

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE M'SILA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE ELECTROTECHNIQUE

OPTION : COMMANDE ELECTRIQUE

THEME

Commande par la logique floue d'un système hydraulique à réservoirs couplées

Proposé et dirigé par :

- Mr. Abderrahmen BOUGUERRA

Présenté par :

- FELIACHI Mohamed

- MATAOUI Fateh

- ELBAR Abderrazak

Année Universitaire : 2011/2012

REMERCIEMENTS

En premier lieu, nous tenons à remercier vivement notre encadreur Mr. Abderrahmen BOUGUERRA pour les orientations et les conseils judicieux qu'il n'a cessé de nous prodiguer. Ces derniers nous ont été d'un grand soutien tout au long de l'élaboration de ce travail.

Egalement un grand merci à nos enseignants qui tout au long de notre scolarité n'ont ménagé ni leur temps ni leurs efforts contribuant de la manière la plus efficace à notre formation.

Que le chef du département d'Electrotechnique monsieur Bachir BENDJAÏMA trouve ici l'expression de notre gratitude et de nos remerciements les plus chaleureux pour tout le soutien qu'il nous a apporté.

Nous n'oublierons pas tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin durant notre étude.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	01
-----------------------------	----

CHAPITRE 1 NOTIONS GENERALES SUR LE SYSTEME CE105

1.1. Introduction Aux Systèmes De Contrôle Non Linéaires	05
1.2. Description Du Matériel	05
1.3. Réservoir Couple Multi Variable Ce 105 Mv	07
1.3.1. Gamme Des Expériences	07
1.4. Conclusion	08

CHAPITRE 2 MODELISATION DU SYSTEME HYDRAULIQUE

2.1 Introduction	
2.2. Modélisation Du Système Hydraulique Ce105 A Réservoirs couples	10
2.3 Détermination Des Caractéristiques De La Pompe Et Des Capteurs De Niveau	11
2.4 La Commande Vsc Appliquée Au Système Ce105 A Réservoirs Couples	14
2.5. Les Paramètres De Simulation	15
2.6. Résultats De Simulation	16
2.7. Conclusion	16

CHAPITRE 3 APPLICATION DE LA LOGIQUE FLOU

3.1 Introduction	18
3.2 Principe Fondamental De La Logique Floue	18

3.3	Les Ensembles Flous.....	19
3.3.1	Caracteristiques D'un Sous Ensemble Flou	20
3.3.2	Operateurs Logique Flous.....	21
3.3.3	Notion De Regle Linguistique	22
3.4	Principe D'un Controleur Flou.....	22
3.4.1	Fuzzification.....	23
3.4.2	Inference	23
3.4.3	Defuzzification.....	24
3.4.4	Regulateur De Type Mamdani	24
3.4.5	Definition Des Fonctions D'appartenance.....	25
3.4.6	Illustration Sur L'exemple	25
3.4.7	Definition Du Comportement Du Controleur Flou.....	27
3.5	Correcteurs Flous De Type Pi Et Pid.....	28
3.5.1	Crrecteur Flous De Type Pi.....	29
3.5.2	Correcteurs Flous De Type Pid	29
3.6	Les Avantages Et Les Desavantages Du Reglage Par Logique Floue.....	30
3.7	Conclusion.....	31

CHAPITRE 4 COMMANDE PAR LOGIQUE FLOU DE SYSTEME CE 105

4.1	Utilisation De La Boite A Outils « Fuzzy Logic ».....	33
4.2	Sauvgarde Du Controleur Dans L'espace De Trvail Matlab.....	36
4.3	Construction Du Modele Avec Matlab	36

4.4. Resultats De Simulation	38
4.4.1. Simulation Par Rlf « Pid ».....	38
4.4.2. Simulation Par Rlf « Pi ».....	39
4.5. Comparson Entre Les Deux Regulateur Flou PID et PI.....	40
4.6. Conclusion	40
CONCLUSION GENERALE.....	42
BIBLIOGRAPHIE	43

Table des figures

FIG 1.1	Présentation du système hydraulique CE105 à réservoirs couplés.....	06
FIG 2.1	Système hydraulique CE105 à réservoirs couplés	10
FIG 2.2	Caractéristiques de la pompe et des capteurs de niveau.....	11
FIG 2.3	Variation du débit en fonction de la tension d'alimentation de la pompe	13
FIG 2.4	La tension indiquée par le capteur en fonction du niveau du liquide.....	13
FIG 2.5	Schéma de Modèle CE 105 avec MATLAB.....	15
FIG 2.6	La tension indiquée par le capteur en fonction du niveau du liquide.....	16
FIG 3.1	Fonctions d'appartenance : (a) logique binaire (b) logique flou.....	20
FIG 3.2	Types de fonctions d'appartenance.....	20
FIG 3.3	Caractéristiques d'un sous-ensemble flou	21
FIG 3.4	Les opérations du contrôleur floue	23
FIG 3.5	Structure d'un PI flou de type Mamdani.....	25
FIG 3.6	Fonctions d'appartenance des variables d'entrée.....	26
FIG 3.7	Fonctions d'appartenance de la variable de sortie.....	26
FIG 3.8	Ecriture du jeu de règles grâce à une analyse temporelle.....	27
FIG 3.9	correcteur flou de type PI.....	29
FIG 3.10	Correcteur flou de type PID.....	30
FIG 4.1	Identification des entrées et des sorties de l'RLF à deux entrées	33
FIG 4.2	fonction d'appartenance de l'erreur	34
FIG 4.3	fonction d'appartenance de la dérivée de l'erreur.....	34
FIG 4.4	fonction d'appartenance de la commande.....	35
FIG 4.5	Implémentation des règles d'inférence.....	35

FIG 4.6 Block paramètres contrôleur floue.....	36
FIG 4.7 Schéma blocs du système de régulation CE 105 par un RLF « PID »	37
FIG4.8 Schéma blocs du système de régulation CE 105 par un RLF « PI ».....	37
FIG 4.9 Evolution de Niveau « mm »	38
FIG 4.10 Evolution de la tension de commande.....	38
FIG 4.11 Evolution de l'erreur	38
FIG 4.12 Evolution de Niveau « mm »	39
FIG 4.13 Evolution de la tension de commande.....	39
FIG 4.14 Evolution de l'erreur.....	39

Symboles :

Q_e : le débit d'entrée génère par la pompe

Q_0 : Débit sortant par la valve C

Q_{12} : Débit enter les deux réservoirs

h_i : Niveau du liquide dans le réservoir i

A : la section du réservoir

S_n : Section des valves

(a_{12}, a_0) : Ccoefficients de décharge de la valve A et C

g : Constant de gravite $9,8 \frac{m}{sec^2}$

U : Tension d'alimentation de la pompe

y_i : Capteur de niveau

k_Q :le gain de la pompe

k_h :le gain de capteur de niveau y_i

$\dot{x} = \frac{dx}{dt}$:La dérivée de la variable x par au temps

$X = [x_1, x_2]^T$: Vecteur état instantané

(k_p, k_d) : Les gains de l'action proportionnelle et d'rivée

e : l'écart entre la sortie et la consigne

Δe : variation de l'erreur

S_{PID} : sortie de contrôleur floue PID

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Dans les industries de transformation de nombreux tels que Petro industries chimiques, industries de Fabrication de papier et les industries de traitement des eaux utilisant le système de réservoir pour Contrôler le niveau du liquide Le niveau de liquide doit être commandé par le contrôleur Correspondant. L'objectif du régulateur dans le contrôle de niveau est de maintenir un point de consigne niveau à une valeur donnée et être en mesure d'accepter nouveau point de consigne.

La commande floue est le domaine d'application de la logique floue le plus utilisé dans le cadre de la commande des systèmes non linéaires complexes. L'approche utilisée repose sur la propriété d'approximation universelle des systèmes flous. Cette approche de commande floue a pour objectif le traitement des problèmes de commande qui sont, difficilement automatisables par une approche classique, Le classique proportionnel-intégral-dérivé (PID) est communément utilisée pour contrôler le niveau. D'autre part, le contrôleur de logique floue (FLC) est également populairement mis en œuvre dans de nombreux secteurs d'application pratique.

La commande floue se différencie d'une commande classique par le fait que l'approche par logique floue synthétise une loi de commande à partir de l'expertise de l'opérateur humain. Dans le premier cas, la commande est synthétisée en évitant la phase modélisation. Par contre dans le second cas, la structure non linéaire du régulateur flou permet d'améliorer les performances en termes de précision et de robustesse du système non linéaire vis-à-vis des incertitudes structurées et non structurées.

Les objectifs du projet sont les suivants:

1-. Développer le contrôle en temps réel(FLC) sur l'appareil Réservoir (CE 105) par

L'environnement graphique à l'aide de laboratoire virtuel banc de travail instrument
D'ingénierie (Matlab).

2-. Proposer le contrôleur logique floue dans le contrôle du système de réservoir.

CHAPITRE 1

NOTIONS SUR LE SYSTEME CE105

-
- 1.1. Introduction aux systèmes de contrôle non linéaires
 - 1.2. Description du matériel
 - 1.3. Réservoir couple' multi variable CE105 MV
 - 1.4 . Conclusion

1.1. INTRODUCTION AUX SYSTEMES DE CONTROLE NON LINEAIRES

Les systèmes non linéaires peuvent avoir un comportement plus complexe que les systèmes linéaires, donc leur analyse est beaucoup plus difficile. Mathématiquement, ceci est reflété dans deux aspects.

D'abord, des équations non linéaires, à la différence de linéaires, ne peuvent pas en général être résolues analytiquement et donc un arrangement complet du comportement d'un système non linéaire est très difficile. En second lieu, les outils mathématiques puissants aiment

Les Transforme Laplace et Fourier ne s'appliquent pas aux systèmes non linéaires. En conséquence, il n'y a aucun outil systématique pour prévoir le comportement des systèmes non linéaires, ni y a il des procédures systématiques pour concevoir les systèmes de contrôle non linéaires. Au lieu de cela, il y a un inventaire riche des outils puissants d'analyse et de conception, chacun mieux applicable aux classes particulières des problèmes non linéaires de commande [1].

Aucune technique universelle n'a été conçue pour l'analyse de tous les systèmes de contrôle non linéaires. Dans la commande linéaire, on peut analyser un système dans le domaine de temps ou dans le domaine de fréquence. Cependant, pour les systèmes de contrôle non linéaires, aucune de ces approches standard ne peut être employée puisque la solution directe des équations non linéaires est généralement impossible et des transformations de domaine de fréquence ne s'appliquent pas. Tandis que l'analyse des systèmes de contrôle non linéaires est difficile, des efforts sérieux ont été faits pour développer les outils théoriques appropriés pour elle

1.2. DESCRIPTION DU MATERIEL

Le CE105 à réservoirs couplés est considéré comme un benchmark pour l'étude et l'analyse des problèmes de commande des systèmes hydrauliques. Ce dispositif, est conçu par « *TQ Education And Training* » et, nous permet d'examiner la commande de niveau du liquide dans un ou deux réservoirs en variant le débit à partir d'une pompe.

