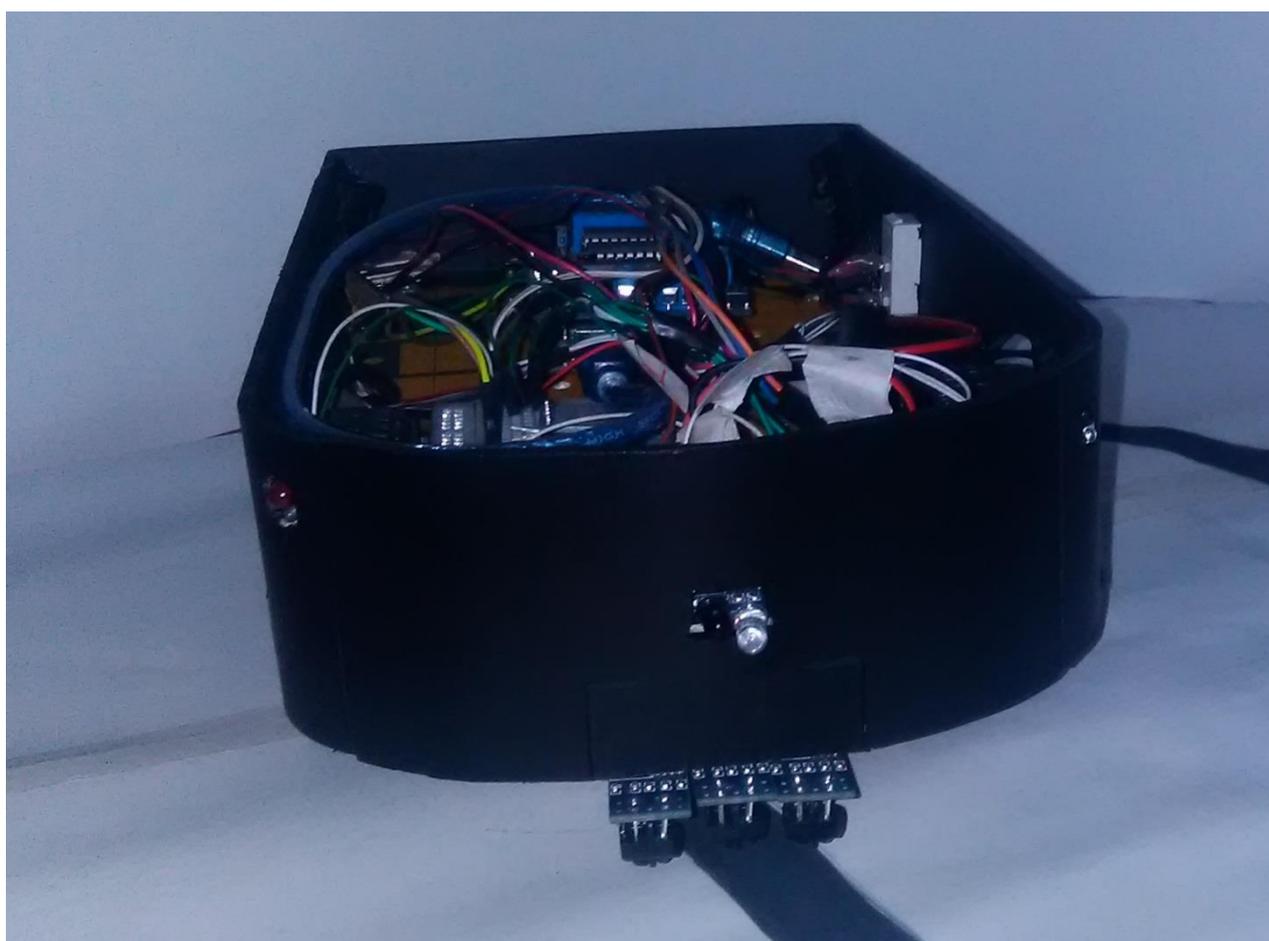


Figure 4.15- Schéma du chariot vue avant haut

4.4.4 Conception électronique

Les différents câblages et montages des composants électroniques sont présentés dans cette section

