

N° d'ordre :

جامعة محمد بوضياف - المسيلة

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

كلية التكنولوجيا

Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك

Département d'Electronique

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : Messaoudi Hadjer

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : GENIE ELECTRIQUE

OPTION : Instrumentation et Maintenance Industrielle

Thème

Système de poursuite de chemin avec évitement

d'obstacle pour un fauteuil roulant électrique

Soutenue le : 08/06/2015 devant le jury composé de

Guichi Omar
Mazaache Hatem
Brik Youcef
Bouglal Abd elwahab

MAA - Université Mohamed Boudiaf - M'sila
MAA - Université Mohamed Boudiaf - M'sila
MAA - Université Mohamed Boudiaf - M'sila
MAB - Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Président
Encadreue
Examinateur
Examinateur

Table de Matière

Dédicace.....	
Remerciements	
Liste de figure	i
Table des tableaux	iii
Introduction generale.....	1

chapitre I ,

L'etat de l'art

1.Introduction.....	3
2.Généralité sur les fauteuils roulants électriques.....	3
2.1.Les origines du fauteuil roulant électrique.....	3
2.2. Différents types du fauteuil roulant électrique.....	3
2.2.1. Fauteuil d'intérieur.....	3
2.2.2. Fauteuil d'extérieur.....	3
2.2.3. Fauteuil verticalisation.....	4
2.2.4. Fauteuil à hauteur variable.....	4
2.3. Les utilisateurs de fauteuils roulants	4
2.4. Comment le fauteuil roulant est utilisé.....	4
2.5. Matériaux et technologie disponibles.....	5
2.6. La conception du fauteuil roulant	6
2.6.1 Considérations générales dans la conception des fauteuils roulants	6
2.7. Comment le fauteuil roulant sera fabriqué.....	7
2.8. Fiabilité.....	7
3.Les capteurs.....	7
3.1.Les capteurs proprioceptifs.....	7
3.2.Les accéléromètres.....	8
3.3.Les télémètres.....	9
3.3.1.Télémètres à ultrasons.....	9
3.3.2.Télémètres à infrarouges.....	9
3.4.Les capteurs laser.....	10
3.5.Les capteurs photographiques	11
4.Les caméras.....	12
4.1.Les cameras stéréoscopiques.....	12
4.2.Les caméras panoramiques.....	13
5.Conclusion	14

Chapitre II :

Description et modalisation d'un fauteuil roulant

1.Introduction	15
2.Description d'un fauteuil roulant.....	15
3.Modèle cinématique.....	16
4.Conclusion	19

Chapitre III :

Notion de base et généralité sur les réseaux de neurones

1.Introduction.....	20
2.Application.....	20
3.Qu'est ce qu'un réseau de neurones.....	20
4.Modèle mathématique.....	20
5.Techniques d'apprentissage	21
5.1.L'apprentissage supervisé	21
5.2.L'apprentissage non supervisé.....	22
6.Fonctions de transfert	22
7. Quelques architectures neuronales	23
7.1. Perceptron multi couches «PMC»	23
7.2. Le réseau de Hopfield	25
7.3. Le réseau de Kohonen.....	25
7.4. Le réseau RPF	26
8. Propriétés des réseaux de neurones artificiels	26
8.1. Apprentissage et mémoire	26
8.2. Sous-apprentissage, généralisation et sur-apprentissage	27
9. Utilisation des réseaux de neurones pour la planification et l'évitement d'obstacles dans fauteuil roulant.....	28
9.1. Implémentation d'approche classique par les réseaux de neurones.....	28
9.2. Création d'une méthodologie neuronale.....	29
9.3. Modélisation cognitive par les réseaux de neurones.....	29
9.4.Discussion.....	30
9.4.1. Le nombre de neurones.....	30
9.4.2. L'algorithme d'apprentissage.....	30
9.4.3. La distribution des tâches cognitives.....	31
10. Conclusion.....	31

Chapitre IV :

Système de contrôle pour la poursuite du chemin

1.Introduction	32
2. Méthodes de suivi de trajectoire.....	32
3 : Discussion.....	33
3.1 : Synthèse des méthodes de navigation.....	33
3.2 :Nomenclature et lien avec une architecture de commande pour l'autonomie	34
4 : Poursuite de trajectoire	37
4.1 : Modélisation du système	38
4.2 : Calcul des paramètres l et α	41
5.Conclusion	42

Chapitre V :

Application et résultats de simulation

1.Introduction	43
2. Résultats et discussion.....	43
3.Conclusion	47
Conclusion générale	48
<i>RESUME</i>	
<i>Bibliographie</i>	

Dédicace :

**Je dédie ce travail à :
Mes très chers parents
pour leurs sacrifices.**

Mon mari.

**Mon petit fils : Mohammed
Islem**

Ma grand-mère.

Mes oncles et mes tantes.

Toutes mes amies.

Hadjer

Remerciements

D'abord, j'adresse un très grand remerciement à monsieur Mazaache Hatem mon encadreur de recherche qui ma donne des conseils durent mon travail.

Ensuite, je tiens à remercier aussi les membres du jury d'avoir accepté l'évaluation de ce travail.

Mes remerciements vont également au monsieur Bakhti Elhadi et monsieur Bentoumi Miloud et Nadji Fouad.

Je tiens à dire merci à tous ceux qui, par leurs conseils et leurs encouragements, ont contribué à l'aboutissement de mon travail.

Enfin, je remercie avec gratitude mes parents et mon mari pour leur soutien

LISTES DE FIGURES.

Figure I.1. Les différents types de fauteuils	3
Figure. I.2. Fauteuil roulant pour une utilisation à l'extérieur.....	5
Figure. I.3. Fauteuil roulant pour une utilisation à l'intérieur et à l'extérieur.....	5
Figure. I.4. a. Fauteuil roulant pliable b. Roues à démontage rapide c. Roues démontables.....	5
Figure .I.5. Exemple d'un fauteuil roulant manuel et de ses éléments principaux.....	6
Figure 1.6. Principe général de l'odométrie.....	8
Figure I.7: Exemple de fonctionnement d'un accéléromètre.....	8.
Figure. I.8: Principe du télémètre à ultrasons et exemple de télémètre réel.....	9
Figure I.9. Principe du télémètre infrarouge à triangulation et exemple de télémètre réel.....	10
Figure I.10: Fonctionnement d'un capteur LASER.....	11
Figure 1.11. Les capteurs photographiques.....	12
Figure 1.12. Exemple de données fournies par des caméras stéréoscopiques	12
Figure 1.13. Principe des caméras panoramiques catadioptriques, Exemple d'image obtenue et illustration du flux optique.....	13
Figure II.1:Fauteuil à traction avant.....	15
Figure II.2: Posture q du prototype : $q = [x(t) \ y(t) \ \theta(t)]^T$	16
Figure II.3: Convention de signe pour l'angle de rotation d'une roue motrice.....	17
Figure II.8: Posture du fauteuil par rapport à un repère global (\mathcal{R}_0)	17
Figure II. 9: Variation de la posture du fauteuil entre deux instants d'échantillonnage.....	18
Figure (III.1) : Mise en correspondance neurone artificiel / neurone biologique.....	21
Figure (III.2) : Perceptron avec fonction seuil.....	23
Figure (III.3) : Réseau multicouche -présentation matricielle.....	24
Figure (III.4) : Illustre le compromis entre sur-apprentissage, sous-apprentissage et bonne généralisation.....	28
Figure IV.1. Approche par modèle inverse pour effectuer un suivi de trajectoire.....	32
Figure IV.2 : Bloc de la partie décision.....	34
Figure IV.3 , Bloc de la partie perception.....	35
Figure IV.4 : Architecture de contrôle.....	36
Figure IV.5 : Définition du suivi de trajectoire.....	38
Figure IV.6: Evolution du fauteuil.....	38
Figure IV.7 : Schéma de principe du suivi de trajectoire.....	40
Figure IV.8 : Définition des trajectoires à suivre.....	41
figureV.1. Environnement 1Suivi de trajectoire avec évitement d'obstacles.....	43
figureV.2. Environnement 2Suivi de trajectoire avec évitement d'obstacles.....	44

<i>figure V.3</i> Environnement 3 Suivi de trajectoire avec évitement d'obstacles.....	44
Figure V.4 : Environnement 4 Suivi de trajectoire avec évitement d'obstacles	46

Des tableaux

Tableau. III. 2. Les fonctions de transfert.....	23
--	----

Introduction Générale

Introduction Générale :

Dans le monde il ya plusieurs gents qui souffrent d'handicaps moteurs, ceci à pousser de nombreuses recherches ces dernières années, en raison d'améliorer les caractéristiques des fauteuils roulants électriques, pour assurer l'aide à ces handicaps moteurs, les chercheurs ont proposé plusieurs méthodes de commande pour arriver à des fauteuils roulants électriques autonomes.

Dans ce cadre plusieurs techniques de commandes ont été proposées pour arriver à cette autonomie. La problématique générale se réduit dans la plupart des cas à faire se déplacer le fauteuil roulant dans un environnement connu ou inconnu, tout en évitent des obstacles fixes ou mobiles, pour assurer le déplacement des ces gens dans leurs environnements.

L'objectif de ce mémoire trouve son on intérêt dans l'exécution d'un mouvement planifié et concerne le développement de lois de commande pour le suivi de trajectoire des fauteuils roulants électriques [1]. Cette loi de commande est basé sur l'utilisation d'un réseau de neurones de type MLP pour assurer le suivi de trajectoire par notre fauteuil roulant électrique en évitent des obstacles statiques dans son environnement.

Le présent document est composé de cinq chapitres et est organisé de la manière suivante, Le premier chapitre propose un état de l'art où on a présenté les différents types des fauteuils roulants électriques et leurs utilisation par les gens handicaps, par la suite nous avons présenté les différents types de capteurs et de caméras qui peut être utilisé dans les fauteuils roulants.

.Le second chapitre est consacré aux deux types de modélisation; la modélisation cinématique et la modélisation dynamique, pour exprimer le mouvement du fauteuil roulant par des équations de vitesse et d'accélération.

La troisième chapitre est consacré pour la description des réseaux de neurones artificiels, nous commençons par donner quelques définitions par la suite nous expliquant c'est quoi l'apprentissage pour un réseau de neurones et à la fin nous donnons les principales architectures de réseaux de neurones que l'on retrouve dans la littérature, où nous n'allons pas les étudier mais on va donner leurs mécanismes internes fondamentaux.

Le quatrième chapitre présente des méthodes de suivi de trajectoire, telles que les fonctions transverses et les sorties plates, permet au fauteuil de suivre « du mieux possible » une trajectoire de référence donnée, connaissant les contraintes cinématiques.

Le cinquième chapitre présente le fruit de notre travail où nous avons présentés notre application et aussi les résultats simulations. Et à la fin nous terminons notre mémoire par une conclusion générale.

CHAPITRE I

L'état de l'art d'un fauteuil roulant

I. L'état de l'art d'un fauteuil roulant

I.1. Introduction

Dans ce chapitre, D'abord, nous allons nous intéresser aux différents types du fauteuil roulant électrique. Ensuite, on va voir les utilisateurs de ce fauteuil (fauteuil roulant électrique). Enfin, notre étude va s'intéresser au troisième volet aux différents types des capteurs et des caméras les plus utilisés en robotique.

I.2. Généralité sur le fauteuil roulant :

I.2.1. Les origines du fauteuil roulant électrique :

A partir des années 1950, les premiers fauteuils roulants électriques sont apparus à l'usage des personnes souffrant de déficiences motrices sévères. Cependant, le fauteuil roulant manuel n'a pas été abandonné et son utilisation est restée très largement répandue comme en attestent les résultats des enquêtes « H.I.D. » réalisées en France, où la prévalence des utilisateurs de fauteuils roulants électriques et manuels dans la population générale était respectivement de 5,4 et de 59 personnes pour 10000 habitants [2].

I.2.2. Différents types du fauteuil roulant électrique :

Les fauteuils roulants à propulsion par moteur électrique sont indiqués pour les personnes ne pouvant se déplacer seules en fauteuil roulant manuel. Ils permettent de retrouver une indépendance notamment au niveau des sorties, à l'extérieur du domicile. La conduite du fauteuil s'effectue par commande électronique mais parfois l'utilisation d'une commande spéciale est indispensable.

Il existe différents types de fauteuils qui sont présentés dans la figure 1.



Figure I.1. Les différents types de fauteuils (A. Fauteuil d'intérieur, B. Fauteuil d'extérieur, C. Fauteuil verticale, D. Fauteuil à hauteur variable)

I.2.2.1. Fauteuil d'intérieur :

Il est moins volumineux qu'un fauteuil d'extérieur. Notons qu'il est cependant difficile et fatigant pour la tierce personne de le plier. Son autonomie va de 10 à 16 km et sa vitesse est réglable de 0 à 6 km/h. On peut le mettre dans le coffre d'une voiture.

I.2.2.2. Fauteuil d'extérieur :

Non pliant, il est plus volumineux. Son autonomie va de 16 à 45 km et sa vitesse est réglable de 0 à 10 km/h. Ce fauteuil nécessite un moyen de transport adapté car on ne peut pas

le mettre dans un coffre de voiture. Le diamètre de ses roues permet de franchir des seuils ou des petits obstacles.

1.2.2.3. Fauteuil verticalisation .

La verticalisation permet de quitter la position assise pour se placer en position verticale. Elle permet également de mieux appréhender l'environnement et peut être important pour l'intégration sociale. Le fauteuil doit être équipé de cales genoux et d'une sangle au niveau du tronc.

1.2.2.4. Fauteuil à hauteur variable .

Permet de lever l'utilisateur en position assise. Tout comme le verticalisateur il permet de mieux appréhender l'environnement et peut être important pour l'intégration sociale. Certains fauteuils électriques peuvent combiner verticalisation et hauteur variable en position assise [3].

1.2.3. Les utilisateurs de fauteuils roulants .

Les utilisateurs de fauteuils roulants sont des personnes qui ont déjà un fauteuil roulant ou qui peuvent bénéficier de l'aide d'un fauteuil roulant en raison de leur capacité de marche limitée. Les utilisateurs de fauteuils roulants incluent :

- les enfants, les adultes et les personnes âgées ; hommes, femmes, filles et garçons ;
- des personnes avec différents types de mobilité réduite, de modes de vie, de rôles sociaux et venants de différents milieux ;
- des personnes qui vivent et travaillent dans des environnements divers, y compris en milieu rural, semiurbain et urbain [4].

Les besoins de chaque utilisateur de fauteuil roulant peuvent varier. Cependant, ils ont tous besoin

1.2.4. Comment le fauteuil roulant est utilisé .

Les modèles de fauteuils roulants diffèrent pour permettre aux usagers d'utiliser leur fauteuil roulant en toute sécurité et de manière efficiente dans leur milieu de vie et leur environnement professionnel.

Un fauteuil roulant utilisé avant tout dans un environnement extérieur ardu devra être résistant, plus stable et plus facile à propulser sur un terrain accidenté. La figure 1.2 illustre un modèle de fauteuil roulant à trois roues qui serait adapté à une utilisation à l'extérieur. En comparaison, un fauteuil roulant utilisé à l'intérieur sur des surfaces régulières devra être aisé à manœuvrer dans de petits espaces intérieurs.

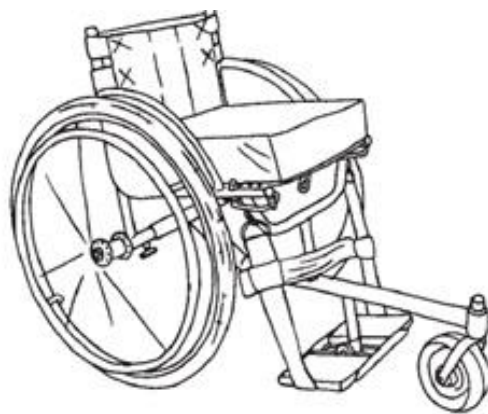


Figure 1.2. Fauteuil roulant pour une utilisation à l'extérieur

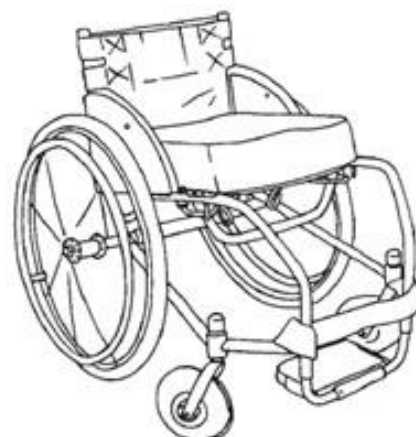


Figure 1.3. Fauteuil roulant pour une utilisation à l'intérieur et à l'extérieur

De nombreux utilisateurs vivent et travaillent dans des environnements différents, et un compromis est par conséquent souvent nécessaire. La figure 1.3 illustre un fauteuil roulant résistant avec un châssis relativement court, mais des roues avant larges, avec un carrossage important des roues avant. Ce fauteuil roulant peut être utilisé aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur.

Les utilisateurs doivent pouvoir se transférer dans et hors du fauteuil roulant facilement, pouvoir le propulser de manière efficace, et le réparer. Les utilisateurs peuvent être amenés à transporter leur fauteuil roulant, dans un bus ou une voiture par exemple. Différents modèles de fauteuils roulants leur permettent de devenir plus compacts, et de différentes façons. Certains ont un châssis pliable (Figure.1.4.a), alors que d'autres sont munis de roues à démontage rapide (Figure.1.4.b et 1.4.c) et d'un dossier rabattable vers l'avant.net

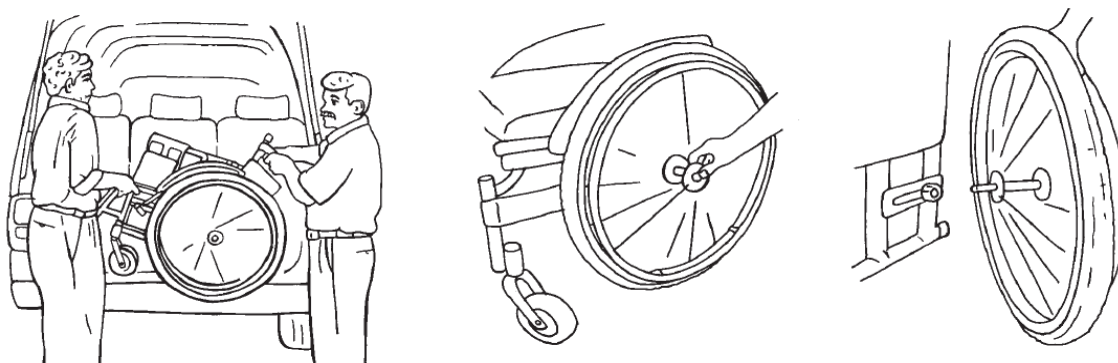


Figure. 1.4. a. Fauteuil roulant pliable b. Roues à démontage rapide c. Roues démontables

1.2.5. Matériaux et technologie disponibles .

Les modèles de fauteuils roulants diffèrent selon les matériaux et la technologie disponibles pour la production et la réparation. Par exemple, les personnes qui conçoivent les fauteuils roulants doivent prendre en considération la solidité et la qualité variable des matériaux disponibles pour éviter une défaillance prématurée. En cas de défaillance, le fauteuil roulant devra être facilement réparable.

