



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO  
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE  
\*\*\*\*\*  
DEPARTEMENT ELECTRONIQUE  
\*\*\*\*\*



**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur**

**CONCEPTION ET REALISATION  
D'UN ROBOT MOBILE NON  
HOLONOME**

**Spécialité : ELECTRONIQUE  
Option : ELECTRONIQUE AUTOMATIQUE**

**Présenté par :**

**ANDRIAMAMPIANINA Mirindra Harivelo**

**Soutenu le : 10 septembre 2013**

**Numéro d'ordre : 03/EN/EA/2012**

**Année universitaire : 2011-2012**



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO  
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

\*\*\*\*\*  
DEPARTEMENT ELECTRONIQUE  
\*\*\*\*\*

**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur**

**CONCEPTION ET REALISATION  
D'UN ROBOT MOBILE NON  
HOLONOME**

**Spécialité :** ELECTRONIQUE

**Option :** Electronique Automatique

**Présenté par :** ANDRIAMAMPIANINA Mirindra Harivelo

**Devant le Jury :** RASTEFANO Elisée  
ANDRIAMANANTSOA Guy Danielson  
RANDRIAMAROSON Rivo Mahandrisoa  
HERINANTENAINA Edmond Fils

**Rapporteur :** RATSIMBA Mamy Nirina

**Numéro d'ordre :** 03/EN/EA/2012

**Soutenu le :** 10 Septembre 2013

**Année Universitaire :** 2011-2012

## REMERCIEMENTS

*Je remercie Dieu pour son Amour et sa Bonté, de m'avoir donné la force, la santé et le temps nécessaire pour réaliser ce mémoire.*

*J'adresse mon remerciement à Monsieur ANDRIANARY Philippe, professeur et Directeur de l'Ecole Polytechnique d'Antananarivo de m'avoir permis de poursuivre ma formation au sein de l'Ecole.*

*Je remercie également mon encadreur Monsieur RATSIMBA Mamy Nirina, Chef de Département de la filière Electronique, qui malgré ses lourdes responsabilités, m'a toujours prodigué ses conseils et ses critiques constructifs durant l'élaboration de ce travail. Je tiens à lui adresser toute ma gratitude.*

*Je remercie aussi Monsieur RASTEFANO Elisée d'avoir accepté de présider le jury de ce travail.*

*Merci aussi à Monsieur ANDRIAMANANTSOA Guy Danielson, Monsieur RANDRIAMAROSON Rivo Mahandrisoa, Monsieur HERINANTENA Edmond Fils, tous enseignants au sein du département électronique, d'avoir bien voulu juger et examiner ce travail.*

*Merci à toute l'équipe pédagogique du Département Electronique qui a généreusement fourni les bases de mes connaissances et savoirs, sans leurs efforts ma formation n'aurait pas atteint ce stade.*

*Enfin, merci à ma famille pour leur soutien bienveillant et leur encouragement pour ce mémoire, comme en toutes circonstances. Plus particulièrement, à mes parents pour leurs sacrifices durant ces longues années afin que je puisse arriver à ce niveau et pour tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.*

*Merci à toutes et à tous.*

*Mirindra*



## **RESUME**

Notre travail a pour but de concevoir un robot mobile commandé par WiFi. La commande à distance d'un robot mobile à deux roues motrices et à deux roues directrices par WiFi consiste à utiliser un logiciel de contrôle pour localiser ce système. Cette commande gère directement les mouvements non holonome du robot et 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 les vitesses de chaque moteur. Pour le cas de la marche arrière, le sens du courant de la bobine change.

## ABSTRACT

The purpose of our work is to design a mobile robot ordered by WiFi. The remote control of a mobile robot with two driving wheels and two steering wheels by WiFi consists to use software of control to locate this system. This command directly manages the non-holonomic movements of the robot, and the movement of this machine depends on the applied voltage to each engine. If the speeds of the engines are identical, the movement of the robot is rectilinear uniform. In the contrary case, the robot carries out, either a turn on the left, or a turn on the right according to the speed of each engine. In case of backward, the current direction of the induction-coil changes.

## TABLE DES MATIERES

<i>REMERCIEMENTS</i> .....	i
RESUME .....	ii
ABSTRACT .....	iii
LISTE DES ACRONYMES .....	vii
NOMENCLATURES ET LETTRES GRECS .....	viii
LISTE DES FIGURES .....	x
INTRODUCTION GENERALE .....	1
Chapitre I. ETAT DE l'ART .....	2
I. GENERALITES SUR LA ROBOTIQUE .....	2
I.1. Définition .....	2
I.2. Historique .....	2
I.3. Intérêt .....	3
I.4. Catégories .....	3
II. LE ROBOT MOBILE .....	4
II.1. Définition générale .....	4
II.2. Constitution d'un robot mobile .....	4
II.2.1. Structure mécanique .....	5
II.2.2. La charge utile .....	6
II.2.3. La structure de commande .....	6
a. Perception de l'environnement	
b. Communication homme-système embarqué	
c. Commande	
II.3. Principe de base de la navigation d'un robot mobile .....	7
II.3.1. Les systèmes de perception .....	7
II.3.2. Les méthodes de localisation .....	8
a. Localisation par estime	
b. Localisation absolue	
c. Localisation par méthode hybride	
II.3.3. Les méthodes de localisation-modélisation simultanées de l'environnement .....	9
III. L'ACTIONNEUR MECANIQUE .....	10

III.1. L'actionneur pas à pas.....	10
III.2. Les caractéristiques mécaniques et électriques .....	12
III.2.1.Caractéristiques mécaniques.....	12
III.2.2.Caractéristiques électriques.....	12
Chapitre II. CONCEPTION THEORIQUE D'UN ROBOT MOBILE NON HOLONOME...	15
I. MODELISATION DU SYSTEME MECATRONIQUE.....	15
I.1. Modèle du robot .....	15
I.1.1.Roulement sans glissement et contraintes non holonomes .....	15
I.1.2.Modèle cinématique .....	16
I.1.3.Modèle odométrique.....	18
I.2. Calcul de la nouvelle position .....	20
II. MODELISATION DE L'ACTIONNEUR .....	20
II.1. Modèle du moteur .....	20
II.2. La régulation en vitesse du moteur .....	23
II.3. Les commandes du moteur .....	24
II.3.1.Le fonctionnement à pas entiers .....	24
a. Mode 1 : Commande à pas entier, une phase ON	
b. Mode 2 : Commande symétrique à pas entier, deux phases ON	
II.3.2. Les commandes en demi-pas : une ou deux phases ON .....	26
a. Mode 3 : Commande asymétrique en demi pas, une ou deux phases ON	
b. Mode 4: Commande symétrique en demi pas, une ou deux phases ON	
II.3.3. La Commande micropas .....	27
Chapitre III. LE COMPORTEMENT STATIQUE ET DYNAMIQUE DU MOTEUR.....	29
I.1. La fonction de transfert .....	29
I.2. Les diagrammes de Bode et Nichols .....	29
I.2.1.Diagramme de Bode .....	30
I.2.2.Diagramme de Nichols.....	31
I.2.3.La réponse à un échelon de tension .....	31
I.3. La régulation PID du moteur .....	32
Chapitre IV. REALISATION DU PROJET : COMMANDE A DISTANCE D'UN ROBOT MOBILE PAR WIFI.....	35

I.	PRESENTATION DU TRAVAIL .....	35
I.1.	Le But.....	35
I.2.	Les matériels.....	35
II.	LE PROCESSUS DE LA REALISATION .....	37
II.1.	Electronique.....	37
a.	Les spécifications fonctionnelles de la commande des moteurs	
b.	Le circuit de commande	
II.2.	Informatique .....	41
II.3.	Mécanique.....	43
	CONCLUSION GENERALE .....	45
	ANNEXE 1 .....	46
	ANNEXE 2 .....	48
	REFERENCES	

## **LISTE DES ACRONYMES**

AES: Advanced Encryption Standard  
CAN: Convertisseur Analogique-Numérique  
CS : Chip Select  
EEPROM : Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory  
E/S: Entrée-Sortie  
IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers  
LED: Light-Emitting Diode  
Mbps: Megabyte par seconde  
MatLab: matrix laboratory  
MCLR: Master Clear  
OSC: Oscillator  
PC: Personal Computer  
PIC: Peripheral Interface Controller ou Programmable Integrated Circuit  
PID : Proportionnelle-Intégrale-Dérivée  
PGC : Programmation Clock  
PGD : Programmation Data  
RAM: Random Access Memory  
RUR : Rossum's Universal Robots  
SC : Semi-Conductor  
SCK : Serial Clock  
SDA : Serial Data  
SDO: Serial Data Output  
SATA: Serial Advanced Technology Attachement  
TTL: Transistor Transistor Logic  
USB : Universal Serial Bus  
VHDL: VHSIC Hardware Description Language.  
WiFi: Wireless Fidelity

## NOMENCLATURES ET LETTRES GRECS

A : matrice d'évolution d'état

$C_m$  : Couple moteur généré

$C_r$  : Couple résistant

$\Delta S_g, \Delta S_d$  : Distance parcourue par le point milieu de deux roues gauche et droite.

e : Force électromotrice

$\xi$  : Facteur d'amortissement

$\varepsilon$  : Erreur de la modélisation

f : Coefficient de viscosité

i : intensité du courant passant par la bobine du moteur

$I_n, I_a$  : Courants de phases appliqués au moteur en mode 4

$J_T$  : Moment d'inertie de la partie rotor du moteur

$K_c$  : Constante de couple

$K_d$  : Gain de l'action dérivée

$K_e$  : Constante électrique

$K_p$  : Gain de l'action proportionnelle

$K_i$  : Gain de l'action intégrale

L : Inductance de la bobine du moteur

2L : Distance entre les deux roues du robot

PQ : Distance entre le point de contact roue/sol et le point centre de la roue

$p_t$  : Position du robot à l'instant t

$\Psi$  : Angle d'orientation du robot dans le sens trigonométrique

R : Résistance interne de la bobine du moteur électrique

$\Theta$  : Angle d'orientation des roues

$\dot{\theta}$  : Vitesse angulaire du robot

$\Theta(k)$  : Angle de position

$u(t)$  : Tension appliquée au moteur à chaque instant

$U_{nom}$  : Tension nominale du moteur

$U_{max}$  : Tension maximale de travail du moteur

$V_1, V_2$  : Vitesses linéaires respectives des roues à gauche et à droites

$V_u$  : vitesse linéaire du robot

$V_Q$  : Vitesse relative roue/sol

$V_P$  : Vitesse du point P centre de la roue

$x, y$  : Position du robot dans le repère  $(0, x, y)$

$x, y, \Theta$  : Position odométrique du robot

$\omega$  : Vitesse angulaire du robot

$\omega_0$  : Pulsation propre

$\omega_1, \omega_2$  : Vitesses angulaires respectives des roues à gauche et à droite

$\dot{\omega}$  : Accélération angulaire du robot

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Un robot mobile.....	4
Figure 1.2 : Décomposition d'un robot mobile.....	5
Figure 1.3 : Exemple d'une structure mécanique d'un robot mobile à quatre roues.....	5
Figure 1.4 : Logo WiFi.....	6
Figure 1.5 : Chaîne fonctionnelle d'un système de navigation.....	7
Figure 1.6 : Un moteur pas à pas à aimant permanent.....	10
Figure 1.7 : Un moteur à aimant permanent.....	11
Figure 1.8 : Aspect intérieur d'un actionneur de type à aimant permanent.....	11
Figure 1.9 : Caractéristiques mécaniques.....	12
Figure 1.10: Caractéristiques électriques.....	13
Figure 1.11: Allure du courant indépendamment du circuit de commande .....	14
Figure 2.1: Caractérisation du roulement sans glissement .....	16
Figure 2.2: Modèle cinématique du robot .....	16
Figure 2.3: Schéma-bloc d'un modèle mathématique de moteur électrique .....	22
Figure 2.4: Schéma bloc de l'implantation du PID en régulation de vitesse .....	24
Figure 2.5: Commande dans le mode 1 .....	25
Figure 2.6: Commande en mode 2 .....	25
Figure 2.7: Commande asymétrique en demi-pas.....	26
Figure 2.8: Commande symétrique en demi pas, une ou deux phases ON .....	27
Figure 2.9 : Cyclogramme des courants d'alimentations .....	27
Figure 3.1: Diagramme de Bode du système.....	30
Figure 3.2: Diagramme de Nichols.....	31
Figure 3.3: Schéma bloc d'asservissement en vitesse du moteur .....	31
Figure 3.4: Réponse à un échelon de tension.....	32
Figure 3.5: Schéma bloc d'implantation du correcteur PID en vitesse de deux moteurs.....	33
Figure 3.6: Réponse simultanée en vitesse de deux moteurs électriques à valeurs différentes de la consigne.....	33
Figure 3.7: Réponse simultanée en vitesse de deux moteurs électriques à valeurs identiques de la tension appliquée.....	34
Figure 4.1 : Structure générale du projet.....	36

Figure 4.2 : Principe de commande du moteur pas à pas.....	38
Figure 4.3 : Disposition des bobines du moteur bipolaire.....	39
Figure 4.4 : Brochage du microcontrôleur PIC18F2550.....	39
Figure 4.5 : Interface graphique pour le contrôle de mouvement du robot.....	40
Figure 4.6 : Quatre blocs des transistors Darlington.....	41
Figure 4.7 : Schéma global du circuit de commande des moteurs.....	42
Figure 4.8 : Utilisation de Radmin 3.4 par le réseau internet.....	43
Figure 4.9 : Organigramme de commande des moteurs.....	44
Figure A.1 : Blocs fonctionnels présents à l'intérieur d'un PIC.....	50
Figure A.2 : Câblage minimum d'un PIC 18F.....	51
Figure A.3 : Quatre microcontrôleurs PIC de familles différentes.....	54

## **LISTE DES PHOTOS**

Photo I : Carte Electronique.....	37
Photo II : Moteur pas à pas bipolaire.....	38
Photo III : La plate-forme et les roues.....	45
Photo IV : Conception générale d'un robot mobile .....	45

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau A.1 : Normes Wifi.....	47
--------------------------------	----

## **INTRODUCTION GENERALE**

Depuis 1970, le monde scientifique et industriel porte des efforts sans cesse croissants sur l'étude et la réalisation d'engins mobiles. Ces derniers sont capables d'effectuer des déplacements sans aucune liaison mécanique avec un point fixe de l'espace dans lequel ils évoluent, d'où le nom de robots mobiles.

Aujourd'hui, l'industrie mondiale subit une véritable mutation qui modifie profondément la qualité de service. La robotisation constitue une nouvelle avancée de l'automatisation grâce au progrès de la microélectronique permettant la mémorisation des informations de réglage et de contrôle pour un coût abordable et un volume réduit. Dans ce contexte, nous pouvons considérer que le robot mobile s'avère être un véhicule puisque ce dernier est composé d'une structure matérielle qui permet au robot d'effectuer un déplacement.

D'un autre côté, les techniques basées sur l'emploi de réseau Wifi suscitent maintenant un intérêt croissant dans les domaines de la commande en robotique. La rapidité de traitement, les capacités d'apprentissage et d'adaptation, mais aussi la robustesse de ces approches motivent en grande partie de nombreux travaux dans ce domaine de commande des robots mobiles.

Notre projet consiste à créer un robot mobile utilisé dans le domaine de la sécurité. Il peut en effet être utilisé comme caméra de surveillance afin de faciliter le travail des agents de sécurité surtout dans les grandes entreprises.

Ce travail sera divisé en quatre parties : premièrement, nous développerons la généralité sur les robots, ensuite nous consacrerons le deuxième chapitre à la conception théorique du projet en détaillant les modélisations mathématiques du robot et celles du moteur. La troisième partie sera portée sur la démonstration visuelle des résultats des recherches par le logiciel MATLAB. Et enfin, nous terminerons par la réalisation du projet sur la commande à distance d'un robot mobile par WiFi.

## **Chapitre I. ETAT DE l'ART**

### **I. GENERALITES SUR LA ROBOTIQUE**

#### **I.1. Définition**

La robotique est l'ensemble des études et des techniques de conception et de mise en œuvre des robots [1]. Son développement connaît depuis plusieurs années des avancées telles que les robots manipulateurs qui sont très répandus dans l'industrie en particulier en construction automobile et chez la plupart des fabricants d'ordinateur.

Etant donné que l'objectif de ce travail est la commande directe d'un robot mobile par le réseau sans fil WiFi, avant de présenter le principe de fonctionnement de cette approche, il est nécessaire de commencer par un résumé de l'histoire de la robotique, ensuite rapporter ses intérêts et ses domaines d'application pour terminer par les différentes catégories des robots.

