

COMMANDE D'UN BRAS MANIPULATEUR 6 D.D.L AVEC EVITEMENT D'OBSTACLE PAR LA LOGIQUE FLOUE

HATEM GHODBANE, MANEL MOUSSAOUI & OKBA KAZAR

Université Mohamed Khider Biskra,
ghodbane_hatem@yahoo.fr, moussaoui_man@yahoo.fr, kazarokba@yahoo.fr

RÉSUMÉ

L'objectif de cet article est de proposer une méthode de contrôle d'un robot manipulateur à six degré de liberté avec évitement d'obstacle par la logique floue. Ce bras exécute la tâche de déplacement des objets bien définis dans un environnement bien déterminé. Cette méthode est orientée de manière à régler le problème de difficulté et parfois d'absence d'un modèle mathématique pour la modélisation et la commande des systèmes non linéaires. Elle permet d'aider le robot pour rejoindre un but bien défini avec la faculté d'évitement d'obstacles. Nous proposons également un simple contrôleur flou et un ensemble de modèles géométriques qui vont faciliter le suivi des meilleurs chemins pour le robot manipulateur. Les résultats obtenus en simulation montrent l'efficacité de l'approche proposée.

Mots clés- bras manipulateur 6.D.D.l ; évitement d'obstacle ; logique floue.

1 INTRODUCTION

Généralement les connaissances de l'univers humain sont imparfaites dans la mesure où elles peuvent souffrir d'incertitudes et/ou d'imprécisions. L'homme intègre naturellement ces imperfections dans la vie de tous les jours, en particulier au niveau du raisonnement et de la décision [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7].

L'utilisation des outils mathématiques de modélisation est appropriée et justifiée pour les systèmes bien définis. Mais, quand la complexité augmente, ces outils deviennent moins efficaces. Le traitement des systèmes complexes nécessite souvent la manipulation d'informations incertaines. De façon naturelle, l'être humain est capable de manipuler de tels systèmes. Il décrit son comportement par des méthodes approximatives au lieu de raisonner en termes mathématiques [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7].

Un robot doit posséder des capacités de perception et de mouvement nécessaires pour qu'il puisse exécuter ses tâches dans son environnement [7] [8]. La méthode générale pour contrôler un bras manipulateur consiste à calculer les modèles géométriques pour générer les mouvements du robot nécessaire pour l'accomplissement d'une tâche particulière [9]. Cette approche produit de bons résultats pour des tâches répétitives dans des environnements connus [10]. A la base de ces idées, notre travail s'inscrit dans le contexte de la robotique et nous nous focalisons sur le principe de la démarche humaine dans le sens de capturer l'imprécision de la pensée humaine et

de l'exprimer avec des outils mathématiques appropriées [1] [2] [3].

Les techniques de l'intelligence artificielle basés sur la logique floue sont considérées comme une solution très intéressante pour les systèmes non linéaire où il est difficile d'établir un modèle mathématique [4] [5] [6] [7] [8] [11] [12] [13] [14]. L'évitement d'obstacle pour les robots manipulateurs appartient aux problèmes de cette sorte [3] [14] [15] [16]. La logique floue fournit un meilleur moyen d'automatiser les expertises humaines [4] [6] [8] [12]. Elle permet aux experts humains d'exprimer ses connaissances qui sont généralement difficiles à mettre en application lors de la conception de systèmes de traitement classiques, de façon naturelle et que le minimum des règles est suffisant pour exprimer les concepts, donc gain de temps et d'espace mémoire, ce qui donne une rapidité considérable à ses moteurs d'inférence [6] [7] [8] [12]. Les applications utilisant la logique floue sont plus faciles à réaliser et à utiliser. Des machines complexes peuvent devenir plus conviviales grâce à leur capacité de raisonnement avec des informations imprécises et d'explication de leurs décisions. Les applications de la logique floue qui ont été réalisées dans littérature montrent les avantages de cette technique quand le modèle des systèmes est difficile a implémenté, ce qui en fait un outil robuste, simple et adéquat pour traiter ces problèmes. [4] [6] [7] [8] [11] [12] [13] [14] [16] [17] [18] [19]. Dans ce papier, notre objectif est de démontrer la faisabilité de cette approche pour l'évitement d'obstacles d'un robot manipulateur à six degré de liberté.

Notre article est structuré comme suit: dans la première section, nous exposons la structure géométrique de notre bras à étudier. Dans la deuxième section, nous allons modéliser notre bras manipulateur en utilisant deux modèles réels qui sont le Modèle Géométrique Inverse (M.G.I) et le Modèle Géométrique Direct (M.G.D) [9] [20]. Puis nous allons passer à présenter la structure de notre contrôleur flou. Finalement il y a la phase d'exécution, sont des résultats de simulation de notre système en utilisant un outil du langage de programmation.