Inventaire des composants :

- ~ Carte Arduino UNO R3
- ~ Module de capteur infrarouge TRCTR5000
- ~ Module Bluetooth HC-05
- ~ Capteur ultrason HC-SR04
- ~ Shield moteur L293D
- ~ Moteur DC

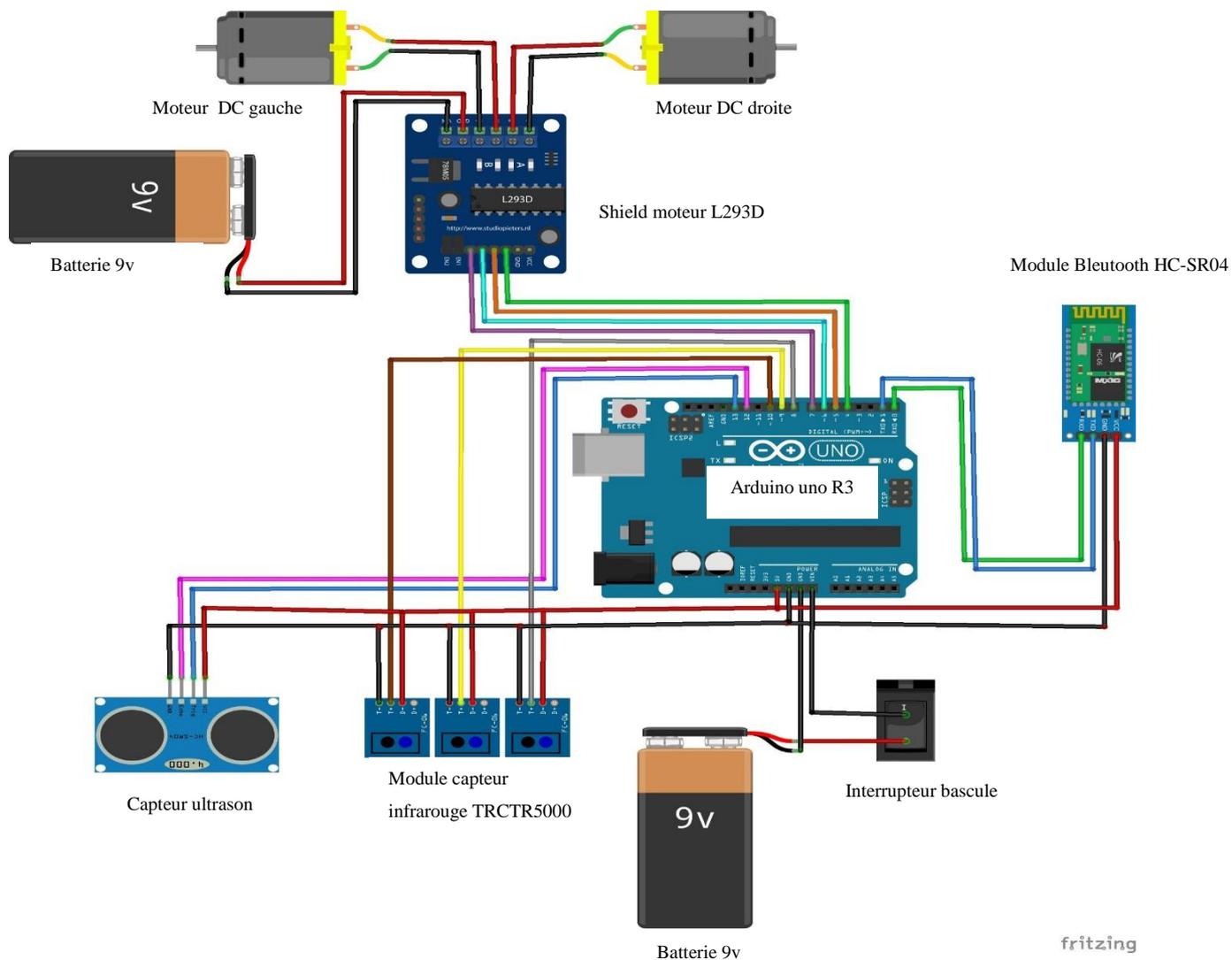


Figure 4.16 - Schéma de montage des composants

4.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons explicité les différentes étapes qui nous ont permis de réaliser ce robot, les composants utilisés et leurs tâches, on a présenté aussi une description générale du programme Arduino implémenté sur la carte électronique.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce projet couvre un grand nombre de domaines. La partie hardware : on a utilisé une carte de commande Arduino uno, qui se caractérise essentiellement par la programmation directe par un ordinateur pour la commande de deux moteurs DC, ces composants sont monté sur le châssis du robot. La partie software : on a utilisé le langage C, pour la réalisation de notre programme après la configuration des matériels utilisé.

Consistant à l'étude et la mise en œuvre d'un robot suiveur de ligne. Ce travail exige la maîtrise de plusieurs notions techniques aussi bien le domaine électronique et celui de l'informatique, ce que fait que nous avons eu l'occasion à découvrir.

Ainsi, cette première approche dans l'étude du mouvement d'un robot mobile fut un pas pour s'initier dans le domaine de l'automatique mobile qui est très vaste, plusieurs études sur la modélisation du robot mobile reste à voir dont la considération des obstacles présents au cours du mouvement (ce qui implique une étude de l'odométrie visuelle), la considération d'un roulement avec glissement ,étant donné que dans le cas réel, la qualité, la structure ainsi que