#### **I.2. Historique**

La robotique est issue des travaux effectués sur les automates et les ancêtres des robots. Parmi les constructeurs d'automates, on peut citer Léonard de Vinci, dont les tentatives de reproduction des fonctions vitales des êtres humains, au moyen d'automates notamment le joueur de flûte traversière en 1737 ou le Canard digérateur en 1738 font sensation au XVIII<sup>e</sup> siècle.

Au XIX<sup>e</sup> siècle apparaissent les premières machines-outils, qui par leurs fonctions peuvent être considérées comme les précurseurs des robots [2].

Aujourd'hui, les constructeurs ne tentent plus de reproduire l'aspect humain sur un robot, privilégiant avant tout sa fonctionnalité. Les robots sont capables d'effectuer rapidement des travaux répétitifs, ils sont notamment utilisés comme dans les chaînes de fabrication et de montage automobile. On les emploie également dans des environnements difficilement supportables par l'homme, conditions extrêmes de température ou de pression, radioactivité élevée.

L'industrie du nucléaire a ainsi largement contribué au développement de la robotique notamment dans la conception de bras télémanipulateurs. Grace au développement du domaine robotique, plusieurs pays connaissent leurs avantages face au développement économique.

### **I.3. Intérêt**

L'intérêt de l'utilisation du robot est l'augmentation de la précision des tâches qui sont déjà programmées par le constructeur. Cette précision suscite une bonne qualité de production des produits à rechercher. Par conséquent, le temps d'accomplissement du travail diminue et favorise la multiplication des produits de même qualité dans un temps bien déterminé. C'est ainsi que la robotique porte une grande innovation sur la recherche de la simplicité de la vie quotidienne comme dans les divers domaines tels que industriels, médicales, militaires, bureautiques.

Notons que l'utilisation du robot dépend des besoins de chaque client et cela nous permet de distinguer ses différentes catégories.

### **I.4. Catégories**

Actuellement, il existe deux grandes catégories de robots :

- Les robots fixes sont situés généralement dans les industries de pointes. Ils sont programmés pour exécuter fidèlement des actions répétitives avec un haut degré de précision.
  
- Les robots mobiles sont des robots à base mobile, par opposition notamment aux robots manipulateurs. Ils sont capables de se déplacer, sous commandés par un système de commande.

Remarquons que les robots mobiles sont beaucoup plus complexes que les manipulateurs car ces engins nécessitent plusieurs capteurs. Ils sont capables d'offrir les informations environnementales. De plus, ils sont alimentés par une source d'énergie électrique autonome.

Notre travail consiste à commander un robot mobile, il est alors nécessaire d'entrer en détail dans le fonctionnement de ce système.

## II. LE ROBOT MOBILE

Les robots mobiles sont notamment utilisés pour la surveillance mais les applications industrielles restent limitées, étant donnée la difficulté de stocker de l'énergie électrique pour effectuer un travail utile [3].

L'objectif de ce travail est de modéliser les mouvements d'un robot mobile. Il est basé sur la commande numérique et contrôle instantanément des moteurs utilisés. Avant d'entamer ce processus, il est nécessaire de présenter la généralité sur le robot mobile car cela va nous donner des idées directrices sur la deuxième grande partie du projet.

### II.1. Définition générale

Nous définissons un robot mobile comme un véhicule capable de naviguer de manière autonome dans un environnement complexe, parfois évolutif, partiellement connu ou inconnu, et d'exécuter des tâches programmées sous contrôle humaine réduite. La figure 1.1 montre un robot mobile.



Figure 1. 1: Un robot mobile

### II.2. Constitution d'un robot mobile

Un système mécatronique est décomposé en trois sous-systèmes tels que la structure mécanique, la charge utile et le système de commande. Notons que le système de commande contrôle les deux autres sous-systèmes. La figure 1.2 illustre la décomposition d'un robot mobile.

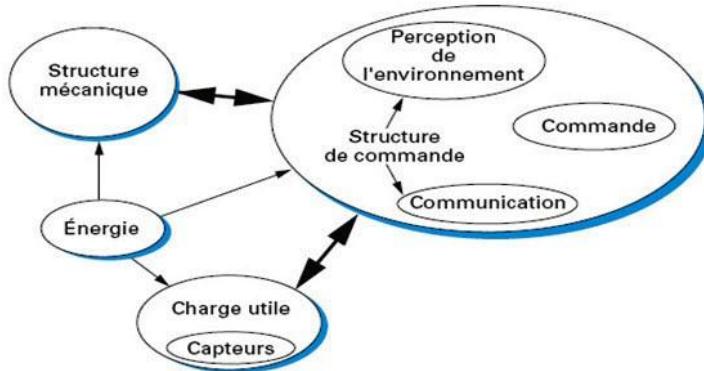


Figure 1. 2: Décomposition d'un robot mobile

### II.2.1. Structure mécanique

La structure mécanique rassemble les éléments mécaniques et électriques permettant d'assurer la fonction de mobilité. Le mouvement est obtenu en associant la propulsion et l'appui sur le milieu.

La propulsion, très liée à l'application du robot, est assurée par des techniques variées : électrique, thermique, pneumatique ou hydraulique, en fonction de sa taille, sa masse et de son lieu d'évolution.

En robotique, le nombre des roues utilisées est souvent 3, 4 ou 6 pour avoir la bonne stabilité mécanique. La figure 1.3 montre un exemple d'une partie mécanique d'un robot mobile à 4 roues.



Figure 1. 3: Exemple d'une structure mécanique d'un robot mobile à quatre roues [4]

## **II.2.2. La charge utile**

La charge utile concerne directement l'application du robot. Le déplacement est dicté par une action à réaliser sur l'environnement.

## **II.2.3. La structure de commande**

La structure de commande repose sur trois modules fonctionnant de manière indépendante entre eux. Il s'agit du module de perception de l'environnement, de communication homme machine et du module de commande.

### **a. Perception de l'environnement**

La capacité d'autonomie d'un robot mobile est liée à sa faculté de percevoir et d'interpréter, par des capteurs proprioceptifs et capteurs extéroceptifs, son environnement. Les variations d'états aléatoires de l'espace d'évolution demandent au robot une constante adaptation et des réactions différentes de celles prévues lors de la planification du mouvement.

### **b. Communication homme-système embarqué**

La structure de commande intègre les aspects de communication entre le robot et l'ordonnateur de tâches. La communication est réalisée à l'aide de multiples supports : écrit, visuel, sonore. Ce module de communication paraît prendre de plus en plus d'importance à l'heure actuelle. Notons que notre projet consiste à utiliser le réseau sans fil nommé WiFi de norme 802.11 dont le logo est présenté sur la figure 1.4.



Figure 1. 4: Logo WiFi

### c. Commande

La structure de commande est la partie essentielle d'un robot car ce module gère totalement les tâches à effectuer par ce système. Notons que ce module est basé sur un algorithme de commande de direction et de mouvement de notre système.

#### II.3. Principe de base de la navigation d'un robot 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.

##### II.3.1. Les systèmes de perception

La fonction perception consiste globalement à saisir un certain nombre d'informations sensorielles dans le but d'acquérir une connaissance et une compréhension du milieu d'évolution. Comme nous l'avons précisé précédemment, elle est indispensable aux étapes suivantes qui sont généralement pour un robot mobile les étapes de localisation et de mise à jour de la carte de l'environnement. La figure 1.5 représente la chaîne fonctionnelle de la navigation, qui constitue en les différentes étapes, pour le processus de localisation d'un robot mobile, de perception à l'action.

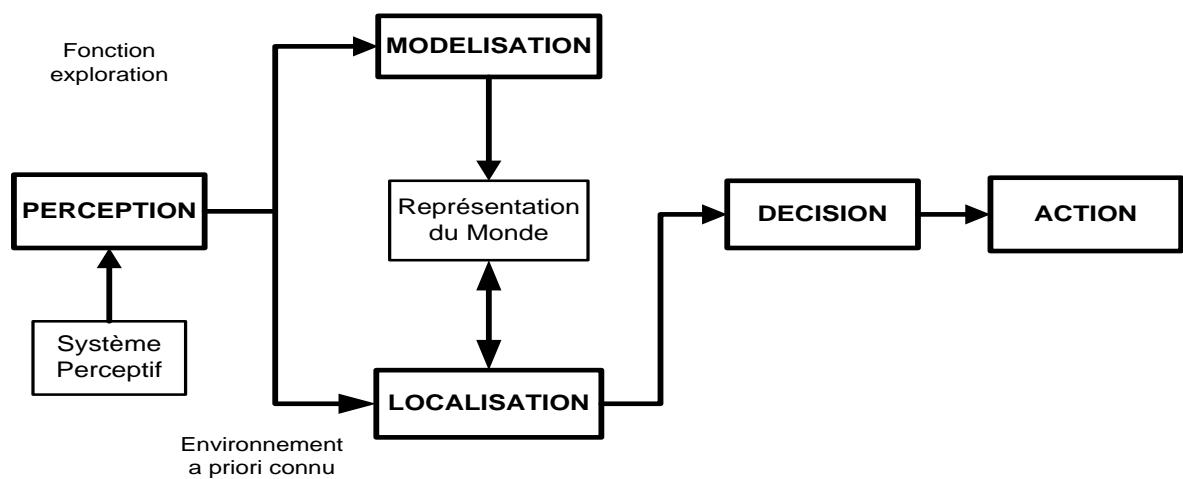


Figure 1. 5: Chaîne fonctionnelle d'un système de navigation [6]

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.

### **II.3.2. Les méthodes de localisation**

Nous avons précédemment positionné la problématique de localisation comme étant un préalable incontournable de celle de la génération de carte incrémentale de l'environnement.

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 pourrons 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.

#### **a. 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 ( $x, y, \theta$ ) d'un véhicule par intégration de ses déplacements élémentaires et par rapport à un repère lié à sa configuration initiale.

## **b. 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.

## **c. 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.

### **II.3.3. Les méthodes de localisation-modélisation simultanées de l'environnement**

Lorsque la carte de l'environnement du robot n'est pas connue a priori, un module de génération de carte incrémentale doit obligatoirement être intégré au système de navigation. Ce processus se décline par une fusion successive des différents modèles sensoriels générés lors du déplacement du robot. Il paraît clair à ce niveau que la fusion incrémentale de modèles sensoriels nécessite obligatoirement leurs recalages systématiques avec les primitives déjà insérées dans la carte. Cette étape de recalage est ni plus ni moins qu'une localisation du robot par rapport à une connaissance acquise au cours du déplacement.

L'étape de localisation devient alors indissociable de celle de modélisation et on parle alors d'un système de localisation et de modélisation simultanée.

Les méthodes de modélisation incrémentale sont classées en deux grandes familles qui sont fonctions du type de la représentation choisie :

- Les méthodes de modélisation métriques, qui décrivent explicitement la position géométrique des éléments de l'environnement.
- Les méthodes de modélisation topologiques basées sur des graphes représentant des informations de plus haut niveau comme certaines places caractéristiques de l'environnement: les coins, les croisements de deux couloirs, les jonctions en T.

### III. L'ACTIONNEUR MECANIQUE

#### III.1. L'actionneur pas à pas

Le moteur pas à pas constitue un convertisseur électromécanique destiné à transformer le signal électrique d'impulsion, en déplacement mécanique angulaire ou linéaire [7]. Il est présenté soit muni d'aimants permanents du structure dite polarisée ou active, soit constitué par une pièce ferromagnétique dentée du structure dite réluctance ou passive. La figure 1.6 présente un moteur pas à pas bipolaire à aimant permanent.



Figure 1. 6: Un moteur pas à pas à aimant permanent [8]

On distingue trois catégories de technologie pour le moteur pas à pas:

- Le moteur à reluctance variable dont le circuit magnétique qui les compose s'oppose de façon variable à sa pénétration par un champ magnétique.

- Le moteur à aimant permanent qui est semblables aux moteurs à réluctance variable, sauf que le rotor possède des pôles NORD et SUD. La figure 1.7 représente l'aspect intérieur d'un actionneur pas à pas à aimant permanent.

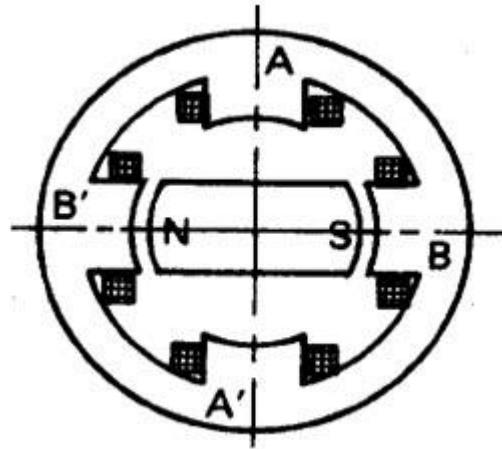


Figure 1.7: Un moteur à aimant permanent

- Le moteur hybride qui combine la spécificité des moteurs pas à pas à réluctance et à aimant permanent.

Pour la suite, seul le moteur pas à pas de type aimant permanent nous intéresse pour notre travail.

Le moteur pas à pas à aimant permanent exploite le phénomène d'attraction de deux pôles opposés et la répulsion de deux pôles identiques. Par inversion du sens du courant dans les bobines magnétiques, on provoque une inversion du champ magnétique, ceci doit avoir lieu dans un ordre précis par la commutation des phases pour avoir une rotation par pas entier ou demi-pas. La figure 1.8 montre son aspect intérieur :

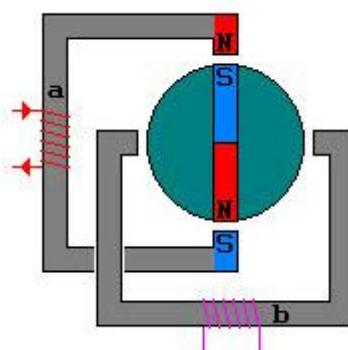


Figure 1.8: Aspect intérieur d'un actionneur de type à aimant permanent

Le choix de ce moteur repose sur la facilité de commande car il fonctionne en boucle ouverte, c'est-à-dire que dans des conditions normales d'utilisation pour un nombre n d'impulsions on obtient un déplacement de n pas.

### III.2. Les caractéristiques mécaniques et électriques

Les caractéristiques mécaniques et électriques identifient la performance de chaque moteur. Parlons en premier des caractéristiques mécaniques et après celles électriques.

#### III.2.1. Caractéristiques mécaniques

Les caractéristiques mécaniques présentées à la figure 1.9 nous informent que la fréquence maximale d'alimentation du moteur sera donc limitée au démarrage en fonction du couple résistant et du moment d'inertie, de même que l'on ne pourra passer brutalement d'une fréquence importante à une vitesse faible, sans provoquer une perte de pas et rendre inopérant un asservissement de position. Le constructeur donne donc l'évolution de la fréquence d'alimentation du moteur en fonction du couple de charge pour une inertie donnée, définissant trois zones : marche-arrêt dite de démarrage, entraînement ou survitesse et interdite.

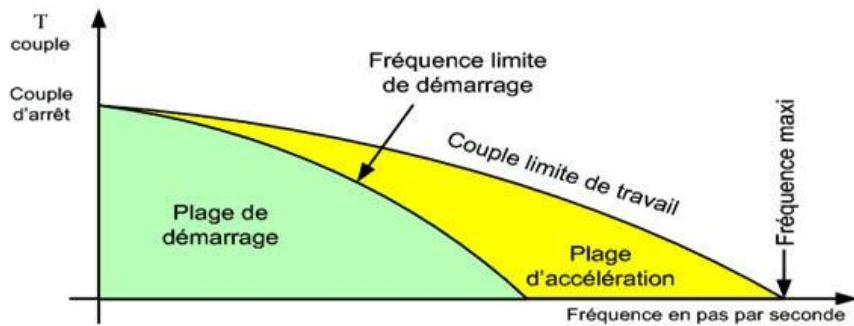


Figure 1.9: Caractéristiques mécaniques [10]

#### III.2.2. Caractéristiques électriques

Les caractéristiques électriques tiennent un grand rôle sur le fonctionnement du moteur. En effet, l'impulsion électrique favorise la création de champ magnétique et fait tourner la partie tournante du moteur.

Dans cet actionneur, les bobinages présentent un effet de self. Elle s'oppose à la variation du courant qui la traverse. A la fermeture des interrupteurs, l'intensité croit exponentiellement en fonction de temps  $t$  et de la constante du temps  $\tau$ :

$$i = \frac{U}{R} (1 - e^{-t/\tau}) \quad (1.1)$$

A l'ouverture des interrupteurs, la self se comporte comme un générateur de tension.

$$e = -L \frac{di}{dt} \quad (1.2)$$

Si le composant qui ouvre le circuit comme un interrupteur est un transistor, la tension créée est élevée. Cette surtension est utilisée pour la création d'étincelles dans les moteurs à explosion ou pour les clôtures électriques, elle est par contre néfaste pour le circuit ouvrant le circuit. On protège habituellement les transistors par des diodes branchées convenablement. On utilise cet effet de self, nommé effet roue libre, pour ré alimenter les autres bobinages. La figure 1.10 représente la variation du courant en fonction de temps et on observe que ce courant se stabilise quand il atteint sa valeur nominale  $I_n$ .