2 LA DESCRIPTION GEOMETRIQUE DU BRAS

La structure de notre bras est la Structure Ouverte Simple (St.O.S) dont la quelle chaque corps a au plus deux articulations. La St.O.S permet d'amener l'organe terminal dans une situation (position et orientation) donnée [9]. Elle est la plus utilisé et a pour avantage essentiel d'augmenter la rigidité ainsi que la précision. Le bras manipulateur à étudier est un robot articulé à 6 D.D.L « robot Staubil RX-90 ». Six degrés de liberté sont suffisants pour positionner l'organe terminal dans une position et orientation complet dans l'espace [21]. La cinématique du porteur est de type RRR et le poignet comporte trois rotations comme la figure 1 l'indique [9].

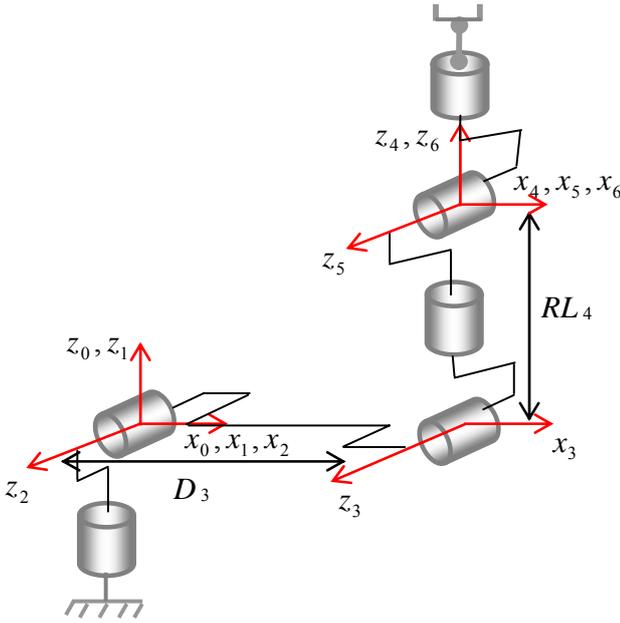


Figure 1 : Placement des repères et notation du robot Staubil RX-90

Les paramètres géométriques du robot sont représentés dans la figure suivante :

Tableau 1 : Paramètres géométriques du robot Staubil RX-90

J	σ_j	α_j	d_j	θ_j	r_j
1	0	0	0	θ_1	0
2	0	$\pi/2$	0	θ_2	0
3	0	\sim	D_3	θ_3	0
4	0	$\sim \pi/2$	0	θ_4	RL_4
5	0	$\pi/2$	0	θ_5	0
6	0	$\sim \pi/2$	0	θ_6	0

2.1 Modèles géométriques direct du bras

Le modèle géométrique direct du robot Staubil RX-90 est donné par les équations suivantes :

$$s_x = C_1 \left(C_{23} (C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6) - S_{23} S_5 C_6 \right) - S_1 (S_4 C_5 C_6 + C_4 S_6)$$

$$s_y = S_1 \left(C_{23} (C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6) - S_{23} S_5 C_6 \right) + C_1 (S_4 C_5 C_6 + C_4 S_6)$$

$$s_z = S_{23} (C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6) + C_{23} S_5 C_6$$

$$n_x = C_1 \left(-C_{23} (C_4 C_5 S_6 + S_4 S_6) + S_{23} S_5 C_6 \right) + S_1 (S_4 C_5 S_6 - C_4 C_6)$$

$$n_y = S_1 \left(-C_{23} (C_4 C_5 S_6 - S_4 C_6) + S_{23} S_5 S_6 \right) - C_1 (S_4 C_5 S_6 - C_4 C_6)$$

$$n_z = -S_{23} (C_4 C_5 S_6 + S_4 C_6) - C_{23} S_5 S_6$$

$$a_x = -C_1 (C_{23} C_4 S_5 + S_{23} C_5) + S_1 S_4 S_5$$

$$a_y = -S_1 (C_{23} C_4 S_5 + S_{23} C_5) - C_1 S_4 S_5$$

$$a_z = -S_{23} C_4 S_5 + C_{23} C_5$$

$$p_x = -C_1 (S_{23} RL_4 + C_2 D_3)$$

$$p_y = -S_1 (S_{23} RL_4 + C_2 D_3)$$

$$p_z = C_{23} RL_4 + S_2 D_3$$

avec $C_{23} = \cos(\theta_2 + \theta_3)$ et $S_{23} = \sin(\theta_2 + \theta_3)$