le paramètre d'adhérence des roues utilisés influencent le mouvement sur l'existence d'un temps de retard qui pourrait ne pas être négligé, la prise en compte des caractéristiques du terrain de travail comme les terrain en pente, sol plat ou rugueux, et tant d'autre. Cependant les intérêts qu'il nous apporte sont d'ores-et-déjà nombreux dont toutes applications sur le guidage d'engins ; assistance de conduite, control d'une main robot, etc, pour le quotidien de demain.

ANNEXES

Annexe 1: Extrait code source

```
#include <AFMotor.h>
#include <SoftwareSerial.h>

//DÉCLARATIONS EN LIEN AVEC LES MOTEURS
AF_DCMotor motor1(1);
AF_DCMotor motor2(2);

//DÉCLARATION DES VARIABLES EN LIEN AVEC LE CHOIX DU MODE
int choixMode = 1;
int choixModeSuiveur = 2;
int etatcapteurObstacle = 0;
char valSerie;
const int capteurObstacle = 14;

//DÉCLARATIONS EN LIEN AVEC LES CAPTEURS DE LUMINOSITÉ
const int capteurGauche = 17;
const int capteurCentre = 19;
const int capteurDroit = 18;
bool etatCapteurGauche;
bool etatCapteurCentre;
bool etatCapteurDroit;

//SETUP
void setup()
{
  //Initialisation de la communication série
  Serial.begin(9600);

  //Initialisation des broches des moteurs
  motor1.run(RELEASE);
```

```

motor2.run(RELEASE);

// Initialisation des broches de sortie pour les LED
pinMode(2, OUTPUT);
pinMode(15, OUTPUT);
pinMode(16, OUTPUT);

digitalWrite(2, HIGH);
delay(500);
digitalWrite(2, LOW);

//Initialisation du capteur de distance
pinMode(capteurObstacle, INPUT);

//Initialisation des capteurs de couleur
pinMode(capteurGauche, INPUT);
pinMode(capteurCentre, INPUT);
pinMode(capteurDroit, INPUT);
}

//BOUCLE
void loop()
{
  Obstacle();
  commandeSerie();
  if(choixMode == choixModeSuiveur)
  {
    modeSuiveur();
  }
}