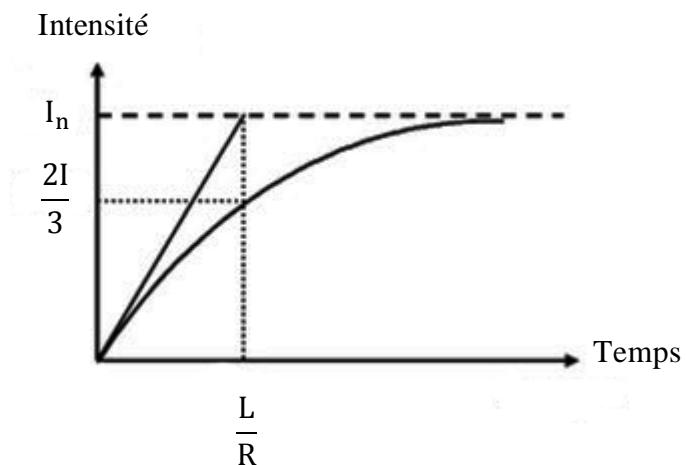


Figure 1. 10: Caractéristiques électriques

Ensuite lorsqu'on isole le circuit de commande, le bobinage est successivement alimenté puis isolé par un circuit oscillateur interne au circuit intégré. Le courant, traversant la bobine, est mesuré et réagit sur le circuit oscillateur. L'allure du courant est représentée sur la figure 1.11. Elle varie autour du courant nominal  $I_n$  pendant un pas et tend vers 0 lorsque le temps augmente.

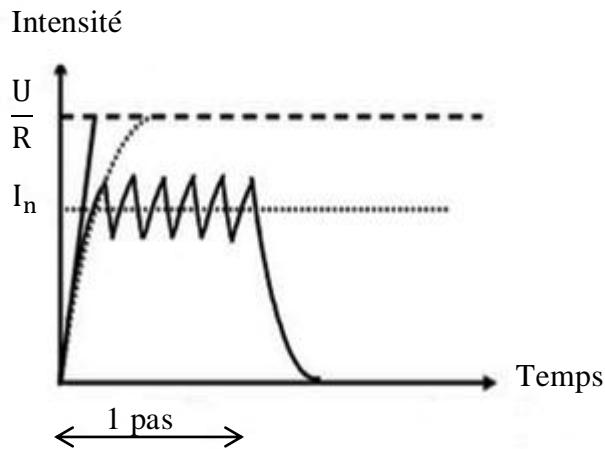


Figure 1. 11: Allure du courant indépendamment du circuit de commande

Les études et les techniques de mise en œuvre des robots ne cessent d'évoluer pour réduire les problèmes matériels dans la vie quotidienne. Actuellement, les robots se classent en deux catégories : les robots mobiles et les manipulateurs. Les engins mobiles sont beaucoup plus complexes que ceux qui sont fixes. Sa conception combine la partie mécanique, électronique, automatique et informatique. En ce qui concerne le moteur pas à pas, il est alimenté à partir d'une source de tension continue et le contrôle de la vitesse ou de la position s'effectue en boucle ouverte.

## Chapitre II. CONCEPTION THEORIQUE D'UN ROBOT MOBILE NON HOLONOME

### I. MODELISATION DU SYSTEME MECATRONIQUE

La conception théorique d'un robot mobile non holonome consiste à déterminer les relations du dynamisme d'un robot qui relient l'expression de sa position et sa vitesse à chaque instant par rapport à un repère de référence. Notre but est la commande directe du mouvement d'un robot mobile. Cette commande dépend de l'impulsion électrique ou train d'impulsion que l'on donne à des moteurs.

Dans cette partie, nous nous intéressons à la modélisation mathématique du robot ainsi que du moteur électrique. Ensuite nous parlerons de la régulation en vitesse du moteur et des différentes commandes nécessaires pour faire tourner les actionneurs.

#### I.1. Modèle du robot

##### I.1.1. Roulement sans glissement et contraintes non holonomes

La locomotion à l'aide de roues exploite la friction au contact entre roue et sol. Pour cela, la nature du contact comme la 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, x, y) comme indique la figure 2.1. 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 :

$$\vec{V}_Q = \vec{V}_P + \vec{\omega} \Lambda \vec{PQ} \quad (2.1)$$

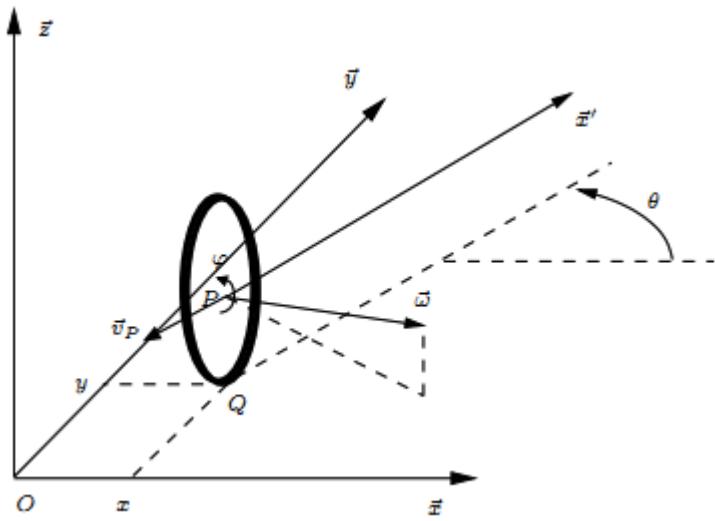


Figure 2.1: Caractérisation du roulement sans glissement

Ces conditions (2.1) du roulement sans glissement caractérisent les contraintes non holonomes [11].

### I.1.2. Modèle cinématique

Le modèle cinématique représente le comportement instantané du mouvement du robot. Cet engin est constitué de trois degrés de liberté tels que  $x$ ,  $y$  et  $\Theta$ . Le robot sur la figure 2.2 [12] est repéré dans le repère de référence  $(O, x, y)$ .

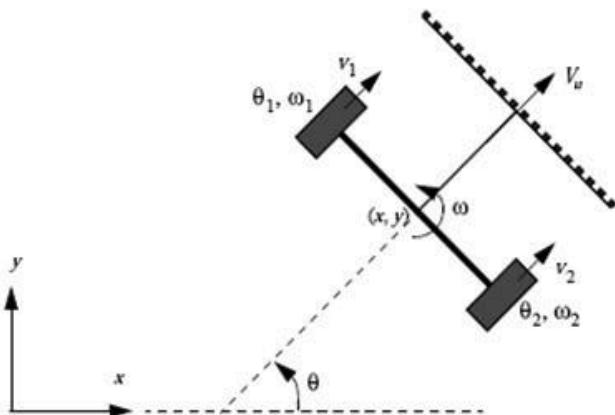


Figure 2.2: Modèle cinématique du robot

Avec :

- $x, y$  : position du robot
- $V_1, V_2$  : Vitesse linéaire des roues à gauche et à droite
- $\omega_1, \omega_2$  : Vitesse angulaire des roues à gauche et à droite
- $\omega$  : Vitesse angulaire du robot
- $\Theta_1, \Theta_2$  : Angle de position des roues à gauche et à droite
- $V_u$  : Vitesse du robot
- $2L$  : distance entre deux roues.
- $\Psi$  : orientation du robot

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

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

$$\omega_1 = \frac{d\theta_1}{dt} \quad (2.2)$$

$$\omega_2 = \frac{d\theta_2}{dt} \quad (2.3)$$

Nous pouvons par ailleurs en déduire la vitesse linéaire respective des roues gauche et droite est en fonction de sa vitesse angulaire.

$$v_1 = R \omega_1 \quad (2.4)$$

$$v_2 = R \omega_2 \quad (2.5)$$

Avec  $R = R_a = R_b$  étant le rayon d'une roue.

La vitesse moyenne du robot au point milieu entre les deux roues  $V_u$  s'écrit :

$$V_u = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (2.6)$$

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

$$\omega = \frac{V_2 - V_1}{2L} \quad (2.7)$$

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

$$\Theta = \int \omega dt \quad (2.8)$$

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

$$x = \int V_u \cos \theta \, dt \quad (2.9)$$

$$y = \int V_u \sin \theta \, dt \quad (2.10)$$

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

$$V_u = \int \dot{v}_u \, dt \quad (2.11)$$

$$\omega = \int \dot{\omega} \, dt \quad (2.12)$$

Par conséquent, les équations (2.2) et (2.3) deviennent :

$$\omega_1 = \frac{V_u + \frac{\omega L}{2}}{R} \quad (2.13)$$

$$\omega_2 = \frac{V_u - \frac{\omega L}{2}}{R} \quad (2.14)$$

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

$$2L \cdot \dot{\theta} = R \cdot V_2 - R \cdot V_1 \quad (2.15)$$

Donc :  $\dot{\theta} = \omega = \frac{RV_2 - RV_1}{2L} \quad (2.16)$

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

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} = \frac{R}{2} \begin{pmatrix} \cos \Psi & \cos \Psi \\ \sin \Psi & \sin \Psi \\ \frac{1}{L} & \frac{-1}{L} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

Où  $\Psi$  est l'orientation du robot dans le sens trigonométrique.

### I.1.3. Modèle odométrique

Pour le mouvement du robot, on a adopté les hypothèses suivantes :

- Il y a roulement sans glissement des roues.
- Le mouvement du robot est uniforme soit lors de la poursuite de ligne droite, soit lors des virages.
- Le robot à l'état initial est positionné au point de départ de la trajectoire avec l'orientation de celui-ci.

Après avoir établi le modèle cinématique du robot, discrétisons maintenant ce modèle et utilisons les hypothèses ci-dessous.

Les points P et Q de la figure II.1 ont pour coordonnées respectives (x, y, R) et (x, y, 0) dans le repère (O, x, y). L'expression mathématique de roulement sans glissement entraîne les contraintes scalaires :

$$\dot{x} + R\dot{\omega} \cdot \cos\Theta = 0 \quad (2.18)$$

$$\dot{y} + R\dot{\omega} \cdot \sin\Theta = 0 \quad (2.19)$$

Nous pouvons transformer les équations 2.18 et 2.19 pour faire apparaître les composantes de vitesse dans le plan de la roue d'une part et perpendiculairement à la roue d'autre part.

$$-\dot{x} \sin\Theta + \dot{y} \cos\Theta = 0 \quad (2.20)$$

$$\dot{x} \cos\Theta + \dot{y} \sin\Theta = V_u \quad (2.21)$$

Utilisons le modèle cinématique 2.17 [13] et l'équation 2.20.

$$\dot{y} \cdot \cos(\Psi) - \dot{x} \cdot \sin(\Psi) = 0 \quad (2.22)$$

Et la vitesse longitudinale s'écrit :

$$\dot{y} \cdot \cos(\Psi) - \dot{x} \cdot \sin(\Psi) = V_u \quad (2.23)$$

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

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + u \cdot \cos\theta_{k+1} dt \\ y_{k+1} = y_k + u \cdot \sin\theta_{k+1} dt \\ \theta_{k+1} = \theta_k + \dot{\theta} dt \end{cases} \quad (2.24)$$

Donc :

$$\begin{cases} x(k) = x(k-1) + R \frac{(\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2)}{2} \cos\left[\frac{(\theta(k) - \theta(k-1))}{2}\right] \\ y(k) = y(k-1) + R \frac{(\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2)}{2} \sin\left[\frac{(\theta(k) - \theta(k-1))}{2}\right] \\ \Theta(k) = \frac{R}{L}(\Theta_1(k) - \Theta_2(k-1)) \end{cases} \quad (2.25)$$

## I.2. Calcul de la nouvelle position

Soit  $p_t$  la position du robot à l'instant  $t$ . La nouvelle position  $p_{t+1}$  s'écrit en ajoutant à  $p_t$  le déplacement d'un robot tel que :

$$p_{t+1} = f(x, y, \Theta, \Delta s_g, \Delta s_d) = \begin{pmatrix} x \\ y \\ \theta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{\Delta s_g + \Delta s_d}{2} \cos(\theta + \frac{\Delta s_g - \Delta s_d}{2L}) \\ \frac{\Delta s_g + \Delta s_d}{2} \sin(\theta + \frac{\Delta s_g - \Delta s_d}{2L}) \\ \frac{\Delta s_g - \Delta s_d}{L} \end{pmatrix} \quad (2.26)$$

Avec :

$\Delta s_g, \Delta s_d$  : la distance parcourue par le point milieu de deux roues gauche et droite.

## II. MODELISATION DE L'ACTIONNEUR

L'objectif du projet est de commander directement le mouvement du robot sans prédefinir la nature de la trajectoire. Pour cela nous allons modéliser le moteur électrique et après les commandes possibles de cet actionneur.

### II.1. Modèle du moteur

Le choix du moteur pour notre projet est défini dans le chapitre I au paragraphe III.1. Ce choix repose sur la facilité de la commande et sur la précision. Avant d'atteindre la modélisation d'un tel moteur, nous allons mettre en relation les caractéristiques mécaniques, électriques et magnétiques par le théorème du moment cinétique. On obtient un système d'équations différentielles linéaires comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} u(t) = e(t) + R_i(t) + L \frac{di}{dt} \\ e(t) = K_e \omega(t) \\ C_m(t) = K_c i(t) - C_p \\ C_m(t) - C_r(t) = J_T \frac{d\omega(t)}{dt} \end{array} \right. \quad (2.27)$$

Avec :

- $u$  : La tension appliquée au moteur
- $e$  : Force électromotrice
- $i$  : intensité traversant le moteur
- $\omega$  : Vitesse de rotation du moteur
- $C_m$  : Couple moteur généré
- $C_r$  : Couple résistant

Utilisons la transformation de Laplace pour chaque équation du système (2.27).

$$\begin{cases} R \cdot I(p) + L \cdot p \cdot I(p) + E = U(p) \\ E = K_e \cdot \Omega(p) \\ J_T \cdot p \cdot \Omega(p) = C_m(p) - C_r(p) \end{cases} \quad (2.28)$$

Substituons ensuite l'expression de la couple résistant  $C_r(p) = -f \cdot \Omega(p)$  et le couple moteur dans le système (2.28) et on obtient :

$$\begin{cases} U(p) = R \cdot I(p) + L \cdot p \cdot I(p) + K_e \cdot \Omega(p) \\ J_T \cdot p \cdot \Omega(p) = K_c \cdot I(p) - C_p - f \cdot \Omega(p) \end{cases} \quad (2.29)$$

Alors, on en déduit l'expression de la vitesse angulaire du moteur de la forme :

$$\Omega(p) = \frac{K_c \cdot I(p) - C_p}{f + J_T p} \quad (2.30)$$

Et l'expression de l'intensité du courant passant par la bobine est :

$$I(p) = \frac{f + J_T p}{K_c} \left( \Omega(p) + \frac{C_p}{f + J_T p} \right) \quad (2.31)$$

Expression de la tension  $U(p)$  s'écrit :

$$U(p) = \Omega(p) \left[ \frac{(R+Lp)(f+J_T p)}{K_c} + K_e \right] + \frac{R+Lp}{f+J_T p} C_p \quad (2.32)$$

Négligeons maintenant les pertes ou les perturbations, l'expression (2.32) devient :

$$U(p) = \Omega(p) \left[ \frac{(R+Lp)(f+J_T p)}{K_c} + K_e \right] \quad (2.33)$$

Soit la fonction de transfert du moteur s'écrit :

$$H(p) = \frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{K_c}{K_e K_c + J_T R p + J_T L p^2} \quad (2.34)$$

On peut mettre  $H(p)$  sous la forme :

$$H(p) = \frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{A}{1 + \frac{2\xi}{\omega_0} p + \frac{1}{\omega_0^2} p^2} \quad (2.35)$$

Avec:

- $A = \frac{1}{K_e}$ : Gain statique

(2.36)

- $\xi = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{J_T}{K_e K_c L}}$ : facteur d'amortissement

(2.37)

- $\omega_0 = \sqrt{\frac{K_e K_c}{J_T L}}$ : Pulsation propre

(2.38)

Le schéma fonctionnel correspondant à cette fonction est représenté par la figure 2.3 [14] :

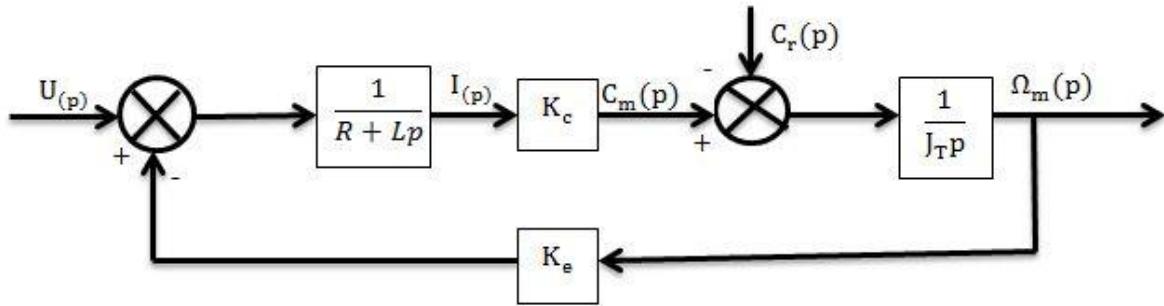


Figure 2. 3: Schéma-bloc d'un modèle mathématique de moteur électrique

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 en simulation au chapitre III sont les suivantes :

- Tension nominale :  $U_{\text{nom}} = 24V$
- Tension maximale de travail :  $U_{\text{max}} = 26,4V$
- Courant maximal :  $I_{\text{max}} = 1A$
- Résistance aux bornes :  $R = 4,6\Omega$
- Constante du couple :  $K_c = 60,3 \text{mN.m.A}^{-1}$
- Constante de vitesse :  $K_e = 60,3 \text{mV.s}$
- Inductance :  $L = 0,75 \text{mH}$
- Moment d'inertie rapporté au rotor :  $J_T = 144 \cdot 10^{-4} \text{Kg.m}^2$

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

- La pulsation propre  $\omega_0 = 240,24 \text{ rad/s}$
- Le facteur d'amortissement  $\xi = 6,3$
- Le gain statique :  $A = 16,68$

## II.2. La régulation en vitesse du moteur

Étant donné que l'asservissement de moteur utilise une boucle fermée, il est nécessaire de disposer d'un capteur de vitesse angulaire. L'information retournée pourra être utilisée directement: cas d'une boucle à retour unitaire ; ou retraitée par calculs pour en déduire une information plus exploitable comme la vitesse de déplacement d'un robot.