2.2 Modèles géométriques inverse du bras

Pour traiter le modèle géométrique inverse de notre bras nous avons utilisé la méthode de Paul car elle est permet de traiter séparément chaque cas (chaque type du bras manipulateur) particulier et convient pour la plupart des robots industriels [10]. Après ces calculs, on obtient les solutions suivantes:

$$\theta_1 = a \tan_2(p_y, p_x), \quad \theta_1' = \theta_1 + \Pi, \quad \theta_2 = a \tan_2(S_2, C_2)$$

$$\text{avec } C_2 = \frac{YZ - \varepsilon X \sqrt{X^2 + Y^2 - Z^2}}{X^2 + Y^2}$$

$$\text{et } S_2 = \frac{XZ + \varepsilon X \sqrt{X^2 + Y^2 - Z^2}}{X^2 + Y^2}$$

$$\varepsilon = \pm 1, \quad B_1 = p_x C_1 + p_z S_1, \quad X = -2p_y D_3, \quad Y = -2B_1 D_3,$$

$$Z = (RL_4)^2 - (D_3)^2 - (P_z)^2 - (B_1)^2$$

$$\theta_3 = a \tan_2(p_z S_2 - B_1 C_2 + D_3 / RL_4, -B_1 S_2 + p_z C_2 / RL_4)$$

$$\theta_4 = a \tan_2(S_1 a_x - C_1 a_y, -C_{23}(C_1 a_x + C_1 a_y) - S_{23} a_z)$$

$$\theta_{4'} = \theta_4 + \pi$$

$$\theta_5 = a \tan_2(S_5, C_5)$$

avec

$$S_5 = -C_4 [C_{23}(C_1 a_x + S_1 a_y) + S_{23} a_z] + S_4 (S_1 a_x - C_1 a_y)$$

$$C_5 = -S_{23}(C_1 a_x + S_1 a_y) + C_{23} a_z$$

$$\theta_6 = a \tan_2(S_6, C_6)$$

avec

$$S_6 = -C_4 (S_1 s_x - C_1 s_y) - S_4 [C_{23}(C_1 s_x + S_1 s_y) + S_{23} s_z]$$

$$C_6 = -C_4 (S_1 n_x - C_1 n_y) - S_4 [C_{23}(C_1 n_x + S_1 n_y) + S_{23} n_z]$$

$$C_1 = \text{Cos}(\theta_1), \quad S_1 = \text{Sin}(\theta_1)$$

$$C_4 = \text{Cos}(\theta_4), \quad S_4 = \text{Sin}(\theta_4)$$

$$C_{23} = \text{Cos}(\theta_2, \theta_3), \quad S_{23} = \text{Sin}(\theta_2, \theta_3)$$

3 METHODE D'EVITEMENT

La figure 2 représente l'état d'un bras manipulateur se dirigeant vers un point cible en évitant un obstacle fixe.

A partir de deux vecteurs cible et évitement en calculant le vecteur de déplacement qui est égale à la somme vectorielle des vecteurs V_{cible}^{\rightarrow} et $V_{Evitement}^{\rightarrow}$

$$V_{deplacement}^{\rightarrow} = V_{cible}^{\rightarrow} + V_{Evitement}^{\rightarrow}$$

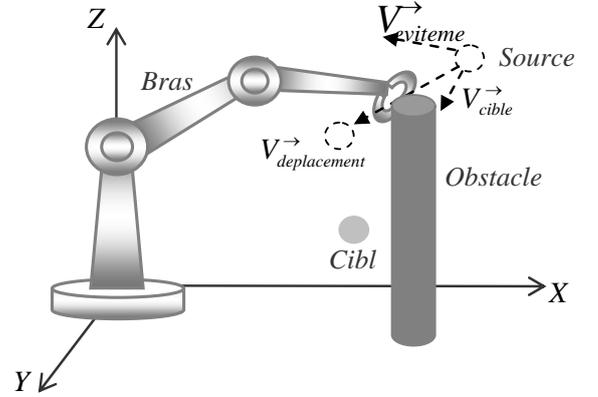


Figure 2 : Bras manipulateur se dirigeant vers un point cible

Le vecteur de la cible V_{cible}^{\rightarrow} est calculé à partir de la position de la cible et le vecteur d'évitement représente la sortie du contrôleur flou. $V_{Evitement}^{\rightarrow}$

4 LE CONTROLEUR FLOU POUR L'EVITEMENT

L'objectif est la création d'un contrôleur flou capable d'évaluer le vecteur d'évitement $V_{Evitement}^{\rightarrow}$ correspondant à la position actuelle d'obstacle.