1.2.6. La conception du fauteuil roulant .

Les modèles de fauteuils roulants varient considérablement pour tenir compte des différents besoins des utilisateurs. Pour s'assurer que les fauteuils roulants sont appropriés, les concepteurs ('*designers*') et les fournisseurs doivent parfaitement connaître les besoins des utilisateurs et leurs environnements spécifiques. On répond mieux aux besoins des utilisateurs quand il existe une variété de modèles parmi les quels on peut choisir.

La terminologie des éléments de base du fauteuil roulant est indiquée sur la figure I.5. Le coussin doit être considéré comme partie intégrante du fauteuil roulant, et doit par conséquent être fourni avec tous les fauteuils roulants. Les personnes qui présentent des lésions de la moelle épinière ou des cas similaires nécessitent des coussins répartissant les pressions (ou 'coussins anti-escarres') ; ces coussins préviennent le développement d'escarres qui mettent en danger le pronostic vital de la personne.

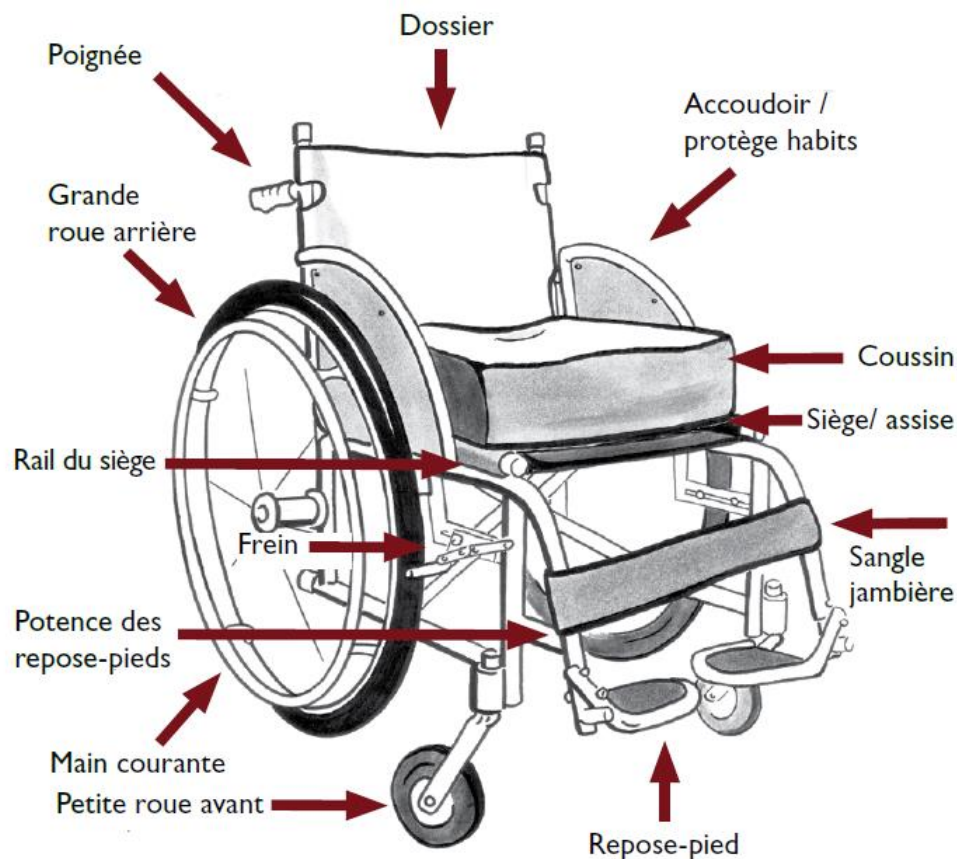


Figure 1.5. Exemple d'un fauteuil roulant manuel et de ses éléments principaux

1.2.6.1. Considérations générales dans la conception des fauteuils roulants .

Les fauteuils roulants devraient être conçus pour permettre aux utilisateurs de participer à autant d'activités que possible. Au minimum, un fauteuil roulant devrait permettre à l'utilisateur de mener une vie plus active sans effet négatif sur sa santé ou sa sécurité. Le confort et la sécurité sont deux facteurs importants affectant la qualité de vie des utilisateurs à long terme.

1.2.7. Comment le fauteuil roulant sera fabriqué .

Lors de la conception du fauteuil roulant ou de la sélection d'un modèle de fauteuil roulant existant, il est important de savoir où le fauteuil roulant sera fabriqué. Dans différents endroits, les compétences techniques, le niveau de technologie, les matériaux et les composants disponibles varient. Pour cette raison, un fauteuil roulant conçu pour une région donnée peut ne pas être adapté à une autre région. Cependant, il se peut que la conception de base soit assez similaire.

1.2.8. Fiabilité .

La fiabilité d'un fauteuil roulant est déterminée par sa résistance et sa durée de vie utile. En cas de défaillance, la fréquence et la difficulté des réparations déterminent également la fiabilité d'un type particulier de fauteuil roulant. Les moyens d'améliorer la fiabilité d'un fauteuil roulant incluent :

- Des matériaux et une technologie de meilleure qualité à un prix abordable ;
- Moins d'accessoires amovibles ;
- Un modèle non pliable, plier le fauteuil roulant n'est pas une nécessité ;
- L'utilisation de matériaux qui peuvent être réparés ou remplacés localement ;
- Un entretien, des réparations et une maintenance réguliers ;
- Une connaissance par l'utilisateur de l'équipement, de son utilisation, de son entretien et de sa maintenance [3].

1.3. Les capteurs .

Nous présentons dans cette section les capteurs les plus couramment utilisés en robotique mobile pour les besoins de la navigation.

1.3.1. Les capteurs proprioceptifs .

Les capteurs proprioceptifs permettent une mesure du déplacement du robot. Ce sont les Capteurs que l'on peut utiliser pour la localisation, mais ils souffrent d'une dérive au cours du temps qui ne permet pas en général de les utiliser seuls.

Dans cette classe des capteurs on trouve l'odométrie. L'odométrie permet d'estimer le déplacement de la plateforme à partir de la mesure de rotation des roues (ou du déplacement des pattes). La mesure de rotation est en général effectuée par un codeur optique disposé sur l'axe de la roue, ou sur le système de transmission (par exemple sur la sortie de la boîte de vitesse pour une voiture), comme présente la figure 6.

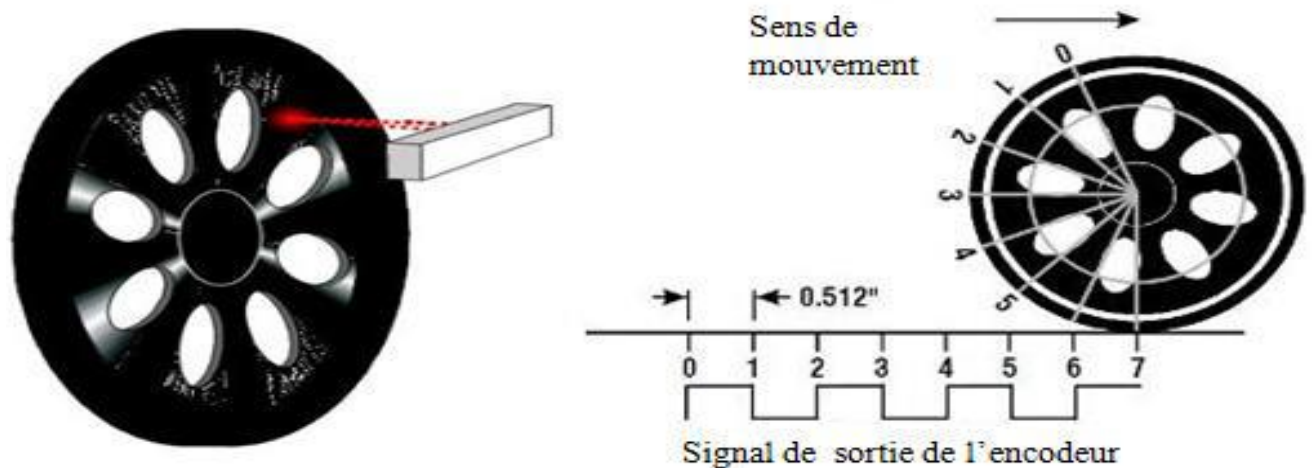


Figure 1.6. Principe général de l'odométrie

Le problème majeur de cette mesure est que l'estimation du déplacement fournie dépend de la qualité du contact entre la roue et le sol. Elle peut être relativement correcte pour une plate-forme à deux roues motrices sur un sol plan de qualité uniforme. Pour limiter ce problème, il peut être intéressant de positionner le codeur optique sur une roue non motrice qui glisse à moins. Notons cependant que l'erreur de ces méthodes se retrouve en général principalement sur l'estimation de la direction du fauteuil, tandis que la mesure de la distance parcourue est souvent de meilleure qualité.

I.3.2. Les accéléromètres :

Les accéléromètres, dont un type de fonctionnement est présenté sur la figure 7 sont des capteurs qui mesurent les accélérations linéaires. Ils peuvent donc mesurer les déplacements d'un robot mais la double intégration de la mesure pour obtenir une information de position les rend sensibles aux erreurs de mesure. De plus ils sont sensibles à l'accélération de la pesanteur ce qui les rend sensibles aux variations de l'inclinaison du fauteuil.

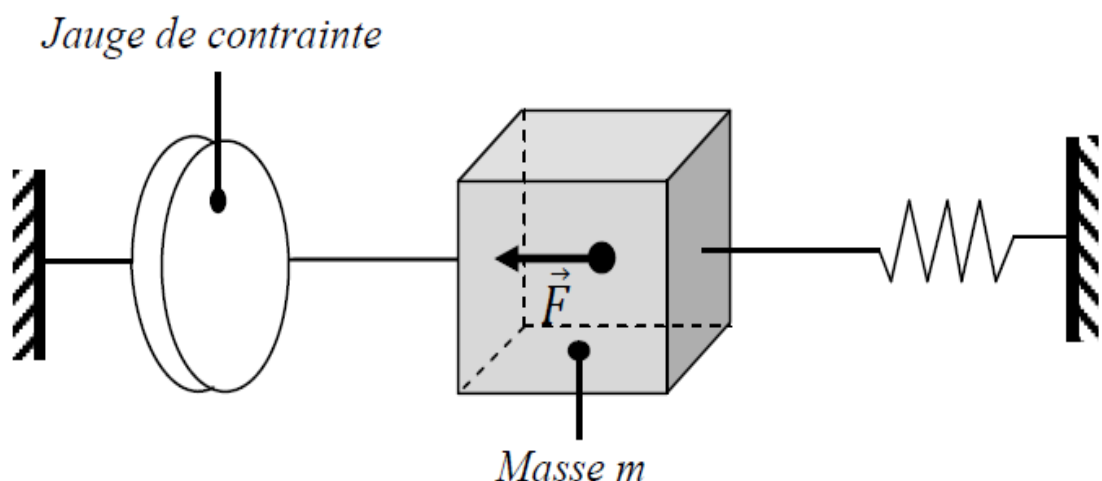


Figure I.7: Exemple de fonctionnement d'un accéléromètre.

Lors de l'accélération, le mobile de masse m produit une force \vec{F} qui est mesurée par la jauge de contrainte. L'accélération y est donnée par la formule.

$$y = \frac{F}{m} \quad (1.1)$$

Cependant les erreurs de modélisation du diamètre de la roue ainsi que les glissements de la roue sur le sol entachent ces mesures d'erreurs. Dans le cas où le robot n'utilise que l'odométrie pour se positionner (*Dead reckoning*), cette erreur est cumulée à chaque mesure et se retrouve non bornée.

I.3.3. Les télémètres :

Il existe différents types de télémètres, qui permettent de mesurer la distance aux éléments de l'environnement, utilisant divers principes physiques.

I.3.3.1. Télémètres à ultrasons :

Les télémètres à ultrason sont historiquement les premiers à avoir été utilisés. Ils utilisent la mesure du temps de vol d'une onde sonore réfléchi par les obstacles pour estimer la distance comme illustre la figure 8.

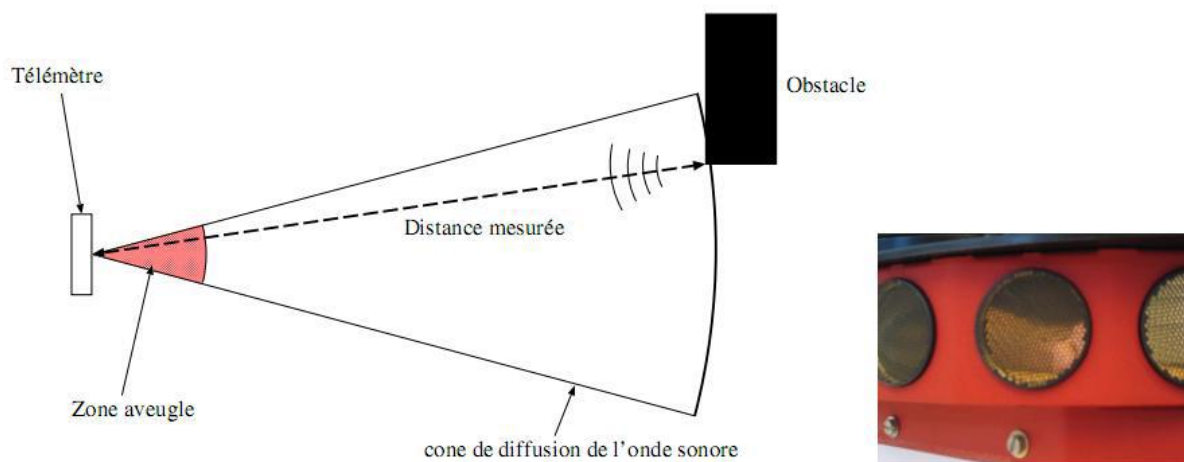


Figure. I.8: *Principe du télémètre à ultrasons et exemple de télémètre réel.*

Ces télémètres sont très simple et peu cher, et sont donc très répandus. Ils possèdent une "zone aveugle", de quelques centimètres, en dessous de laquelle ils ne peuvent détecter les obstacles. Cette zone est due à une temporisation entre l'émission de l'onde sonore et le début de la détection de l'onde réfléchi qui est nécessaire pour ne pas perturber cette mesure.

La distance D entre le capteur et l'obstacle est :

$$D = \frac{T \cdot V}{2} \quad (1.2)$$

Avec (V) la vitesse et (T) le temps de propagation de l'onde.

Les télémètres ultrason détectent les obstacles se situant dans un cône relativement large (Angle au sommet d'environ 30 degrés). Cette caractéristique présente un avantage, car des éléments relativement fins (les pieds de table ou de chaise par exemple) sont détectés dans ce cône, alors qu'ils pourraient ne pas être détectés par des télémètres ayant un angle d'ouverture très fin.

I.3.3.2. Télémètres à infrarouges :

Les télémètres infrarouges possèdent l'avantage d'avoir un cône de détection beaucoup plus restreint. Ils utilisent une lumière infrarouge au lieu d'une onde sonore pour la détection et

peuvent être basés sur différentes techniques qui permettent de recueillir plus ou moins d'information.

Il est possible de mesurer simplement le retour ou le non-retour d'une impulsion codée, ce qui permet de détecter la présence ou l'absence d'un obstacle dans une certaine portion de l'espace. Il est également possible de réaliser une triangulation sur le faisceau de retour de l'onde lumineuse, ce qui permet d'avoir une mesure de la distance de l'obstacle, comme illustre la figure 9.



Figure 1.9. *Principe du télémètre infrarouge à triangulation et exemple de télémètre réel*

Les inconvénients de ces télémètres sont liés à leur portée, en général relativement restreinte, et à leur sensibilité aux sources de lumières qui contiennent un fort rayonnement infrarouge. Un projecteur du type de ceux utilisés pour la télévision pointé sur le robot, par exemple, sature en général complètement le récepteur et empêche toute détection d'obstacle. Ils sont également très sensibles à la couleur et à la nature de la surface de l'obstacle (par exemple, ils détectent difficilement les vitres et les obstacles noir mats) [5].

1.3.3.3. Les capteurs laser .

Des capteurs lasers sont également utilisés pour mesurer les distances. Ces capteurs fonctionnent soit sur le même principe que les capteurs IR (mesure de l'angle de réflexion) soit sur une mesure indirecte de temps de vol. La faible divergence du rayon laser leur permet d'avoir une mesure ponctuelle plutôt qu'une mesure de zone. Ils sont le plus souvent utilisés dans un scanner laser qui consiste à passer par un miroir tournant incliné à 45° la figure 10.

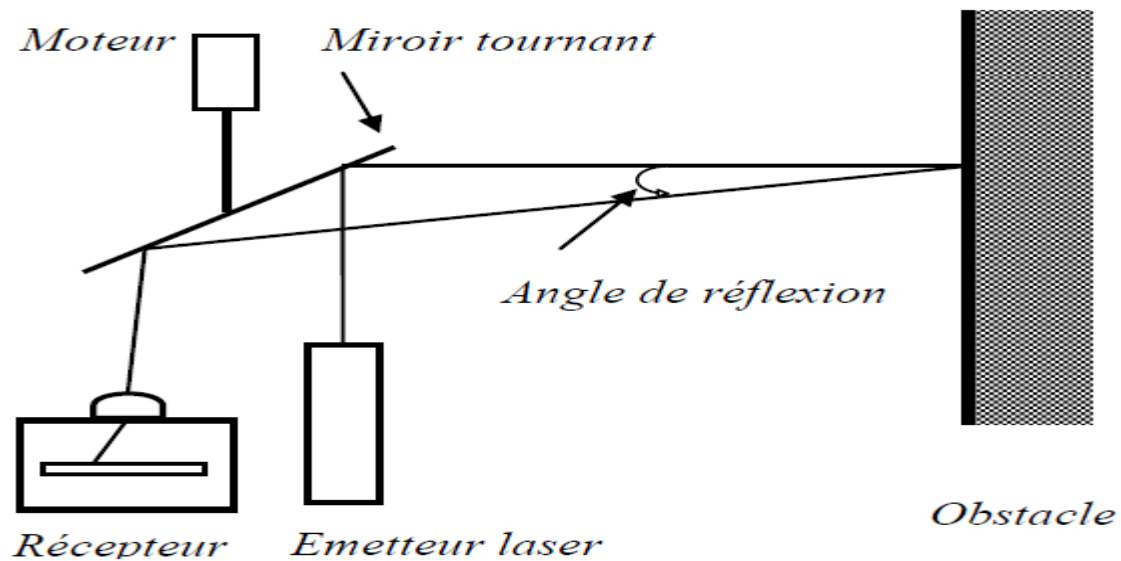


Figure I.10: Fonctionnement d'un capteur LASER

Les mesures sont alors obtenues en 2D dans le plan de mesure du capteur. Ce système est onéreux et généralement relativement encombrant même s'ils sont des capteurs de petites dimensions. L'angle d'ouverture du scanner laser est généralement de l'ordre de 180° à 240° . Ces capteurs sont plus utilisés en robotique classique que sur les fauteuils roulants car la position de l'utilisateur gêne son installation. En effet, il doit être placé soit entre les jambes de l'utilisateur, soit devant l'utilisateur ou encore au dessus de l'utilisateur comme sur le Robotic Chariot de Active Media Robotics [6].