Pour ce faire, nous allons utiliser le correcteur PID [15] pour gérer la vitesse du moteur. Pratiquement, le contrôle de la vitesse est trop bruité pour le terme dérivatif. Par conséquent, la valeur que l'on donne au coefficient  $K_d$  sera petite. L'objectif d'utilisation de ce correcteur est d'avoir un système robuste, rapide et précis tout en limitant le dépassement. L'expression correspondante à ce processus est donnée par la formule (2.39).

$$\Omega_c(t) = K_p(t) \cdot \varepsilon(t) + K_i \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau + K_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \quad (2.39)$$

Utilisons sur cette équation la transformée de Laplace membre à membre, on a :

$$\Omega_c(p) = \varepsilon(p) \left[ K_p + K_i \frac{1}{p} + K_d p \right] \quad (2.40)$$

Avec :

- $K_p$  : Le gain proportionnel qui diminue le temps de réponse, mais une augmentation trop importante de celui-ci peut mener à une instabilité du système.
- $K_i$  : Le gain intégrale qui supprime l'erreur en régime stationnaire, une augmentation du gain permet une suppression plus rapide de l'erreur mais peut mener à des oscillations.
- $K_d$  : Le gain dérivatif qui diminue le dépassement.

La figure 2.4 montre le schéma fonctionnel correspondant à la régulation en vitesse du moteur par le correcteur PID :

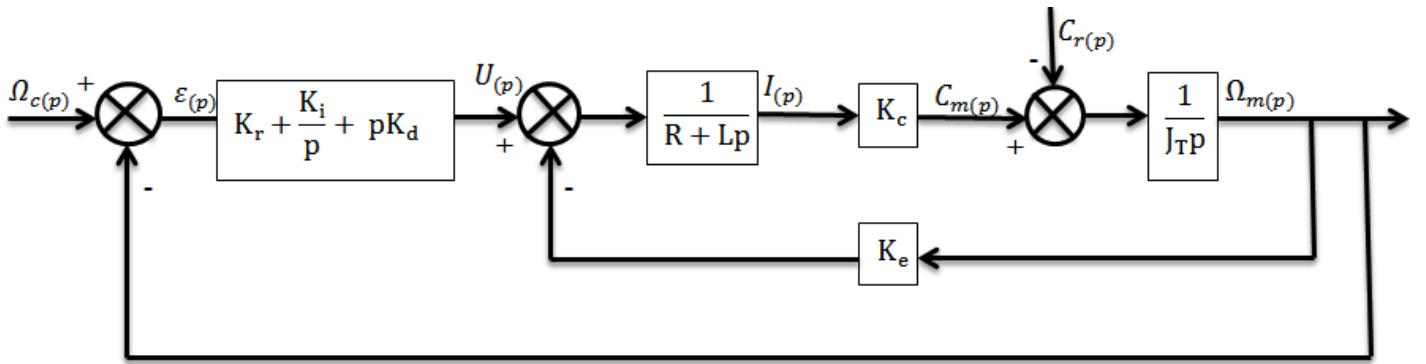


Figure 2.4: Schéma bloc de l'implantation du PID en régulation de vitesse

### II.3. Les commandes du moteur

La rotation du moteur s'effectue par une séquence d'alimentation des divers enroulements de phases en bipolaire. La génération d'un couple est intimement liée aux courants circulant dans les phases. Chaque commutation entraîne une phase transitoire dont la durée peut varier selon le type de contrôle de tension ou du courant.

Les modes de fonctionnement du moteur pas à pas à deux phases sont obtenus par la fonction production des signaux de commande des moteurs. Deux classes de déplacement peuvent être définies soit par le moteur avance d'un pas entier, soit d'un fragment de pas.

#### II.3.1. Le fonctionnement à pas entiers

Le mode de commande à pas entier permet d'alimenter une seule ou deux phases par l'injection d'un courant nominal noté  $I_n$ .

##### a. Mode 1 : Commande à pas entier, une phase ON

Une seule phase est alimentée à la fois par injection d'un courant nominal  $I_n$ . C'est dans ce mode que le fabricant définit le pas angulaire du moteur. La figure 2.5 illustre la séquence des alimentations de phases pour le moteur.

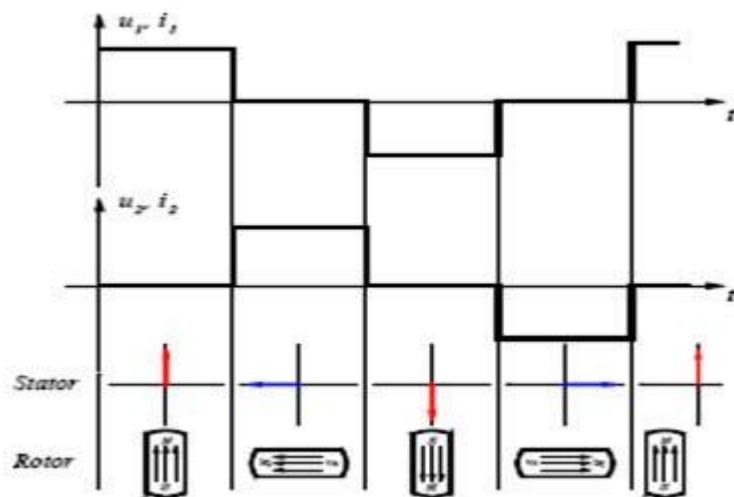


Figure 2.5: Commande dans le mode 1

**b. Mode 2 : Commande symétrique à pas entier, deux phases ON**

Deux phases du moteur sont alimentées simultanément par un courant nominal  $I_n$ . Le couple moteur est multiplié par 2 par rapport au contrôle selon le mode 1. Le pas angulaire est identique au mode 1 mais les positions d'équilibre sont intermédiaires aux précédentes. La figure 2.6 donne la séquence des alimentations de phases à ce mode.

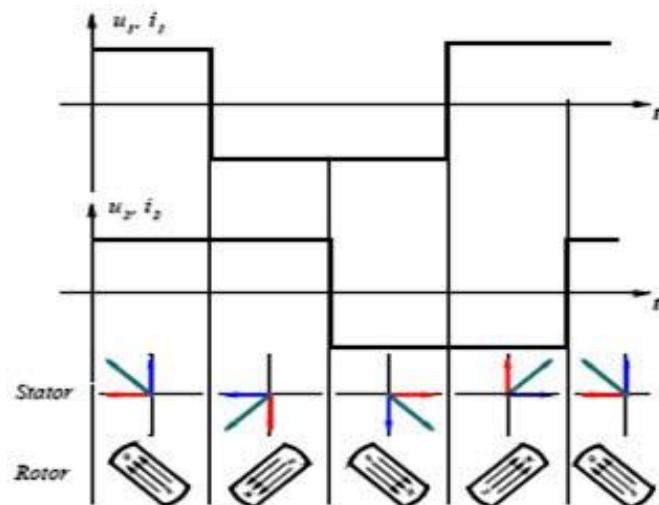


Figure 2.6: Commande en mode 2

### II.3.2. Les commandes en demi-pas : une ou deux phases ON

La combinaison en alternance du mode 1 et du mode 2 permet le fonctionnement en demi-pas. Cette commande consiste aussi à alimenter une ou deux phases par le courant nominal.

#### a. Mode 3 : Commande asymétrique en demi pas, une ou deux phases ON

Pour effectuer un déplacement donné, il faut doubler le nombre d'impulsions de commande. Les couples quasi statiques ne sont pas identiques si une ou les deux phases sont alimentées. La figure 2.7 montre la séquence des alimentations des phases à cette commande.

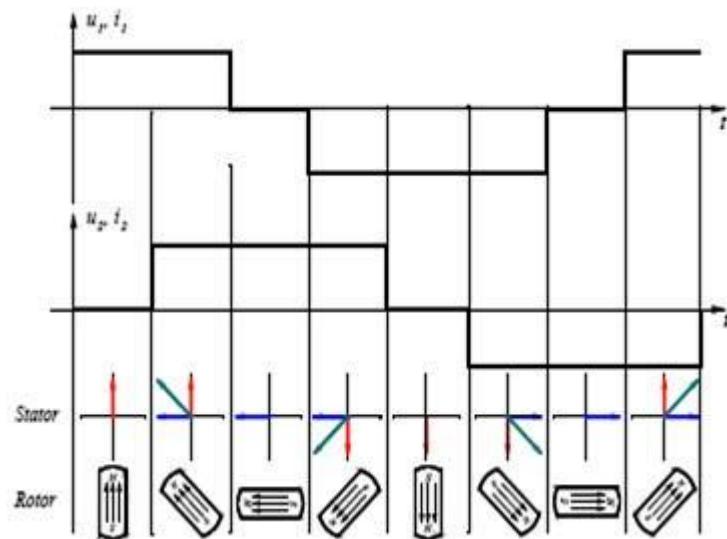


Figure 2.7: Commande asymétrique en demi-pas

#### b. Mode 4: Commande symétrique en demi pas, une ou deux phases ON

Pour un fonctionnement régulier en demi-pas, il faut doubler la valeur du courant lorsqu'une seule phase est alimentée. On a ainsi les performances de couple du mode 2, mais avec deux fois plus de pas. La figure 2.8 illustre la séquence des alimentations de phases pour un moteur à aimant permanent.

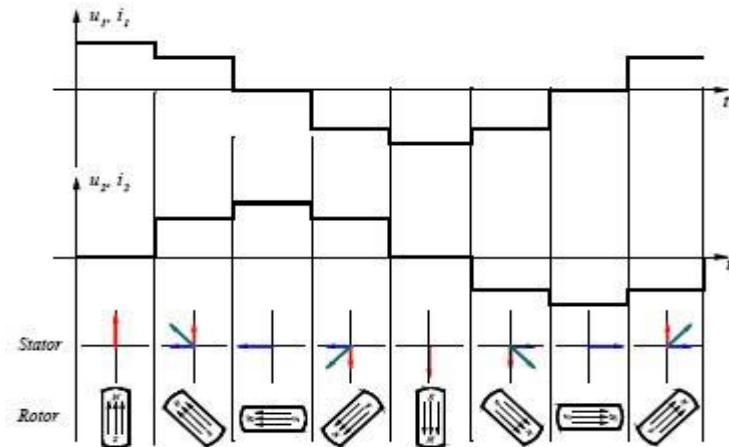


Figure 2.8: Commande symétrique en demi pas, une ou deux phases ON

### II.3.3. La Commande micropas

Ce mode consiste à multiplier les positions intermédiaires en asservissant le courant de chaque phase. Il constitue une généralisation du mode 4. Si l'on contrôle les courants de phases dans le moteur selon les lois :

$$I_\alpha = \sqrt{2} I_n \cos \left( \frac{\pi}{4} \right) \quad (2.37)$$

$$I_\beta = \sqrt{2} I_n \sin \left( \frac{\pi}{4} \right) \quad (2.38)$$

Par ce mode d'excitation de la figure 2.9, la modulation des courants injectés dans les phases statoriques permet de positionner le rotor dans une direction quelconque. Si les enroulements statoriques sont alimentés par des niveaux de courant  $I_\alpha$  (2.37) et  $I_\beta$  (2.38).

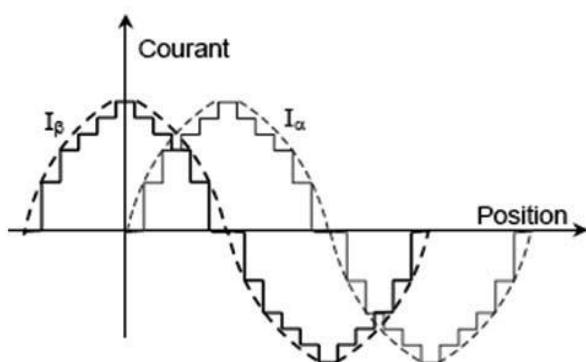


Figure 2.9: Le cyclogramme des courants d'alimentations

La modélisation du système mécatronique donne la position et la vitesse instantanée par rapport à un repère référentiel du robot, tout en conservant ses contraintes non holonomes. Pour la modélisation du moteur, théoriquement le moteur pas à pas se comporte comme un moteur à courant continu et sa particularité reste sur la stabilité, la précision et la facilité de commande. Les commandes du moteur pas à pas nécessitent un séquenceur numérique pour gérer la rotation du rotor.

### Chapitre III. LES COMPORTEMENTS STATIQUE ET DYNAMIQUE DU MOTEUR

La commande de notre système mobile correspond à la synchronisation de rotation de deux moteurs. Ainsi, la vitesse de ces deux actionneurs dépend de la durée de transition d'alimentation en courant par phase. Notons que le moteur pas à pas est un moteur à courant continu qui avance d'un seul pas lorsque le sens du courant dans une des bobines change de sens [16]. Alors, on utilise pour la simulation une fonction de transfert (2.34) que nous avons présenté dans le chapitre II par le logiciel MATLAB.

#### I.1. La fonction de transfert

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

$$H(p) = \frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{K_C}{K_e K_C + J_T R p + J_T L p^2} \quad (3.1)$$

#### I.2. Les diagrammes de Bode et Nichols

Les diagrammes de Bode et Nichols des figures 3.1 et 3.2 représentent respectivement le comportement fréquentiel du système et la variation de gain en décibel en fonction du temps.

### I.2.1. Diagramme de Bode

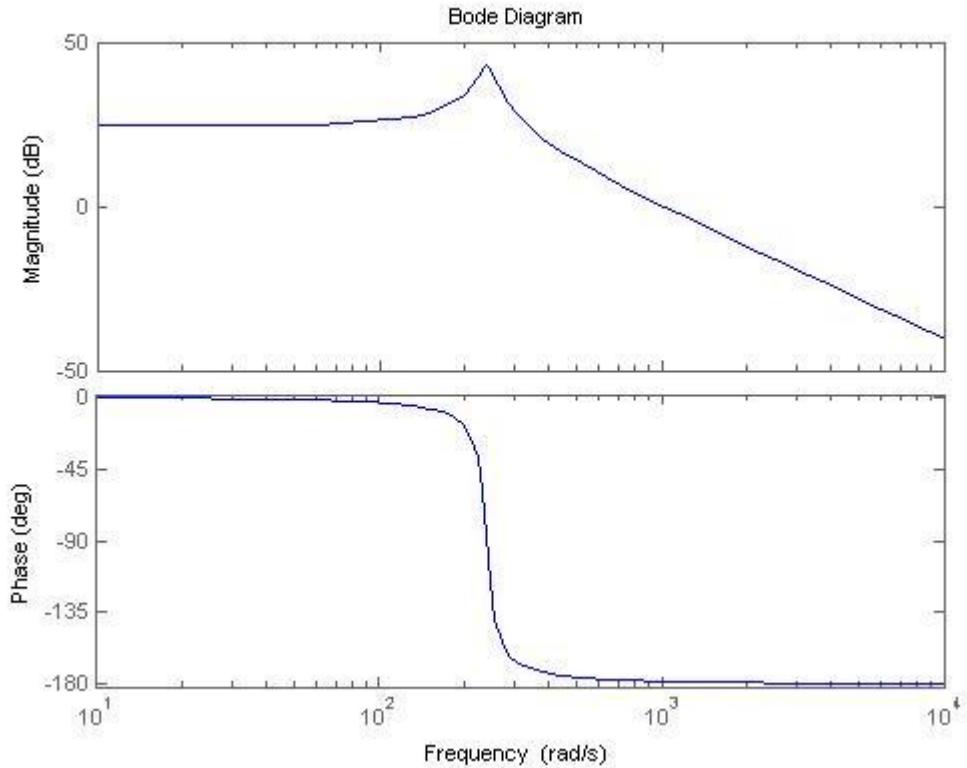


Figure 3.1: Diagramme de Bode du système

Interprétation :

Ce diagramme 3.1 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  $\xi$  proche de 6,03 et de la pulsation propre  $\omega_0 = 240,24\text{rad/s}$ . D'où le moteur fonctionne rapidement.
- La deuxième courbe montre de figure 3.2 montre que le moteur est stable car sa phase est égale à  $-\pi$ , appartient à la partie réelle négative.