```

Annexe 2 : L293D DATASHEET

L293D

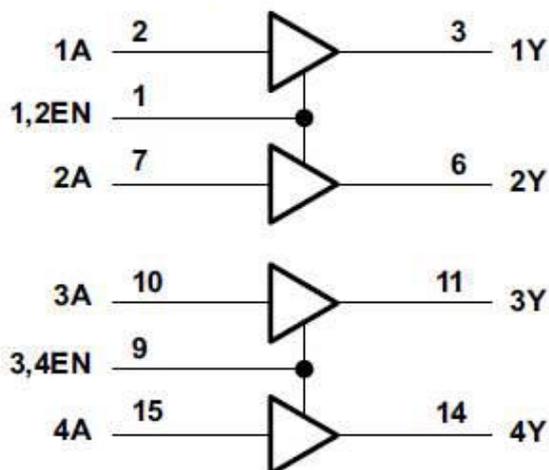
- Large gamme de tension d'alimentation: 4,5 V à 36 V
- Entrée-logique séparée.
- Protection ESD interne.
- Entrées haut immunité –bruit-
- Sortie courant 1 A par canal (600 mA pour L293D)
- Courant, sortie crête 2 A par canal (1,2 A pour L293D)
- Sortie Clamp Diodes pour suppression des Inductive transitoires (L293D)
- Courant, sortie crête 2 A par canal (1,2 A pour d'autres charges à courant élevé / haute tension en enpositif L293D).
- Pilotes de moteur pas à pas.
- Entraînements moteur DC
- Pilotage des relais de verrouillage

Device Information⁽¹⁾

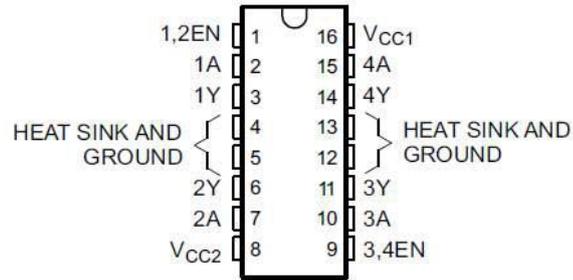
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
L293NE	PDIP (16)	19.80 mm × 6.35 mm
L293DNE	PDIP (16)	19.80 mm × 6.35 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Logic Diagram