I.3.3. Les capteurs photographiques :

Un capteur photographique est un composant électronique photosensible servant à convertir un rayonnement électromagnétique (UV, visible ou IR) en un signal électrique analogique. Ce signal est ensuite amplifié, puis numérisé par un convertisseur analogique-numérique et enfin traité pour obtenir une image numérique. Le capteur est donc le composant de base des appareils photo numériques, l'équivalent du film en photographie argentique.

Deux grandes familles de capteurs sont disponibles : les CCD et les CMOS (figure 11). Le capteur le plus répandu est le capteur CCD « Charge Couple Device ». A l'origine, il a été développé pour des applications d'imagerie. Il délivre des courants assez importants et requiert donc peu d'amplification. Malheureusement, il est très 'gourmand' en énergie et il est assez coûteux à fabriquer.

La technologie CMOS est présente dans beaucoup de composants électroniques informatiques (mémoires d'ordinateur par exemple), les capacités de fabrication sont donc plus importantes et le prix moins cher. Ce type de capteur est également moins 'gourmand' en énergie mais demande plus d'amplification, il a tendance à générer plus de bruit [7].

Il faut noter également que le capteur CCD est plus rapide que le capteur CMOS.

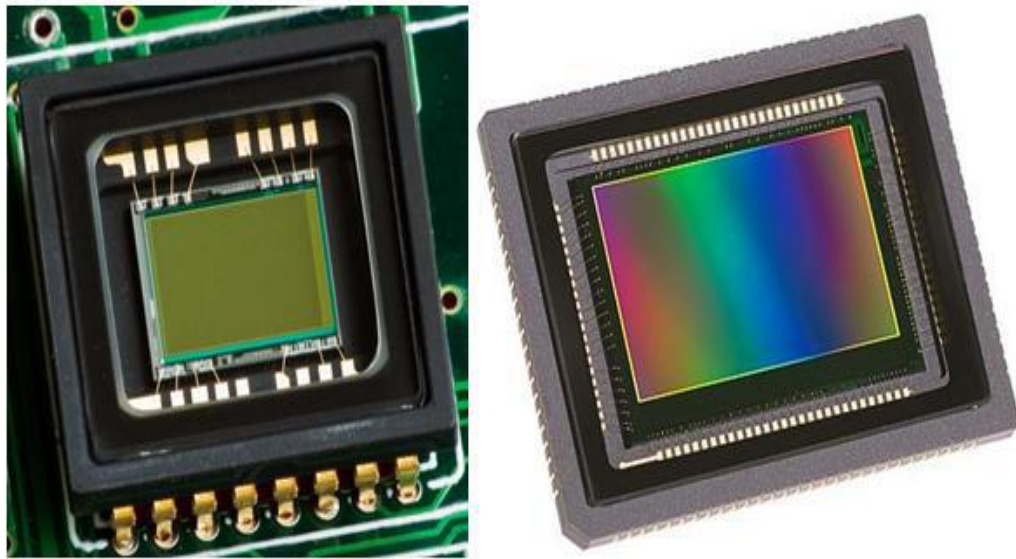


Figure 1.11. *Les capteurs photographiques (A: capteur CCD, B: capteur CMOS)*

I.4. Les caméras :

L'utilisation d'une caméra pour percevoir l'environnement est une méthode attractive car elle semble proche des méthodes utilisées par les humains et fournit une grande quantité d'information sur l'environnement. Le traitement des données volumineuses et complexes fournies par ces capteurs est cependant souvent difficile, mais c'est une voie de recherche très explorée et prometteuse pour la robotique.

I.4.1. Les cameras stéréoscopiques :



Figure 1.12. *Exemple de données fournies par des caméras stéréoscopiques*

Lorsque l'on dispose de deux caméras observant la même partie de l'environnement à partir de deux points de vue différents, il est possible d'estimer la distance des objets et d'avoir

ainsi une image de profondeur, comme illustre la figure 12, qui peut être utilisée pour l'évitement d'obstacle ou la cartographie. Cette méthode suppose toute fois un minimum d'éléments saillants dans l'environnement (ou un minimum de texture) et peut être limitée, par exemple dans un environnement dont les murs sont peints de couleurs uniformes.

1.4.2. Les caméras panoramiques .

Les caméras panoramiques (catadioptriques) sont constituées d'une caméra standard pointant vers un miroir de révolution (par exemple un simple cône, ou un profil plus complexe qui peut s'adapter à la résolution exacte que l'on veut obtenir sur le panorama), illustré dans la figure 24. L'image recueillie permet d'avoir une vision de l'environnement sur 360 degrés autour de la camera. Le secteur angulaire vertical observé dépend de la forme du miroir et peut être adapté aux besoins de chaque application, comme montre la figure 13.

Ce type de caméra est très pratique pour la navigation car une image prise par une camera panoramique orientée verticalement permet de caractériser une position, indépendamment de la direction du robot. Ces caméras sont donc très pratiques lors que l'on caractérise une position de manière globale, mais peuvent aussi être utilisées pour détecter des amers ou pour estimer le flux optique [8].

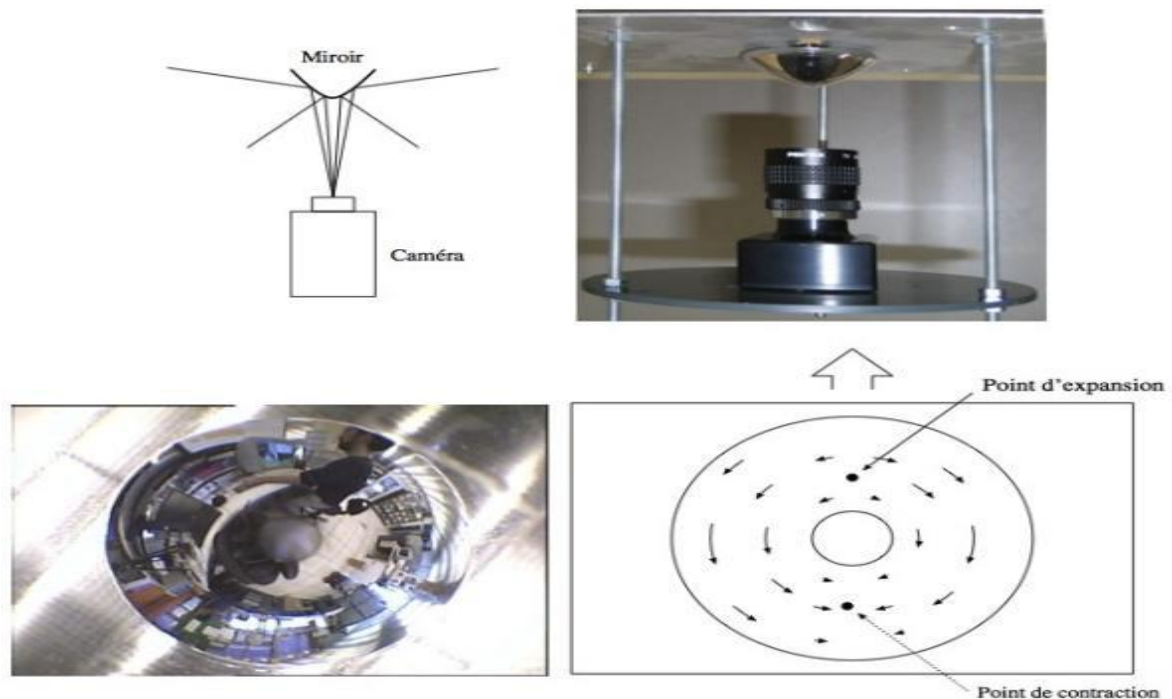


Figure 1.13. *Principe des caméras panoramiques catadioptriques, Exemple d'image obtenue et illustration du flux optique.*

1.5. Conclusion.

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents types de fauteuil roulant électrique, que nous pouvons trouver dans le monde et aussi les critères de classification de ces fauteuils. La dernière partie de ce chapitre a été consacré pour détailler les différents types des capteurs et des caméras les plus utiliser pour la conception des fauteuils roulant électriques

CHAPITRE II

*Modélisation et
description d'un
fauteuil roulant*

II. Description et modélisation d'un fauteuil roulant

II.1. Introduction .

La modélisation est un principe ou une technique qui permet d'établir un modèle explicatif d'un phénomène ou d'un comportement en recensant les variables ou les facteurs explicatifs et l'importance relative de chacune de ces variables.

Dans ce chapitre, nous présentons un des types de modélisation c'est la modélisation cinématique. Sachant qu'il y a la modélisation dynamique et modélisation cinématique, pour exprimer le mouvement du fauteuil roulant par des équations de vitesse et d'accélération.

II.2. Description d'un fauteuil roulant

En général, les fauteuils roulants électriques se différencient par leurs types de motorisation ou, plus particulièrement, par l'emplacement des roues motrices. Il existe des fauteuils à traction avant avec deux roues folles, recommandés pour les environnements intérieurs et étroits. D'autres, à propulsion (roues motrices placées en arrière du châssis avec deux roues folles), sont conçus principalement pour les environnements extérieurs et larges.

ET on peut trouver d'autres fauteuils roulants mixtes dont les roues motrices se trouvent au milieu du châssis et disposant de quatre roues folles [9] .



Figure II.1: Fauteuil à traction avant (a), fauteuil mixte (b) fauteuil à propulsion (c).

II.3. Modèle cinématique .

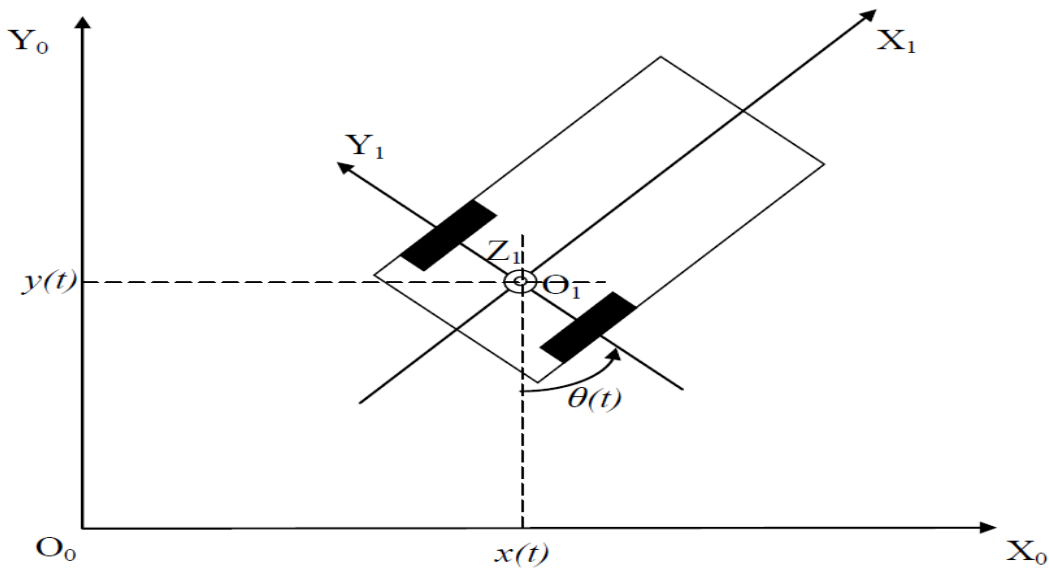


Figure II.2 : Posture q du prototype : $q = [x(t)y(t)\theta(t)]^T$

Pour la modélisation cinématique du fauteuil, on suppose qu'il se déplace sur des surfaces planes et horizontales (environnements intérieurs). Les mouvements du fauteuil sont donc limités à des translations dans le plan (O_0, X_0, Y_0) et des rotations autour de son axe rotation (O_1, Z_1) (Figure II.2).

Le modèle cinématique de configuration est un modèle que l'on qualifie de "descriptif" car son rôle est de décrire le mouvement sans se préoccuper des causes physiques l'ayant engendré. Il va lier les postures successives du système (position $[x(t), y(t)]^T$ et orientation $\theta(t)$) au vecteur des variables d'entrée en tenant compte du non holonomie du fauteuil.

Le fauteuil possède deux roues motrices de même rayon R . La distance entre les deux roues est notée L . Le modèle cinématique du fauteuil est similaire à celui d'un robot mobile possédant deux roues motrices indépendantes et deux roues folles pour maintenir stable la base mobile. A partir de la connaissance de la posture du fauteuil à un instant donné t exprimée dans un repère $\mathcal{R}_0(O_0, X_0, Y_0, Z_0)$ et de la mesure de la variation des angles de rotation des roues motrices, on souhaite estimer la posture du fauteuil à l'instant suivant $t+1$. Pour cela, on utilise le principe de l'odométrie.

La posture q du fauteuil à l'instant t est donnée par : $q = [x(t), y(t), \theta(t)]^T$ Pour chaque roue motrice on définit :

- Son rayon : $R_g[m]$ (rayon de la roue motrice gauche) et $R_d[m]$ (rayon de la roue motrice droite) avec $R_g = R_d = R$.
- son angle de rotation instantané $a_g(t)$ [rad] et $a_d(t)$ rad].

Le vecteur des variables articulaires est composé des angles de rotation instantanés des roues motrices: $\theta(t) = [a_g(t), a_d(t)]^T$.

On choisit de définir $\alpha(t)$ de telle sorte qu'il soit positif lorsque la rotation de la roue induit un déplacement vers l'avant (Figure II.3).

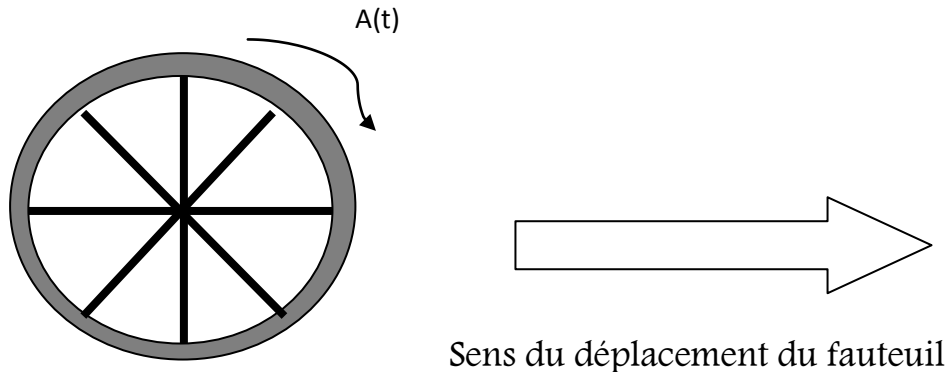


Figure II.3: Convention de signe pour l'angle de rotation d'une roue motrice.

La vitesse angulaire instantanée de chaque roue $\omega_g(t)$ et $\omega_d(t)$ est donnée par la relation suivante :

$$\omega_{g,d}(t) = \frac{da_{g,d}(t)}{dt} \quad (II.1)$$

La vitesse linéaire instantanée de chaque roue $V_g(t)$ et $V_d(t)$ est donnée par la relation suivante :

$$V_{g,d}(t) = R\omega_{g,d}(t) \quad (II.2)$$

La (Figure II.4) représente ces différentes notations. On s'intéresse au mouvement décrit par le fauteuil entre deux postures successives. Soient $\Delta\alpha_g(t)$ et $\Delta\alpha_d(t)$ les variations instantanées des angles de rotation des roues gauche et droite respectivement, correspondant au passage d'une posture à une autre [10]. Ces variations sont définies à partir des vitesses de rotation instantanées $\omega_g(t)$ et $\omega_d(t)$ et de la période d'échantillonnage T_e du système :

$$\Delta\alpha_{g,d}(t) = \omega_{g,d}(t) \cdot T_e \quad (II.3)$$

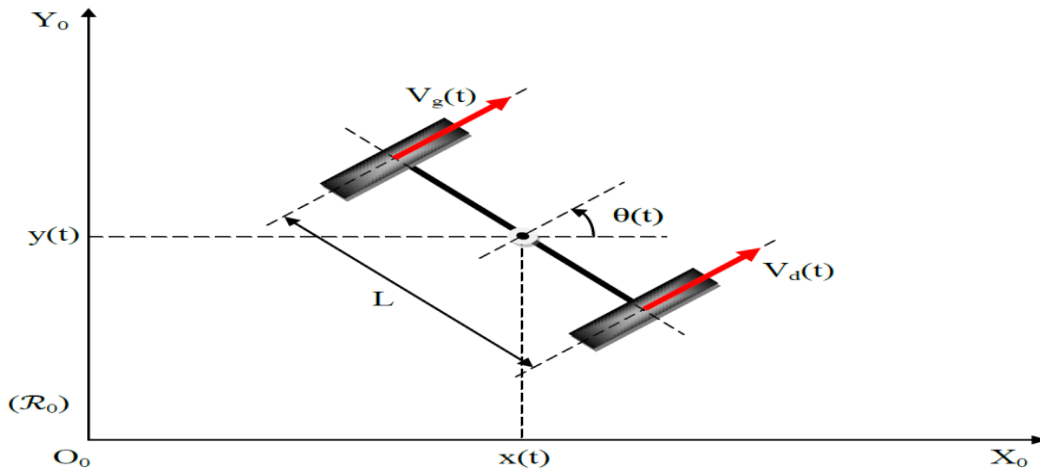


Figure II.4: Posture du fauteuil par rapport à un repère global (\mathcal{R}_0)

On suppose que le centre de rotation du fauteuil (centre des roues motrices) passe du point A au point B pendant une période d'échantillonnage T_e (Figure II.5). Donc, si le fauteuil est au point A à l'instant t_1 et arrive au point B à l'instant t_2 , alors $t_2 - t_1 = T_e$. Posons $t_1 = kT_e$ et $t_2 = (k+1)T_e$

$$q_A = q(t_1) = q_k \text{ et } q_B = q(t_2) = q_{k+1} \quad (\text{II.4})$$

Posons :

Entre les instants $t_1 = kT_e$ et $t_2 = (k+1)T_e$, le centre des roues motrices a parcouru la distance ΔS_k et l'axe des roues a tourné de l'angle $\Delta\theta_k$. Les roues motrices gauche et droite ont parcouru respectivement les distances $\Delta S_{g,k}$ et $\Delta S_{d,k}$.