Comme la figure 3 l'indique, le contrôleur possède deux entrées et une sortie, les entrées sont l'angle et la direction par rapport l'obstacle et la sortie est le vecteur d'évitement. Le bras utilise ce dernier pour calculer ses coordonnées absolues.

Nous avons choisi un contrôleur de type Mamdani [15], dont la conclusion est un ensemble flou. Ce modèle présente l'avantage d'être facilement interprétable et bien adapté à ce type de problème. La fonction d'appartenance utilisée est gaussienne, ce type de fonction est généralement le plus utilisé.

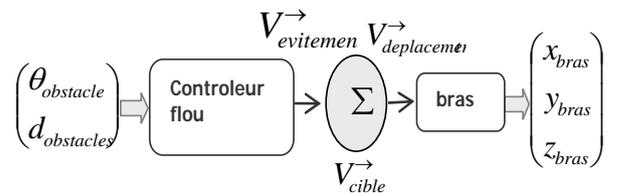


Figure 3 : Les entrées sorties du contrôleur

5 LA FUZZIFICATION

La fuzzification est un module de codage a pour rôle de convertir les données physiques réelles provenant des capteurs en un label caractérisant la variable linguistique associée pouvant être manipulés par le contrôleur, en définissant des fonctions d'appartenance pour différentes variables d'entrée. Le choix de la fonction d'appartenance dépend de la nature des données et du problème [1] [2].

5.1 La fuzzification de l'angle d'obstacle

On suppose que le robot peut percevoir un obstacle dans une direction qui appartienne à l'intervalle $[-90,90]$. La fonction d'appartenance est représentée en sept sous ensemble flous, comme la figure 4 l'indique :

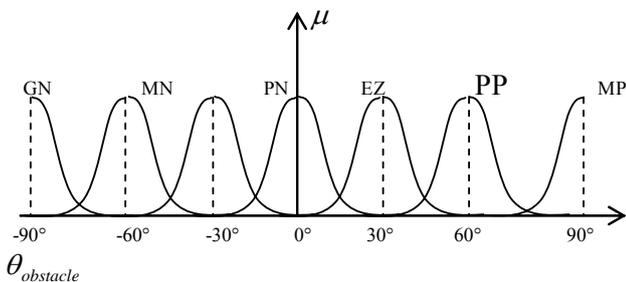


Figure 4 : La fuzzification de l'angle d'obstacle

- GN : Grand Négative
- PP : Petite Positive
- MN : Moyenne Négative
- MP : Moyenne Positive
- PN : Petite Négative
- GN : Grand Positive
- EZ : Environnement de Zéro

5.2 La fuzzification de distance d'obstacle

Pour la distance entre l'organe terminal et l'obstacle $d_{obstacle}$, nous avons choisi seulement trois valeurs floues.

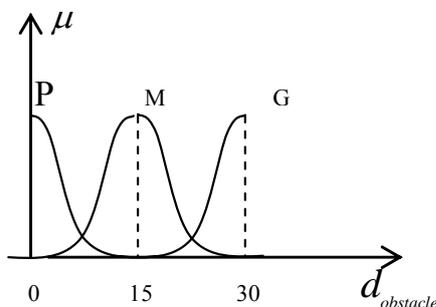


Figure 5 : La fuzzification de la distance d'obstacle

5.3 La fuzzification de l'angle d'évitement

On définit la fonction d'appartenance de l'angle d'évitement par neuf sous ensembles flous appartenant à l'intervalle $[-135,135]$

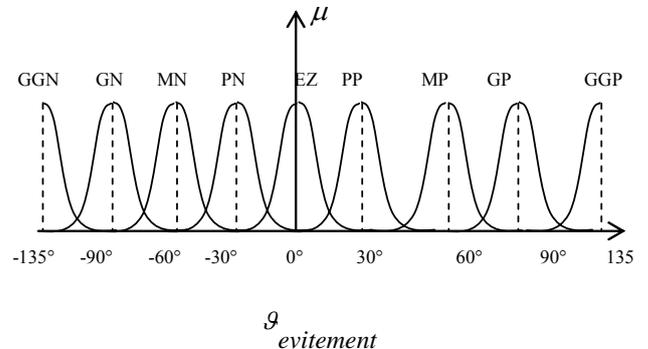


Figure 6 : La fuzzification d'angle d'évitement

- GGN: Grand Grand Negative
- GN: Grand Negative
- MN : Moyenne Négative
- PN : Petite Négative
- EZ : Environnement de Zéro
- PP : Petite Positive
- GP : Grand Positive
- MP : Moyenne Positive
- GGP : Grand Grand Positive

6 LA BASE DES REGLES FLOUES DU CONTROLEUR

Un contrôleur flou prend généralement la forme d'une série de règles «Si-alors». L'inférence est basée sur des opérations min et max afin d'effectuer l'inférence des règles et l'opérateur max pour l'agrégation des règles.