Cet appareil comporte deux réservoirs verticaux reliés par un canal d'écoulement [2] ,

une valve rotative, utilisée pour changer la section du canal et, par conséquent, pour changer les caractéristiques d'écoulement entre les réservoirs. Il comporte également des capteurs de débit et de niveau du liquide sur chaque réservoir.

La vitesse de la pompe peut être ajustée pour remplir le réservoir de gauche au niveau désiré sous contrôle manuel ou automatique et en surveillant le fonctionnement du système.

Le réservoir droit peut être rempli à partir du réservoir gauche par l'intermédiaire de l'ouverture variable d'une valve placée au milieu des deux réservoirs. Les trois valves rotatives (A, B, C) de l'appareil permettent de changer les caractéristiques d'écoulement du système.

Un canal de débordement est inclus au-dessus de chaque réservoir. La sortie de la pompe est mesurée par un capteur de débit.

Le problème à étudier est de maintenir le niveau désiré du liquide dans le deuxième réservoir lors du fonctionnement sous différentes conditions d'entrée/sortie.

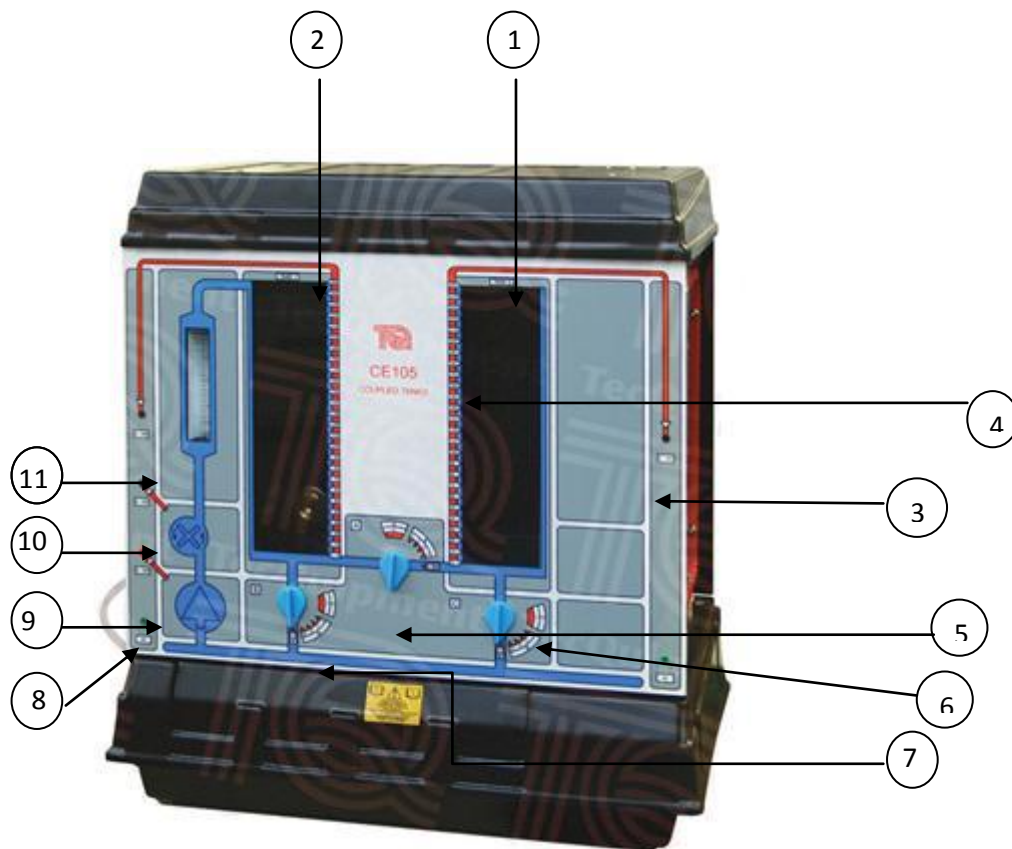


FIG 1.1 : Présentation du système hydraulique *CE105* à réservoirs couplés

01 :Reservoir A

07 :Valve B

02 :Reservoir B

08 :Masse

03 :Tension proportionnelle au niveau

09 :Tension D'alimentation

04 :Niveau du liquide

10 :Sonde de debit

05 :Valve A

11 : Tension proportionnelle au niveau

06 :Valve C

1.3. RESERVOIR COUPLE MULTI VARIABLE CE 105 MV

Le CE105MV à réservoirs couplés multi variables permet de plus d'expérimentations C'est essentiellement identique au CE105 mais équipé avec une deuxième pompe adaptée, avec les circuits correspondants d'entraînement et un deuxième débitmètre électronique . Cette pompe décharge directement dans le réservoir droit et peut être actionnée indépendamment à celle du réservoir gauche. Il est possible, donc, d'accomplir le même niveau de opérations et des expériences qu'avec le CE105 mais de progresser en plus à des recherches plus avancées sur les principes de la commande multi variable quand les deux pompes sont actionnées ensemble pour réaliser les niveaux requis dans les deux réservoirs simultanément et également avec différentes configurations de système[3] .

Les CE105/CE105MV sont conçus pour fonctionner avec des éléments externes de commande analogues ou numériques, le contrôleur CE120 ou l'interface digital de CE122

1.3.1 Gamme des expériences

Une gamme complète des expériences peut être effectuée Usinger le CE105/CE105MV et l'équipement associé. Le manuel de laboratoire décrit en détail [3] ;

1. Calibrage des circuits de capteur et de déclencheur
2. La mesure de la dynamique de système dans les systèmes de processus.
3. La conception et l'opération des contrôleurs analogues de P, de P+I et de P+I+D.
4. Évaluation des erreurs équilibrées et des réponses passagères en circuit fermé.
5. Contrôleurs de Zeigler/Nichols accordant des règles.
6. Commande multi variable.

7. Accord de changement d'étape

8. Rétroaction d'état.

9. Contrôle de flux.

La conception flexible de l'équipement permet beaucoup d'autres exercices d'analyse et de commande à développer par l'utilisateur pour satisfaire à ses exigences locales. Ceci inclut des expériences de commande prolongée ou avancée aussi bien qu'être idéal pour le travail de projet d'étudiant.

L'analyse d'exécution des réservoirs couplés est employée couramment en textes d'automatique comme système à régulation de processus typique. Par conséquent, le CE105 est particulièrement approprié à l'enseignement de commande, de professionnel aux niveaux d'étudiant préparant une licence et là-bas.

1.4. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présentées des notions générale sur le réservoir couplée CE105, c'est système utiliser dans les domaines industriel et les réservoirs des avions.

CHAPITRE 2

MODELISATION DU SYSTEME HYDRAULIQUE

-
- 2.1. Modélisation du système hydraulique CE105 à réservoirs couplés
 - 2.2. Détermination des caractéristiques de la pompe et des capteurs de niveau
 - 2.3. La commande VSC appliquée au système CE105 à réservoirs couplés
 - 2.4. Les paramètres de simulation

2.1. Introductions

Il est important de connaître la relation mathématique qui décrit le comportement du système *CE105* à réservoirs couplés, surtout pour un automaticien où la modélisation est une phase très importante dans la synthèse de la loi de commande.

2.2. Modélisation du système hydraulique *CE105* a réservoirs couplés

Comme il est illustré sur la figure (2.1), le *CE105* contient deux réservoirs, et caractérisé par Deux états h_1 (le niveau dans le premier réservoir) et h_2 (le niveau dans le deuxième réservoir) et trois débits, Q_e c'est le débit d'entrée et Q_{12} est le débit entre le premier et le deuxième réservoir ; Q_0 est le débit sortant par la valve C.

Deux états h_1 (le niveau dans le premier réservoir) et h_2 (le niveau dans le deuxième réservoir)

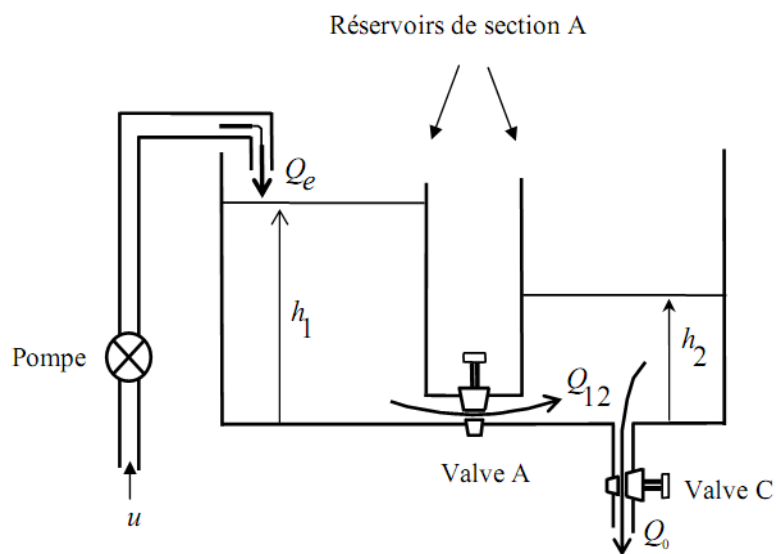


FIG 2.1 : Système hydraulique *CE105* à réservoirs couplés

En utilisant l'équation d'équilibre d'écoulement, pour le premier réservoir, on obtient :

$$Q_e - Q_{12} = A \frac{dh_1}{dt} \quad (2.1)$$

Et pour le deuxième réservoir :

$$Q_{12} - Q_0 = A \frac{dh_2}{dt} \quad (2.2)$$

Avec, A la section du réservoir h_i le niveau du liquide dans le réservoir i

, Q_e le débit d'entrée généré par la pompe ; et Q_{12} est le débit entre les deux

Réservoirs [4], tels que

$$\begin{cases} Q_{12} = S_n a_{12} \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \\ Q_0 = S_n a_0 \sqrt{2gh_2} \end{cases} \quad (2.3)$$

S_n : est la section des valves A et C. Dans la pratique, cette section est donnée par les dimensions de la valve et du canal d'écoulement.

$(a_{12} \ a_0)$: représentent les coefficients de décharge de la valve A et C.

g : la constante de la gravité, avec $980 \text{ cm} / \text{sec}^2$

Finalement, le système hydraulique est régi par l'équation différentielle non linéaire Suivante :

$$\begin{cases} \frac{dh}{dt} = \frac{1}{A} (Q_e - S_n a_{12} \sqrt{2g(h_1 - h_2)}) \\ \frac{dh}{dt} = \frac{1}{A} (S_n a_{12} \sqrt{2g(h_1 - h_2)} - S_n a_0 \sqrt{2gh_2}) \end{cases} \quad (2.4)$$

2.3. DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES DE LA POMPE ET DES CAPTEURS DE NIVEAU

Il est clair que pour l'équation différentielle (2.4), h_1 et h_2 sont considérés comme les États, et Q_e l'entrée ou la commande. En effet, dans la pratique on fait varier la tension D'alimentation u de la pompe pour ajuster le débit d'entrée Q_e , le capteur de niveau nous Donne une tension y_i proportionnelle au niveau, h_i comme illustre le schéma suivant

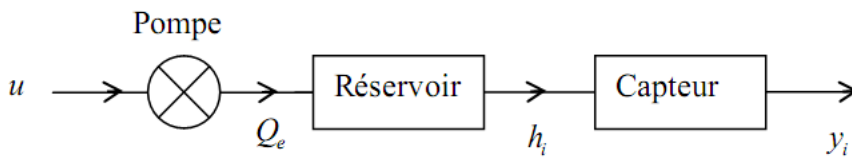


FIG 2 .2 : Caractéristiques de la pompe et des capteurs de niveau.