### I.2.2. Diagramme de Nichols

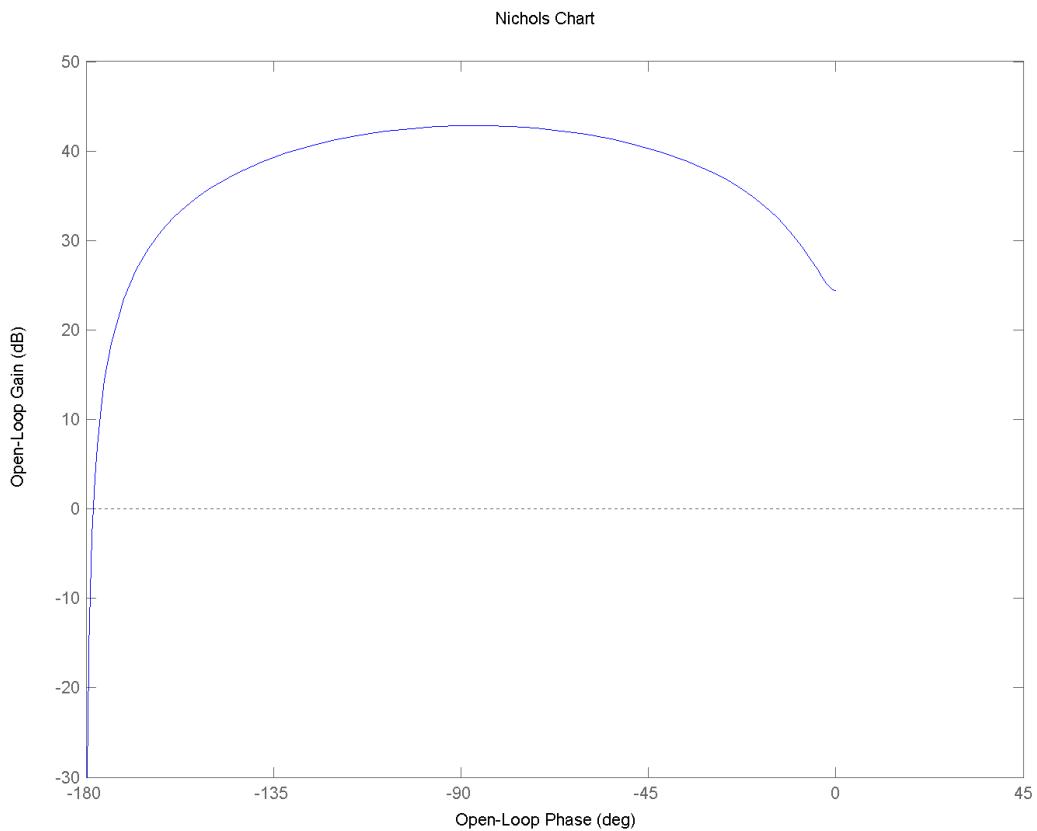


Figure 3.2: Diagramme de Nichols

Interprétation:

De même que le précédent, la figure 3.2 traduit que le système est stable car le point d'argument est égale à  $-\pi$  et est laissé à gauche du lieu de transfert lorsqu'on parcourt le lieu de la boucle ouverte dans le sens des  $\omega$  croissants.

### I.2.3. La réponse à un échelon de tension

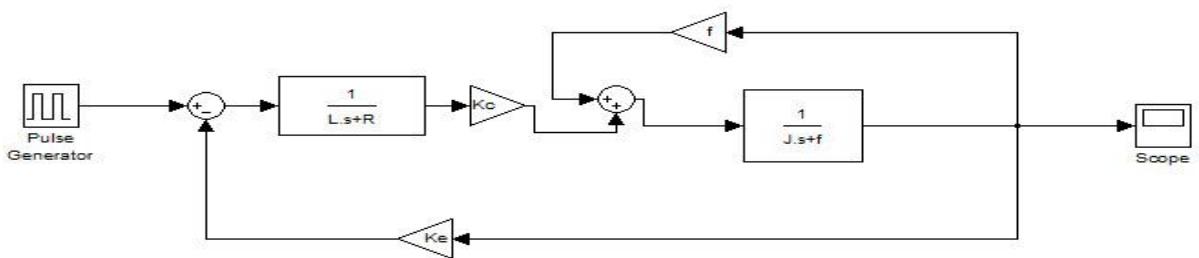


Figure 3.3: Schéma bloc d'asservissement en vitesse du moteur

Courbes obtenues :

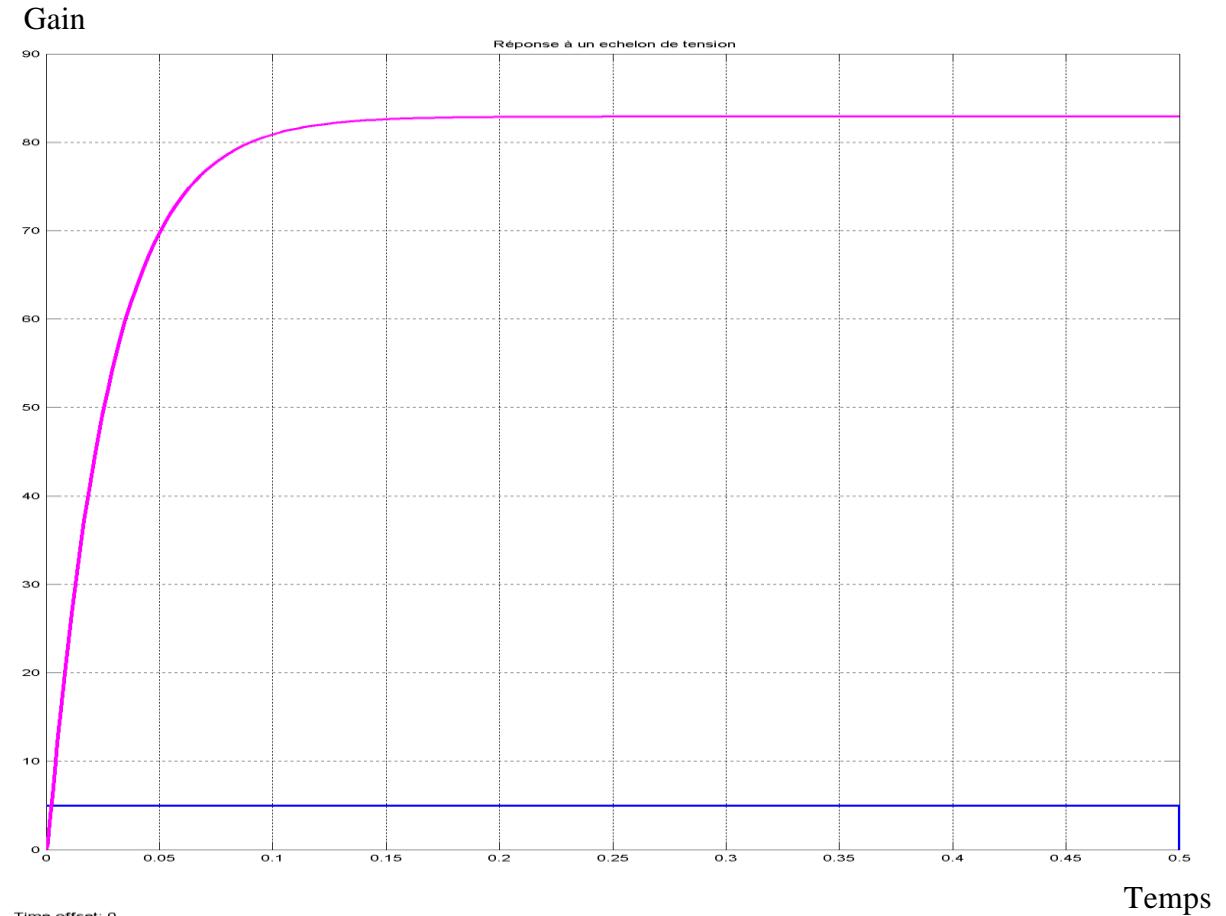


Figure 3.4: Réponse à un échelon de tension

— : La courbe rose représente la réponse à un échelon.

— : La courbe bleue représente la consigne.

### I.3. La régulation PID du moteur

Comme nous avons au chapitre II, le contrôle de la vitesse est trop bruité pour le terme dérivatif. Par conséquent, la valeur du coefficient  $K_d$  sera atténuée :  $K_p = 1$ ,  $K_i = 1$ ,  $K_d = 0,5$

$$\Omega_c(p) = \varepsilon(p) \left[ K_p + K_i \frac{1}{p} + K_d p \right] \quad (3.2)$$

Notre travail consiste à utiliser deux moteurs électriques et le but de ce projet est la synchronisation de ces deux actionneurs.

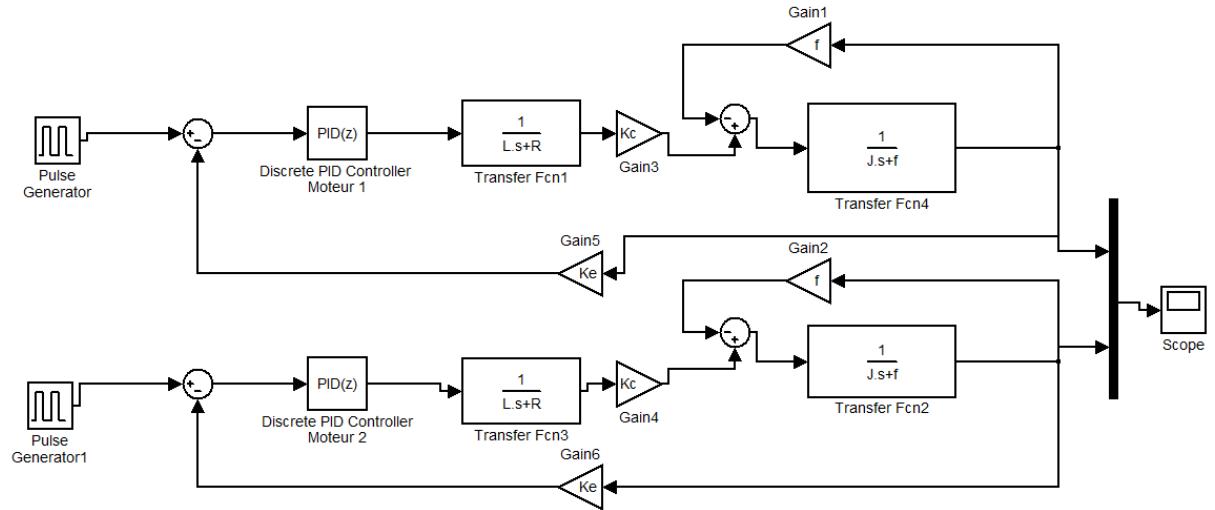


Figure 3.5: Schéma bloc d'implantation du correcteur PID en vitesse de deux moteurs

Courbe :

Gain

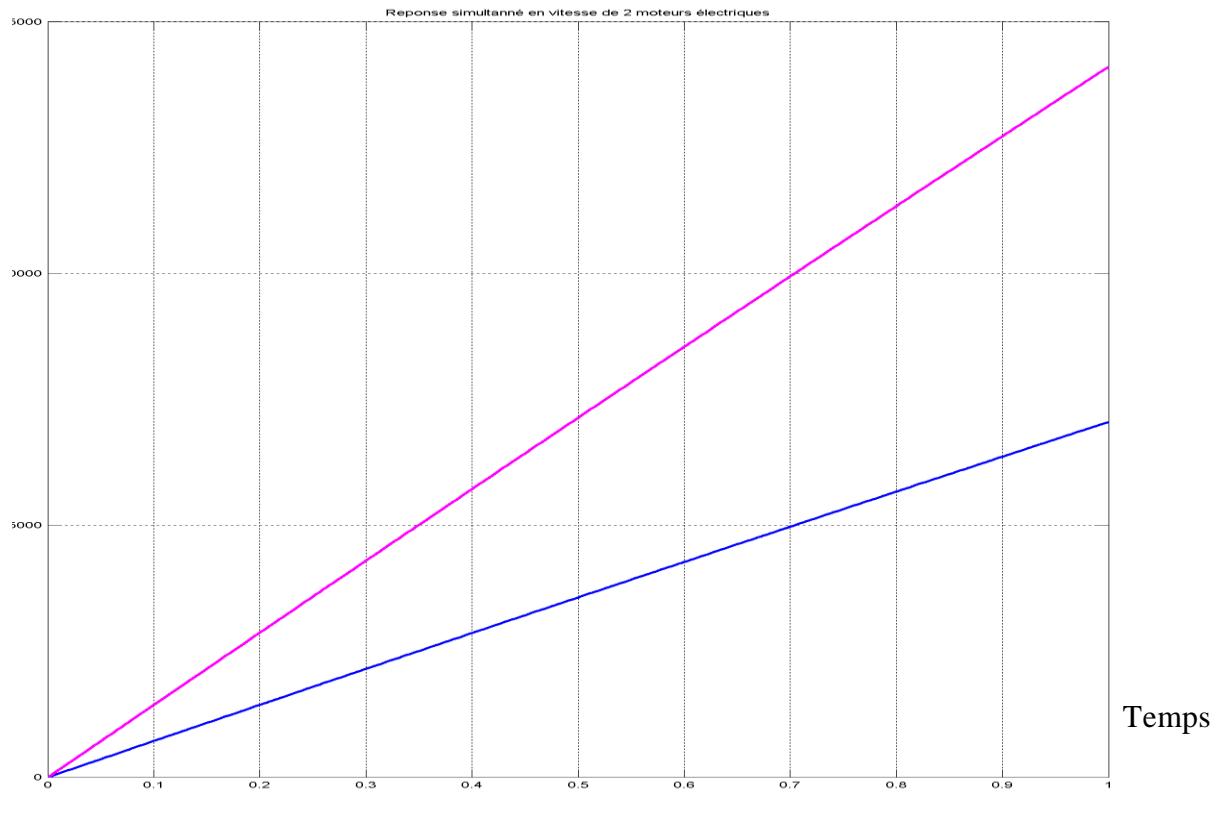


Figure 3.6: Réponse simultanée en vitesse de deux moteurs électriques à valeurs différentes de la consigne.

— : La courbe rose correspond la réponse pour le moteur 1.

— : La courbe bleue correspond la réponse pour le moteur 2.

Interprétation :

Les courbes obtenues sont des fonctions monotones croissantes qui marquent la stabilité du système. Par contre, la divergence de ces deux courbes traduit la différence des vitesses obtenues de ces moteurs lorsque les valeurs de tensions appliquées à chaque moteur ne sont pas identiques.