A partir de la Figure II.5, on peut écrire :

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + \Delta x_k \\ y_{k+1} = y_k + \Delta y_k \\ \theta_{k+1} = \theta_k + \Delta\theta_k \end{cases} \quad (\text{II.5})$$

Avec :

$$\begin{cases} \Delta x_k = \Delta S_k \cdot \cos(\beta_k) \\ \Delta y_k = \Delta S_k \cdot \sin(\beta_k) \\ \beta_k = \frac{\theta_{k+1} + \theta_k}{2} = \theta_k + \frac{\Delta\theta_k}{2} \end{cases} \quad (\text{II.6})$$

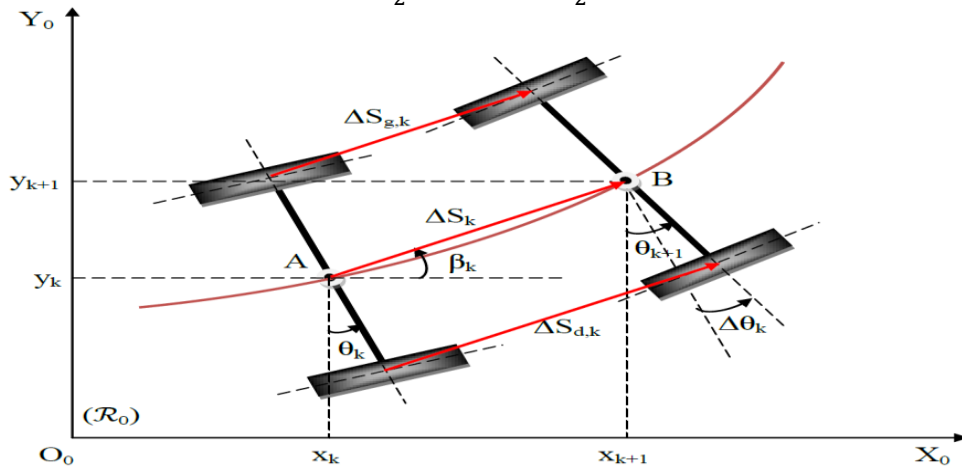


Figure II.5: Variation de la posture du fauteuil entre deux instants d'échantillonnage.

En définissant la variation de la posture Δq_k du fauteuil entre les instants kT_e et $(k+1)T_e$ par $\Delta q_k = [\Delta x_k, \Delta y_k, \Delta\theta_k]^T$, le système d'équations précédent s'écrit comme suit :

$$q_{k+1} = q_k + \Delta q_k \quad (\text{II.7})$$

On peut déduire de la Figure II.10 les expressions suivantes :

$$\begin{cases} \Delta S_k = \frac{\Delta S_{d,k} + \Delta S_{g,k}}{2} \\ \sin(\Delta\theta_k) = \frac{\Delta S_{d,k} - \Delta S_{g,k}}{L} \end{cases} \quad (\text{II.8})$$

Pour un pas d'échantillonnage assez petit, on obtient des angles $\Delta\theta_k$ petits et donc on peut approximer $\sin \Delta\theta_k$ par $\Delta\theta_k$. On obtient dans ce cas :

$$\Delta\theta_k = \frac{\Delta S_{d,k} - \Delta S_{g,k}}{L} \quad (\text{II.9})$$

D'où le modèle cinématique du fauteuil :

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + \Delta S_k \cdot \cos(\theta_k + \frac{\Delta\theta_k}{2}) \\ y_{k+1} = y_k + \Delta S_k \cdot \sin(\theta_k + \frac{\Delta\theta_k}{2}) \\ \theta_{k+1} = \theta_k + \Delta\theta_k \end{cases} \quad (\text{II.10})$$

Avec :

$$\begin{cases} \Delta\theta_k = \frac{\Delta S_{d,k} + \Delta S_{g,k}}{2} \\ \Delta\theta_k = \frac{\Delta S_{d,k} + \Delta S_{g,k}}{L} \end{cases} \quad (\text{II.11})$$

Notons que la position, la direction et la vitesse de déplacement du fauteuil peuvent être déduites à partir des valeurs de déplacements de la roue gauche $\Delta S_{g,k} = R\Delta a_{g,k}$ et de la roue droite $\Delta S_{d,k} = R\Delta a_{d,k}$ entre deux postures successives.

Ce modèle a été déterminé dans le cadre d'une étude menée par (Anas Fattouh 2005; Sahnoun 2007).

II.5.Conclusion :

L'étude présentée dans ce chapitre nous renseigne sur la modalisation cinématique en présentant les caractéristiques cinématiques du fauteuil virtuel que nous allons implémenter dans le simulateur.

CHAPITRE III

Notion de base et généralité sur les réseaux de neurones

III. Notion de base et généralité sur les réseaux de neurones

III.1. Introduction .

Ce chapitre est consacré pour la description des réseaux de neurones artificiels, nous commençons par donner quelques définitions par la suite nous expliquant c'est quoi l'apprentissage pour un réseau de neurones et à la fin nous donnons les principales architectures de réseaux de neurones que l'on retrouve dans la littérature, où nous allons pas les étudier mais on va donner leurs mécanismes internes fondamentaux.

III.2. Application .

Les réseaux de neurones servent aujourd'hui à toutes sortes d'applications dans divers domaines. Par exemple, ils étaient utilisés pour développer : un autopilote pour avion ou encore un système de guidage pour automobile, des systèmes de lecture automatique de chèques bancaires et d'adresses postales, on produit des systèmes de traitement du signal pour différentes applications militaires, un système pour la synthèse de la parole, des réseaux sont aussi utilisés pour bâtir des systèmes de vision par ordinateur, pour faire des prévisions sur les marchés monétaires, pour évaluer le risque financier ou en assurance, pour différents processus manufacturiers, pour le diagnostic médical, pour l'exploration pétrolière ou gazière, en robotique, en télécommunication. Les réseaux de neurones ont aujourd'hui un impact considérable.

III.3. Qu'est ce qu'un réseau de neurones .

L'idée générale des réseaux de neurones artificiels est de trouver une nouvelle procédure de calcul pour produire une nouvelle génération d'ordinateurs. Cette idée inspirée de la biologie du cerveau humain, est différente de la méthode conventionnelle utilisée, actuellement, sur l'ordinateur. Cette nouvelle technique semble plus humaine que mécanique. L'homme a toujours rêvé de la machine qui parle, pense, oublie et se rappelle. Le but n'est pas de produire une machine humaine, ce qui est impossible, mais de copier et d'imiter l'approche naturelle du cerveau humain au profit de la science. Un R.N.A est un système de traitement d'information par une nouvelle génération d'ordinateurs, inspirée par les systèmes biologique. Un R.N.A. peut être considéré comme une boîte noire, qui reçoit des signaux d'entrée et produit des signaux de sortie. C'est un modèle mathématique composé d'un grand nombre d'éléments de calculs organisés sous formes de couches interconnectées

Un neurone est une fonction algébrique non linéaire, paramétrée, à valeurs bornées, de variables réelles appelées entrées [11].

III.4. Modèle mathématique.

Les réseaux de neurones biologiques réalisent facilement un certain nombre d'applications telles que la reconnaissance des formes, le traitement du signal, l'apprentissage par l'exemple, la mémorisation et la généralisation. C'est à partir de l'hypothèse que le comportement intelligent émerge de la structure et du comportement des éléments de base du cerveau, que les réseaux de neurones artificiels se sont développés.

La figure (III.1) montre la structure d'un neurone artificiel. Chaque neurone artificiel est un processeur élémentaire. Il reçoit un nombre variable d'entrées en provenance de neurones amont. A chacune de ces entrées est associée un poids w , abréviation de *Wight* « poids », représentatif de la force de la connexion. Chaque processeur élémentaire est doté d'une sortie unique, qui se ramifie ensuite pour alimenter un nombre variable de neurones aval. A chaque connexion est associé un poids.

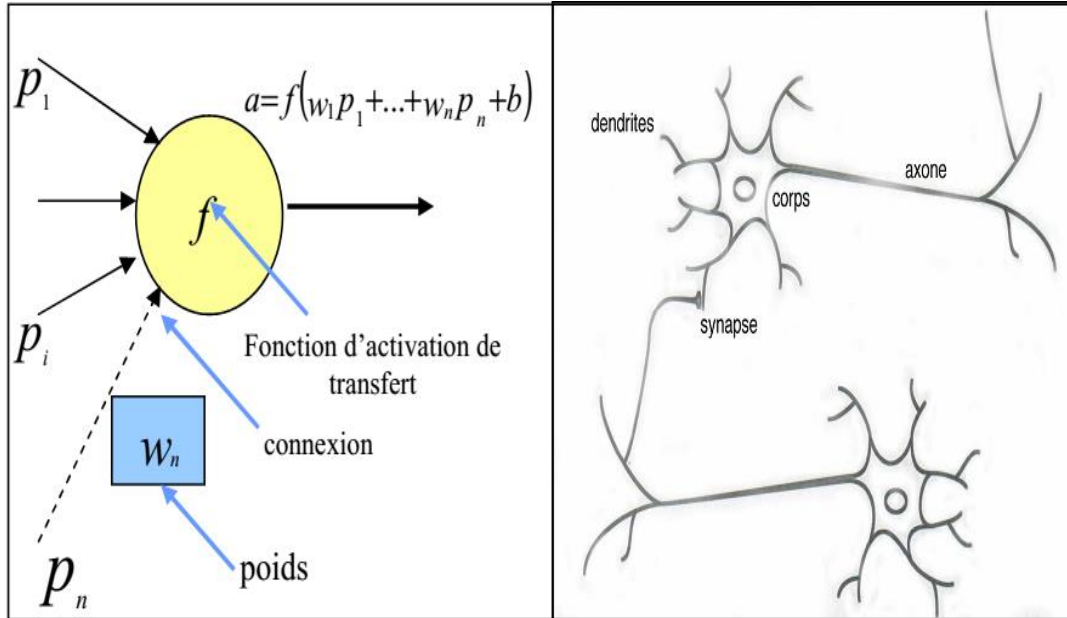


Figure (III.1) : Mise en correspondance neurone artificiel / neurone biologique

III.5. Techniques d'apprentissage .

Les procédures d'apprentissage peuvent se subdiviser, en deux grandes catégories : apprentissage supervisé ou apprentissage non supervisé.

III.5.1. L'apprentissage supervisé .

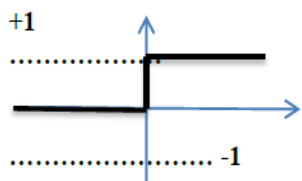
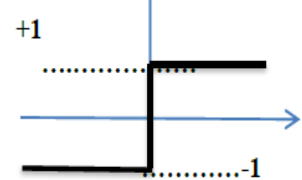
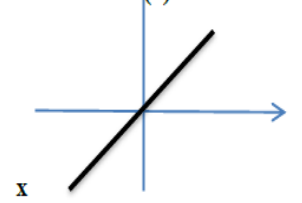
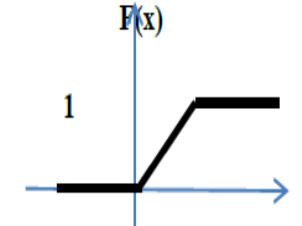
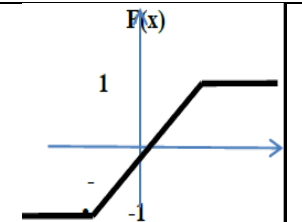
Implique l'existence d'un « professeur » qui a pour rôle d'évaluer le succès « ou l'échec » du réseau quand il lui est présenté un stimulus connu « on dit que ce stimulus est un exemple appartenant à la base d'apprentissage ». Cette supervision consiste à renvoyer au réseau une information lui permettant de faire évoluer ses connexions « parfois aussi sa propre architecture » afin de faire diminuer son taux d'échec [12]. L'information peut être explicite, sous la forme d'une mesure de l'erreur commise, exemple par exemple, ou globalement sur l'ensemble des exemples de la base. C'est ce qui se passe par exemple dans le cas du perceptron ou de la machine de Boltzmann. Mais elle peut être plus implicite « apprentissage par renforcement », sous forme d'une simple appréciation « bon » ou « mauvais », « punition » ou « récompense », sans mesure d'erreur, et même être globale, sur l'ensemble des tâches que le réseau doit exécuter. Dans ce dernier cas, la difficulté majeure consistant pour le réseau à identifier les étapes du processus qui sont responsables de l'échec ou du succès « en anglais, *credit assignment problem* ».

III.5.2. L'apprentissage non supervisé.

Implique la fourniture à un réseau autonome d'une quantité suffisante d'exemples contenant des corrélations « autrement dit de la redondance ». Ces réseaux sont souvent appelés « auto-organiseurs » ou encore « à apprentissage compétitif ». Bien entendu, l'architecture du réseau, préalablement définie par son utilisateur, est une forme de supervision. La tâche du réseau peut être par exemple dans ce cas, sans réponse désirée, de créer regroupement de données selon des propriétés communes « catégorisation ».

III.6. Fonctions de transfert.

Différentes fonctions de transfert pouvant être utilisées comme fonction d'activation du neurone, les trois les plus utilisées sont les fonctions *seuil* « en anglais -hard limit- », *linéaire* et *sigmoïde*.

Nom de la fonction	Relation d'entrée/sortie	Allure
Seuil	$f(n) = 0 \quad \text{si } n < 0$ $f(n) = 1 \quad \text{si } n \geq 0$	
Seuil symétrique	$f(n) = -1 \quad \text{si } n < 0$ $f(n) = 1 \quad \text{si } n \geq 0$	
linéaire	$f(n) = n$	
Linéaire saturée	$f(n) = 0 \quad \text{si } n < 0$ $f(n) = n \quad \text{si } 0 \leq n \leq 1$ $f(n) = 1 \quad \text{si } n \geq 1$	
Linéaire saturée symétrique	$f(n) = -1 \quad \text{si } n < -1$ $f(n) = n \quad \text{si } -1 \leq n \leq 1$ $f(n) = 1 \quad \text{si } n > 1$	

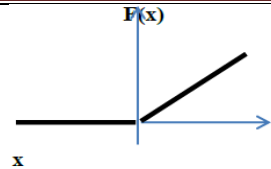
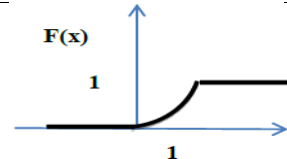
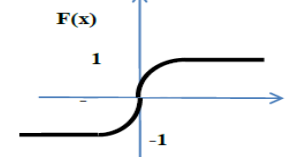
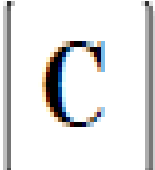
Linéaire positive	$f(n) = 0 \quad \text{si } n < 0$ $f(n) = n \quad \text{si } n \geq 0$	
sigmoïde	$f(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}}$	
Tangente hyperbolique	$f(n) = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$	
compétitive	$f(n) = 1 \quad \text{si } n \text{ maximum}$ $f(n) = 0 \quad \text{autrement}$	

Tableau. III. 2. Les fonctions de transfert [13].

III.7. Quelques architectures neuronales :

III.7.1. Perceptron multi couches «PMC» :

Le perceptron est un réseau à deux couches, une couche d'entrée et une couche de sortie de type *feedforward* « propagation avant ». Les neurones de la couche d'entrée ont pour rôle de fournir au réseau les données externes. Chaque neurone de la couche de sortie effectue une somme pondérée de ses entrées.

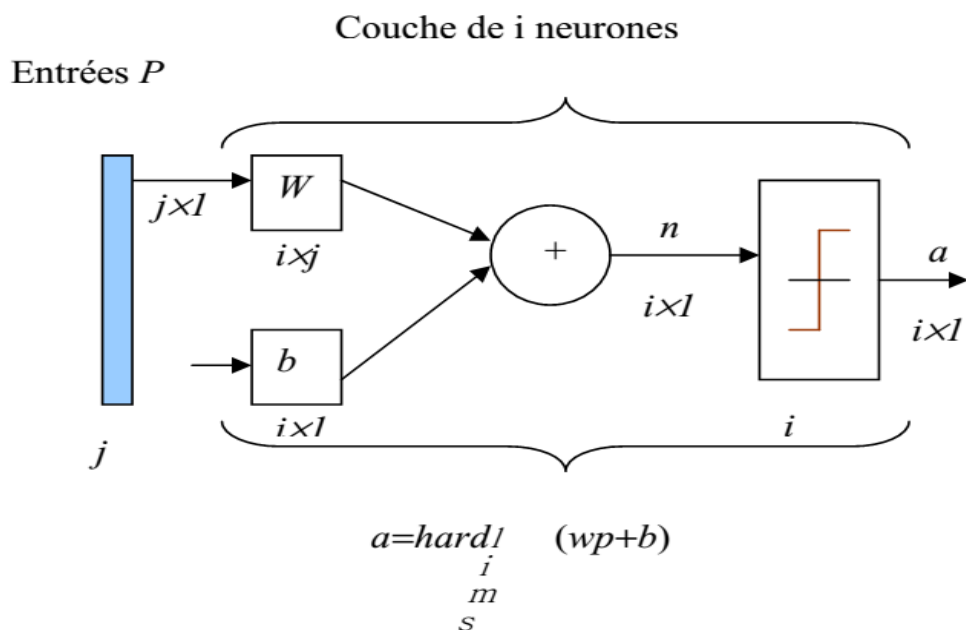


Figure (III.2) : Perceptron avec fonction seuil

La capacité du perceptron a été jugée limitée à la décision linéaire et aux fonctions logiques simples. Par contre en mettant plus d'un perceptron en cascade «PMC», le réseau de

neurones peut résoudre beaucoup de problèmes tel que la capacité d'implémenter les fonctions non linéaires et la capacité de classifier les objets, à condition d'employer une fonction de transfert non linéaire et de disposer de suffisamment de neurones sur les couches cachées.