Lorsqu'on suppose que le débit d'entrée, Q_e et la tension d'alimentation de la pompe, u , sont Liés par une relation linéaire, et la même chose pour la relation entre le niveau h_i et la tension y_i Indiquée par le capteur de niveau, on peut mettre

$$Q_e = k_Q \cdot u \quad (2.5)$$

Et,

$$y_i = k_h \cdot h_i \quad (2.6) \quad i = 1, 2 \quad (2.7)$$

Donc, il nous reste qu'à déterminer les gains k_Q et k_h . Ceci constitue l'objectif de l'étape Suivante.

Procédure : L'équipement utilisé pour cette phase d'identification est constitué du système hydraulique CE105 (c'est un système didactique disponible au niveau du laboratoire contrôle et commande de l'EMP) et des instruments de mesure. Les gains (k_Q, k_h) sont déterminés de telle sorte que le phénomène d'hystérésis soit faible.

Gain k_Q : Premièrement, nous fermons complètement la valve A (l'ouverture variable d'écoulement entre les deux réservoirs) et la valve B (de débordement). Ensuite, nous varions la tension d'alimentation de la pompe. Dès que, le flotteur indique la valeur $400 \text{ cm}^3/\text{min}$ pour Le débit, on note la valeur de la tension correspondante. Cette procédure est répétée pour des grandes valeurs de débit (d'une manière croissante) et chaque fois nous prenons la tension correspondante jusqu'à la valeur maximale du débit $4400 \text{ cm}^3/\text{min}$ Lorsque le débit maximum est atteint, on répète la même procédure mais dans la direction Inverse (décroissante) de $4400 \text{ cm}^3/\text{min}$ jusqu'à $0 \text{ cm}^3/\text{min}$ [5]. Les résultats obtenus sont donnés Dans le tableau II.2.

Gain k_h : Dans ce cas, on ferme les deux valves A et B et on fixe la tension d'alimentation de la pompe à une petite valeur, et on laisse le réservoir se remplir. Lorsque le niveau du liquide atteint 50mm on prend la tension correspondante. Ainsi de suite, jusqu'au niveau 250mm avec Un incrément de 50mm.

Lorsque le niveau 250mm est atteint, on arrête l'alimentation ($u = 0$) et on ouvre la valve B jusqu'à ce que le liquide commence à diminuer et on prend les tensions correspondantes à chaque niveau (le niveau dans ce cas est décroissant)[5].

La même procédure a été faite sur le deuxième réservoir et pratiquement les mêmes résultats ont été obtenus (voir tableau II.3).

Débit (cm ³ /min)	La tension (V)	La tension (V)
	Croissante	Décroissante
0	1.2	1.1
400	2.4	2.3
1000	4.29	4.22
1500	5.26	5.24
2000	6.38	6.23
2500	7.46	7.34
3000	8.44	8.31
3500	9.3	9.26
4000	10.36	10.2

TAB 2.1 : La relation entre la tension d'alimentation et le débit d'entrée

Le niveau (mm)	La sortie de capteur (V)	La sortie de capteur (V)
	Croissante	Décroissante
0	0.1	0.1
50	2.1	2.12
100	4.18	4.22
150	6.25	6.3
200	8.3	8.34
250	10.3	10.3

TAB 2.2 : La relation entre la tension indiquée par le capteur et le niveau dans le réservoir.

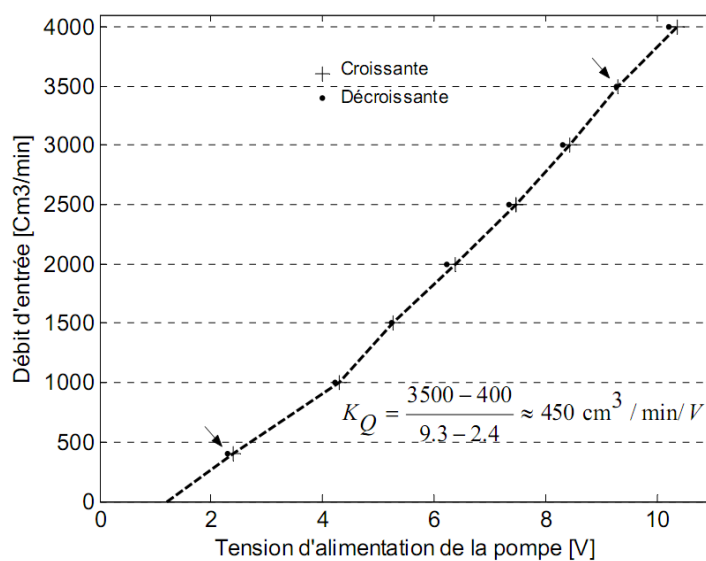


FIG 2.3 : Variation du débit en fonction de la tension d'alimentation de la pompe.

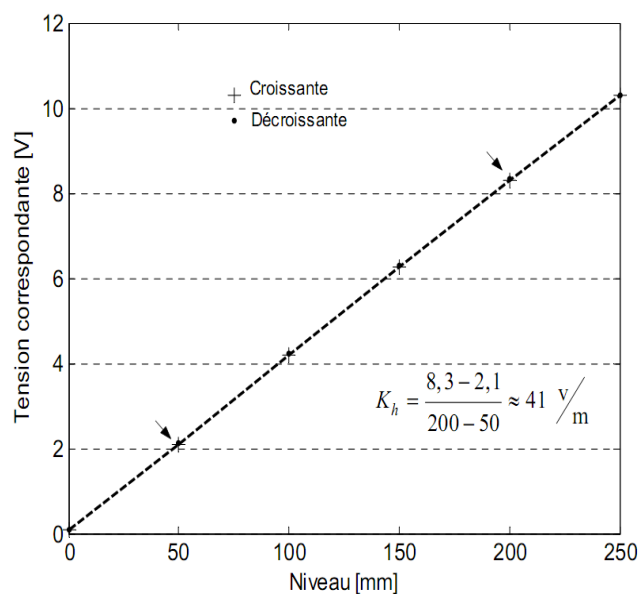


FIG 2.4 : La tension indiquée par le capteur en fonction du niveau du liquide

2.4. LA COMMANDE VSC APPLIQUEE AU SYSTEME CE105 A RESERVOIRS COUPLES

Comme nous l'avons présenté au paragraphe précédent, le modèle qui décrit le comportement du système *CE105* est le suivant

$$\begin{cases} \dot{h}_1 = 1/A (-S_n a_{12} \sqrt{2g(h_1 - h_2)} + k_Q \cdot u) \\ \dot{h}_2 = 1/A (S_n a_{12} \sqrt{2g(h_1 - h_2)} - S_n a_0 \sqrt{2gh_2}) \end{cases} \quad (2.8)$$

Avec

- A : la section de chaque réservoir
- k_Q : le gain de la pompe ;
- u : la tension d'alimentation de la pompe.

Pour ce système, on définit le modèle d'état avec

$$[x_1 \ x_2]^T = [h_1 \ h_2]^T \quad \text{Et} \quad y = k_h x_1$$

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = 1/A (S_n a_{12} \sqrt{2g(x_2 - x_1)} - S_n a_0 \sqrt{2gx_1}) \\ \dot{x}_2 = 1/A (-S_n a_{12} \sqrt{2g(x_2 - x_1)} + k_Q \cdot u) \\ y = k_h x_1 \end{cases} \quad (2.9)$$

En choisissant $B_1 = S_n a_{12} \sqrt{2g}/A$; $B_2 = S_n a_0 \sqrt{2g}/A$; $k_u = k_Q/A$

Le modèle simplifié devient :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = B_1 \sqrt{x_2 - x_1} - B_2 \sqrt{x_1} \\ \dot{x}_2 = B_1 \sqrt{x_2 - x_1} + k_u \cdot u \\ y = k_h x_1 \end{cases} \quad (2.10)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \dot{x}_1 = f_1(x_1; x_2) \\ \dot{x}_2 = f_2(x_1; x_2) + k_u \cdot u \\ y = k_h x_1 \end{cases} \quad (2.11)$$

Avec les notations suivantes

$$\begin{cases} X = [x_1; x_2]^T \\ f_1(x_1; x_2) = B_1 \sqrt{x_2 - x_1} - B_2 \sqrt{x_1} \\ f_2(x_1; x_2) = -B_1 \sqrt{x_2 - x_1} \end{cases} \quad (2.12)$$

Remarque: Nous pouvons étudier le système *CE105* comme étant un système linéaire (Autour d'un point de fonctionnement) ou bien non linéaire (dans de large domaine de Fonctionnement), et avec couplage ou non. Ceci, suivant les positions des valves (A, B, C).

Dans notre travail, nous avons opté pour le cas où le système est non linéaire et couplé Dans notre travail, nous avons opté pour le cas où le système est non linéaire et couplé (Avec la valve B fermée). Pour cette configuration le système est appelé "*CE105 à réservoirs Couplés*"

2.5. LES PARAMETRES DE SIMULATION

La section de chaque réservoir $A=9350 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$; la section de chaque valve $S_n=78.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ Coefficient de décharge $a_0 = 0.6$; coefficient de décharge $a_{12} = 1$; le gain de la pompe $k_Q = 450 \text{ cm}^3 / \text{min/v}$; le gain $k_h = 41 \frac{\text{v}}{\text{m}}$; la période d'échantillonnage $T=0.2 \text{ sec}$; et le temps de Simulation $T_{\max}=900 \text{ sec}$; a constante de gravité $g=9.81 \text{ m/sec}^2$; un gain de commutation $k=8$ On définit le profil y_r , comme étant une consigne pour la sortie $y=k_h \cdot x_1$ Cette référence est proportionnelle au niveau désiré dans les deuxièmes réservoirs, telle que $h_i = \frac{y_i}{k_h}$ Les résultats sont montrés sur les figures 2. 5, 2.6.