Le jeu de règles peut être d'écrit sous forme d'un tableau, ou les variables d'entrées sont l'angle d'évitement et la distance, chaque case du tableau indique la déduction d'une règle.

Pour cette situation on a trois cas (trois tableaux d'inférence) :

1^{ème} cas : $\alpha_{obstacle}$ supérieur à $\alpha_{sourcee}$ (l'organe terminal) et inférieur à α_{ciblee} $\alpha_{obstacle} \in [\alpha_{source}, \alpha_{cible}]$ c'est-à-dire l'évitement se fait à gauche comme la figure 7 l'indique

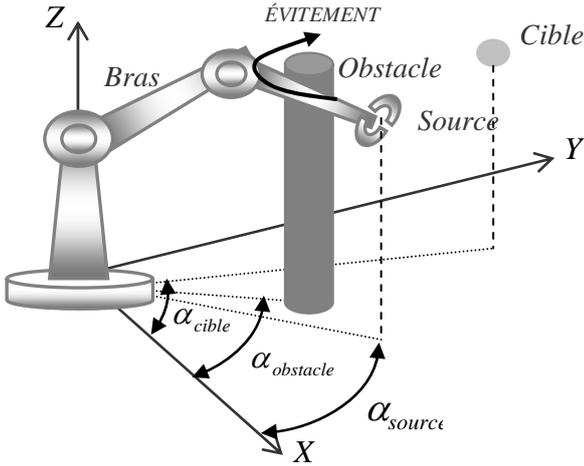


Figure 7 : Evitement gauche

Les règles sont résumées dans le tableau suivant

Tableau 2 : La base de règles pour l'évitement gauche

$\varphi_{\text{evitement}}$	$\varphi_{\text{obstacle}}$							
		GN	MN	PN	EZ	PP	MP	GP
d_{obstacle}	P	GGN	GGN	GGN	GGN	GGN	GN	MN
	M	GGN	GGN	GGN	GGN	GN	MN	PN
	G	GGN	GGN	GGN	GN	MN	PN	EZ

2^{ème} cas : α_{obstacle} inférieur à α_{source} (l'organe terminal) et supérieur à α_{cible} $\alpha_{\text{obstacle}} \in [\alpha_{\text{source}}, \alpha_{\text{cible}}]$ c'est-à-dire l'évitement se fait à droite comme la figure 8 l'indique

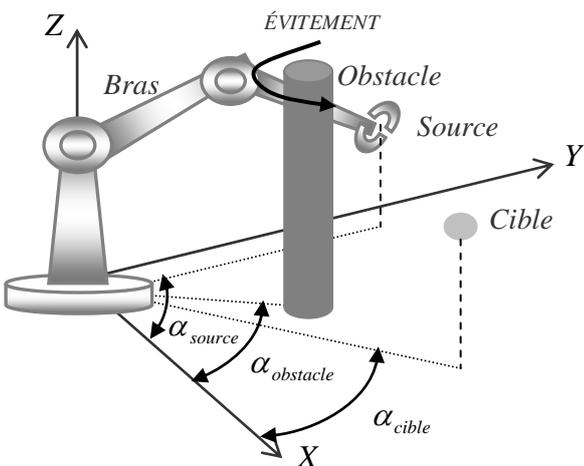


Figure 8 : Evitement droite

Tableau 3 : La base de règles pour l'évitement droite

$\varphi_{\text{evitement}}$	$\varphi_{\text{obstacle}}$							
		GN	MN	PN	EZ	PP	MP	GP
d_{obstacle}	P	PP	MP	GP	GGP	GGP	GGP	GGP
	M	PP	PP	MP	GP	GGP	GGP	GGP
	G	EZ	EZ	PP	MP	GGP	GGP	GGP

3^{ème} cas : α_{obstacle} supérieur ou inférieur à α_{source} et α_{cible} $\alpha_{\text{obstacle}} \notin [\alpha_{\text{source}}, \alpha_{\text{cible}}]$ c'est-à-dire l'évitement se fait à gauche ou à droite comme la figure 9 l'indique