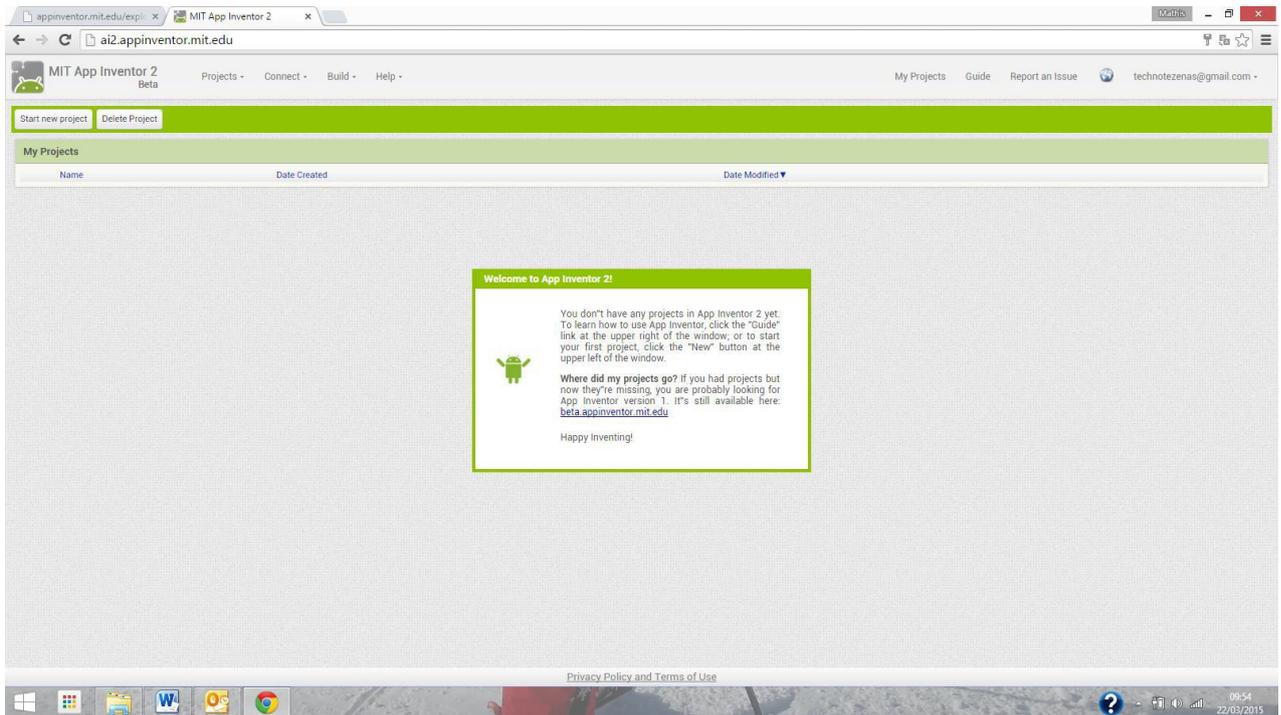
NE Package
16-Pin PDIP
Top View



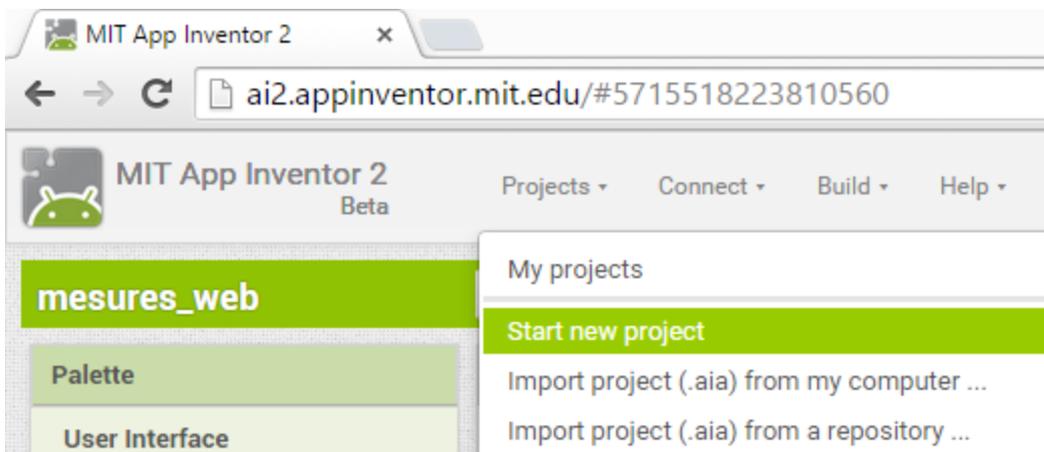
Pin Functions

PIN		TYPE	DESCRIPTION
NAME	NO.		
1,2EN	1	I	Enable driver channels 1 and 2 (active high input)
<1:4>A	2, 7, 10, 15	I	Driver inputs, noninverting
<1:4>Y	3, 6, 11, 14	O	Driver outputs
3,4EN	9	I	Enable driver channels 3 and 4 (active high input)
GROUND	4, 5, 12, 13	—	Device ground and heat sink pin. Connect to printed-circuit-board ground plane with multiple solid vias
V _{CC1}	16	—	5-V supply for internal logic translation
V _{CC2}	8	—	Power VCC for drivers 4.5 V to 36 V

Annexe 3 : IDE d'AppInventor



Démarrez un nouveau projet.