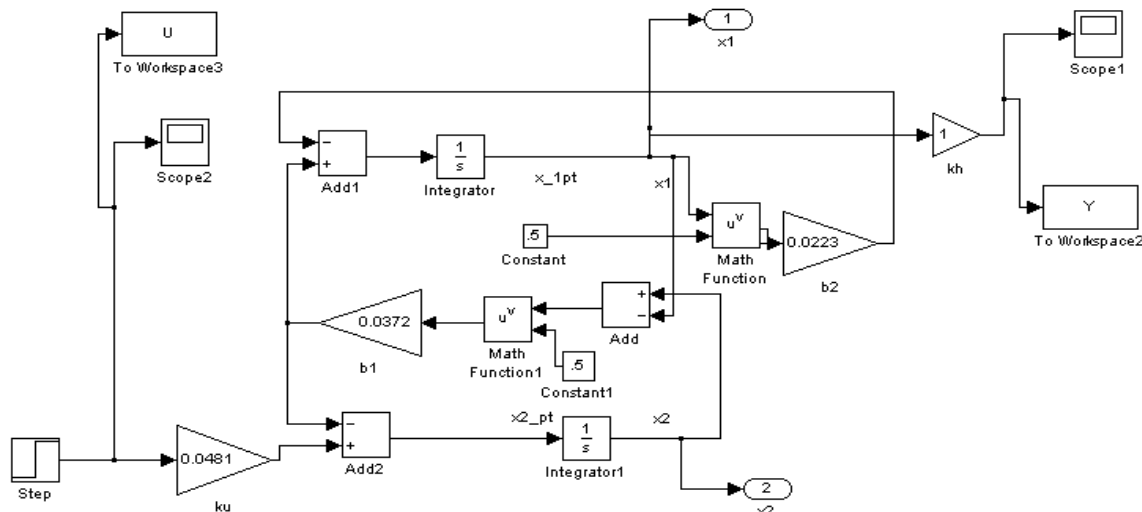


FIG 2.5 : Schéma de Modèle CE 105 avec MATLAB

2.6. RESULTATS DE SIMULATION :

La figure 2.5 représente la réponse du système à Step, on voit clairement que le système diverge. L'allure montre bien que sans asservissement notre système sera instable.

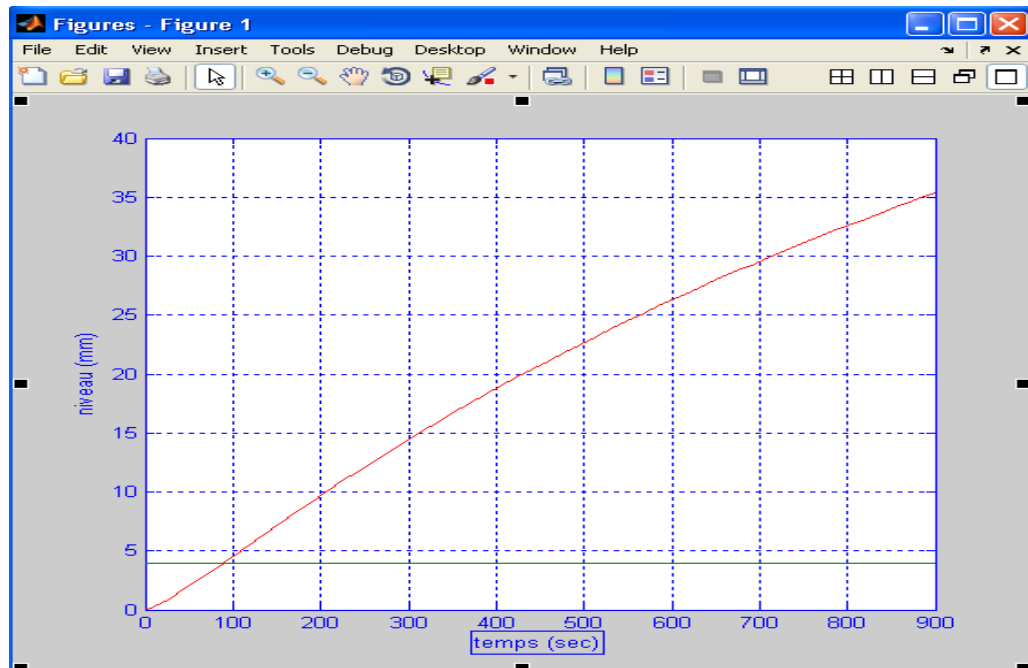


FIG 2.6 : La tension indiquée par le capteur en fonction du niveau du liquide

2.7. CONCLUSION

Dans ce chapitre on a présenté le modèle mathématique de système CE105 ; sans asservissement notre système sera instable. Dans le chapitre suivant une approche utilisant un système de contrôle basé sur la logique floue sera introduite.

CHAPITRE 3

APPLICATION DE LA LOGIQUE FLOU

3.1 Introduction

3.2 Principe fondamental de la logique flou

3.3 Principe d'un contrôleur flou

3.4 Régulateurs de type mamdani

3.5 Correcteurs flous de type PI et PID

3.6 Les avantages et les désavantages du réglage par logique floue

3.7 Conclusion

3.1 INTRODUCTION

La logique floue suscite actuellement un intérêt général de la part des chercheurs, des ingénieurs et des industriels, et plus généralement de la part de tous ceux qui éprouvent le besoin de formaliser des méthodes empiriques, de généraliser des modes de raisonnement naturel, d'automatiser la prise de décision dans leur domaine et de construire des systèmes artificiels effectuant les tâches habituellement prises en charge par les humains.

La logique floue est une technique pour le traitement de connaissances imprécises basées, sur des termes linguistiques; elle donne les moyens de convertir une commande linguistique basée sur le raisonnement humain, en une commande automatique, permettant ainsi la commande des systèmes complexes dont les informations sont exprimées d'une façon vague et mal définie.

Dans le domaine du génie électrique, la commande à logique floue a fait l'objet de plusieurs travaux : dans la commande des convertisseurs statiques et dans la commande des machines électriques [6], [7], [8], dans la navigation de robots mobiles [9], [10]. Toutes ces applications ont démontré qu'un régulateur à logique floue est plus robuste qu'un régulateur conventionnel [7], [11].

Les performances que la commande floue peut apporter par comparaison avec les commandes classiques, sont essentiellement dues à la méthode de conception de ces régulateurs. En effet, ces derniers ne nécessitent pas la connaissance des modèles mathématiques du système. Par contre ils ont besoin d'un ensemble de règles basées essentiellement sur les connaissances d'un opérateur qualifié manipulant le système.

3.2 PRINCIPE FONDAMENTAL DE LA LOGIQUE FLOUE

Une des caractéristiques du raisonnement humain est qu'il est généralement fondé sur des données imprécises ou même incomplètes. En effet les connaissances dont nous disposons sur un système quelconque sont généralement incertaines ou vagues, soit parce que nous avons un doute sur leur validité ou alors nous éprouvons une difficulté à les exprimer clairement.

Par exemple : dans la logique classique, une vitesse peut être qualifiée par les termes « Elevée ». Mais dans la logique floue, des échelons d'appréciation intermédiaires de la variable

vitesse sont possibles. La «Vitesse» devient une variable linguistique dont les valeurs sont par exemple : « Très faible », « Faible », « Moyenne », «Elevée », « Très élevée ».

La logique floue peut être considérée comme une extension de la logique classique

Ou binaire.

3.3 LES ENSEMBLES FLOUS

En logique binaire, la fonction d'appartenance caractérisant l'appartenance d'un élément x , de l'univers de discours X à un ensemble classique A , prend uniquement la valeur 0 et 1 :

$$\mu_A(x) : X \rightarrow \{0,1\} \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} x \rightarrow \mu_A(x) &= 1 && \text{si } x \in A \\ \mu_A(x) &= 0 && \text{si } x \notin A \end{aligned} \quad (3.2)$$

Un sous ensemble flou peut être vu comme une généralisation du concept d'ensemble classique. Dans la théorie des sous ensembles flous, les valeurs de la fonction d'appartenance $\mu_A(x)$ sont comprises dans l'intervalle $[0,1]$:

$$x \rightarrow \mu_A(x)/X \rightarrow [0,1] \quad (3.3)$$

Un ensemble flou A est défini par l'ensemble de paires ordonnées $(\mu_A(x), x)$ tel que :

$$A = \{(\mu_A(x), x)/x \in X\} \quad (3.4)$$

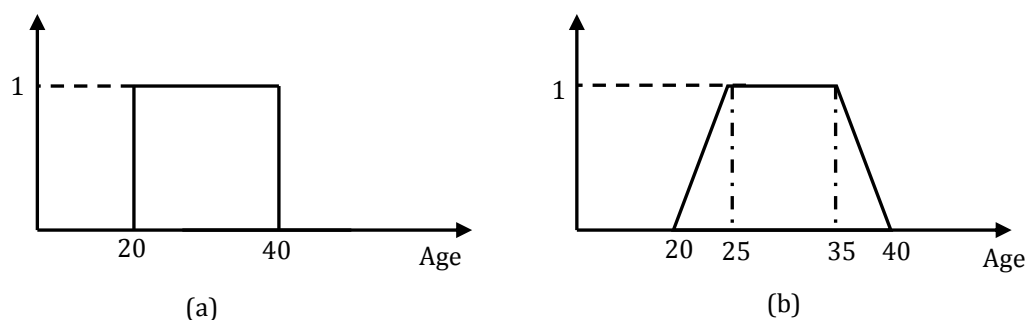


FIG 3.1 : Fonctions d'appartenance : (a) logique binaire (b) logique floue

3.3.1 Caractéristiques d'un sous Ensemble Flou

Les fonctions d'appartenances sont définies par quatre caractéristiques :

1-Le Type : elles peuvent être par exemple triangulaires, trapézoïdales, gaussiennes, sigmoïdes ou des singletons (Fig3.2).

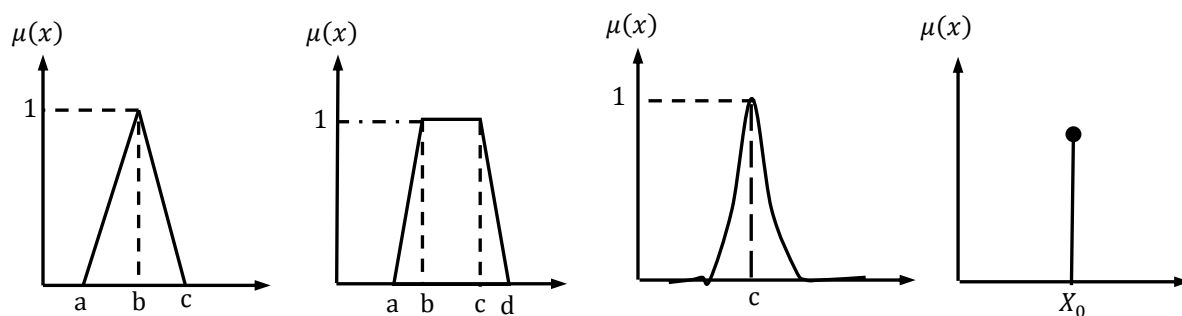


FIG3.2 : Types de fonctions d'appartenance

2-Le Noyau : c'est la valeur qui satisfait entièrement la propriété décrite par A. Quand le noyau est réduit à un point, celui-ci est appelé valeur modale. Il est donné par :

$$N(A) = \{x \in X / (\mu_A(x) = 1)\} \quad (3.7)$$

3-Le Support : la propriété est vérifiée, au moins partiellement. Il est donné par :

$$S(A) = \{x \in X / (\mu_A(x) > 0)\}$$

4-La Hauteur : c'est la valeur maximale de la fonction d'appartenance qui est égale à 1 (Fig3.3).

$$H(A) = \max(\mu_A(x)) \quad (3.8)$$

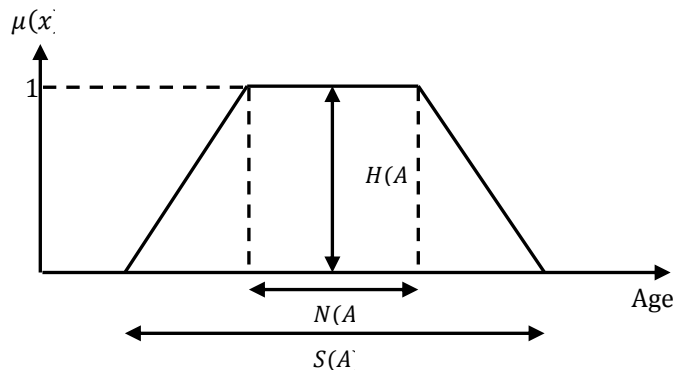


FIG 3.3 : Caractéristiques d'un sous-ensemble flou

3.3.2 Opérateurs Logiques Flous

Ces opérateurs permettent d'écrire des combinaisons logiques entre notions floues. On peut définir des opérateurs par ET, OU, ou la négation.

a. L'Intersection « ET » : Le degré de vérité (degré d'appartenance) de la proposition «A ET B » est le minimum des degrés d'appartenance de A et de B :

$$\mu(A \text{ ET } B) = \min(\mu(A), \mu(B)) \quad (3.9)$$

b. L'union « OU » : Le degré de vérité (degré d'appartenance) de la proposition « A OU B » est le maximum des degrés d'appartenance de A et de B :

$$\mu(A \text{ OU } B) = \max(\mu(A), \mu(B)) \quad (3.10)$$

C. Complément : L'opérateur correspondant est la négation.

3.3.3 Notion de Variable Linguistique

Les systèmes basés sur la logique floue utilisent généralement la connaissance humaine sous forme de règles du type (Si ... Alors ...) La prémisse de la règle (l'antécédent) est constituée des conditions qu'il faut satisfaire afin de réaliser la conclusion de la règle (la conséquence).