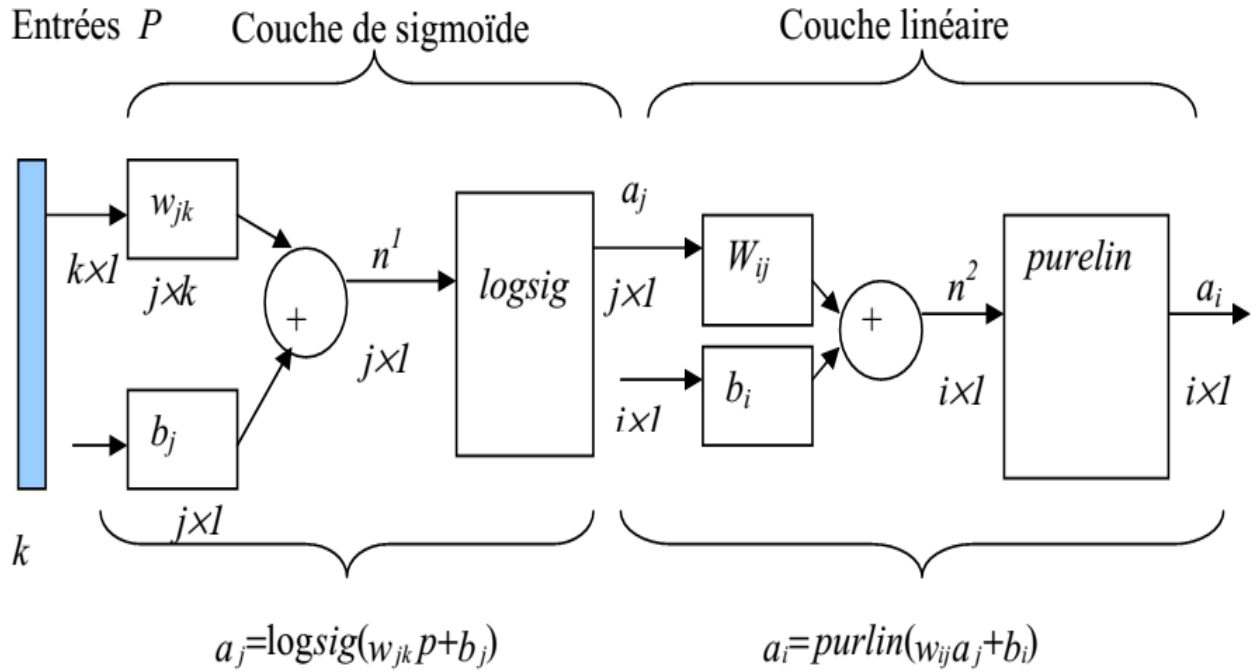


Figure (III.3) : Réseau multicouche –présentation matricielle

Règle delta

Contrairement au modèle de Rosenblatt où les neurones ont des fonctions d'activation à seuils, Widrow et Hoff en 1960 ont proposé un modèle de perceptron avec neurones linéaires « f : fonction d'activation linéaire » :

$$f(a_i) = a_i \quad (\text{III.1})$$

L'avantage d'utiliser des unités linéaires est qu'elles permettent de calculer une fonction de coût qui évalue l'erreur que commet le réseau. Cette erreur peut être définie en fonction des erreurs entre réponses désirées et réponses obtenues par le réseau. Cette erreur est donc fonction des poids du réseau :

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_i (p_i - a_i)^2 = \frac{1}{2} \sum_i p_i^2 - \sum_i (W_{ik} p_k)^2 \quad (\text{III.2})$$

$$\Delta w_{ik} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ik}} = \eta \sum_i (p_i - a_i) p_k \quad (\text{III.3})$$

Avec :

$$w_{ik}^{\text{nouveau}} = w_{ik}^{\text{ancien}} + \Delta w_{ik} \quad (\text{III.4})$$

Où Δw_{ik} est la quantité ajoutée au poids w_{ik} pour chaque exemple de l'ensemble des exemples d'apprentissage et le paramètre η est appelé taux d'apprentissage.

Rétropropagation .

La rétropropagation est le paradigme des RNA le plus utilisé La rétropropagation est basée sur des principes mathématiques très solides, cette méthode a donné des bons résultats dans beaucoup d'apprentissage; Pour l'appliquer il suffit d'avoir des données d'entrées et de données de sortie «cible». La condition d'interconnexion complète des couches n'est pas une obligation, car certaines applications sont réalisées avec des formes d'interconnexions incomplètes. L'algorithme de rétropropagation utilise une étape de propagation en avant «chaîne directe», suivie d'une étape de rétropropagation «chaîne inverse».

Propagation avant.

a. Choix de la paire de l'ensemble d'entraînement et l'application du vecteur d'entrée au RNA

b. Calcul de la sortie du RNA ; $a=f(p \times w)$

Propagation dans le sens inverse.

c. Calcul de l'erreur entre la sortie et la cible

d. Ajustement des poids pour permettre de minimiser l'erreur totale

e. Répétition des étapes a, b, c et d pour chaque vecteur dans l'ensemble d'apprentissage jusqu'à ce que l'erreur totale soit acceptable

7.2. Le réseau de Hopfield .

Le modèle de Hopfield est basé sur le concept de mémoire adressée par le contenu : *Mémoire Associative*. A partir d'un réseau entièrement connecté, utilisant le plus souvent la règle d'apprentissage Hebb, avec un apprentissage supervisé. Chaque information mémorisée représente un point stable de l'espace d'état vers lequel l'évolution du système aboutit à partir d'un point initial voisin correspondant à une version déformée de l'information mémorisée. Autrement dit, l'espace d'état du système comporte des attracteurs qui correspondent aux informations mémorisées. L'architecture du réseau est telle que chaque neurone est connecté à tous les autres sauf à lui même. L'architecture du réseau de Hopfield est symétrique. Le problème consiste à déterminer, s'il existe, l'ensemble des poids w_{ij} qui permettent au réseau de se comporter comme une mémoire adressée par le contenu. La condition irrévocable de convergence du réseau de Hopfield vers un état stable est que la matrice des poids des connexions w soit symétrique et de diagonale égale à zéro. La particularité du réseau de Hopfield est que son évolution vers un état stable est caractérisée par une fonction appelée *fonction d'énergie*. Le réseau de Hopfield converge vers un des états stables « états attracteurs » correspondant à un minimum local de la fonction d'énergie. Pour définir les états stables à mémoriser par le réseau, il faut donc trouver la matrice des poids w qui minimise la fonction d'énergie [14].

III. 7.3. Le réseau de Kohonen

Treuvo Kohonen s'est inspiré de l'apprentissage biologique pour établir sa règle, utilisé uniquement dans l'apprentissage non supervisé. Dans cette règle les éléments de traitement

entrent en compétition pour effectuer l'apprentissage. L'élément de traitement de plus grande valeur de sortie est déclaré vainqueur et a la possibilité d'inhiber, éliminer, ses opposants compétiteurs et en même exciter ses voisins ; Seul, le vainqueur est toléré à donner une sortie et le vainqueur ainsi ses voisins sont les seuls autorisés à ajuster leurs poids. La taille du voisinage peut changer durant l'apprentissage. Il est préférable de démarrer avec un large voisinage et diminuer sa taille au fur et à mesure que l'apprentissage se déroule. Le RNA s'auto-organise et s'établit et apprend. Ses neurones sont complètement connectés. Ce RNA converge rapidement [11].

III.7.4. Le réseau RPF.

Le réseau RBF est un réseau de neurones supervisé. Il s'agit d'une *spécialisation* d'un PMC. Le modèle RBF "*Radial Basis Function*" est constitué uniquement de trois couches :

- a. La couche d'entrée : elle retransmet les inputs sans distorsion.
- b. La couche RBF : couche cachée qui contient les neurones RBF.
- c. La couche de sortie : simple couche qui contient une fonction linéaire.

Chaque couche est « *fully connected* » à la suivante. Chaque neurone RBF contient une *gaussienne* qui est centrée sur un point de l'espace d'entrée. Pour une entrée donnée, la sortie du neurone RBF est la *hauteur* de la gaussienne en ce point. La fonction gaussienne permet aux neurones de ne répondre qu'à une petite *région* de l'espace d'entrée, région sur laquelle la gaussienne est centrée. La sortie du réseau est simplement une *combinaison linéaire* des sorties des neurones RBF multipliés par le poids de leur connexion respective. Il y a quatre paramètres principaux à régler dans un réseau RBF :

- a. Le *nombre* de neurones RBF, nombre de neurones dans l'unique couche cachée.
- b. La *position* des centres des gaussiennes de chacun des neurones.
- c. La *largeur* de ces gaussiennes.
- d. Le *poids* des connexions entre les neurones RBF et le(s) neurone(s) de sortie.

Toute modification d'un de ces paramètres entraîne directement un changement du comportement du réseau.

III.8. Propriétés des réseaux de neurones artificiels :

III.8.1. Apprentissage et mémoire :

L'une des caractéristiques les plus complexes du fonctionnement de notre cerveau est bien la phase d'apprentissage. C'est une phase au bout de laquelle certaines modifications s'opèrent entre les connexions des neurones : certaines sont renforcées et d'autres affaiblies ou carrément inhibitrices. Le cerveau converge alors vers un comportement souhaité. Ceci nous emmène à la notion de mémoire qui donne au cerveau la capacité de retrouver des expériences passées. Le cerveau possède plusieurs types de mémoires et ce que nous pouvons retenir c'est que le cerveau humain procède par association. Cela permet par exemple de retrouver une information à partir d'éléments incomplets ou imprécis « bruités ». Par exemple, le fait de voir un bout d'une photographie

qu'on connaît déjà est suffisant pour que notre cerveau soit capable de la reconnaître. Cette caractéristique des réseaux de neurones artificiels est connue comme *capacité de généralisation*.

Le mécanisme de l'association permet aussi au cerveau de converger vers un état à partir d'un autre état. Par exemple, le fait de passer devant une boulangerie nous fait rappeler qu'on devait acheter du pain. Cette deuxième importante caractéristique est aussi connue sous le nom de mémoire adressée par le contenu, dont le modèle de Hopfield s'en inspire. Par analogie avec les réseaux de neurones biologiques, les réseaux de neurones artificiels tentent de reproduire les caractéristiques les plus importantes du comportement biologique, à savoir *l'apprentissage, la généralisation et l'association*.

III.8.2. Sous-apprentissage, généralisation et sur-apprentissage :

La capacité de généralisation est l'une des raisons qui motivent l'étude et le développement des réseaux de neurones artificiels. Elle peut être définie par la capacité d'élargir les connaissances acquises après apprentissage à des données nouvellement rencontrées par le réseau de neurones. On peut distinguer deux types de généralisation : *locale* et *globale*. Dans l'approche *locale*, chaque neurone est associé à une région d'activation « région d'influence » localisée dans l'espace des données. Seule une partie des neurones participe donc à la réponse du réseau. Deux types d'architectures neuronales possèdent cette particularité : les réseaux à base de fonctions radiales et la carte de Kohonen. Par contre, dans l'approche *globale*, l'ensemble des neurones du réseau participe à l'élaboration de la sortie du réseau. L'information est donc distribuée dans le réseau tout entier. C'est le cas des réseaux de neurones de type perceptron multi couches ou le modèle de Hopfield. L'approche globale est supposée plus robuste aux *pannes* éventuelles de quelques neurones isolés. En d'autres termes, tandis que le réseau apprend dans une région de l'espace des données, le modèle peut *oublier* ce qu'il a appris dans d'autres régions.

Cette capacité de généralisation est très liée à la notion de sur-apprentissage. Ces deux caractéristiques sont complètement antagonistes. On parle de sur-apprentissage quand le réseau a trop parfaitement appris les exemples proposés. Il sera donc incapable de généraliser. Ceci est appelé calcul de la *complexité* du réseau de neurones. En pratique, on effectue un apprentissage sur un sous ensemble S de l'espace de données D . Le réseau est alors testé sur un ensemble de test T ne faisant pas partie de l'apprentissage. On calcule alors la moyenne des erreurs quadratiques sur l'ensemble S appelée '*erreur base apprentissage*' et sur l'ensemble de test T appelée '*erreur base test*'. Plus on agrandit l'ensemble S , plus l'*erreur base apprentissage* diminue, plus l'*erreur base test* augmente. Le réseau perd dans ce cas là ses capacités de généralisation.

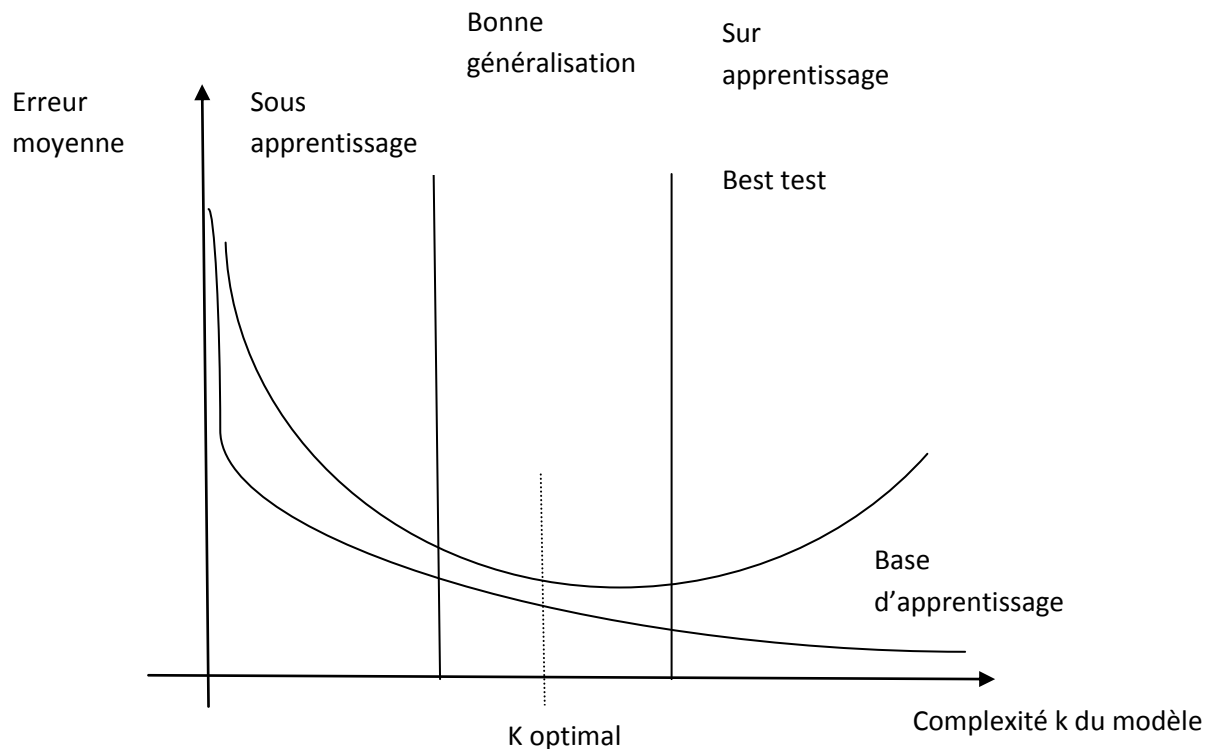


Figure III.4 , Illustre le compromis entre sur-apprentissage, sous-apprentissage et bonne généralisation.

III.9. Utilisation des réseaux de neurones pour la planification et l'évitement d'obstacles dans fauteuil roulant.

Il existe plusieurs manières pour utiliser les réseaux de neurones pour résoudre le problème de planification et d'évitement d'obstacles d'un fauteuil roulant. On peut citer ici les efforts suivants. Une implémentation d'une méthodologie basée sur d'autres approches par les réseaux de neurones notamment qui proposent une implémentation neuronale basée sur la méthode de champ potentiel. La création d'une nouvelle méthodologie en utilisant les réseaux de neurones pour développer une approche neuronale simple. La modélisation cognitive du fauteuil par les réseaux de neurones; le principe est de décomposer le problème en sous-problèmes, la résolution se fait par l'implémentation de plusieurs populations neuronales, chacune des populations neuronales est dédiée à résoudre un des sous-problèmes. Ces approches sont différentes dans le principe, mais elles ont certains aspects en commun, on va essayer de décrire d'une manière générale les implémentations citées ci-dessus.

III.9.1. Implémentation d'approche classique par les réseaux de neurones.

Dans ce travail, les auteurs proposent une implémentation basée sur la méthode champ potentiel. Le principe sert à connecter le point de départ au point d'arrivée par une droite. Dans le cas où le segment de la droite passe par un obstacle, de nouveaux points sont calculés par des formules spécifiques. Dans le cas des autres segments, l'objectif sera de

calculer des nouveaux points pour optimiser l'ancien chemin. Chaque obstacle est décrit par un réseau de neurones. Un réseau de neurones est stimulé par les coordonnées de l'obstacle. La limitation principale de cette méthode réside dans le fait que chaque obstacle est représenté par un réseau de neurones différents ; dans une situation contenant un nombre élevé d'obstacles, la complexité des calculs, ainsi que l'implémentation, sera plus élevée, ce qui implique un coût élevé en fonction du temps et de calculs.

III.9.2. Création d'une méthodologie neuronale.

L'architecture proposée est une carte discrète organisée topographiquement. Un neurone représente une position ou une configuration dans l'espace de travail et chaque neurone est connecté seulement à ses voisins ; il répond seulement au signal venant de ses voisins. L'activité de la destination est propagée dans tout le réseau. L'activité des obstacles, statiques ou dynamiques, est représentée localement (dans quelques neurones locaux). Partant d'une position initiale, la prochaine position est calculée à partir de la position courante ; si la prochaine position est égale à la position courante, c'est que le fauteuil n'a pas changé la position. Le réseau de neurones détermine quelle est la prochaine position du fauteuil. Cette méthodologie ne requiert aucun apprentissage, ce qui réduit la complexité des calculs, et malgré qu'aucun processus d'apprentissage ne soit porté sur le réseau, les simulations ont prouvé une efficacité de cette méthode. Probablement l'avantage de cette méthodologie est aussi l'inconvénient : le concept le plus important dans les réseaux de neurones est l'apprentissage, donc plusieurs questions se posent sur un réseau de neurones mis en place sans passer par l'étape d'apprentissage.

III.9.3. Modélisation cognitive par les réseaux de neurones.

C'est la forme la plus évoluée d'utilisation des réseaux de neurones qui applique la théorie biologique à la résolution de la problématique ; celle-ci dernière est découpée en un ensemble fini de sous-problèmes, chacun est résolu à part par une population neuronale, coïncidant avec la distribution des tâches cognitives des fauteuils.