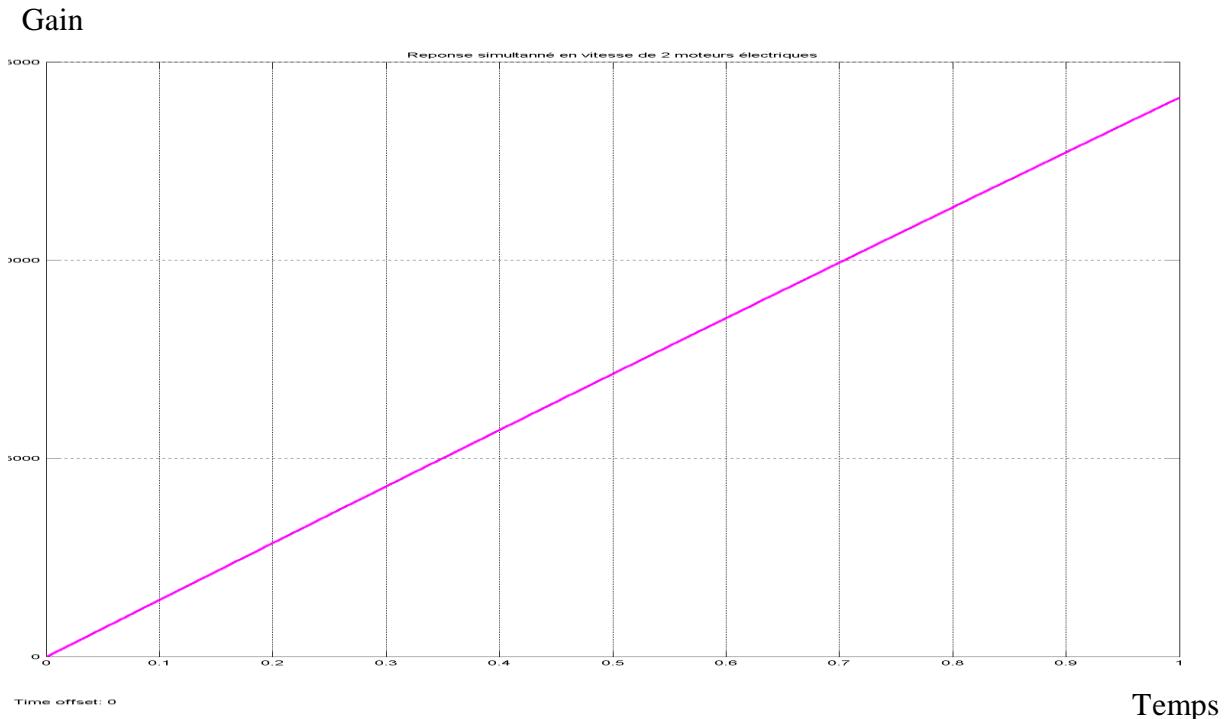


Figure 3.7: Réponse simultanée en vitesse de deux moteurs électriques à valeurs identiques de la tension appliquée.

Interprétation :

Les courbes obtenues sont des fonctions monotones croissantes qui marquent la linéarité de la vitesse du moteur. Elles sont linéaires et unique. Cette unicité traduit les mêmes vitesses obtenues de ces moteurs lorsque les valeurs de tensions appliquées à chaque moteur sont identiques.

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.

## Chapitre IV. REALISATION DU PROJET : COMMANDE A DISTANCE D'UN ROBOT MOBILE PAR WIFI

### I. PRESENTATION DU TRAVAIL

#### I.1. Le But

Le but de notre projet est de commander directement les mouvements d'un robot mobile par le réseau Wifi. Le robot comporte un ordinateur portable en connecté avec la carte électronique et deux roues motrices avec deux roues directrices.



Figure 4.1 : Structure générale du projet

#### I.2. Les matériels

Ce projet est composé de matériels informatiques, de carte électronique et d'actionneurs mécaniques.

##### a. Les matériels informatiques

Les deux ordinateurs se communiquent entre eux par le réseau Wifi. La connexion est établie uniquement dans la zone de couverture du réseau pour chaque machine.

##### b. La carte électronique

Cette carte constitue un système d'alimentation et de commande. Pour alimenter les actionneurs mécaniques et le système de commande, on utilise respectivement une batterie de 24V et une tension de 5V sortante par le port USB du PC embarqué.

La carte électronique photo I est composée de :

- Transistors NPN: 2SC 1815, TIP 41C
- Diodes : 1N4007
- LED de couleur rouge et verte
- Résistances :  $2,2\text{k}\Omega$  ,  $500\Omega$
- Microcontrôleur PIC 18F 2550
- Quartz 20MHz
- Condensateurs 22pF et Condensateurs céramiques 474 J 100V

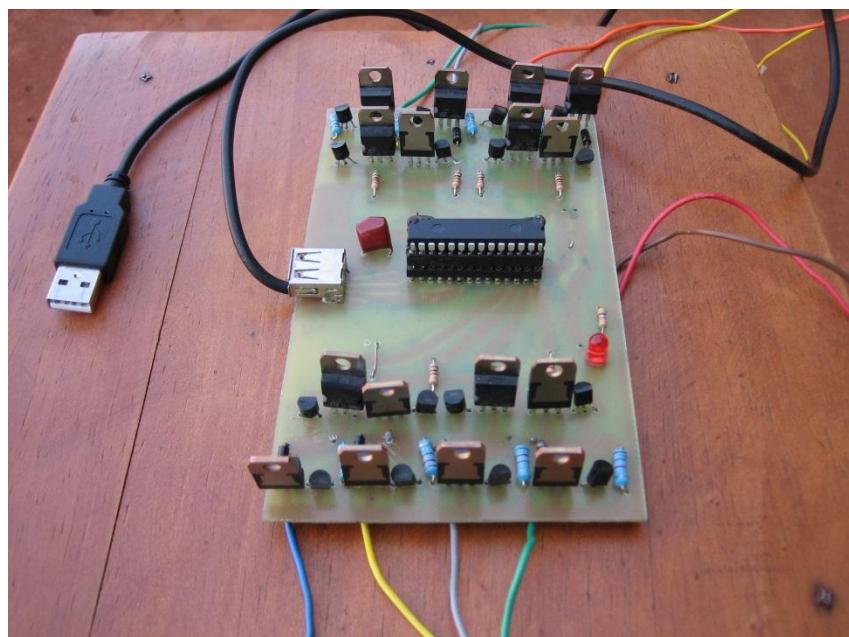


Photo I : Carte Electronique

### c. Les actionneurs mécaniques

Concernant la mobilité du robot, ce système se déplace à l'aide de deux roues motrices et deux roues directrices. Pour notre travail, on utilise deux moteurs pas à pas bipolaires à deux phases.

## II. LE PROCESSUS DE LA REALISATION

### II.1. Electronique

La partie électronique porte principalement sur le détail du fonctionnement de la carte. Cette carte qui est le cerveau du robot permet de recevoir les ordres issus de l'ordinateur à travers une communication Wifi.

#### a. Les spécifications fonctionnelles de la commande des moteurs

Le moteur pas à pas fonctionne en boucle ouverte, autrement dit, la commande du moteur se fait directement par le séquenceur selon le principe de la figure 4.2 :

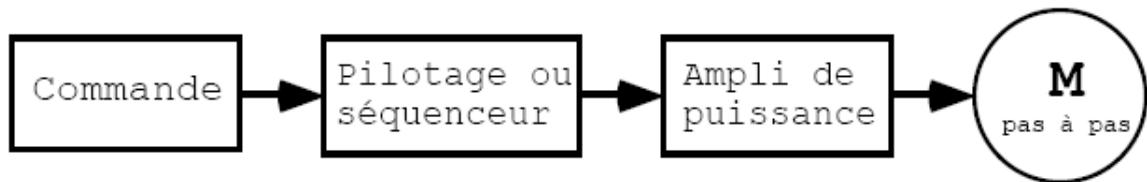


Figure 4.2 : Principe de commande du moteur pas à pas

Le moteur de la photo II est de type bipolaire à deux phases à aimant permanent dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Nombres de pas : 48
- Tension nominale d'alimentation : 24V
- Résistance des enroulements :  $6.4\Omega$
- Couple de maintien : 134mN.m
- Courant de phase : 1A



Photo II : moteur pas à pas bipolaire

Chaque borne de chaque enroulement est alimentée successivement par une polarité positive et puis par une polarité négative. D'où le nom bipolaire sur la figure 4.3.

En inversant les polarités des enroulements statoriques, on inverse les pôles nord et sud .Le nombres de phases est égal au nombre d'enroulements.

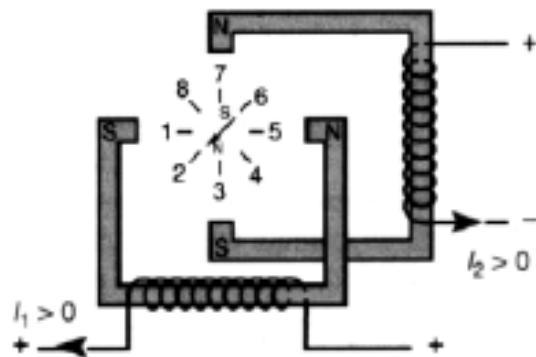


Figure 4.3: Disposition des bobines du moteur bipolaire

### b. Le circuit de commande

La fonction de commande est assurée par le PIC 18F2550, un microcontrôleur de la figure 4.4 est fabriqué par MICROSHIP.



Figure 4.4 : Brochage du microcontrôleur PIC 18F2550

Ce circuit dispose de :

- $V_{DD}$  : La broche de la polarisation
- $V_{SS}$  : La masse
- OSC1 et OSC2 : Signaux d'horloges, ces broches sont connectées à un quartz de 20MHz.

- Le PORT A comprend six broches entrées-sorties telles que RA0, RA1, RA2, RA3, RA4 et RA5. Sa configuration et sa programmation passent par l'utilisation de deux registres qui sont PORT A et TRIS A.
- Le PORT B comprend huit broches entrées-sorties telles que RBO, RB1, RB2, RB3, RB4, RB5, RB6 et RB7. Ils sont configurables et programmables par PORT B et TRI B.
- Le PORT C possède huit broches telles que RC0, RC1, RC2, RC3, RC4, RC5, RC6 et RC7.

Le programme implémenté dans le microcontrôleur se chargera de faire la correspondance entre la consigne et la fréquence à laquelle, on appliquera la séquence pour déterminer la vitesse des moteurs.

La séquence de commande de ces moteurs est composée de quatre bits correspondant à quatre sorties du microcontrôleur. L'interface de commande du mouvement du robot est donnée par la figure 4.5. Les séquences des bits pour les mouvements du robot sont :

- Marche avant ou Forward: 0111 ou 0x07
- Marche arrière ou Backward: 0110 ou 0x06
- Arrêt ou Stop: 0011 ou 0x03
- Virage à gauche ou Left: 0101 ou 0x05
- Virage à droite ou Right: 0100 ou 0x04

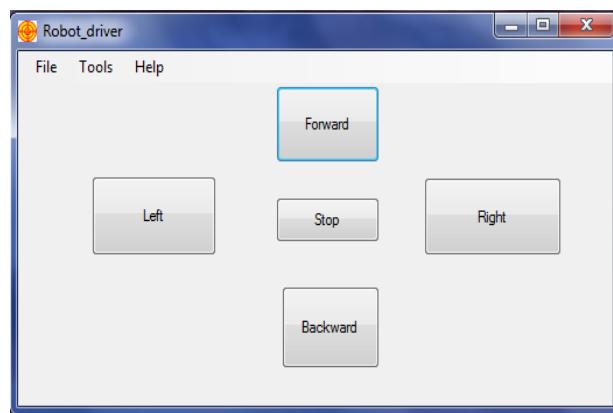


Figure 4.5 : Interface graphique pour le contrôle du mouvement du robot

Chaque moteur reçoit cette séquence indépendamment de l'autre. Pour que le robot puisse rouler en avant, les deux moteurs doivent tourner à la même vitesse. Et pour le cas des virages, on doit différencier les vitesses de ces deux actionneurs.

### c. Le circuit de puissance

Cette partie de dispositif vient en amont et en aval du circuit de commande assurant ainsi la transmission de la puissance atténuée du générateur et du processeur vers les moteurs. En effet, il a fallu intercaler plusieurs composants dédiés à ce genre de conversion de puissance à savoir le système de commutation constitué principalement de transistors.

Le système de commutation est constitué par un pont de transistors qui comporte quatre blocs des transistors Darlington symétriques deux à deux comme dans la figure 4.6. Lorsque le microcontrôleur est alimenté par la tension à l'état haut 5V, sa tension de sortie est aussi de type TTL. Notons que le pont de transistors est alimenté en permanence avec une batterie de 24V.

Lorsque la tension appliquée à la base de transistor Darlington de  $Q_3$  ou  $Q_4$  est à l'état haut, la tension aux bornes du collecteur du bloc est de 24V au maximale. Dans le cas où la tension aux bornes de la base du transistor Darlington  $Q_3$  ou  $Q_4$  est nulle, alors la tension aux bornes du collecteur de  $Q_3$  ou  $Q_4$  est égale à celle de la base de  $Q_1$  ou  $Q_2$ . Les fils  $S_1$  et  $S_2$  relient la bobine du moteur.

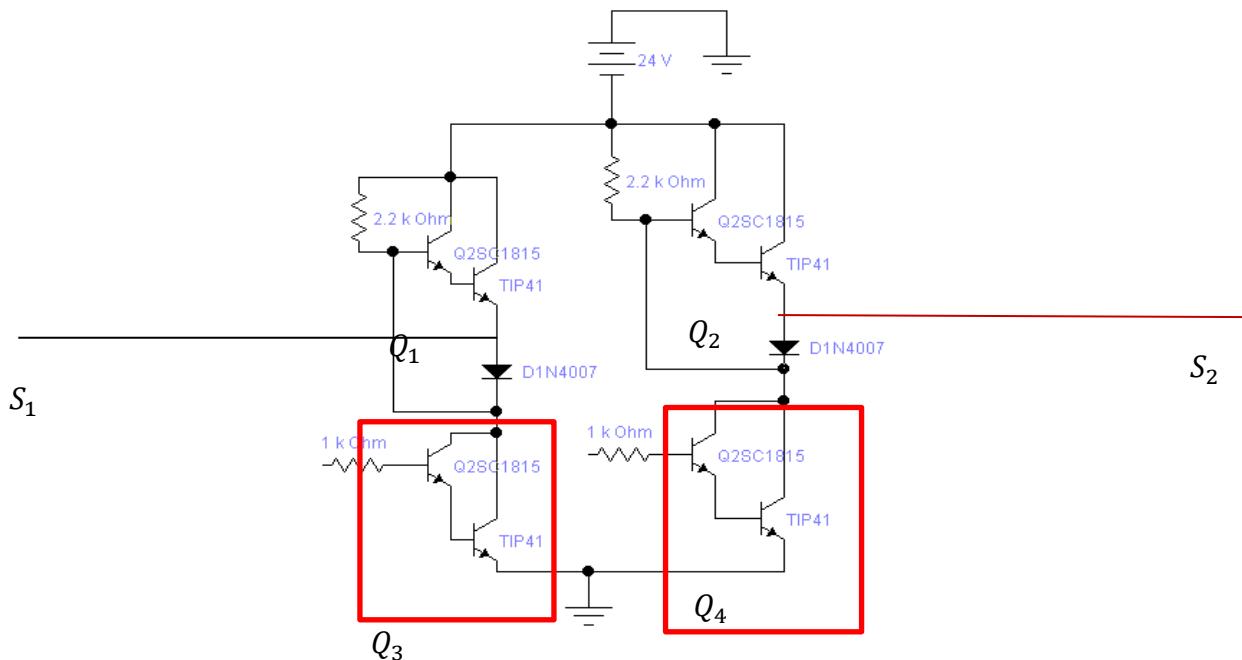


Figure 4.6 : Quatre blocs de transistors Darlington

Notons que notre projet utilise les commandes numériques pour atteindre une vitesse et une position voulue. La figure 4.7 montre l'aspect global de la carte électronique.