3.4 PRINCIPE D'UN CONTROLEUR FLOU

La conception d'un contrôleur classique (par exemple un PI) préconise la connaissance précise du modèle du système à contrôler. Les valeurs d'entrée doivent être mesurées avec exactitude afin d'éviter les erreurs, contrairement au contrôleur flou qui ne demande aucune de ces deux spécifications. La connaissance du modèle mathématique du processus n'est pas nécessaire. C'est l'expérience des opérateurs du procédé ou les connaissances des experts, qui sont prises en compte pour établir la commande floue. Les algorithmes de réglage conventionnels sont alors remplacés par une série de règles linguistiques.

La commande par logique floue peut s'appliquer à tout domaine de la commande traditionnelle. De plus, elle peut opérer lorsque les procédés à commander sont mal connus ou difficiles à décrire précisément, ou lorsque les variables sont évaluées subjectivement et exprimées en langage naturel et non numériquement. Elle est simple à réaliser, flexible et donc facilement adaptable aux conditions de fonctionnement du processus. Les règles sont faciles à comprendre et à modifier puisqu'elles sont exprimées par des termes du langage naturel. L'architecture interne d'un contrôleur flou est représentée par la figure 3.4.

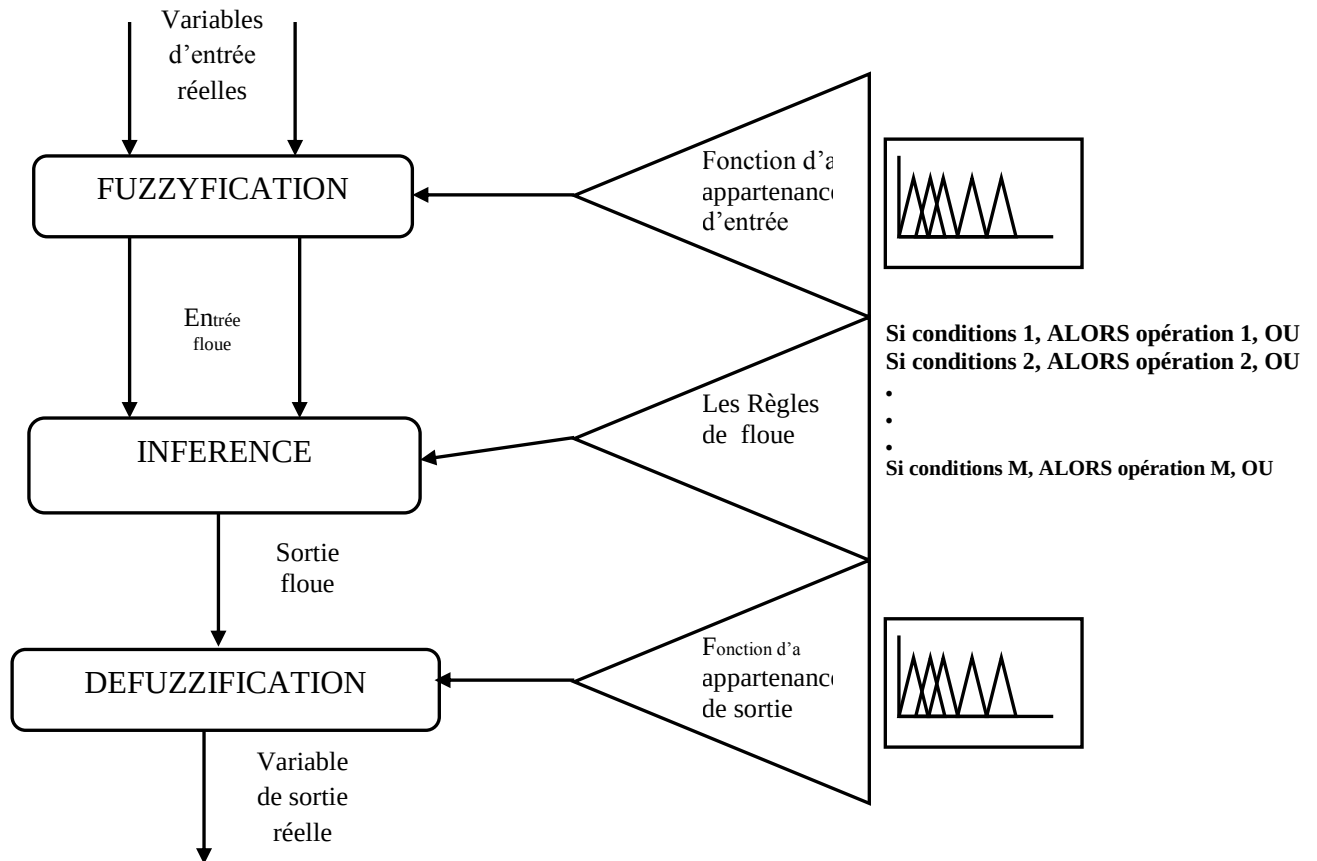


FIG3.4 : Les opérations du contrôleur flou.

Un contrôleur flou est composé de trois blocs : la fuzzification, l'inférence et la défuzzification

3.4.1 Fuzzification

Elle représente le passage des grandeurs réelles aux valeurs floues et cela, en déterminant les différents univers de discours correspondant aux domaines de variation des variables d'entrée et sortie. Ensuite, on définit pour chacune des variables ses sous-ensembles flous ainsi que leurs fonctions d'appartenance associée [12].

3.4.2 Inférence

Dans ce bloc, les valeurs des variables linguistiques d'entrée et sortie sont liées par une table de règles qui doivent tenir compte du comportement statique et dynamique du système à contrôler. C'est un mécanisme de décision qui, en manipulant les règles floues, établit une

décision. Il existe plusieurs méthodes d'inférence : *Maximum-Minimum*, *Max-Produit*, *Somme-Produit*. Le nom de la méthode désigne les opérateurs utilisés respectivement pour l'agrégation des règles floues et l'implication floue, pour notre travail nous avons utilisé la méthode *somme-produit* [12].

3.4.3 Défuzzification

Elle consiste à définir précisément quelle doit être l'action sur le processus. En effet, le procédé ne peut pas interpréter des ordres linguistiques fournis par les méthodes d'inférences. L'opération de défuzzification permet de calculer à partir de la fonction d'appartenance résultante, la valeur réelle de la variable de sortie à appliquer au processus. Il existe plusieurs méthodes de défuzzification : *méthode du maxima*, *méthode du centre de gravité*, *méthode de la moyenne des maximas*. Il est toutefois reconnu que la méthode du centre de gravité donne les meilleurs résultats

Notons que des blocs de normalisation et de dénormalisation sont ajoutés respectivement en entrée et sortie du contrôleur flou afin qu'il soit transportable et adaptable même avec des paramètres différents [13].

3.4.4 Régulateur de type Mamdani

Dans la plupart des applications reportées dans la littérature, un contrôleur de ce type est conçu pour réguler, asservir une variable de sortie d'un procédé, soit uniquement à partir de l'erreur e (consigne moins mesure), soit à partir de l'erreur et de sa variation Δe [14].

En 1974, E.H Mamdani avait présenté, pour la première fois, la technique de réglage par logique floue. Celle-ci consiste à déterminer un ensemble de règles qui maîtrise le comportement dynamique du système à commander. L'obtention de ces règles est facile auprès des experts qui connaissent bien le système. Il avait utilisé des règles à prémisses et conclusions symboliques, l'inférence (max, min), et la défuzzification par centre de gravité.

Après, Macvicar et Whelan ont observé que les bases de règles proposées par King et Mamdani étaient incomplètes. Ils ont fait une analyse détaillée sur ces bases de règles et proposé une matrice de règles (voir tableau 3.1) qui possède deux entrées, l'erreur et sa Variation, en se basant sur les deux principes suivants :

Si la sortie est égale à la valeur désirée et la variation de l'erreur est nulle, la Commande sera maintenue constante.

Si la sortie diverge de la valeur désirée, l'action sera dépendante du signe de la Valeur de l'erreur et de sa variation.

Si les conditions sont telles que l'erreur peut être corrigée par elle-même, alors la commande Sera maintenue. Dans le cas contraire, la commande sera changée pour avoir des résultats Satisfaisants.

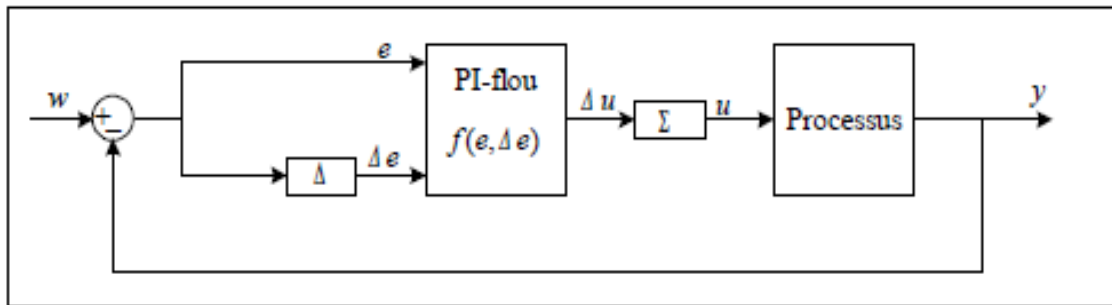


FIG 3.5 : Structure d'un PI flou de type Mamdani

3.4.5 Définition des fonctions d'appartenance

La première étape de conception a permis de cerner au mieux les caractéristiques linguistiques des variables. Il faut maintenant définir complètement les sous-ensembles flous, c'est à dire expliciter leurs fonctions d'appartenance. Une fois encore, l'intuition et l'expérience auront leur rôle à jouer. Quelques principes ressortent de la pratique: choix de fonctions triangulaires ou trapézoïdales, recouvrement d'une fonction de 10 à 50% de l'espace des sous-ensembles voisins, somme des degrés d'une zone de recouvrement égale à 1 (degré maximal d'appartenance) [11], [15].