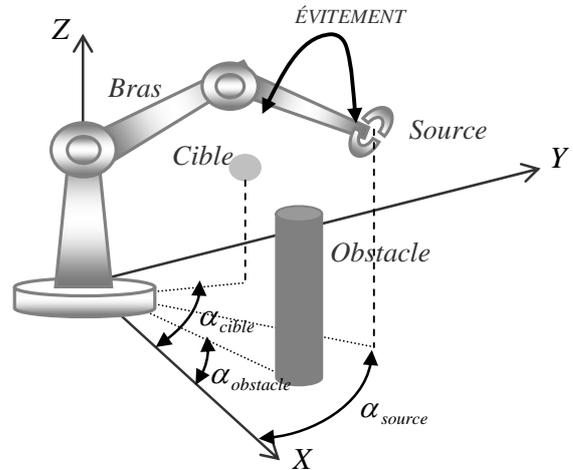


Figure 9 : Evitement gauche droite

Les règles sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 4 : La base de règles pour l'évitement gauche droite

$\varphi_{\text{evitement}}$	$\varphi_{\text{obstacle}}$							
		GN	MN	PN	EZ	PP	MP	GP
d_{obstacle}	P	PP	MP	GP	GGN	GN	MN	PN
	M	PP	PP	MP	GN	MN	PN	PN
	G	EZ	PP	PP	PN	GGP	PN	EZ

7 FONCTIONNEMENT DU SYSTEME PROPOSE

Si le chemin du bras est libre c'est-à-dire aucune présence d'obstacle, donc dans cette situation le robot manipulateur se déplace vers la cible jusqu'à ce que un obstacle soit détecté. A ce point, la direction du bras est modifiée par le contrôleur flou d'évitement d'obstacle de telle sorte que le bras se déplace d'autant plus qu'il est loin de l'obstacle. Le chemin de déplacement est représenté comme un ensemble de points de passage reliant le point de départ au point d'arrivée. Le principe de fonctionnement est présenté dans la figure suivante.

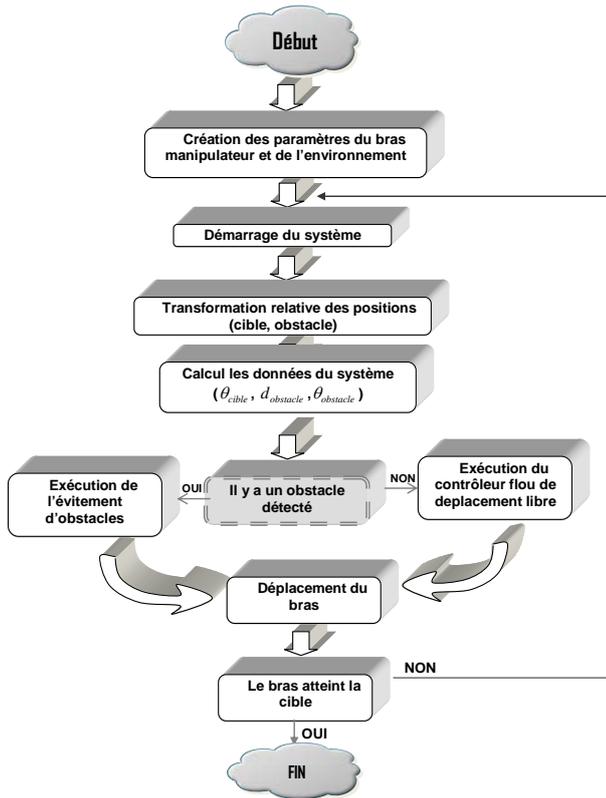
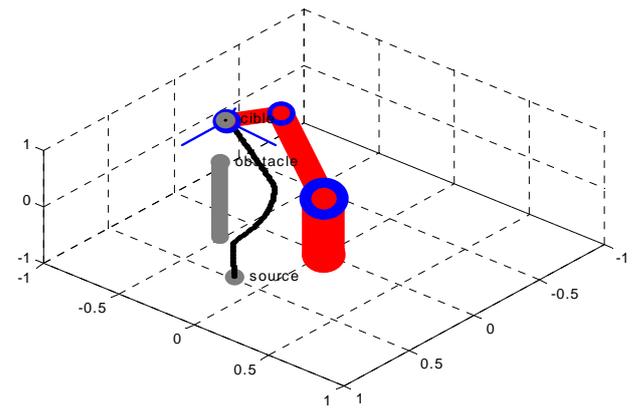