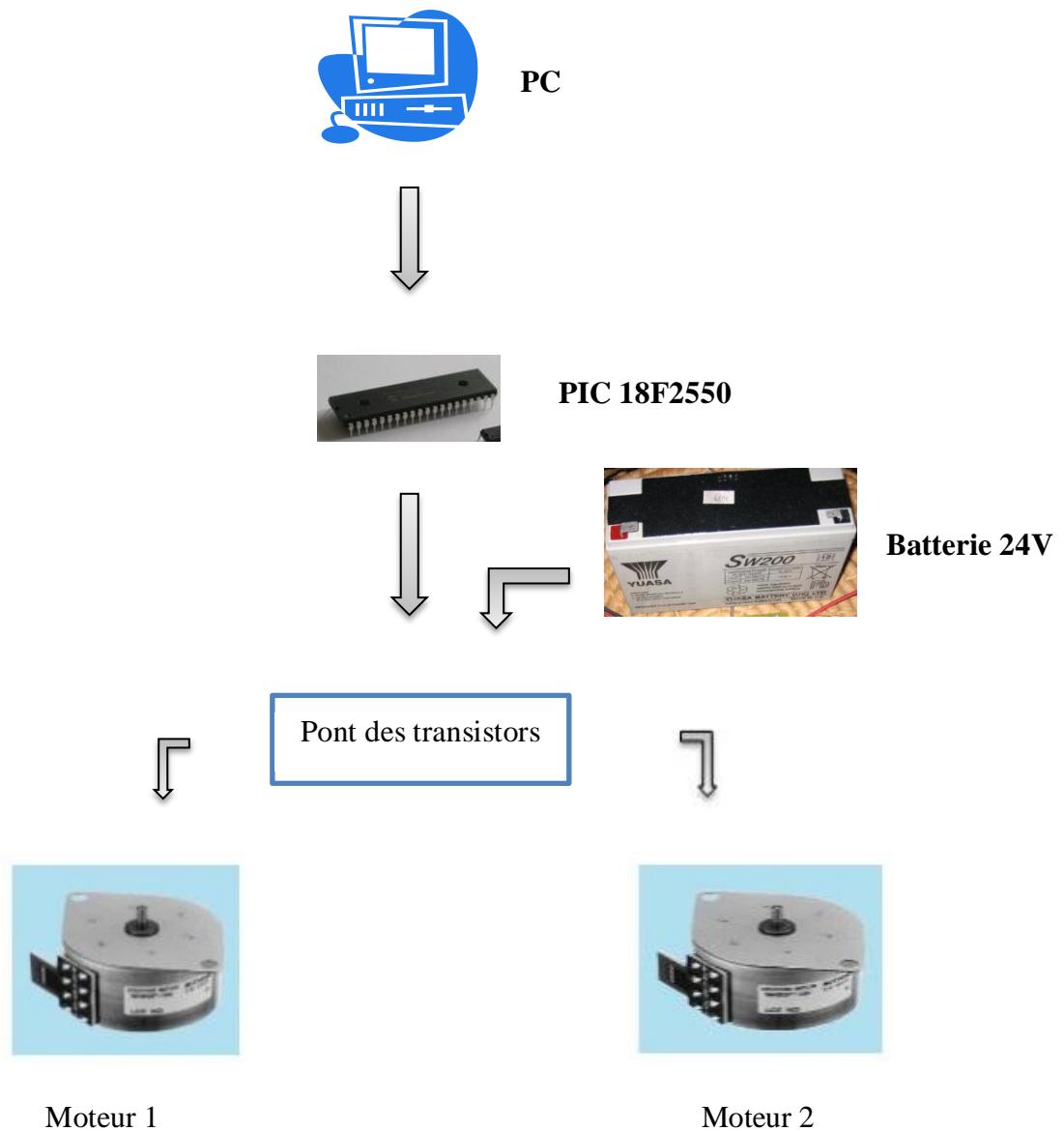


Figure 4.7 : Schéma global du circuit de commande des moteurs

Le PIC se chargera de commander le pont de transistors en fonction de la séquence de commande appliquée à chaque moteur.

## II.2. Informatique

La partie informatique du projet de la réalisation concerne l'interfaçage entre le PC 1 de commande et le robot. D'une part, il nous faut utiliser un logiciel qui commande totalement un autre PC à distance par le réseau Wifi. D'autre part, il y a le programme à implémenter sur le microcontrôleur PIC 18F2550.

### a. La commande par Radmin 3.4

Radmin 3.4 est un logiciel qui permet de contrôler totalement un ordinateur à distance soit par la connexion Wifi, soit par internet. Son utilisation consiste à installer un Radmin Server pour le serveur et Radmin Viewer pour le client.. La figure 4.8 montre la connexion de deux ordinateurs client-Serveur à travers l'internet.

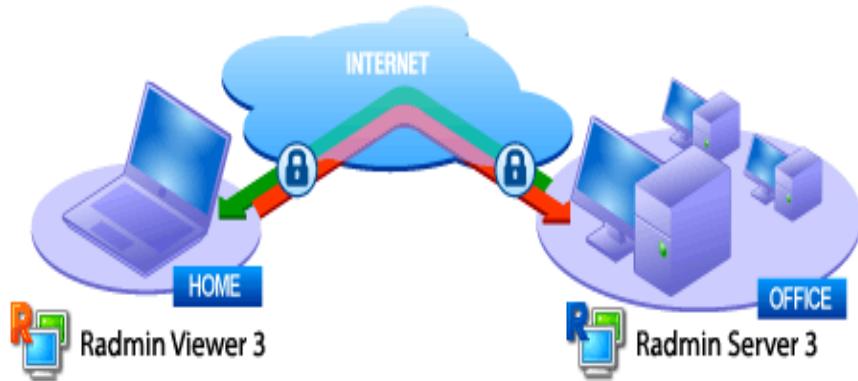


Figure 4.8: Utilisation de Radmin3.4 par réseau internet

Pour notre travail, on a utilisé le réseau Wifi en mode Ad hoc entre deux ordinateurs. Le PC embarqué est le serveur et l'autre le client. Le client commande donc le robot par l'intermédiaire de l'interface graphique installée sur le serveur. Afin de pouvoir diriger le robot, on utilise la webcam du système embarqué.

### b. Le protocole USB

Le protocole USB consiste à connaître un appareil ou device communiqué sur le port USB. Lors de l'insertion du programme dans le PIC, nous avons un fichier USBdecripteur.c qui permet à un ordinateur de connaître un appareil connecté.

La spécification USB impose une tension maximale 5V sur les fils et un courant de 500 mA au plus. Quant aux fils de données, la tension différentielle entre les deux peut valoir 0V ou 3,3V ou 5V.

### c. La programmation PIC 18F2550

Le rôle du PIC est de recevoir et interpréter les consignes issues du programme de commande. La carte électronique se charge de commander chaque moteur. La figure 4.9 présente un organigramme des moteurs.

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. Enfin 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 frein.

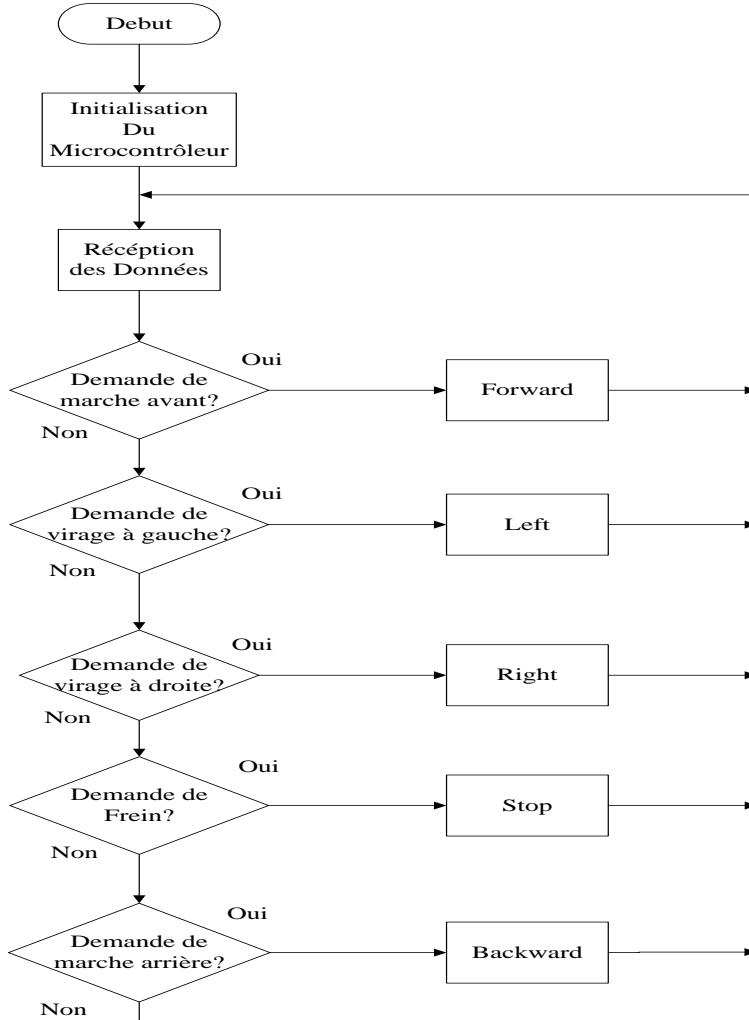


Figure 4.9 : Organigramme de commande du robot.

### II.3. Mécanique

La partie mécanique de notre réalisation concerne le choix des matériaux utilisés. La plate-forme rectangulaire de la photo III sera découpée dans une plaque de contreplaqué de longueur 50cm, de largeur 37cm et d'épaisseur 6mm. Les roues motrices ont 7cm de diamètre et les deux roues directrices 5,5cm de diamètre. Les roues doivent assurer un roulement sans glissement.

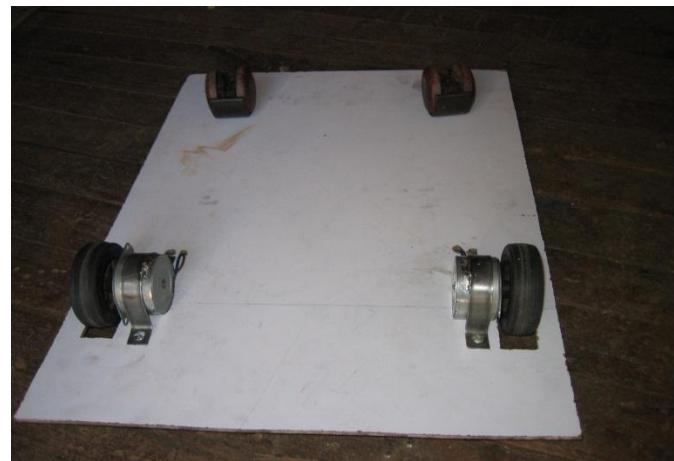


Photo III : La plate-forme et les roues

Le robot de la photo IV.13 pèse 6 kg et il est constitué de deux batteries de 12V en série, d'une carte électronique, et d'un ordinateur portable de 14 pouces.



Photo IV : Conception générale d'un robot mobile

La réalisation d'un robot mobile commandé par WiFi nécessite donc une étude théorique approfondie. Afin de mener à bien la réalisation, il faut ainsi suivre les étapes suivantes :

- Connaître les caractéristiques du moteur à utiliser ;
- Concevoir la carte électroniques en fonction des spécificités du moteur ;
- Programmer le PIC ;
- Réaliser la partie mécanique ;
- Effectuer la liaison WiFi entre les deux ordinateurs.

## **CONCLUSION GENERALE**

Dans ce travail, nous avons pu découvrir le principe de fonctionnement d'un robot mobile. Ce principe est composé de plusieurs étapes qui sont la perception, la modélisation, la localisation, la décision et l'action.

La conception de ce type de robot a exigé la maîtrise de plusieurs notions techniques telles que la mécanique, l'électronique, l'automatique et l'informatique. Les notions de mécanique ont été nécessaires pour connaître la puissance du moteur en fonction du couple moteur. Ceux de l'électronique ont été utilisés pour la conception du circuit de commande. L'asservissement en vitesse nécessite des connaissances en automatique. Quant à l'informatique, elle est utilisée dans la programmation du microcontrôleur, dans la création de l'interface de commande et dans la liaison sans fil des ordinateurs.

Pour la partie théorique, nous avons déterminé la position et la vitesse du système à partir du modèle odométrique, tout en conservant la contrainte non holonome. Nous avons effectué la modélisation du moteur à courant continu pour la régulation de la vitesse par le correcteur PID. Nous avons ainsi obtenu une fonction de transfert que nous avons utilisé pour simuler le fonctionnement du moteur. Et en ce qui concerne son déplacement, le guidage du robot dépend de la tension appliquée pour contrôler cet engin mobile.

Puisque le but de ce projet était de concevoir un robot mobile commandé à distance utilisé comme caméra de surveillance, une amélioration possible est d'utiliser une caméra embarquée à haute résolution afin d'obtenir des images de qualité. Une autre amélioration est aussi d'utiliser un amplificateur WiFi afin d'augmenter sa zone de couverture. Notre recherche nous a permis de créer un système embarqué que nous avons contrôlé directement par le réseau sans fil WiFi .Pour terminer, notons qu'il existe des robots mobiles qui veut une trajectoire prédefinie.

## ANNEXE 1

### Les normes WiFi

La norme IEEE 802.11 est en réalité la norme initiale offrant des débits de 1 ou 2 Mbps. Des révisions ont été apportées à la norme originale afin d'optimiser le débit, c'est le cas des normes 802.11a, 802.11b et 802.11g, appelées normes 802.11 physiques ou bien préciser des éléments afin d'assurer une meilleure sécurité ou une meilleure interopérabilité. Voici un tableau présentant les différentes révisions de la norme 802.11 et leur signification :

Norme	Nom	Description
802.11a	Wifi	La norme 802.11a permet d'obtenir un haut débit de 54 Mbps théoriques, 30 Mbps réels. La norme 802.11a spécifie 8 canaux radio dans la bande de fréquence des 5 GHz.
802.11b	Wifi	La norme 802.11b est la norme la plus répandue actuellement. Elle propose un débit théorique de 11 Mbps ,6 Mbps réels avec une portée pouvant aller jusqu'à 300 mètres dans un environnement dégagé. La plage de fréquence utilisée est la bande des 2.4 GHz, avec 3 canaux radio disponibles.
802.11c	Pontage 802.11 vers 802.1d	La norme 802.11c n'a pas d'intérêt pour le grand public. Il s'agit uniquement d'une modification de la norme 802.1d afin de pouvoir établir un pont avec les trames 802.11
802.11d	Internationalisation	La norme 802.11d est un supplément à la norme 802.11 dont le but est de permettre une utilisation internationale des réseaux locaux 802.11. Elle consiste à permettre aux différents équipements d'échanger des informations sur les plages de fréquence et les puissances autorisées dans le pays d'origine du matériel.
802.11e	Amélioration de la qualité de service	La norme 802.11e vise à donner des possibilités en matière de qualité de service au niveau de la couche liaison de données. Ainsi cette norme a pour but de définir les besoins des différents paquets en termes de bande passante et de délai de transmission de telle manière à permettre

(suite)		notamment une meilleure transmission de la voix et de la vidéo.
802.11f	Itinérance ou roaming	La norme 802.11f est une recommandation à l'intention des vendeurs de point d'accès pour une meilleure interopérabilité des produits. Elle propose le protocole Inter-Access point roaming protocol permettant à un utilisateur itinérant de changer de point d'accès de façon transparente lors d'un déplacement, quelles que soient les marques des points d'accès présentes dans l'infrastructure réseau. Cette possibilité est appelée itinérance.
802.11g		La norme 802.11g offre un haut débit 54 Mbps théoriques, 30 Mbps réels sur la bande de fréquence des 2.4 GHz. La norme 802.11g a une compatibilité ascendante avec la norme 802.11b, ce qui signifie que des matériels conformes à la norme 802.11g peuvent fonctionner en 802.11b
802.11h		La norme 802.11h vise à rapprocher la norme 802.11 du standard Européen HiperLAN 2, d'où le h de 802.11h et être en conformité avec la réglementation européenne en matière de fréquence et d'économie d'énergie.
802.11i		La norme 802.11i a pour but d'améliorer la sécurité des transmissions gestion et distribution des clés, chiffrement et authentification. Cette norme s'appuie sur l'AES Advanced Encryption Standard et propose un chiffrement des communications pour les transmissions utilisant les technologies 802.11a, 802.11b et 802.11g.
802.11r		La norme 802.11r a été élaborée de telle manière à utiliser des signaux infra-rouges. Cette norme est désormais dépassée techniquement.
802.11j		La norme 802.11j est à la réglementation japonaise ce que le 802.11h est à la réglementation européenne.

Tableau A.1 : Normes Wifi

## ANNEXE 2

### Microcontrôleur PIC

Un microcontrôleur est un composant programmable. Il regroupe dans un seul boîtier compact, un processeur de calcul, de la mémoire vive ou RAM, de la mémoire permanente comme FLASH, EEPROM, des périphériques. Le nom PIC n'est pas officiellement un acronyme, bien que la traduction en Peripheral Interface Controller ou contrôleur d'interface périphérique. Cependant, à l'époque du développement du PIC1650 par General Instrument, PIC était un acronyme de Programmable Intelligent Computer ou Programmable Integrated Circuit.

#### - **Architecture interne du PIC :**

Le schéma ci-dessous présente les principaux blocs fonctionnels présents à l'intérieur d'un PIC ainsi qu'une courte description.