3.4.6 Illustration sur l'exemple

Les fonctions d'appartenance des variables d'entrée sont illustrées par la figure (III-5) avec :

NB : Negative Big (Negative Grand)

PB : Positive Big (Positive Grand)

NM : Négative Medium (Négative Moyenne)

PM : Positive Medium (Positive Moyenne)

NS : Négative Small (Négative Petit)

PS : Positive Small (Positive Petit)

ZE : Zéro

On constate que les fonctions d'appartenance de l'erreur ont une forme asymétrique créant une concentration autour de zéro qui améliore la précision près du point de fonctionnement

désiré. Pour la même raison, les formes des fonctions d'appartenance de la variable de sortie sont également asymétriques (figure III-6). Cependant, nous introduisons deux sous-ensembles additionnels compte-tenu de la sensibilité de cette variable [7].

NVB: Negative Very Big (Negative Très Grand)

PVB: Positive Very Big (Positive Très Grand)

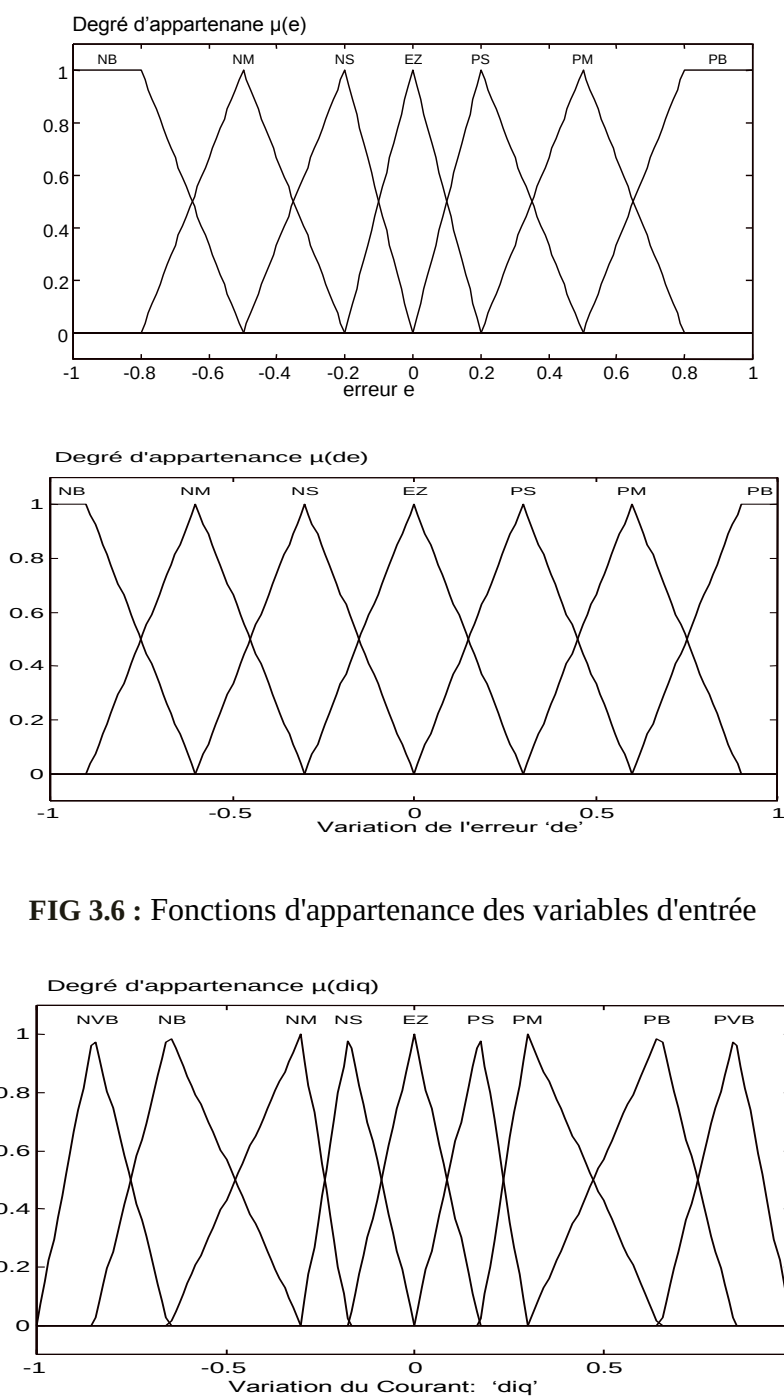


FIG 3.6 : Fonctions d'appartenance des variables d'entrée

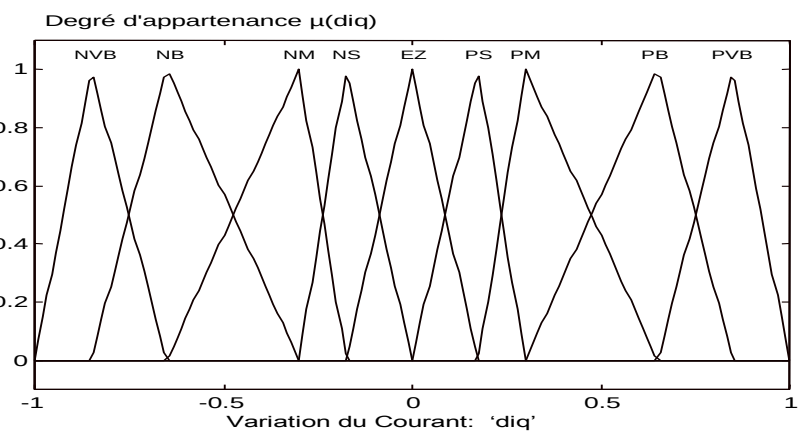


FIG 3.7 : Fonctions d'appartenance de la variable de sortie

3.4.7 Définition du comportement du contrôleur flou

Cette étape concerne l'élaboration de la base de règle du contrôleur. C'est de nouveau à un expert à sa connaissance du problème que l'on se fiera le plus souvent. Dans le cadre de la régulation (asservissement), on utilise fréquemment l'erreur (observation) et la variation de l'erreur (dynamique du processus). A partir de ces deux entrées, traduites sous la forme de variables floues, il est possible de déterminer les règles dans le domaine temporel et on peut construire une matrice **Situation/Action** reprenant toutes les possibilités linguistiques de celles-ci [6].

- * 1 Si $e = PB$ Et $de = ZE$ Alors $du = PB$ (départ, commande importante)
- * 2 Si $e = PB$ Et $de = NS$ Alors $du = PM$ (augmentation de la commande pour gagner l'équilibre)
- 3 Si $e = PM$ Et $de = NS$ Alors $du = PS$ (très faible augmentation de u pour ne pas dépasser)
- * 4 Si $e = PS$ Et $de = NS$ Alors $du = ZE$ (convergence vers l'équilibre correct)
- * 5 Si $e = ZE$ Et $de = NS$ Alors $du = NS$ (freinage du processus)
- * 6 Si $e = NS$ Et $de = NS$ Alors $du = NM$ (freinage et inversion de la variation de la commande)
- 7 Si $e = NM$ Et $de = ZE$ Alors $du = NM$ (rappel du processus vers l'équilibre correct)
- 8 Si $e = NS$ Et $de = PS$ Alors $du = ZE$ (convergence vers l'équilibre correct)
- 9 Si $e = ZE$ Et $de = ZE$ Alors $du = ZE$

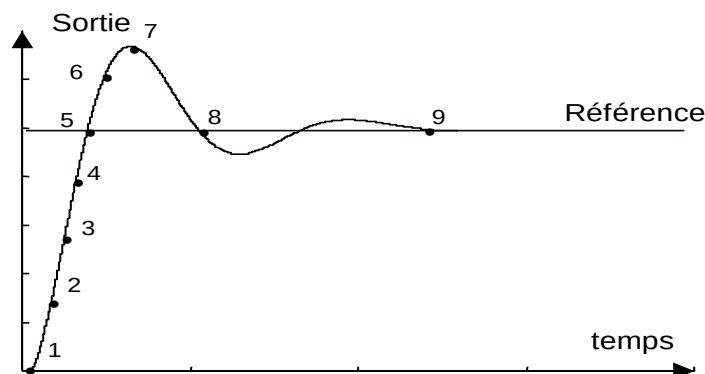


FIG 3.8 : Ecriture du jeu de règles grâce à une analyse temporelle

En décrivant point par point le comportement du processus et l'action de variation de commande à appliquer, on en déduit la table du contrôleur flou de base (figure 3.1) qui correspond en fait à table de règles très connue de Mac Vicar - Whelan [11] :

e de	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	PB
PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NS	NB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	PS
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE

TAB 3.1 : Table de règles de MacVicar-Whelan

e : L'écart entre la sortie du système et la consigne

Δ_e Variation de l'erreur.

3.5 CORRECTEURS FLOUS DE TYPE PI ET PID

La présente section a pour but de finaliser la description des correcteurs à Base de logique floue qui vont être employés par la suite. A partir du moteur flou Précédemment décrit, deux correcteurs, de type PI d'une part et de type PID D'autre part, vont pouvoir être construits.

La première étape consiste à définir la base de chacun de ces correcteurs, c'est-à-dire le moteur flou. La sortie de celui-ci, notée S_{PD} , peut être définie à partir des Fonctions K_p et K_d , qui sont respectivement les gains de l'action proportionnelle et Dérivée du moteur flou, variant selon le point de fonctionnement, c'est-à-dire des Valeurs de e et de Δ_e , équation 1.1

$$S_{PD} = K_p(e \cdot \Delta_e) \cdot e + K_d(e \cdot \Delta_e) \cdot \Delta_e \quad (3.11)$$

Cette équation (1.1) peut être réécrite (1.6) en définissant des fonctions K_1 et K_2 de e et de $\frac{de}{dt}$:

$$S_{PD} = gm \left(\frac{1}{g_{em}} \cdot e(t) \cdot K_1(e \cdot de) + \frac{1}{g_{dem}} \cdot \frac{de(t)}{dt} \cdot K_2(e \cdot de) \right) \quad (3.12)$$

A partir de cette description du moteur flou, il devient aisé de construire les Correcteurs.