Un exemple typique de cette approche sert à appliquer une théorie d'apprentissage biologique appelée conditionnement opérant. Le principe de ce type d'apprentissage sert à associer des cadeaux à des comportements supportés, et associer des punitions aux comportements non souhaités. Lorsque le fauteuil se rapproche de l'objectif, un signal de motivation (cadeau) est stimulé à l'intérieur du réseau de neurones ; dans le cas où il se rapproche d'un obstacle le fauteuil sera puni par un autre signal. Le fauteuil doit mémoriser les différentes situations antérieures pour les utiliser dans des cas postérieurs ; cette méthode permet la définition de deux comportements principaux qui permettent la navigation en évitant les obstacles et en se rapprochant de la destination ; ces deux comportements sont le comportement d'éviter les obstacles, et le comportement de se rapprocher de but. Le processus d'apprentissage ici est un apprentissage par renforcement. Il permet un apprentissage en mémorisant les différentes expériences. Quelque soit le résultat d'une

action (punition, cadeau), fauteuil roulant va construire une compréhension qui va lui permettre de distinguer entre les différentes situations et puis sélectionner l'action la plus pertinente à une situation future. Cette approche bénéficie d'un degré d'explication plus élevé. Elle permet de construire des populations (agents) neuronales spécialisées qui exécutent des fonctionnalités précises, ce qui explique le fonctionnement du réseau de neurones d'une manière générale. L'autre avantage de cette approche c'est qu'elle adopte une théorie d'apprentissage biologique, d'où un processus d'apprentissage plus naturel qui permet de définir les actions d'une manière plus juste grâce aux expériences. D'autre part, l'accumulation des expériences améliore la performance du système par la minimisation du taux d'erreur à travers les expériences successives.

III.9.4 Discussion .

La diversité des travaux et des vues a enrichi le domaine de planification de la trajectoire et d'évitement d'obstacles par la proposition de différentes méthodes. Cela permet d'identifier un ensemble de critères pour assurer la qualité d'une telle solution en évitant les problématiques d'une solution antérieure. Selon notre étude on peut identifier quelques critères pour assurer une bonne méthodologie neuronale : Le nombre des neurones doit être indépendant de l'environnement du travail : ce qui permet le déploiement du fauteuil dans des environnements différents sans aucune difficulté. Le nombre des neurones doit être indépendant du nombre des obstacles : ce qui permet la définition d'un nombre fini acceptable de neurones pour la représentation des différents obstacles, et réduit la complexité des calculs nécessaires. L'algorithme d'apprentissage utilisé doit refléter au maximum possible un processus d'apprentissage naturel: alors une interaction entre le fauteuil et son environnement maximal, qui permet de lier les actions aux situations. Distribution de tâche cognitive : permet la définition de différents comportements intelligents, et assure un degré d'explication plus élevé.

III.9.4.1. Le nombre de neurones.

Si le nombre de neurones d'un réseau est lié à l'environnement (surface) ou au nombre d'obstacles, l'implémentation sera plus difficile à cause des changements possibles de l'environnement de travail. Sur un terrain de travail plus large ou qui contient plus d'obstacles, le système doit définir automatiquement l'architecture neuronale après une étude effectuée sur le terrain. Si les informations sensorielles ne sont pas exactes, le risque de faire une erreur est élevé, il est aussi possible de ne pas trouver une solution faisable.

III.9.4.2. L'algorithme d'apprentissage.

La qualité de processus d'apprentissage influence les résultats d'application finale. Pour cette raison il est nécessaire de mettre en place une solution meilleure pour l'étape d'apprentissage. Dans le cas du fauteuil roulant, on peut s'inspirer de la biologie ; grâce à leur propriété de changement de la position, et de leur mise en place dans des

environnements réels, il est préférable de laisser le fauteuil apprendre des événements qui se passent dans son environnement. Cette attitude sert à rendre le processus d'apprentissage plus naturel.

III.9.4.3. La distribution des tâches cognitives.

L'objectif de distribution de tâches cognitives est la mise en place d'une solution plus intelligente qui permet une interaction de haut niveau entre le fauteuil et l'environnement, ce qui permet la résolution de problèmes plus complexes d'une manière intelligente. Ceci est grâce à la collaboration des différentes populations neuronales. L'identification de tâches cognitives permet de traiter les différents cas possibles, tout en associant chaque tâche cognitive à une population neuronale [15].

III.10. Conclusion :

En raison des propriétés fondamentales que nous venons de mentionner, les réseaux de neurones artificiels sont capables d'intervenir dans la résolution de nombreux problèmes de classification, de contrôle ...

CHAPITRE IV

Système de contrôle pour la poursuite du chemin

IV. Système de contrôle pour la poursuite du chemin

IV.1. Introduction .

Le suivi de trajectoire consiste à asservir la configuration du fauteuil sur une trajectoire de référence.

Dans cette chapitre présente des méthodes de suivi de trajectoire, telles que les fonctions transverses et les sorties plates, permet au fauteuil de suivre « du mieux possible » une trajectoire de référence donnée, connaissant les contraintes cinématiques.

IV.2. Méthodes de suivi de trajectoire

Le second type d'approche consiste à contrôler le fauteuil pour lui faire suivre une trajectoire précise. Ces méthodes (figure IV.1) nécessitent généralement de déterminer un modèle inverse du fauteuil, c'est-à-dire un modèle qui permet de calculer les commandes à envoyer au fauteuil (espace articulaire) connaissant la trajectoire que l'on souhaite lui faire suivre (dans l'espace cartésien)

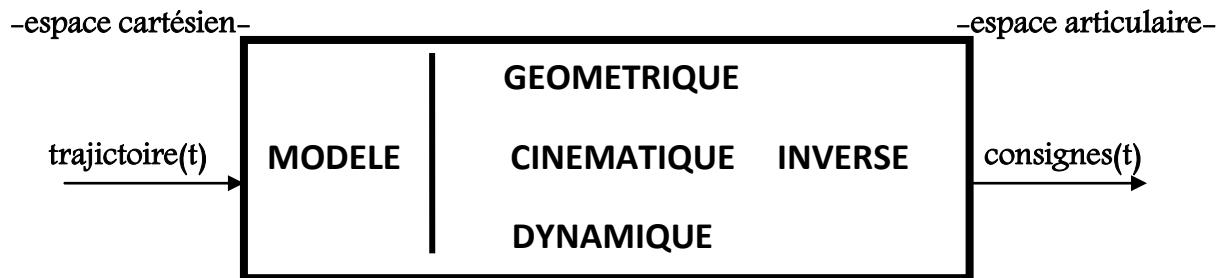


Figure IV.1. Approche par modèle inverse pour effectuer un suivi de trajectoire

La détermination d'un tel modèle est souvent le point central de ce type de méthode, et le but est d'obtenir la meilleure convergence possible du fauteuil vers la trajectoire de référence.

D'autres méthodes pour faire du suivi de trajectoires sont basées sur la reconnaissance d'images le long du parcours. Ces images peuvent être prises avec une caméra, ou avec des télémètres laser. Le principe est de créer une base de données d'images à reconnaître, et pour cela le plus simple est de piloter le fauteuil en manuel dans une phase dite d'enregistrement, en lui faisant suivre le parcours de référence. Une fois la base de données créée, on peut procéder à la phase de suivi de trajectoire en autonome. A chaque instant d'échantillonnage, l'image vue par le fauteuil est comparée à l'image qui correspond dans la base de données, et la corrélation entre les deux images permet de calculer les commandes à envoyer au fauteuil, pour le recalculer sur la trajectoire de référence.

Ce type de méthode a été appliqué à la navigation de véhicule en milieu urbain en utilisant des camera [16] et en intérieur de bâtiments en utilisant des télémètres lasers.

La reconnaissance d'amers est un principe proche de la reconnaissance d'images, sauf que cette fois-ci on repère des éléments remarquables, fixes dans l'environnement de navigation,

pour guider le fauteuil le long du parcours. Cette méthode a été appliquée sur un véhicule CyCab, évoluant en milieu extérieur grâce à des balises installées dans l'environnement de navigation [17].

IV.3. Discussion :

IV.3.1 : Synthèse des méthodes de navigation :

Le problème de navigation en fauteuil roulant n'est pas un problème parfaitement arrêté. La frontière entre planification de chemin, navigation, et pilotage est plus ou moins définie, il existe souvent des recouvrements entre ces différents domaines connexes. Ces différences d'appréhension du problème se ressentent notamment au niveau des structures de contrôle des fauteuils, qui sont en quelque sorte le reflet de la manière dont chaque équipe perçoit et découpe les différentes tâches nécessaires à la réalisation d'un système robotique autonome. Il existe ainsi beaucoup de définitions différentes du navigateur, d'où certaines différences dans la manière de répondre à la problématique.

Par exemple, beaucoup de travaux ne font pas la distinction entre chemin, trajectoire et même pilotage, et tous ces problèmes sont ainsi résolus par un unique module. C'est le cas d'un grand nombre d'approches à base de réseaux de neurones et de logique floue, qui cherchent à résoudre tous ces problèmes en même temps en contrôlant un comportement global du fauteuil. Ce genre d'approche peut donner de bons résultats dans une situation donnée. [18]

Mais il n'y a pas de planification à long terme de ce que le fauteuil doit faire, le fauteuil n'est donc pas capable de s'adapter à une situation inconnue. Il s'agit généralement d'approcher de la meilleure manière possible un comportement souhaité dans un type de situation donné, ce qui ne correspond pas à la définition d'un système autonome qui serait capable de s'adapter à différentes situations non prévues.

Une autre approche pour la navigation porte sur la détermination de méthodes pour effectuer un suivi de trajectoire ou de chemin. La trajectoire servant de référence peut être fournie par un module de planification, ou encore provenir d'un fauteuil leader qu'il faut suivre à une certaine distance. En considérant un fauteuil classique de type voiture, le problème à traiter provient notamment des contraintes de non holonomie des fauteuils, qui réduisent sa mobilité et l'empêchent donc d'effectuer certains mouvements pour rattraper la trajectoire de référence. Dans ce domaine, les approches par fonctions transverses ou celles par les sorties plates ont montré d'excellents résultats. La difficulté de ces méthodes est qu'elles nécessitent de déterminer un modèle bien spécifique du fauteuil. Les méthodes pour déterminer ces modèles ne sont pas systématiques, et de plus ces modèles n'existent pas pour tous les fauteuils.

IV.3.2. Nomenclature et lien avec une architecture de commande pour l'autonomie.

L'étude des méthodes de navigation pour un fauteuil autonome a mis en évidence les recouvrements entre les différentes fonctions nécessaires au commandement d'un fauteuil roulant autonome. Il en découle une nécessité de définir plus précisément les différentes notions que nous développerons dans la suite de ce manuscrit, de manière à bien se mettre d'accord sur ce dont on parle. Cette nomenclature nous amènera alors à présenter l'architecture de commande sur laquelle elle s'appuie. [19]

Cette manière de décomposer la notion de chemin et de trajectoire s'inscrit dans l'architecture de commande multi-niveaux présentée par Gilles Mourioux dans [20] Il s'agit d'une structure à plusieurs niveaux, qui contient plusieurs boucles action/perception imbriquées les unes dans les autres. Les couches supérieures sont les plus lentes et les plus « intelligentes », au sens où elles intègrent des informations provenant des couches inférieures, et elles travaillent à plus long terme et sur des espaces plus grands. Plus on descend dans les niveaux, et plus on a des boucles rapides et réactives.

Chaque bloc de la partie décision (figure IV.2) a pour entrée les ordres d'un bloc analogue de niveau supérieur, et les informations fournies par un bloc de la partie perception. Ces informations lui permettent de prendre ses décisions, qui sont les sorties du bloc. Ces ordres joueront alors le rôle de consigne pour le bloc décisionnel inférieur.

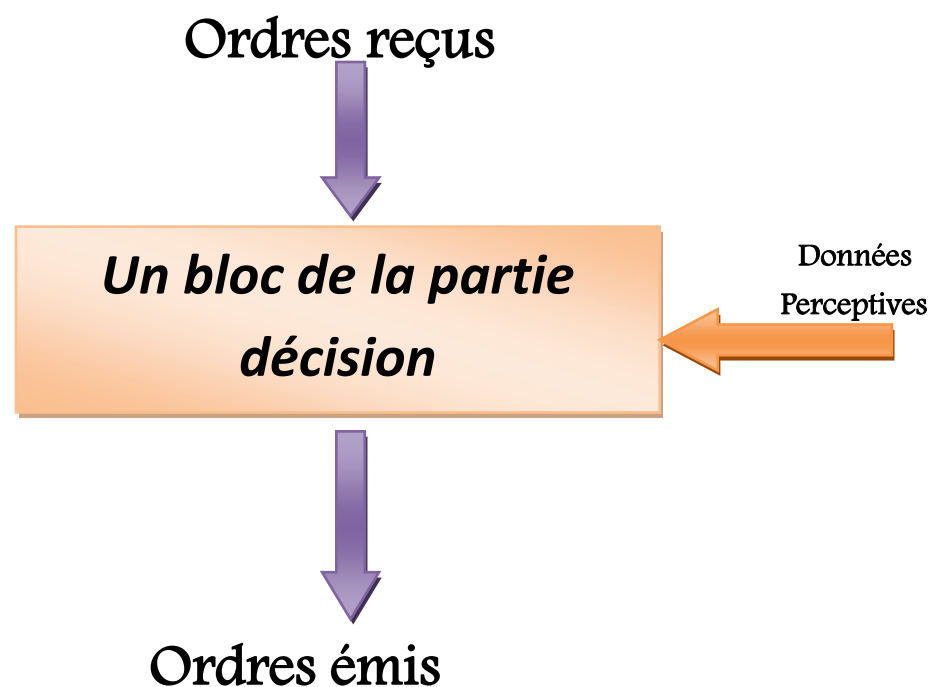


Figure IV.2 : Bloc de la partie décision

Les blocs de la partie perception (figure IV.3) reçoivent des informations émanant des capteurs. L'ensemble ou une partie des données reçues sont transmises vers les blocs de la partie décision, et également vers les blocs des niveaux supérieurs de la partie perception. Ces données peuvent avoir subi au préalable un traitement dans les blocs de la partie décision.

Ainsi, niveau après niveau, les données brutes sont enrichies par les traitements successifs et la confrontation avec d'anciennes et nouvelles informations gardées en mémoire. Cela permet notamment d'améliorer la robustesse des informations et de réaliser des cartes.

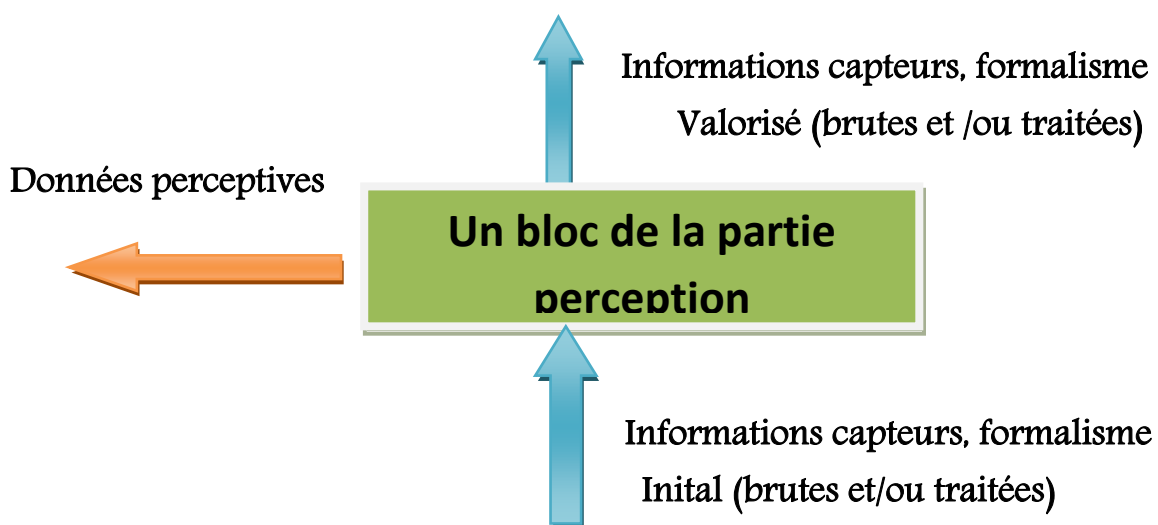


Figure IV.3 : Bloc de la partie perception

L'architecture générale (figure IV.4) est ainsi composée de différentes boucles action/perception sur différents niveaux, placés au dessus du système mécatronique articulé.

Les boucles de bas niveau sont rapides et travaillent à court terme, elles correspondent à la partie réactive de l'architecture. Les boucles de haut niveau travaillent sur des horizons temporels et spatiaux plus importants, sont plus lentes et forment la partie délibérative de cette architecture.

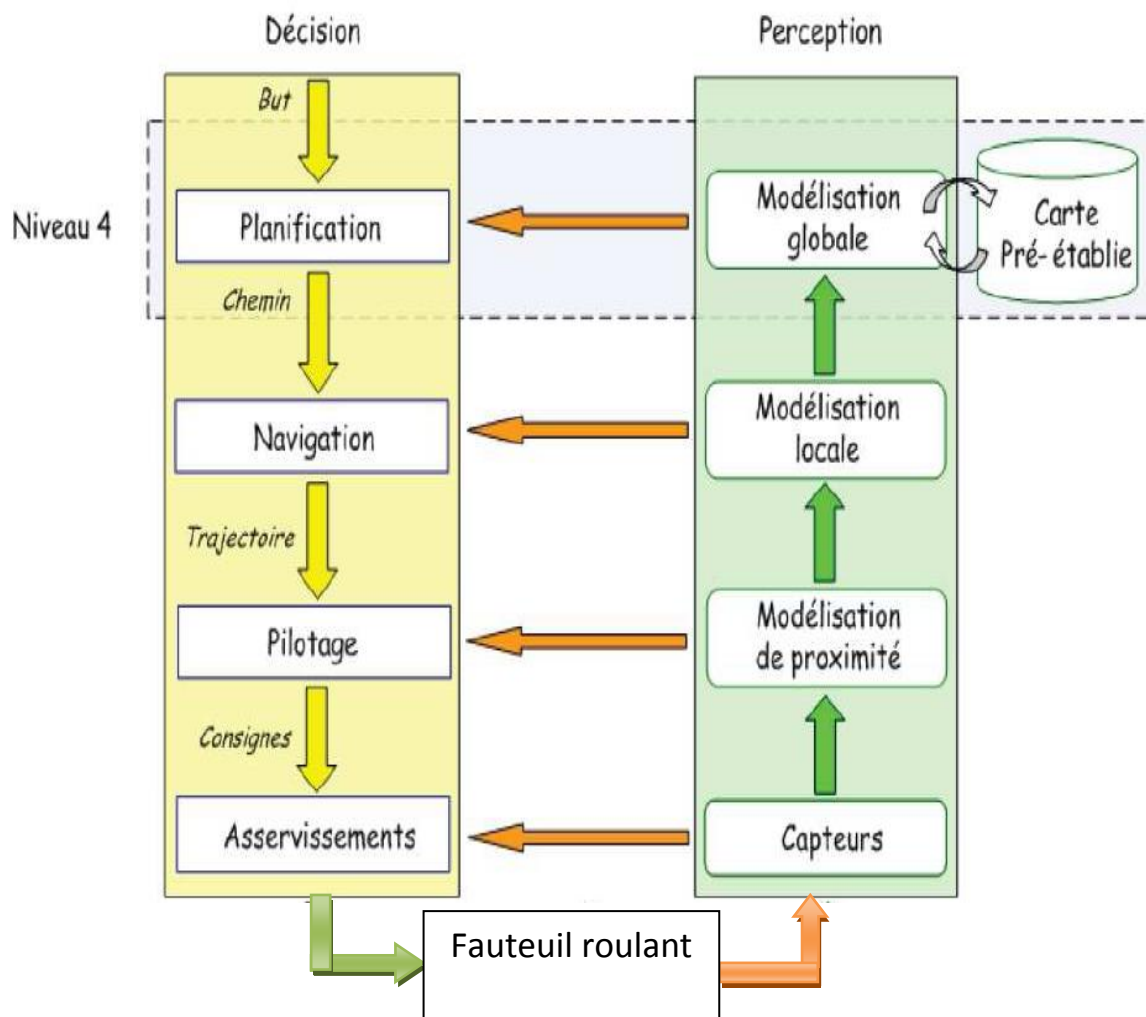


Figure IV.4 . Architecture de contrôle

Le niveau 0 représente la partie physique du fauteuil, à savoir le système mécanique articulé et les actionneurs pour faire bouger le robot. Cet élément constitue la base sur laquelle toute l'architecture est construite.