Figure 10 : L'architecture fonctionnelle du système proposé

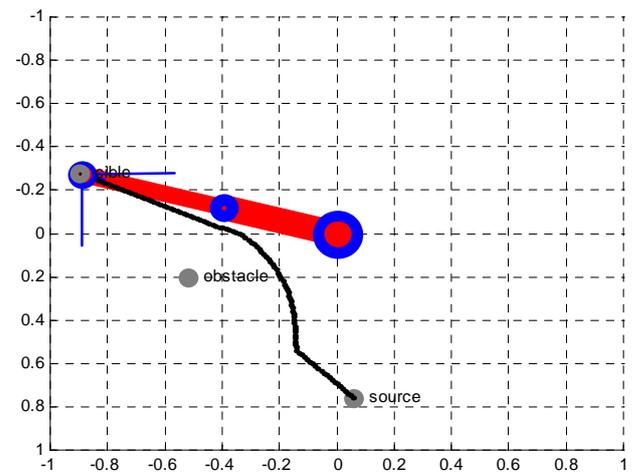
8 VALIDATION

Dans ce papier, nous présenterons les résultats de simulation de notre système en utilisant MATLAB. De ce faite, on peut accélérer le temps de calcul, on peut élaborer beaucoup de données, on peut varier les paramètres de l'environnement comme on le désire. On peut faire exécuter au robot ce que l'on veut, on peut aussi modifier les données du robot, on peut visualiser tout ce qui se passe. MATLAB qui est un environnement de travail complet, puissant et performant.

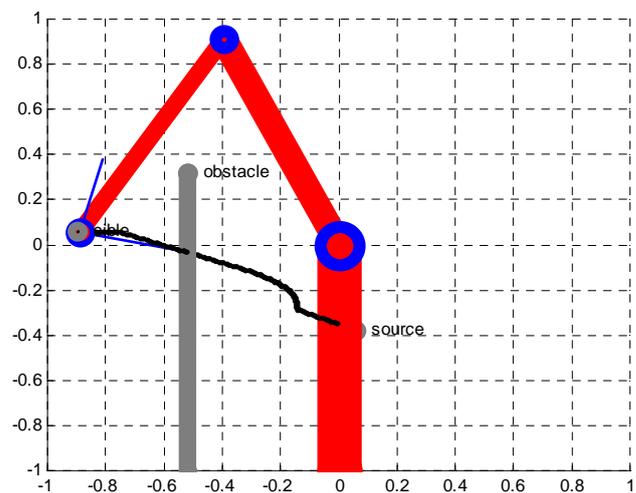
Nous présentons ici un exemple de notre validation réalisée. L'environnement est une salle carrée. Le bras possède six degré de liberté. Pour déplacer un objet le bras part d'un état de repos. Ensuite il s'oriente progressivement vers la configuration finale correspondant à la cible avec la possibilité d'éviter la collision avec l'obstacle de telle sorte que le robot oriente d'autant plus qu'il est loin de l'obstacle. Comme le montre la figure 11, en raison de obstacle qui se trouve entre la position initiale et finale du bras, le robot est forcé de faire un petit contournement afin d'éviter la collision.



Vue 3D



Vue de haut



Vue de coté

Figure 11 : exemple de validation

La variation des angles de chaque moteur (correspondant à l'exemple présenté dans la figure 11) est représentée dans la figure suivante :

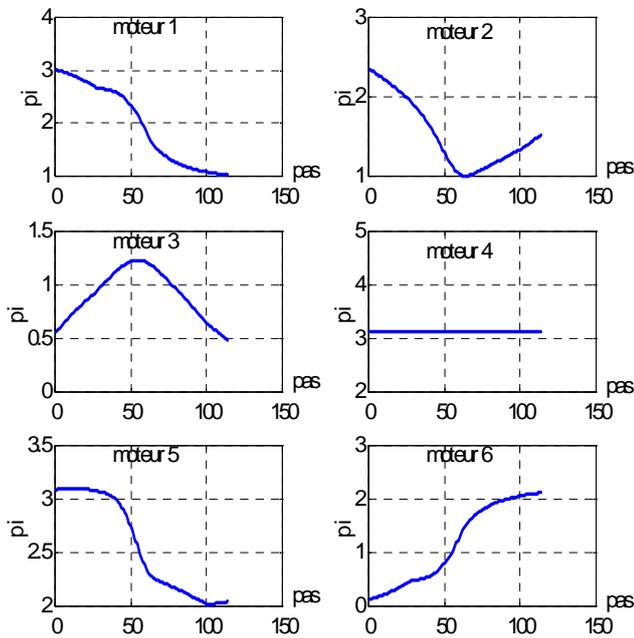


Figure 12 : Variation des angles

9 CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons proposé une expérience avec le robot manipulateur Staubli RX-90. Nous avons créé un contrôleur basé sur la logique floue pour l'évitement d'obstacles. Nous remarquons que l'algorithme est très simple et produit de bons résultats tels que :

- Il n'y a pas de collision entre le bras manipulateur et l'obstacle.
- Le chemin de déplacement est proche de l'optimal.
- Le chemin de déplacement est proche de la décision humaine.
- La variation de l'angle des moteurs est réalisable, pas de variation brusque de l'angle.
- Quelque soit la position de l'obstacle par rapport au bras et la cible on aura toujours un bon déplacement du bras.
- Les techniques adoptées floues fournissent une stratégie de comportement flexible et donnent la possibilité de construire une représentation de l'environnement nécessitant un espace mémoire réduite par rapport à l'utilisation d'une description géométrique exacte.