3.5.1 Correcteurs flous de type PI

Pour réaliser un correcteur de type PI, il suffit d'intégrer la sortie du moteur Flou comme indique figure 1.6

En notant S_{PI} la sortie du contrôleur flou de type PI, il vient, équation 1.3 :

$$S_{PI} = \int S_{PD} \cdot dt \quad (3.13)$$

En utilisant l'équation 1.6, il vient :

$$S_{PI} = \frac{gm}{g_{em}} \cdot \int K_1(e \cdot de) \cdot e(t) \cdot dt + \frac{gm}{g_{dem}} \cdot \int K_2(e \cdot de) \cdot \frac{de(t)}{dt} \cdot dt \quad (3.14)$$

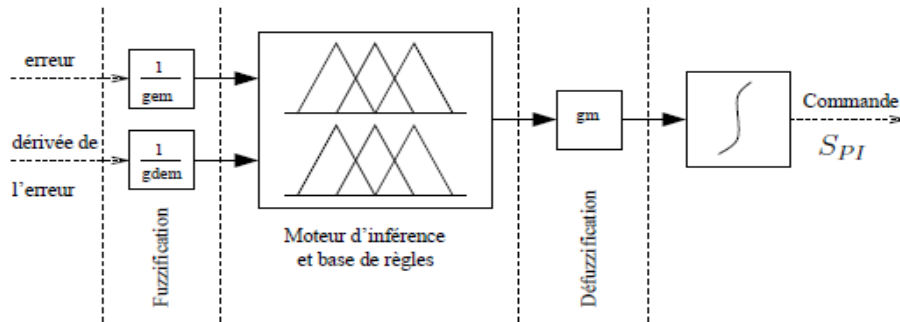


FIG 3.9 : correcteur flou de type PI

3.5.2 Correcteurs flous de type PID

Pour réaliser un correcteur de type PID, une partie intégrale va être ajoutée

En parallèle au moteur flou, représentée figure 1.7.

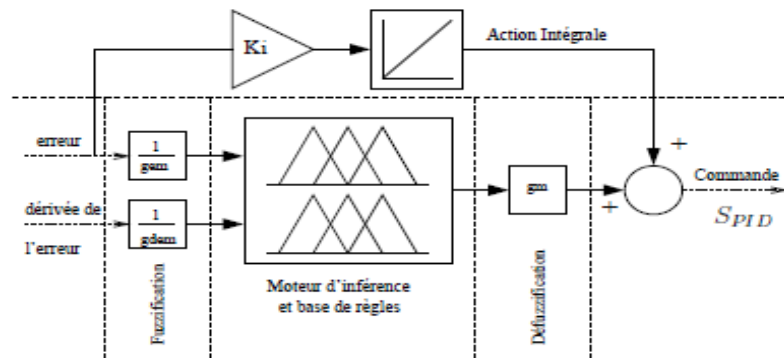


FIG 3.10 : Correcteur flou de type PID

L'avantage de ce type de structure, basée sur le moteur flou proportionnel Intégrale Dérivé, est qu'il est possible de construire un correcteur de type PID sans avoir à calculer la dérivée seconde de l'erreur, qui risquerait d'amplifier de façon trop importante le bruit de mesure.

En notant S_{PID} la sortie du contrôleur flou de type PID, il vient, équation 1.5

$$S_{PID} = K_i \int e(t) dt + S_{PD} \quad (3.15)$$

Soit :

$$S_{PID} = K_i \int e(t) dt + gm \left(\frac{1}{gem} \cdot e(t) \cdot K_1(e \cdot de) + \frac{1}{gdem} \cdot \frac{de(t)}{dt} \cdot K_2(e \cdot de) \right) \quad (3.16)$$

3.6 LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENT DU REGLAGE PAR LOGIQUE DE FLOUE

Evidemment, le réglage par la logique floue réunit un certain nombre d'avantages et de désavantages. Les avantages essentiels sont :

- La non nécessité modélisation (cependant il peut être utile d'un modèle convenable);
- la possibilité d'implémenter des connaissances (linguistiques) de l'opérateur du processus;
- la maîtrise des systèmes à régler avec un comportement complexe (fortement non linéaire et difficile à modéliser);
- L'obtention fréquente de meilleures prestations dynamiques (régulateur non linéaire):

- L'emploi possible aussi pour des processus rapides (grâce à des processeurs dédiés);
- la disponibilité des systèmes de développement efficaces, soit pour microprocesseurs ou PC (solution logicielle). soit pour circuits intégrés (processeurs dédiés, Fuzzy processor, solution matérielle).

Par contre, les désavantages sont :

- Le manque de directives précises pour la conception d'un réglage (choix des grandeurs à mesurer, détermination de la Fuzzification, des inférences et de Défuzzification);
- L'approche artisanale et non systématique (implémentation des connaissances de l'opérateur souvent difficile);
- L'impossibilité de la démonstration de la stabilité du circuit de réglage en toute généralité(en l'absence d'un modèle valable);
- La possibilité d'apparition de cycles limites à cause du fonctionnement non linéaire;
- la précision du réglage souvent peu élevée;
- la cohérence des inférences non garantie a priori (apparition de règles d'inférence contradictoires possible).

3.7 CONCLUSION

L'objet de ce chapitre était de présenter la commande à base de logique floue Et son contexte ainsi que certaines des méthodologies pouvant être utilisées pour Les régler La notion de logique floue a été présentée ainsi qu'un exemple de mise en œuvre dans le domaine de la commande. Le moteur d'inférences flou utilise dans la plupart des structures de commande à base de logique floue (correcteur flou de type PI ou PID) a été détaillé. L'énumération du nombre important de paramètres de ce type de commande ayant mis en évidence le désavantage lie a leur réglage, les Simplifications amenant `a réduire ce nombre, reposant notamment sur des symétries, Ont été présentées. Enfin, `a partir des choix effectues, l'influence des différents paramètres restant à régler a été exposée.

CHAPITRE 4

Commande par logique floue de système

CE105

-
- 4.1 Utilisation de la boîte à outils « FUZZY LOGIC »
 - 4.2 Sauvegarde du contrôleur dans l'espace de travail Matlab
 - 4.3 Construction du modèle avec Matlab
 - 4.4 Résultats de simulation
 - 4.5 Comparaison entre les deux régulateurs flous PID et PI
 - 4.6 Conclusion

4.1 UTILISATION DE LA BOITE A OUTILS « FUZZY LOGIC »

On commence par taper fuzzy à l'invite de la fenêtre de commande de MATLAB : >> ce qui lance l'éditeur de contrôleur flou : Fis Editor

Dans cette partie on va réaliser un régulateur PID floue RLF avec deux entrées (erreur est variation de l'erreur) et une sortie (commande). On commence tout d'abord par définir les entrées et les sorties et par la suite on va essayer de lier les fonctions d'appartenance d'une façon logique.

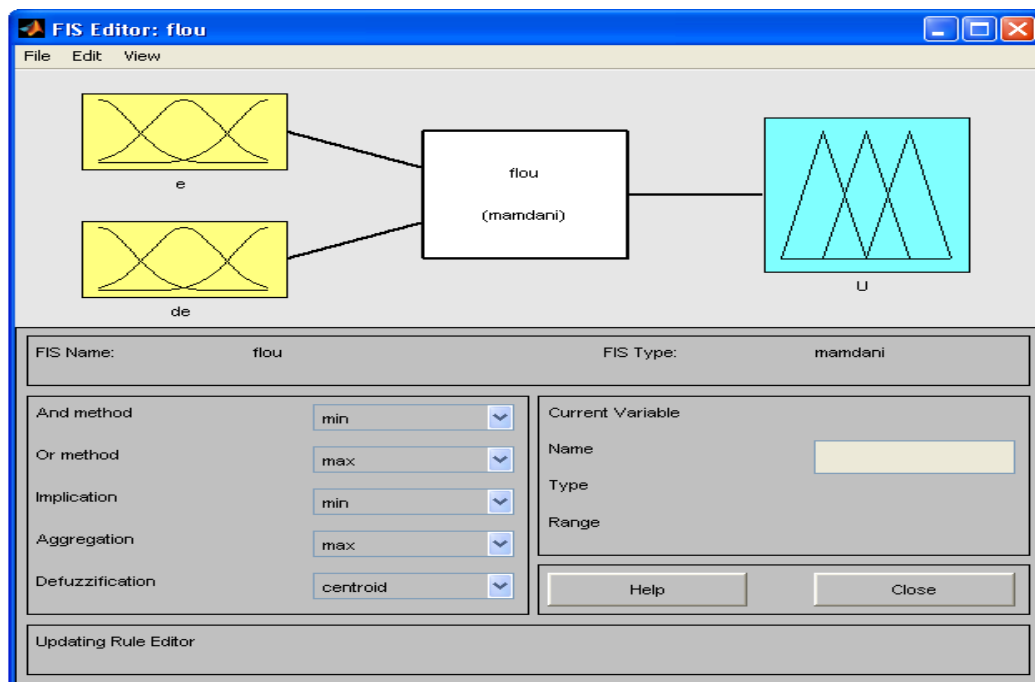


FIG 4.1 : Identification des entrées et des sorties de l'RLF à deux entrées

Étape 1

La commande **Edit** permettra de choisir le nombre d'entrées-sorties (2 entrées et 1 sortie dans Notre application). On pourra renommer à loisir ces différentes variables.

Étape 2

Double-cliquer sur chaque variable d'entrée ou de sortie pour définir les valeurs linguistiques et la forme des fonctions d'appartenance. Pour cela utiliser dans le nouveau menu **Edit** la commande **Add MFs**, ce qui signifie ajouté des fonctions d'appartenance. On pourra choisir des fonctions Triangulaires [trimf], trapézoïdales [trapmf], etc...