Le niveau 1 est constitué des boucles d'asservissement bas niveau du fauteuil. La partie perception contient les capteurs, et les informations qu'ils délivrent sont utilisées par le bloc de la partie décision en vue de l'asservissement de chaque moteur.

Le second niveau est celui du pilote. Il reçoit une trajectoire à suivre de la part du navigateur, et utilise les informations fournies par le bloc perception pour déterminer les consignes à envoyer aux asservissements de chaque moteur. La partie perception effectue un traitement des données brutes, par exemple sous forme de segmentation ou de détermination de l'espace libre, qu'elle fournit au pilote. En plus de sa mission principale consistant à transformer une trajectoire fournie par le navigateur en consignes pour les moteurs, le pilote peut également avoir la capacité de prendre certaines décisions comme des manœuvres d'évitement d'obstacle en urgence.

Le niveau 3 est celui du navigateur. Cette couche utilise un modèle de l'environnement local du robot, généralement sous forme de carte, fabriqué par la partie perception de ce niveau. Cette carte est réactualisée en permanence par les nouvelles informations des capteurs externes qui sont remontées et traitées par les blocs perception inférieurs. Le navigateur se sert de cette carte locale pour générer une trajectoire pour le fauteuil, lui permettant de se déplacer entre les obstacles tout en cherchant à suivre du mieux possible un parcours. Ce parcours lui est fourni par le niveau supérieur, le planificateur. La trajectoire générée tient ainsi compte des obstacles, mais elle tient également compte des contraintes cinématiques voire dynamiques du robot. Le navigateur est donc le bloc charnière entre ce que l'on souhaite que le fauteuil fasse (le chemin), les contraintes liées aux capacités de mouvement du robot, et les contraintes locales que sont les obstacles. Une fois la trajectoire déterminée, le navigateur l'envoie au pilote, qui se chargera de la faire appliquer par les actionneurs.

Le quatrième et dernier niveau représenté est celui du planificateur. La partie décision de ce bloc se voit fournir un but à atteindre, qui peut être une destination finale ou une série de lieux à visiter. Sa mission consiste alors à déterminer le chemin optimal pour atteindre ce but, chemin qui sera envoyé comme consigne au bloc navigateur du 3^e niveau. Pour cela, il utilise un modèle global de son environnement fourni par la partie perception du niveau 4. Pour fabriquer cette carte globale, la partie perception utilisera généralement des cartes préétablies présentes dans sa base de données, qu'elle pourra fusionner avec des informations courantes comme la carte locale de manière à actualiser la modélisation de l'environnement.

Dans l'architecture de contrôle proposée par Gilles Mourioux, il existe un niveau supérieur nommé générateur de mission, qui permet de donner un niveau d'autonomie supplémentaire au système. Ce niveau détermine un but ou une mission utilisable comme entrée pour le planificateur de chemin. Enfin, cette architecture permet également d'intégrer la télé opération par l'intermédiaire d'un troisième bloc, en surplus des blocs décision et perception. Ce bloc télé opération est subdivisé en couches de la même manière que les deux autres blocs, ce qui permet de faire intervenir un mode téléopéré à n'importe quel niveau.

IV.4 : Poursuite de trajectoire :

Pour une trajectoire donnée, il faut choisir un point virtuel, lié au fauteuil, qui va suivre cette trajectoire. Pour un véhicule de type FRI (Roues Motrice Indépendantes), il est usuel de choisir le point milieu de l'axe des roues motrices. Ainsi la direction du véhicule est toujours tangente à la trajectoire de ce point.

Parfois, il est préférable de commander sur la trajectoire un point virtuel n lié au fauteuil et situé en avant des roues motrices, (généralement c'est le point où est fixé un appareil de mesure de type goniomètre ou télémètre). Le système en boucle fermée doit annuler la

distance l et l'angle α entre le point n et la tangente (T) à la trajectoire au point B et telle que (nB) soit perpendiculaire à (T) (figure IV.5)

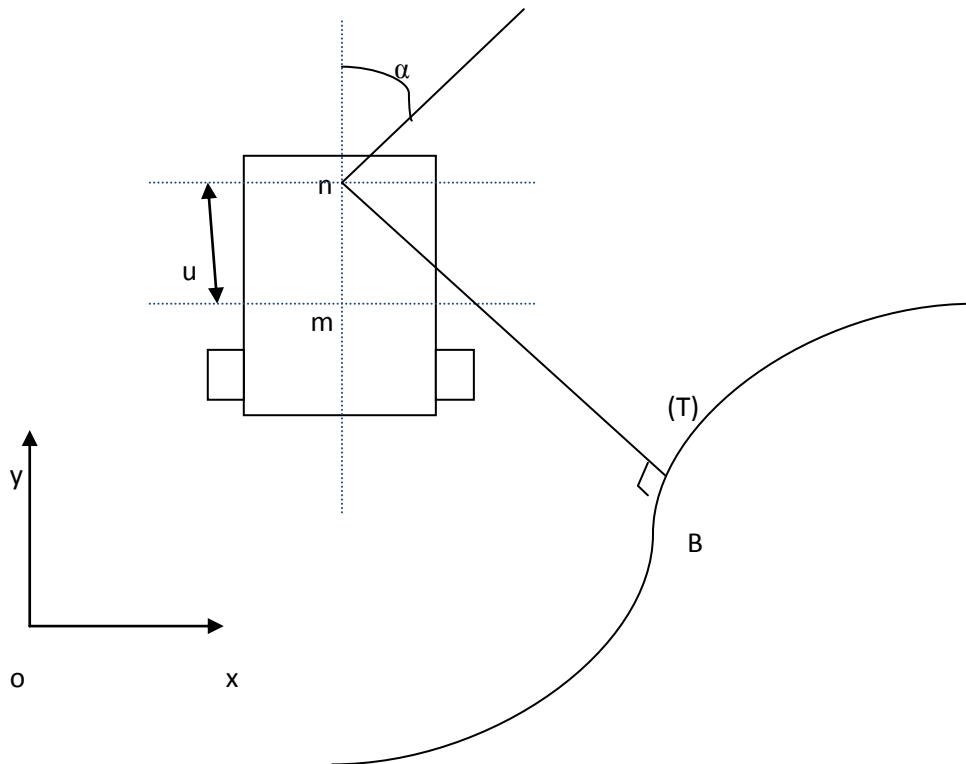


Figure IV.5 : Définition du suivi de trajectoire

IV.4.1 : Modélisation du système .

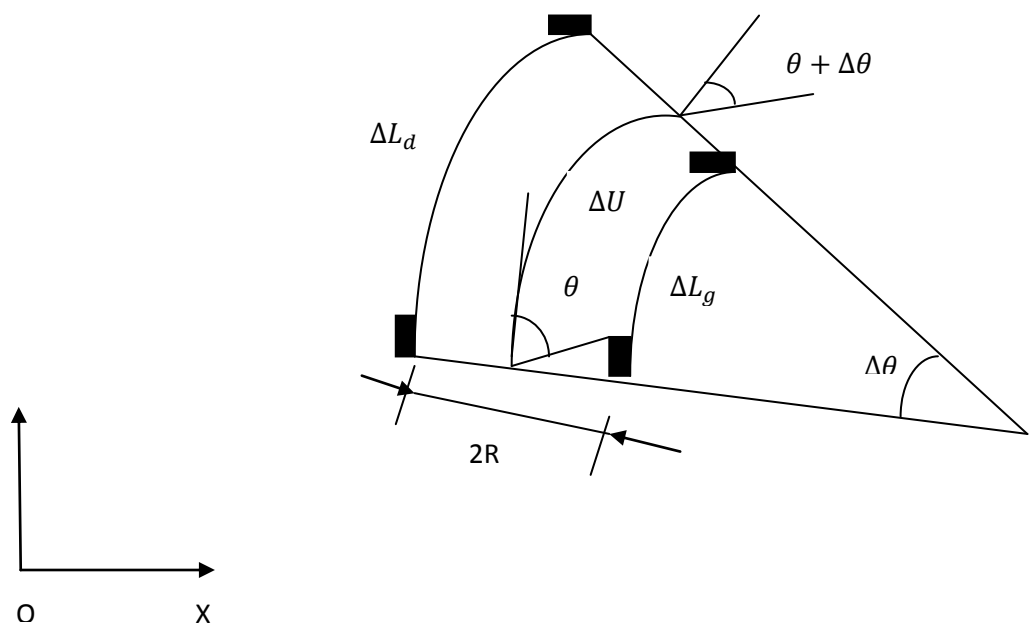


Figure IV.6: Evolution du robot

D'après la figure IV.6, on peut tirer les équations suivantes :

$$\begin{cases} \Delta\theta = \frac{\Delta L_g - \Delta L_d}{2R} \\ \Delta U = \frac{\Delta L_g + \Delta L_d}{2} \end{cases} \quad (\text{IV.1})$$

En dérivant, on aboutit aux équations donnant les vitesses de déplacement et de rotation du fauteuil comme suit :

$$\begin{cases} \frac{d\theta}{dt} = \frac{v_g - v_d}{2R} \\ v = \frac{(v_g + v_d)}{2} \end{cases} \quad (\text{IV.2})$$

v est la vitesse linéaire du point milieu des deux roues arrière.

Nous choisissons de commander symétriquement en vitesse les roues droite et gauche du fauteuil ainsi nous aurons :

$$\text{Pour la roue droite :} \quad v_d = v + \Delta v \quad (\text{IV.3})$$

$$\text{Pour la roue gauche :} \quad v_g = v - \Delta v \quad (\text{IV.4})$$

Les composantes scalaires de la vitesse du point m sont alors données par :

$$\begin{cases} \frac{dx_m}{dt} = v \cos \theta \\ \frac{dy_m}{dt} = v \sin \theta \\ \frac{d\theta}{dt} = \frac{\Delta v}{R} \end{cases} \quad (\text{IV.5})$$

D'après la figure IV.6, les coordonnées $n X$ et $n Y$ sont obtenues par :

$$\begin{aligned} X_n &= X_m + u \cos \theta \\ Y_n &= Y_m + u \sin \theta \end{aligned} \quad (\text{IV.6})$$

La figure IV.7 décrit le schéma de principe du système de commande qui réalise un suivi de trajectoire. L'entrée du système est la trajectoire que le fauteuil doit suivre. Elle peut être donnée sous la forme d'une équation dans le plan ou sous la forme d'une suite de points.

A partir de la trajectoire désirée nous calculons la position et l'orientation du fauteuil par rapport à celui-ci et nous en déduisons les deux paramètres X_m et Y_m , en coordonnées du point N à asservir. Le système est ainsi rebouclé.

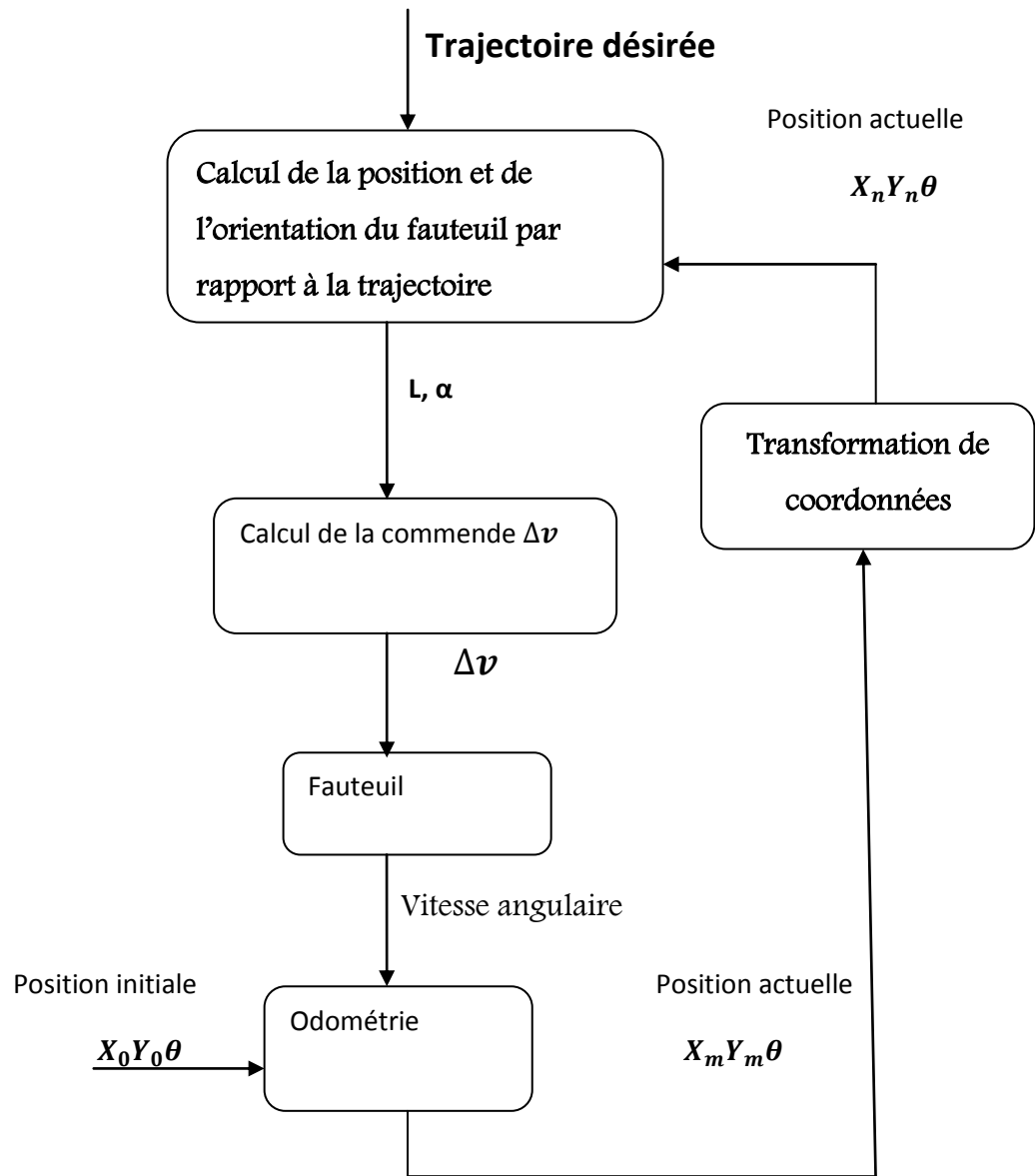


Figure IV.7 : Schéma de principe du suivi de trajectoire

Nous allons appliquer ce principe dans deux cas de suivi :

- Le suivi de trajectoire linéaire
- Le suivi de trajectoire circulaire

Ces deux cas s'avèrent suffisants pour beaucoup d'applications.

Les deux trajectoires sont définies par leurs équations dans le plan. Il est donc nécessaire maintenant de calculer deux paramètres L et α en fonction des coordonnées (X_n, Y_n) [20].

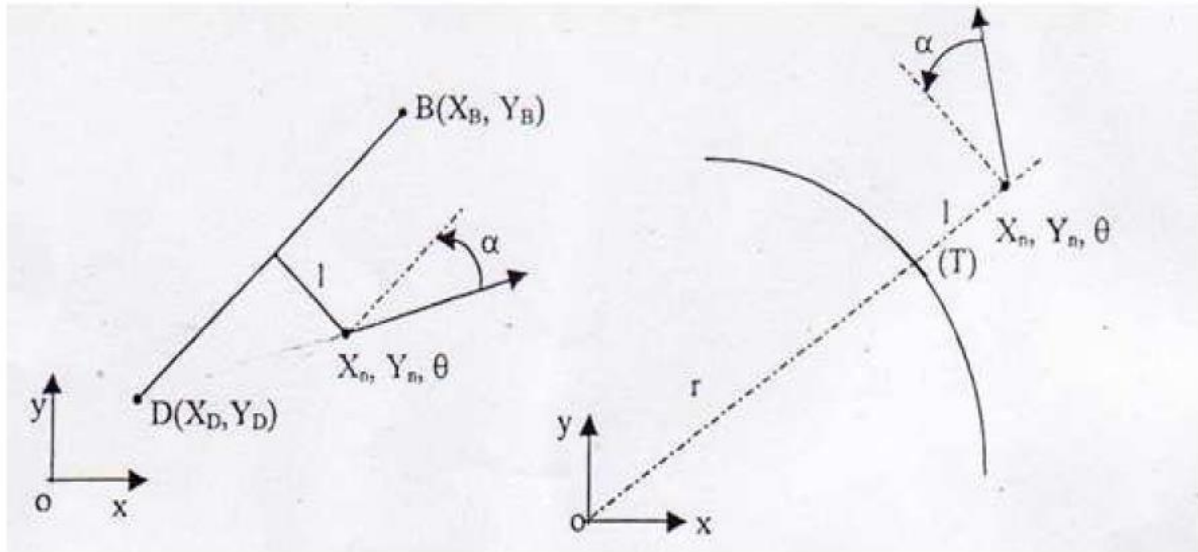
IV.4.2 : Calcul des paramètres l et α :

Figure IV.8 : Définition des trajectoires à suivre.