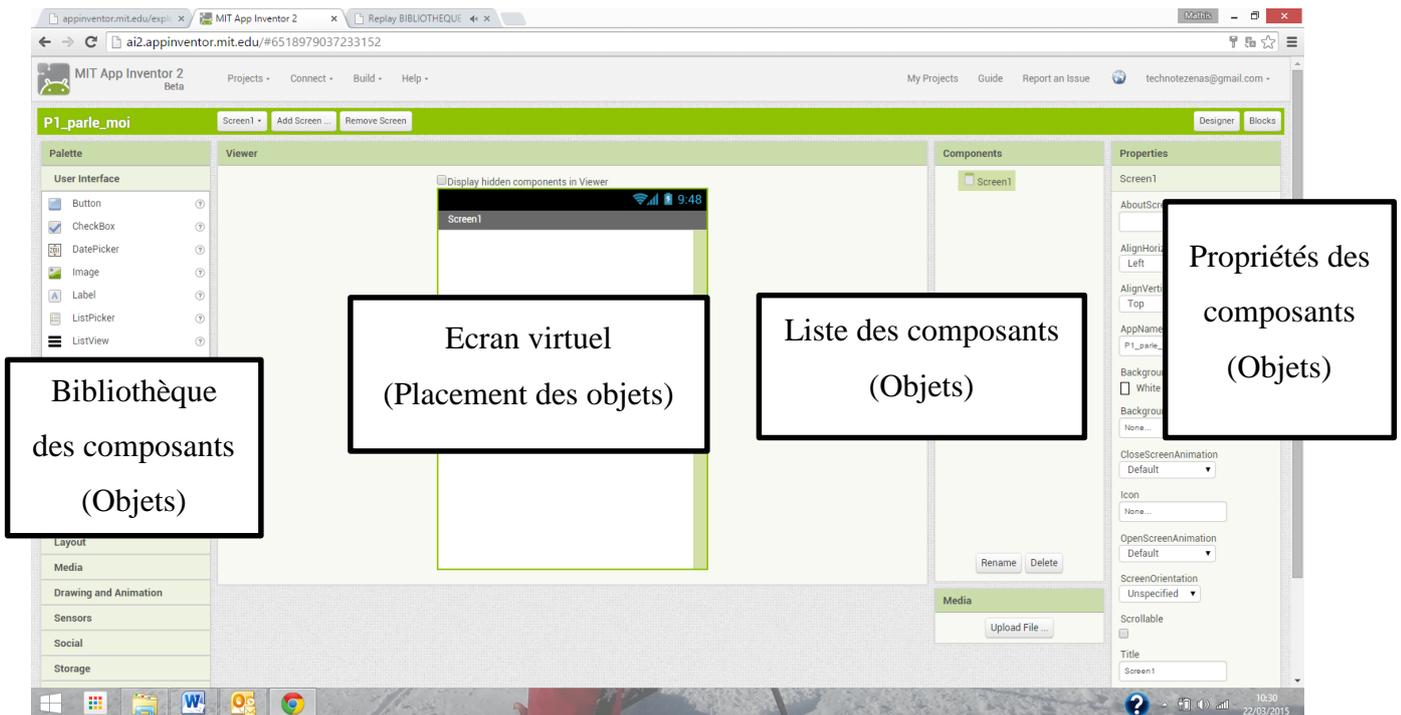
Cliquez sur Projects / Start new project.