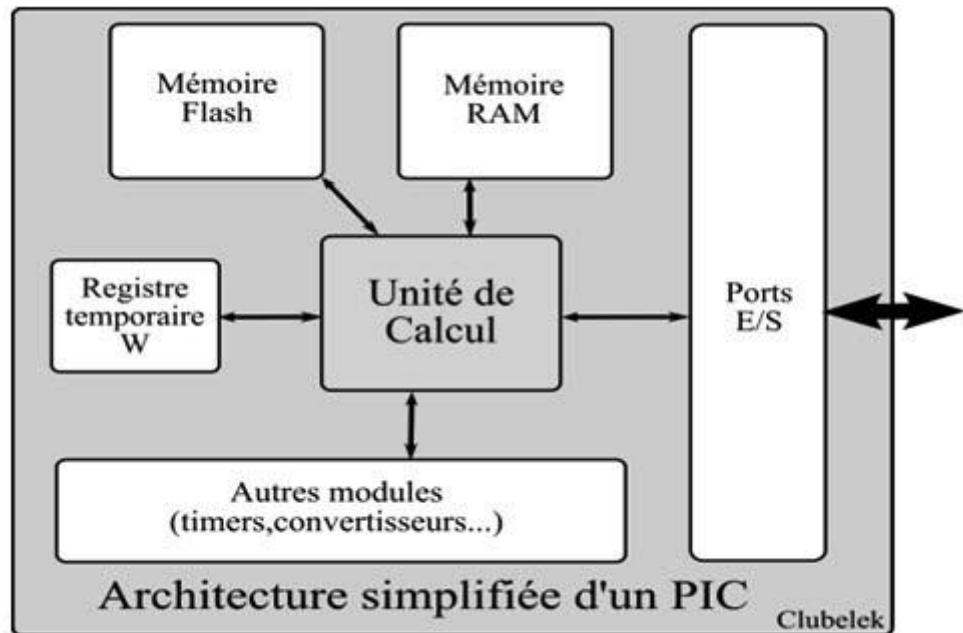


Figure A.1 : Blocs fonctionnels présents à l'intérieur d'un PIC

### - Description des blocs fonctionnels :

- Mémoire flash est une mémoire réinscriptible qui conserve ses données lorsque le PIC n'est pas alimenté. Elle est utilisée pour stocker le programme. A chaque ligne du programme est attribuée une adresse qui permettra à l'unité de calcul de se repérer.
- Mémoire RAM est une mémoire volatile qui s'efface quand le PIC n'est plus alimenté. Les variables utilisées au cours du programme sont stockées à cet endroit.
- Unité de Calcul est le cœur du microcontrôleur. Ici se déroulent toutes les opérations à une vitesse définie par la fréquence d'horloge fréquence d'oscillation divisée par 4.
- Registre temporaire West ici qu'est stockée la valeur nécessaire pour une opération de l'unité de calcul.
- Ports E/S, ce sont les unités qui font le lien entre ce qui se passe à l'intérieur du PIC et l'extérieur.
- Modules annexes sont toutes les fonctions annexes comme timers, comparateurs, convertisseurs analogiques/numériques.

### - Utilisation et fonctionnalité :

Actuellement, la famille PIC 18F devient praticable à la réalisation d'un projet électronique à cause de sa simplicité de mise en œuvre. Pour le montage, PIC doit contenir au minimum un oscillateur intégré ainsi qu'une désactivation possible de la patte de reset.

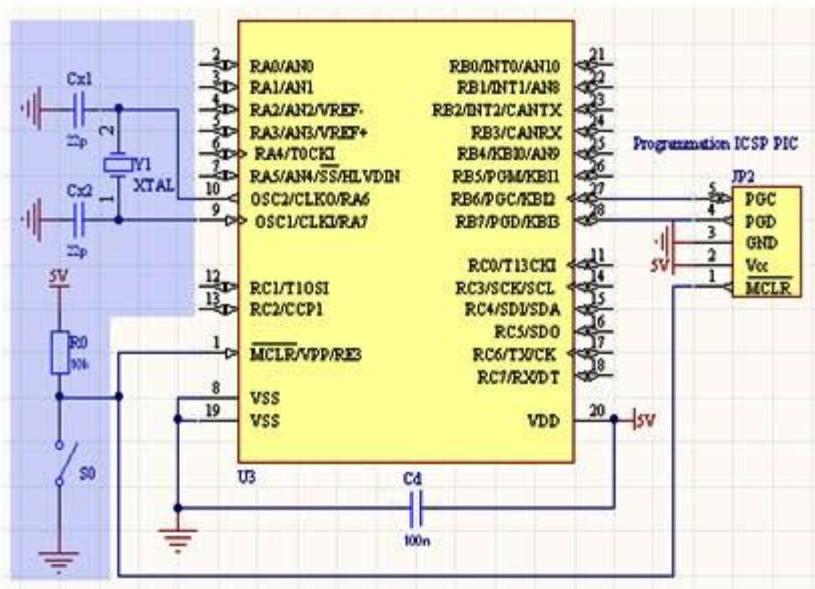


Figure A.2 : Câblage minimum d'un PIC 18F.

- L'oscillateur est un montage de composants qui, une fois alimenté, se met à osciller naturellement à une fréquence constante. Il permet au microcontrôleur de se générer une horloge pour cadencer les mécanismes d'exécution du programme. Plus cette fréquence est rapide, plus le programme s'exécute rapidement. L'oscillateur interne du PIC n'est pas très précis. Pour les applications qui nécessitent une grande précision, il faudra installer un oscillateur externe composé d'un quartz et de condensateurs comme proposé ci-dessus.
- Le reset est une action qui redémarre l'exécution du programme au début.
- L'alimentation est l'apport d'énergie au microcontrôleur. Il est indispensable qu'elle soit de très bonne qualité pour éviter des redémarrages intempestifs du programme.
- Le connecteur de programmation devra être ajouté au montage pour pouvoir écrire le programme dans le PIC. La forme du connecteur devra être choisie en fonction du programmeur. Les pattes utilisées pour la programmation sont toujours les mêmes : PGC, PGD, VCC, GND, MCLR.

#### **- Les langages de programmation :**

Les langages de programmation en PIC les plus courants sont langage C, langage VHDL et langage à bas niveau Assembleur. Lors de la programmation, Il est nécessaire de spécifier pour chaque pin utilisé d'un port, si ce sera une entrée ou une sortie. Cette configuration est accessible par les registres TRISX où X représente le nom du port : A, B, C, D, E et doit être configurée avant toute utilisation du port. Un 1 correspond à une entrée qui ressemble au I de Input et un 0 correspond à une sortie ressemble à O de Output.

#### **- Les interruptions :**

Une interruption est une action, déclenchée par un événement précis, qui va arrêter le programme principal, s'exécuter, puis reprendre le programme principal à l'endroit où il s'était arrêté. Les interruptions peuvent être déclenchées par: Les timers, les pins interruptibles, les interfaces de communication, le convertisseur analogique-numérique. Pour utiliser les interruptions, il faut tout d'abord les activer. Il faut pour cela fixer les valeurs des registres suivant :

- INTCON qui contient :
  - GIE à bit 7 : activation générale des interruptions
  - PEIE à bit 6 : activation des interruptions des périphériques
  - bit5-bit3 RBIE, TMR0IE: activation individuelle d'interruptions principales
  - bit2-bit0 à RBIF, TMR0IF: Lorsqu'un événement déclencheur se produit, il est notifié dans un "flag" qui permettra par la suite d'identifier la cause de l'interruption.
- INTCON2, INTCON3 contiennent des options supplémentaires
- PIR1, PIR2, PIR3 contiennent les flags des différentes sources d'interruptions des périphériques
- PIE1, PIE2, PIE3 contiennent l'activation des différentes sources d'interruptions des périphériques

L'exécution des interruptions se fait à partir de l'adresse programme 0x08. En effet, lorsqu'une interruption se produit, le programme principal s'arrête et exécute l'instruction à l'adresse 0x08. La routine d'interruption est structurée de la façon suivante:

- Sauvegarder les registres
- Identifier la source de l'interruption
- Effectuer l'action associée à cette interruption
- Restaurer les registres
- Revenir au programme principal

- **Les familles de PIC :**

Les modèles de PIC courants sont repérés par une référence de la forme :

- 2 chiffres : famille du PIC (10, 12, 16, 17 et 18) , le PIC14 existe, c'est le PIC14000.
- 1 lettre : type de mémoire de programme (C ou F). Le F indique en général qu'il s'agit d'une mémoire flash et donc effaçable électroniquement. La lettre C indique en général que la mémoire ne peut être effacée que par exposition aux ultra-violets, exception pour le PIC16C84 qui utilise une mémoire EEPROM donc effaçable électriquement. Un L peut être ajouté devant pour indiquer qu'il s'agit d'une modèle basse tension par exemple : 2 V à 5,5 V si LF — 4,2 V à 5,5 V si F.

- Un nombre de 2 à 4 chiffres : modèle du PIC au sein de la famille, mais toutefois, il y a maintenant des exceptions comme PIC18F25K20 ou PIC18F96J60 par exemple.
- Un groupe de lettres pour indiquer le boîtier et la gamme de température, par exemple : le PIC18LF4682-I/P est un microcontrôleur de la famille PIC18, basse tension (L), à mémoire flash (F), modèle 4682, gamme de température industrielle (I) et boîtier DIL40.

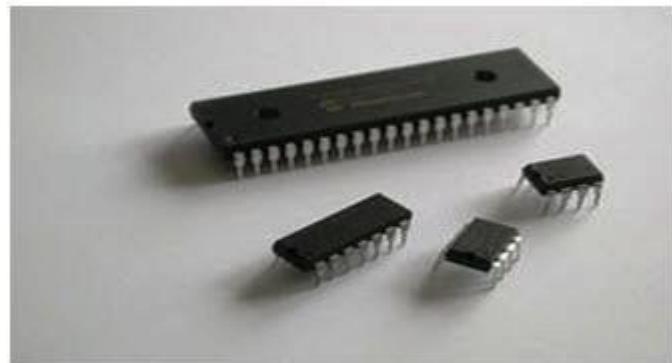


Figure A.3 : Quatre microcontrôleurs PIC de familles différentes : 18F, 16F, 12F et 10F.

- **Les brochages :**

Chaque PIC possède un brochage différent et il est nécessaire de connaître le brochage de chacun pour l'utiliser. Les noms de code existent pour désigner l'utilité de chaque broche :

- RA<sub>x</sub> avec patte "x" du port I/O "A"
- RB<sub>x</sub> avec patte "x" du port I/O "B"
- RC<sub>x</sub> avec patte "x" du port I/O "C"
- RD<sub>x</sub> avec patte "x" du port I/O "D"
- RE<sub>x</sub> avec patte "x" du port I/O "E"
- RF<sub>x</sub> avec patte "x" du port I/O "F"
- PGD avec patte de Programmation Data - patte utilisée, par exemple, pour l'ICD2/3
- PGC patte de Programmation Clock - patte utilisée, par exemple, pour l'ICD2/3
- MCLR de patte de programmation Master CLeaR - patte utilisée, par exemple, pour l'ICD2/3
- V<sub>dd</sub>/V<sub>cc</sub> alimentation: généralement +3.3V ou +5V
- V<sub>ss</sub> alimentation masse 0V
- SDO :Bus SPI: Serial Data Output

- SDI : Bus SPI: Serial Data Input
- SCK :Bus SPI: Serial CLock
- TX Bus UART: output
- RX Bus UART: input
- SDA Bus I2C - Serial DAta
- SCL Bus I2C - Serial CLock
- ANxla patte est reliée au canal "x" d'acquisition d'un signal analogique ou CAN
- RE Read Enable. Patte utilisée pour indiquer qu'une opération de lecture est demandée sur un bus de données
- WR WRite. Patte utilisée pour indiquer qu'une opération d'écriture est demandée sur un bus de données
- CS Chip Select
- PSP1
- P1D, P1C
- PGM
- C2IN-, C2IN+
- OSC
- INT
- ECCP
- CANRX, CANTX
- DT

## REFERENCES

[1]. Isaac Asimov , « *L'invention du terme robotique* », publiée en mai 1941 dans *Astounding Science-Fiction*.

<http://www.igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2002/robotique/chapitres/Historique.htm>

[2]. Thomasta, « *Cours robotique* »,

<http://www.thomasta.com/soutien%20scolaire/informatique%20et%20telecommunication/info%20et%20tel/robotique.html>

[3]. Alain Pruski, « *Robots mobiles autonomes* », *Professeur à l'Université de Metz*

*Robotmobilesautonome.pdf*

<http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-informatique-industrielle-tias0/archive-2/robots-mobiles-autonomes-r7850/>

[4]. Alexandre Alapetite « *Mobile laptop computer robot* », publié 09 mai 2008

<http://alexandre.alapetite.fr/doc-alex/robot-mobile-laptop2/index.en.html>

[5]. Alain Pruski, « *Robots mobiles autonomes* », *Professeur à l'Université de Metz*

*Chap structure du robot, Robotmobilesautonome.pdf*

<http://www.techniques-ingenieur.fr>

[6]. SLIMANE Noureddine « *Système de localisation pour robots mobiles* », *Thèse soutenu 25mars 2005 à Université de Batna*

<http://theses.univ-batna>

[7]. Prof. Marcel Jufer « *Les moteurs pas à pas* », *cours systèmes électromagnétiques de Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion Du Canton du Vaud.*

<http://www.electrocouffigna.site.ac-strasbourg.fr/site-php/cours2007/moteur-pasapas.pdf>

[8]. MITSUMI, « *Stepping Motors M49SP-2K* », *Datasheet -M49SP-2K*

<http://www.pollin.de/shop/downloads/D310002D.PDF>

[9].[http://www.wikipedias.org/moteur pas à pas](http://www.wikipedias.org/moteur_pas_à_pas)

[10]. Crouzet, « *Les avantages de moteur pas à pas*», *Les avantages de moteur pas à pas.pdf*

[http://djoume.taket.org/moteurs pas a pas.pdf](http://djoume.taket.org/moteurs_pas_a_pas.pdf)

[11]. M.-J. Aldon. « *Capteurs et méthodes pour la localisation des robots mobiles. Techniques de l'Ingénieur, traité Informatique Industrielle* » vol. S-7852, pages 1–19, 2001.

[http://eavr.u-strasbg.fr/~bernard/education/ensps\\_3a/poly\\_3a.pdf](http://eavr.u-strasbg.fr/~bernard/education/ensps_3a/poly_3a.pdf)

[12].Julien Beaudry, « *Projet Spinos: Conception et contrôle d'un robot mobile à vitesses différentielles* », *Rapport de projet de fin d'études soumis comme condition partielle à l'obtention du diplôme de baccalauréat en ingénierie*, 05 décembre 2001.

[http://robofoot.polymtl.ca/publications/PFE\\_jbeaudry.pdf](http://robofoot.polymtl.ca/publications/PFE_jbeaudry.pdf)

[13]. Damien PERRITAZ. « *Suivi de chemin par un robot* » Section microtechnique. Laboratoire d'Automatique. EPFL 2005

<http://la.epfl.ch/files/content/sites/la/files/users/139973/public/reports/Perritaz.Rapport.pdf>

[14]. Christophe LE LANN. « *Le PID utilisé en régulation de position et/ou de vitesse de moteurs électriques.* »,2006-2007

<http://www.svcrobotics.googlecode.com/files/PID.pdf>

[15]. E420 « *Régulateur PID d'un Système Linéaire Continu* », 4<sup>ème</sup> Année, Département Electronique, ESPA, Année Universitaire 2011-2012, Cours Mr RATSIMBA Mamy Nirina, , Systèmes Asservis Linéaire Continu (S.A.L.C)

[16]. THIONVILLE, « *Les moteurs pas à pas* »,

*Moteurs pas à pas.pdf*

<http://www.ac-nancy-metz.fr>

Auteur : ANDRIAMAMPIANINA Miridra Harivelos  
Titre : CONCEPTION ET REALISATION D'UN ROBOT MOBILE NON  
HOLONOME  
Nombre de pages : 53  
Nombre de figures : 39  
Nombre de photos : 4  
Nombre de tableau : 1

**Résumé :**

*Notre travail a pour but de concevoir un robot mobile commandé par WiFi. La commande à distance d'un robot mobile à deux roues motrices et à deux roues directrices par WiFi consiste à utiliser un logiciel de contrôle pour localiser ce système. Cette commande gère directement les mouvements non holonome du robot et 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 les vitesses de chaque moteur. Pour le cas de la marche arrière, le sens du courant de la bobine change.*

*Mots clés : robot mobile, non holonomic, vitesse différentielle, régulateur PID, système embarqué*

**Abstract:**

*The purpose of our work is to design a mobile robot ordered by WiFi. The remote control of a mobile robot with two driving wheels and two steering wheels by WiFi consists to use software of control to locate this system. This command directly manages the not holonomic movements of the robot, and the movement of this machine depends on the applied voltage to each engine. If the speeds of the engines are identical, the movement of the robot is rectilinear uniform. In the contrary case, the robot carries out, either a turn on the left, or a turn on the right according to the speed of each engine. In case of backward, the current direction of the induction-coil changes.*

*Keywords: mobile robot, not holonomic, differential speeds, regulator PID, embarked system*

Encadreur : Monsieur RATSIMBA Mamy Nirina

Adresse auteur : Enceinte CRINFP Benasandra Fenoarivo

e-mail : mirindranet@yahoo.fr