L'équation de la droite (DB) (figure IV.8) est définie par :

$$a(X - X_D) + b(Y - Y_D) \quad (IV.7)$$

Avec :

$$\begin{aligned} a &= Y_D - Y_B \\ b &= X_B - X_D \end{aligned} \quad (IV.8)$$

La distance l est donnée par :

$$l = (X_n - X_D) \sin \varphi - (Y_n - Y_D) \cos \varphi \quad (IV.9)$$

Et l'angle α est donné par :

$$\alpha = \arctg \left[\frac{Y_B - Y_D}{X_B - X_D} \right] - \theta \quad (IV.10)$$

Pour le cercle centré sur l'origine, nous avons comme équation :

$$X^2 + Y^2 = r^2 \quad (IV.11)$$

Le calcul de l donné :

$$l = \sqrt{X_n^2 + Y_n^2} - r \quad (IV.12)$$

Et pour l'angle α :

$$\alpha = \arctg \left[\frac{Y_n}{X_n} \right] + \frac{\pi}{2} - \theta \quad (IV.13)$$

X_m et Y_m étant obtenus par odémétrie

IV.5.Conclusion :

Avec le système de commande bas niveau que nous avons présenté, nous pouvons définir une trajectoire à l'aide des segments de droite sans avoir à la laisser. Pour des milieux très contraints, une description plus fine de la trajectoire (par exemple à l'aide de cercles) peut s'avérer nécessaire. Nous avons montré que pour une trajectoire circulaire le système était encore performant

CHAPITRE V :

Application et résultats de simulation

V. Application et résultats de simulation

V.1- Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter notre travail en utilisant le logiciel MATLAB, qui consiste à simuler une trajectoire désirée à notre fauteuil roulant pour assurer sa navigation dans son environnement à partir d'un point initial vers un point d'arrivée, en évitant des obstacles statiques. Par la suite notre contrôleur de suivie de trajectoire et basé sur l'utilisation d'un réseau de neurone MLP.

V.2- Résultats et discussion :

Les figures suivantes présentent quelques environnements que nous avons choisis pour notre simulation. Le suivi de trajectoire par notre fauteuil roulant basé sur son contrôleur neuronal et assurer avec un minimum d'erreur, ceci nous a permis de dire que ces résultats sont acceptables.

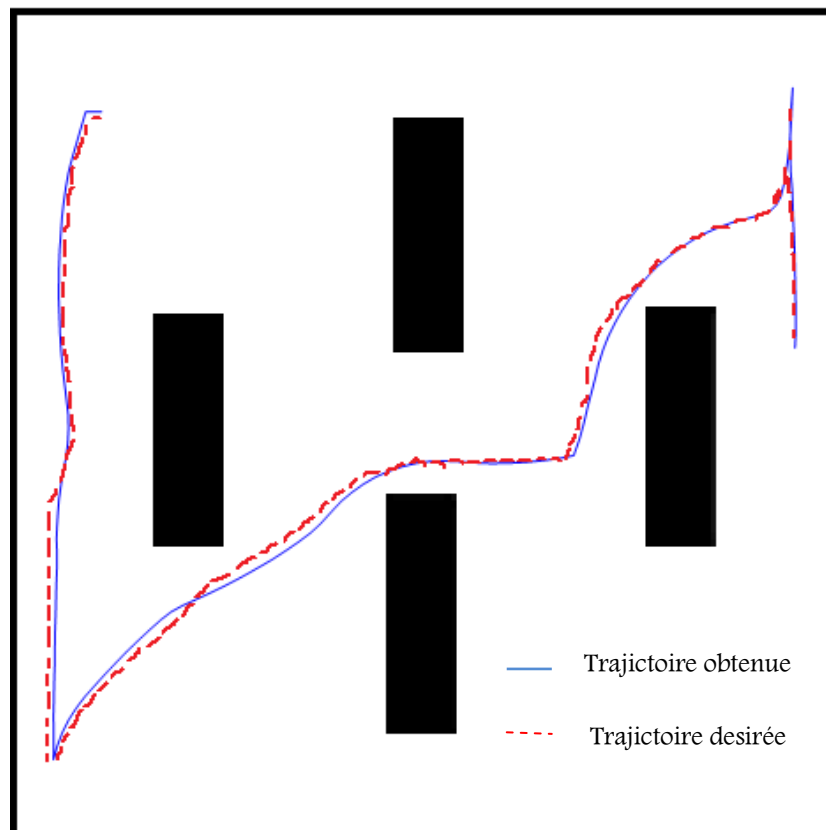


Figure V.1 : Environnement 1 Suivi de trajectoire avec évitement d'obstacles

Dans les deux trajectoires : trajectoire obtenue et trajectoire désirée sont identiques, en signalant une petite faute entre les deux trajectoires.

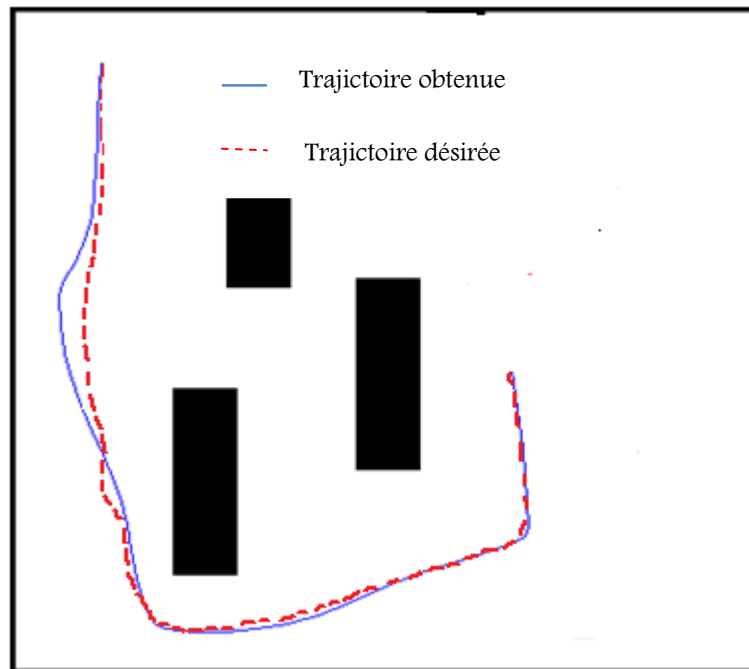
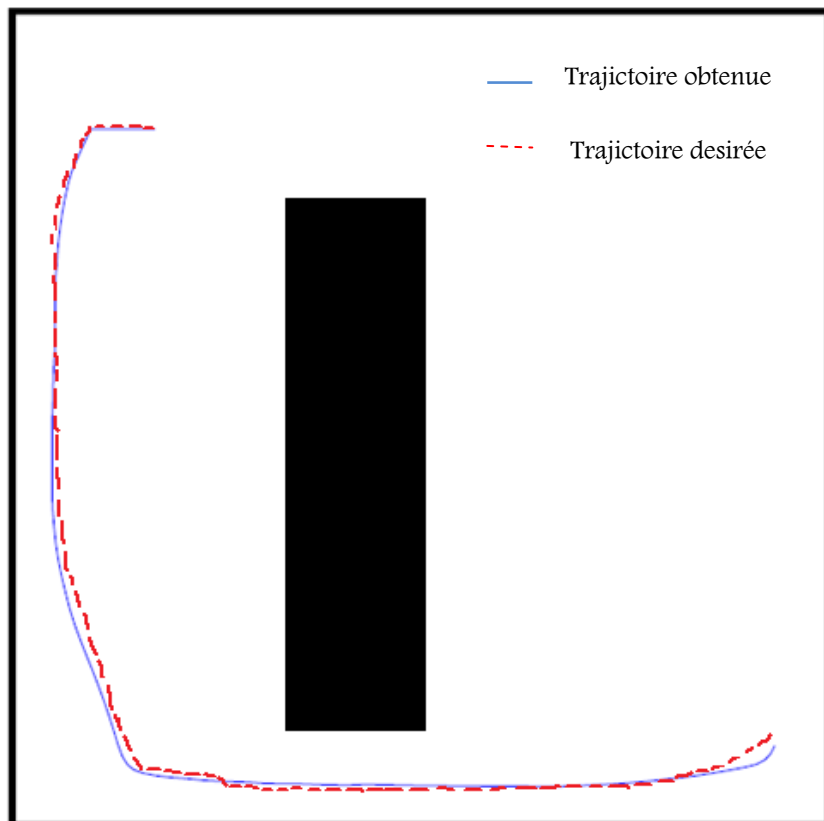


Figure V.2 : Environnement 2 Suivi de trajectoire avec évitement d'obstacles

Au début chacune des trajectoires : trajectoire obtenue et trajectoire désirée sont identiques. Après, elles s'écartent à cause de quelques obstacles, puis elles s'identifient.



FigureV.3 : Environnement 3 Suivi de trajectoire avec évitement d'obstacles

Dans les deux trajectoires : trajectoire obtenue et trajectoire désirée sont identiques.

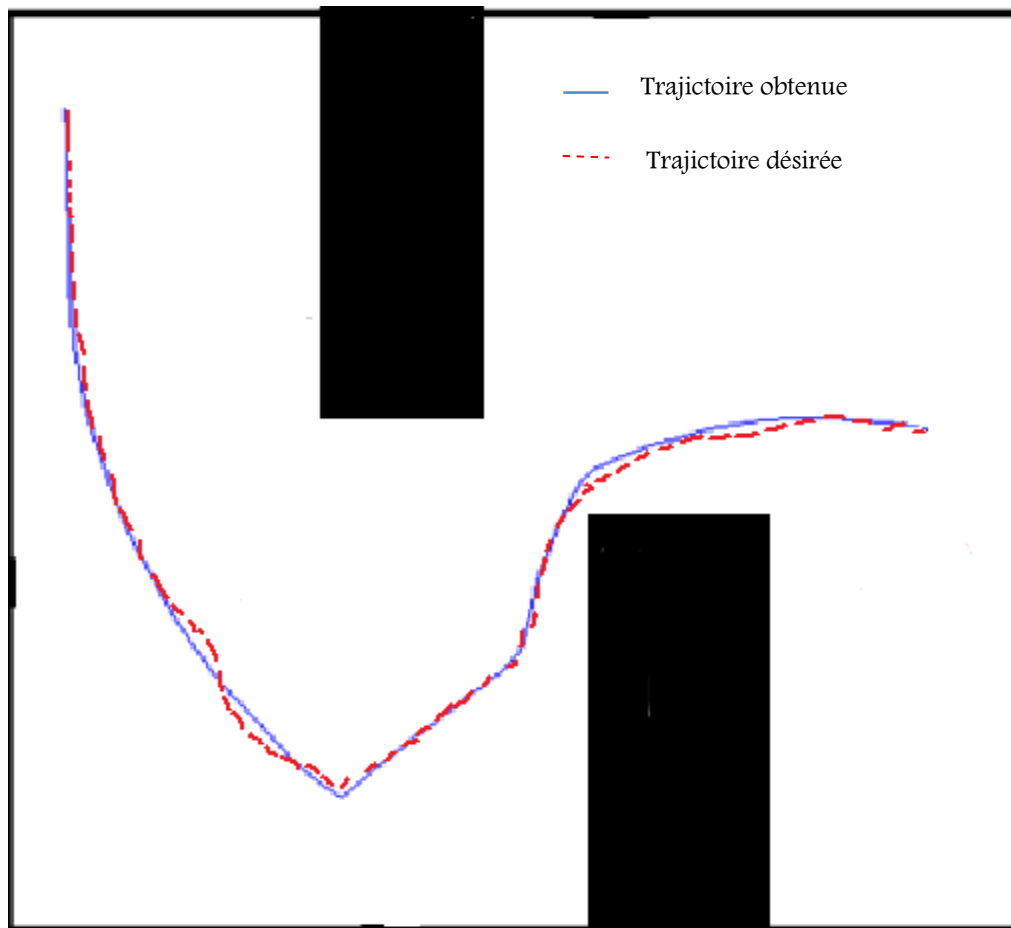


Figure V.4 : Environnement 4 Suivi de trajectoire avec évitement d'obstacles

Au début chacune des trajectoires : trajectoire obtenue et trajectoire désirée sont identiques. Après, elles s'écartent à cause de quelques obstacles, puis elles s'identifient

V.3.Conclusion:

Ce dernier chapitre a fait l'objectif d'une étude en simulation de la mise en œuvre de la technique de suivi de trajectoire pour un fauteuil roulant en utilisons un réseau de neurone artificiel de type MLP où on l'a appliquées pour assurer la navigation et l'évitement d'obstacles par notre fauteuil roulant dans un environnement connu.

Les résultats obtenus sont acceptables et nous ont permis de visualiser la trajectoire suivie par le fauteuil roulant en évitent les obstacles.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le problème de suivi de trajectoire avec évitement d'obstacles, pour un fauteuil roulant, est l'un des plus récents problèmes de la robotique mobile, ce qui a influencé sur la disponibilité de la documentation traitant ce problème. Par conséquent, la phase de recherche bibliographique de notre projet nous a requis beaucoup d'effort et de temps.

Plusieurs recherches ont été faites pour résoudre ce problème, certaines sont basées sur une approche géométrique alors que d'autres sont basées sur connaissance humaine dans un souci de simulation du raisonnement humain. Dans ce mémoire, nous avons essayé d'apporter une solution à ce problème basé sur l'utilisation des réseaux de neurones artificiels pour un fauteuil roulant électrique évoluant dans un environnement connue et contiens des obstacles. L'idée est basé sur le déplacement d'un point de départ et d'atteindre la position finale en suivant une trajectoire toute en évitant les obstacles

Le travail présenté dans ce mémoire pourra être amélioré. Pour cela nous pensons qu'il serait très intéressant de reprendre ce travail en faisant doter le fauteuil roulant par un bon dispositif de perception comme une caméra ou plusieurs capteurs pour qu'il puisse avoir plus d'information sur son environnement d'évolution, et de généralisé l'approche pour n'importe quel type d'environnement.

BIBLIOGRAPHIE :

- [1] GUECHI El-Hadi : thèse de doctorat Suivi de trajectoires d'un robot mobile non holonome approche par modèle flou de Takagi-Sugeno et prise en compte des retards, UNIVERSITÉ DE VALENCIENNES ET DU HAINAUT CAMBRÉSIS juin 2010
- [2]. B. Mohamed & W .Mohamed « Conception et réalisation d'une plate-forme de commande d'un fauteuil roulant électrique ».
- [3] [http://fr.wikipedia.org/wiki/utilisateurs de fauteuils roulants](http://fr.wikipedia.org/wiki/utilisateurs_de_fauteuils_roulants)
- [4] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Capteur>.
- [5]<http://www.robot-electronics.co.uk/htm/srf08tech.shtml>.
- [6]http://fr.wikipedia.org/wiki/Capteur_photographique (Mars 2012).
- [7] Borgolte, H. Hoyer, C. Buehler, H. Heck, R. Hoelper. "Architectural concepts of a semi-autonomous wheelchair. J Intell Robotic Syst.1998.
- [8]S.M. Meliani, Z. Sari, G. Bourhis. "Modélisation et simulation du pilotage de fauteuils roulants électriques : objectifs et premiers résultats", Paris, 2008.
- [9]F. Fuji and K.Wada. "For Better Maneuverability of the Electrically Powered Wheelchair a Pilot Model Based Approach". In: Proc. IEEE Int. Symp. On Micromechatronics and Human Science, 2003.
- [10] Casiez. "Interface Contribution à l'étude des interfaces hépatiques Le DigiHaptic : un périphérique haptique de bureau µa degrés de liberté séparés". Thèse de doctorat, Lille, octobre 2004.
- [11] D. Ding, EF. LoPresti, RC. Simpson, RA. Cooper. "Interpreting joystick Signals for wheelchair navigation". Proceedings of the 26th International Annual Conference on Assistive Technology for People with Disabilities (RESNA); 2003 Jun; Atlanta, GA. Arlington (VA): RESNA Press; 2003.
- [12]B.DJEMAI Commande Optimale Appliquée à un Robot Mobile. Mémoire Magister, Université de Batna ,2013. [13] [Eric GAUTHIER, « Utilisation des Réseaux de Neurones Artificiels pour la Commande d'un Véhicule Autonome », thèse doctorat, Institut national polytechnique de Grenoble, Janvier 1999.]
- [14] [Michel WEINFELD, « Réseaux de Neurones », Directeur de Recherche au CNRS, Laboratoire d'Informatique de l'École polytechnique, est strictement interdite, Techniques de l'Ingénieur.]
- [15] [Léon Personnaz, Isabelle Rivals, « Réseaux de neurones formels pour la modélisation, la commande et la classification », ed. CNRS, Paris, 2003.].
- [16] Belkhouche .Ismail Planification du trajectoire et évitement d'obstacle par les réseaux de neurones pour les robots mobile autonome, Mémoire de fin d'études, *Présenté le 26 Septembre 2011.*

- [17] vidéo Courbon, J., Mezouar, Y., Lequievre, L., Eck, L., "Navigation of urban véhicule. An efficient Visual Memory management for large scale environnements", IROS 2008: 1817-1822.
- [18] Pradalier, C., Hermosillo, J., Koike, C., Braillon, D., Bessière, P., Laugier, C., "The CyCab: a car-like robot navigating autonomously and safely among".Robotics and Autonomous Systems (RAS) (2005).
- [19] P. Morin et C. Samson. Introduction à la commande par retour d'état des systèmes non-holonomes. Ecole des Mines de Paris, 2003.
- [20] MALLEM ALI. « Algorithmes d'aide à la navigation d'un robot mobile. Mémoire Magister » THEME de Magister. Batna 2011.

Résumé:

Le fauteuil roulant électrique assure le déplacement des gens handicapés dans leurs environnements de vie. De nombreuses approches du déplacement existent en utilisant des différents types de capteurs et de caméra.

Les fauteuils roulants électriques, connaissant leur position, se déplacent d'un point à un autre avec la présence de diverses contraintes. Dans des cas l'arrivée ou l'atteinte du point d'arrivée est très importante sans se préoccuper du trajet. Dans d'autres cas, le trajet parcouru est important tout comme sa dépendance du temps ; la trajectoire à suivre par le fauteuil roulant doit être définie.

Généralement, le chemin à suivre est défini. Le fauteuil roulant électrique doit atteindre le point final ou d'arrivée, selon une trajectoire indépendante du temps.

Mots clés : robotique mobile, fauteuil roulant électrique, régulation, suivi de trajectoire.

Matériel requis : Micro Ordinateur