Taper le nom de votre projet : EX_7_4_affichage



Vous obtenez l'écran de travail suivant :



REFERENCES

- [1] //fr.made-in-china.com/co_minder-hightech/product_Industrial-6-Axis-Multifunctional-Manipulator-Robot-Arm-Machine-for-Automatic-Inspection-Line_rnunonuhg.
- [2] A. ALLOUI, A.HAJ Brahim . « Proposition d'une solution multi-agent pour la commande et la coopération multi-robot mobile » . (2007).
- [3] B. BAYLE «Robotique Mobile», Ecole Nationale supérieur de Strasbourg, (2008).
- [4] BABESSE SAAD. « Contribution à La simulation et au contrôle d'un minirover sous l'effet de l'interaction Roue/sol» . (2008).
- [5] Bernard BAYLE . Telecom Physique Strasbourg ,Université de Strasbourg Robotique mobile.
- [6] Bouali Abdelmalek. « Planification de trajectoire pour un robot mobile ». (2012).
- [7] <http://www.lafabriquediy.com/tutoriel/liste-des-capteurs-229/>
- [8] <http://www.rocla-agv.com>
- [9] [http://www.Moteuracourantcontinue.org/Moteur a courant continue](http://www.Moteuracourantcontinue.org/Moteur%20a%20courant%20continue)
- [10] <http://www.Robot.org/Robot>
- [11] <https://sites.google.com/site/gpa141ginfberm/organe-effecteur>
- [12] Julien Beaudry. « Projet Spinós: Conception et contrôle d'un robot mobile à vitesses différentielles ». (2001).

- [13] Khat Abdelaziz, Ouzaïd Saïd. « Etude de la manœuvrabilité d'un robot mobile autonome non-holonome évoluant dans un espace restreint ».
- [14] L293d Datasheet francais.compressed.Pdf
- [15] Nijmeijer. «Commande non-linéaire». 90
- [16] P. Morin et C. Samson. «Introduction à la commande par retour d'état des systèmes non-holonomes». (2003).
- [17] Rached Dhaouadi and Ahmad Abu Hatab. « Dynamic Modelling of Differential-Drive Mobile Robots» . (2013).
- [18] Roland LENAIN. « Contribution à la modélisation et à la commande des robots mobiles en présence de glissement ». (2005).
- [19] Saedd B.Niku . « Introduction to robotics : analysis, control, applications»
- [20] SLIMANE Noureddine. « Système de localisation pour robots mobiles ». (2005).

FICHE DE RENSEIGNEMENTS

Nom : RAZAFIMANDIMBY
Prénoms : Solofomanana Roberto
Adresse de l'auteur : Lot 03 F 51 à Ambavahadimangatsiaka
Téléphone : 0348085046
E-mail : Razafimandimbyroberto@gmail.com



Titre du mémoire : Chariot suiveur de ligne

Nombre de pages : 58

Nombre de tableaux : 06

Nombre de figures : 37

Encadreur pédagogique : Monsieur RANDRIANAMBNINTSOA Léon Manitra

Téléphone : 0387080943

RESUME ET MOTS CLES

Ce travail a pour but de concevoir et commander un chariot. Robot mobile à deux roues motrices et à deux roues directrices, il est soit commandé à distance par une application Android et une liaison Bluetooth ou soit automatiquement par la position d'une ligne noir tracer sur fond blanc. Ces commandes gèrent directement les mouvements du chariot, le déplacement de cet engin dépend de la tension appliquée à chaque moteur. Lorsque ces vitesses sont identiques, son mouvement est rectiligne uniforme. Dans le cas contraire, le robot effectue, soit un virage à gauche, soit un virage à droite selon la vitesse de chaque moteur. Pour le cas de la marche arrière, le sens du courant de la bobine change.

Mots clés : robot mobile, suiveur de ligne, application Android

ABSTRACT AND KEYS WORDS

This work aims to design and order a carriage. Mobile robot with two driving wheels and two steering wheels, it is either command by an android app and a Bluetooth link or is automatically by the position of black line mark on white fong. These command gener directly the carriage movements,the displacement of this machine depend of the voltage applied to each motor When these speeds are identical ,its movement is straight uniform.In the opposite case ,the robot performs either a left or a right turn according to the speed of each motor.For the case of the reverse, the direction of the coil current changes

Keys words : mobile robot ,line follow ,android application