Nous espérons que cet article motivera le lecteur à créer plusieurs applications avec l'exploitation des propriétés intrinsèques de la logique floue.

REFERENCES

- [1] P. Reignier, "Pilotage réactif d'un robot mobile étude du lien entre la perception et l'action", Thèse Doctorat, Institut National polytechnique de Grenoble, France, 1994.
- [2] P. Garnier, "Contrôle d'exécution réactif de mouvements de véhicules en environnement dynamique structuré", Thèse Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 1995.
- [3] J. Godjevac, "Idées nettes sur la logique floue", Collection informatique, édition Presses polytechniques et universitaires romandes (ppur), Lausanne, 1999.
- [4] J. Yen and N. Pfluger, "A fuzzy logic based robot navigation system", Proceedings of the, IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 25, No. 6, pp. 971-978, 1992.
- [5] X. Yang, M. Moallem and R-V. Patel, "A layered goal-oriented fuzzy motion planning strategy for mobile robot navigation", IEEE transactions on systems, man, and cybernetics-part B : cybernetics, Vol. 35, No. 6, pp. 1214-1224, December 2005.
- [6] H. Surmann, J. Huser and L. Peters, "A fuzzy system for indoor mobile robot navigation", Proc. of the Fourth IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems, pp. 83-86, 20, Yokohama, Japan, 1995.
- [7] P-G. Zavrangas, S-G. Tzafestas and K. Althoefer, "Fuzzy obstacle avoidance and navigation for omnidirectional mobile robots", ESIT 2000, pp. 375-382, Aachen, Germany, 2000.
- [8] A. Martinez, E. Tunstel, and M. Jamshidi, "Fuzzy logic based collision avoidance for a mobile robot", Robotica, Vol. 12, No. 6, pp. 521-527, 1994.
- [9] E. Dombre et W. Khalil, "Modélisation, Identification et Commande des Robots", Hermès, deuxième édition, 1999.
- [10] E. Colle, K. Nait Chabane, S. Delarue, P. Hoppenot, « ARPH : Comparaison d'une méthode classique et d'une méthode utilisant la coopération homme-machine pour exploiter la redondance de l'assistant robotisé », LSC CNRS FRE 2494, Université d'Evry, 2006
- [11] I. Gupta and D. Riordan, "Mobile robot navigation : A fuzzy logic based approach", Document of Faculty of Computer Science, Dalhousie University, Canada, 2002.
- [12] A. Fatmi, A. Al Yahmadi, L. Khriji and N. Masmoudi, "A fuzzy logic based navigation of a mobile robot", Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, pp. 169-175, Vol. 15, ISSN 1307- 6884, 2006.
- [13] H. Zimmermann, "Practical applications of fuzzy technologies", Springer Netherlands, 1999.

- [14] Logique floue, car le monde est flou !
<http://embedded.over-blog.com/article-4592528.html>.
- [15] K. Chafaa, "Structure d'identification et de commande des systèmes non linéaires", Thèse Doctorat, Université de Batna, Algérie, 2006.
- [16] M. Mordjaoui, "Modélisation des effets électromagnétiques - Apport de la logique floue et neuro-floue", Thèse Doctorat, Université de Batna, Algérie, 2008.
- [17] La logique floue, 2002.
http://www.gillesbalmisse.com/IMG/pdf/GB_Fuzzy.pdf
- [18] R. Mahdaoui and H-L. Mouss, "Diagnostic industriel par neuro-floue application à un système de production", Laboratoire d'Automatique et Productique (LAP) Université de Batna, Algérie, 2006.
- [19] D-J. Huh, J-H. Park, U-Y. Huh and H. Kim, "Path planning and navigation for autonomous mobile robot", Industrial Electronics Society. IECON 02, 28th Annual Conference of the IEEE, pp. 1538- 1542, Vol. 2, Sevilla, Spain, 2002.
- [20] P. Fiset, H. Buyse et J-C. Samin, Introduction à la robotique, 2004.
- [21] Analyse et conception d'un manipulateur parallèle spatial à cinq degrés de liberté. <http://www.sciencedirect.com>.