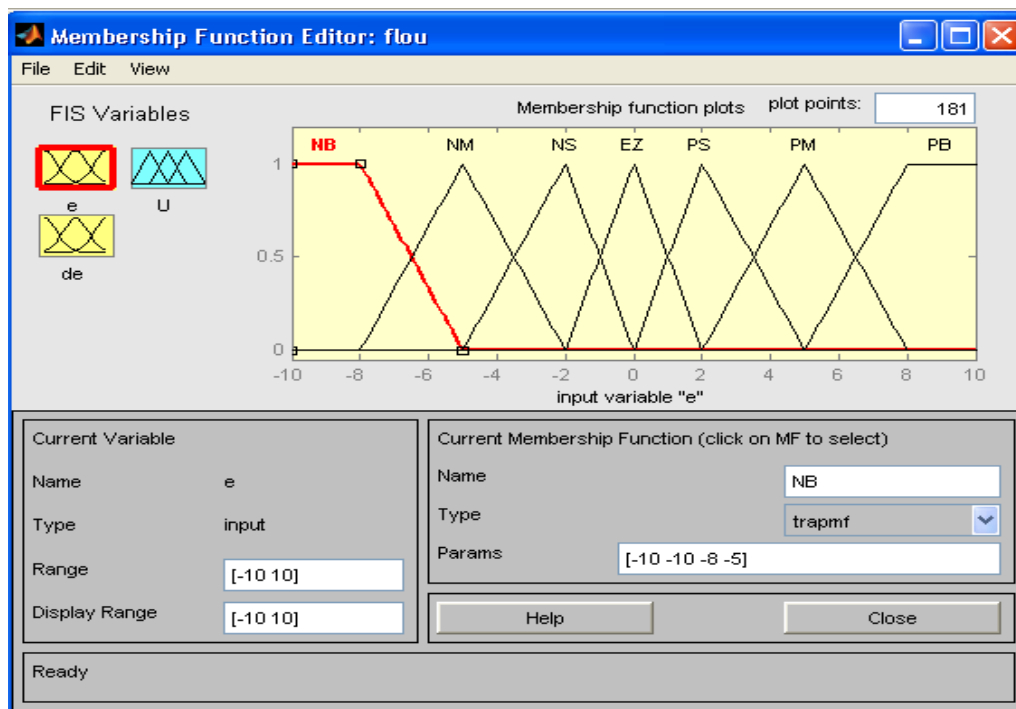


FIG 4.2 : fonction d'appartenance de l'erreur

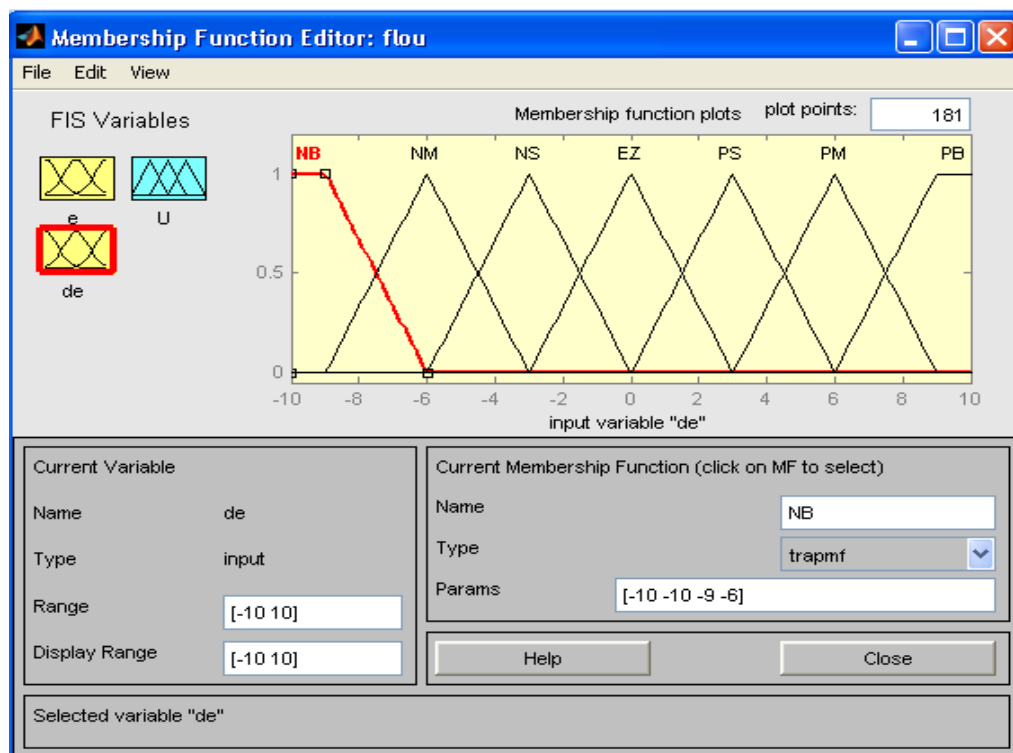


FIG 4.3 : fonction d'appartenance de la dérivée de l'erreur

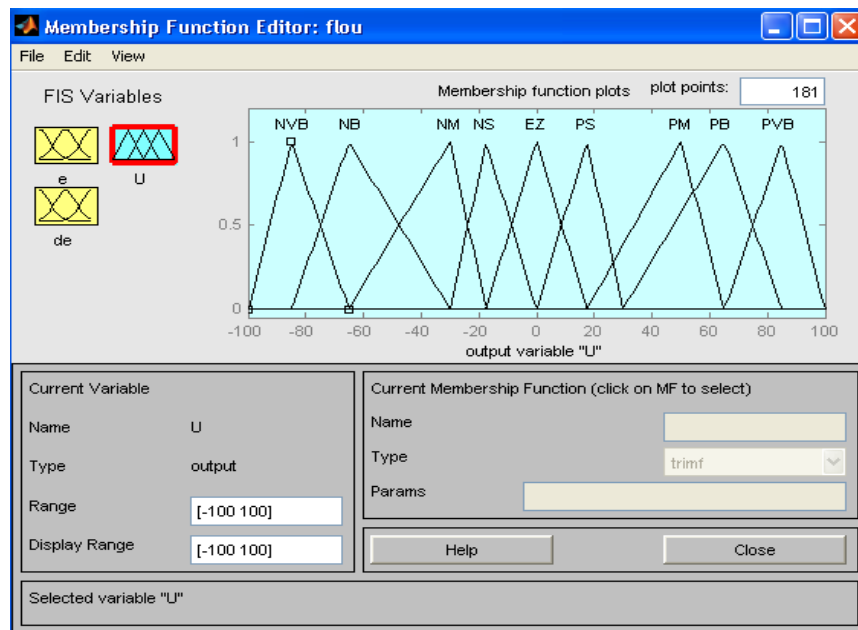


FIG 4.4 : fonction d'appartenance de la commande

Après avoir compléter le paramétrage des blocs d'entrées et de sortie, on procède par l'élaboration des règles logique qui répond au cahier des charges, et on les implémente dans le bloc inférence

Étape 3

Double-cliquer sur le bloc central (mandani) pour entrer les règles d'inférences choisies.

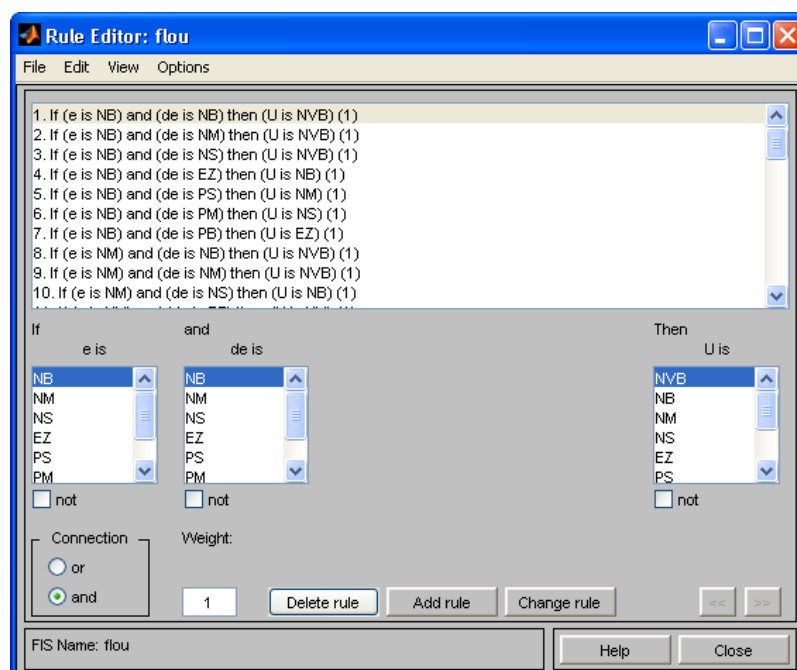


FIG 4.5 : Implémentation des règles d'inférence

Étape 4

Pour visualiser le comportement du contrôleur ainsi créé, on pourra utiliser dans le menu **View**, la commande **View rules**. Il est alors possible de fixer les valeurs des variables d'entrées, de voir quelles sont les règles d'inférences activées et de lire la valeur de la tension de commande correspondante.

4.2 SAUVEGARDE DU CONTROLEUR DANS L'ESPACE DE TRAVAIL MATLAB

Pour que le contrôleur ainsi créé soit disponible dans un modèle simulink, il faut qu'il soit Sauvegardé dans l'espace de travail. Pour cela dans le menu **File**, utiliser l'option **Save to workspace**.

Ainsi, son contenu sera mis dans un fichier de type « *.fis » (*flou dans l'exemple ci-dessus*) auquel il sera fait appel dans *simulink*.

Pour incorporer le correcteur flou dans son propre modèle simulink, le plus simple est d'en copier un à partir d'une démo de MATLAB. Ensuite, on double-cliquera sur le modèle en entrant dans la fenêtre le nom du fichier (niveau comme indiqué précédemment)

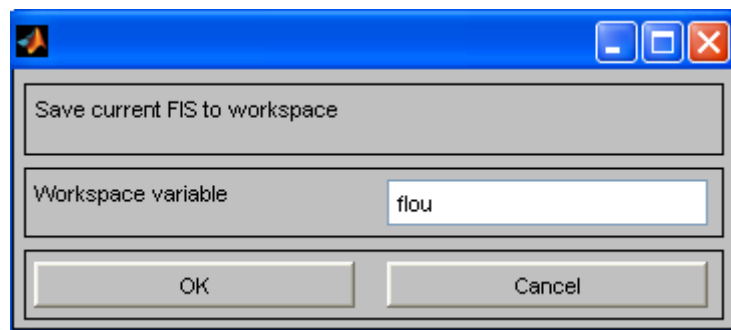


FIG 4.6 : Block paramètres contrôleur floue

4.3 CONSTRUCTION DU MODELE AVEC MATLAB

Le schéma fonctionnel ci dessous présente la modélisation du système à étudier à partir des

Éléments de base décrits plus haut. On peut y reconnaître Fig 4.6 , 4.7

❖ des échelons,

- ❖ des sommateurs,
- ❖ des oscilloscopes,
- ❖ un intégrateur,
- ❖ un multiplexeur,

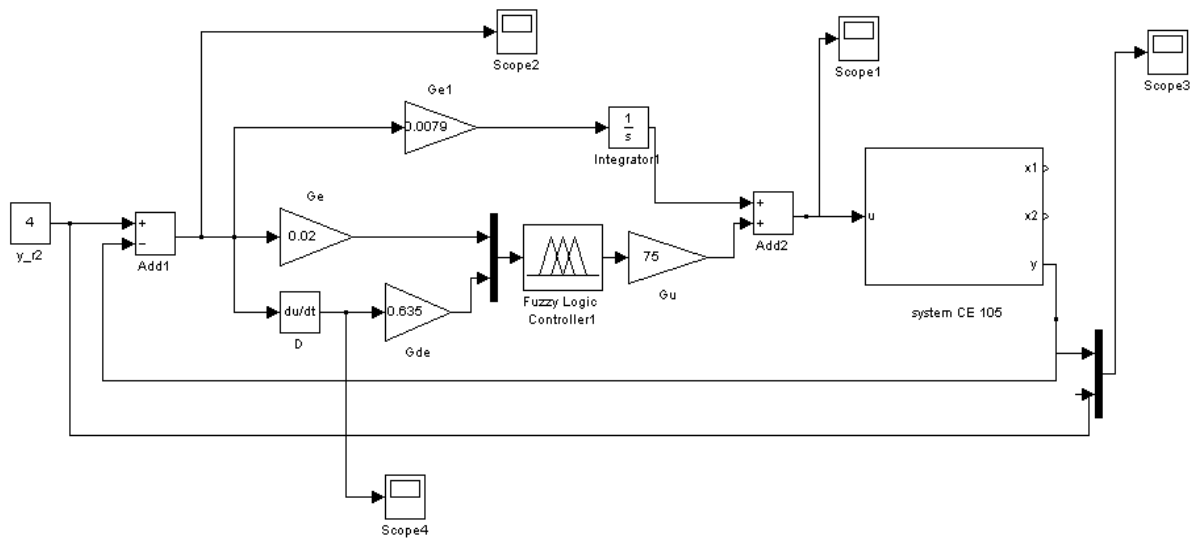


FIG 4.7 : Schéma blocs du système de régulation CE 105 par un RLF « PID »

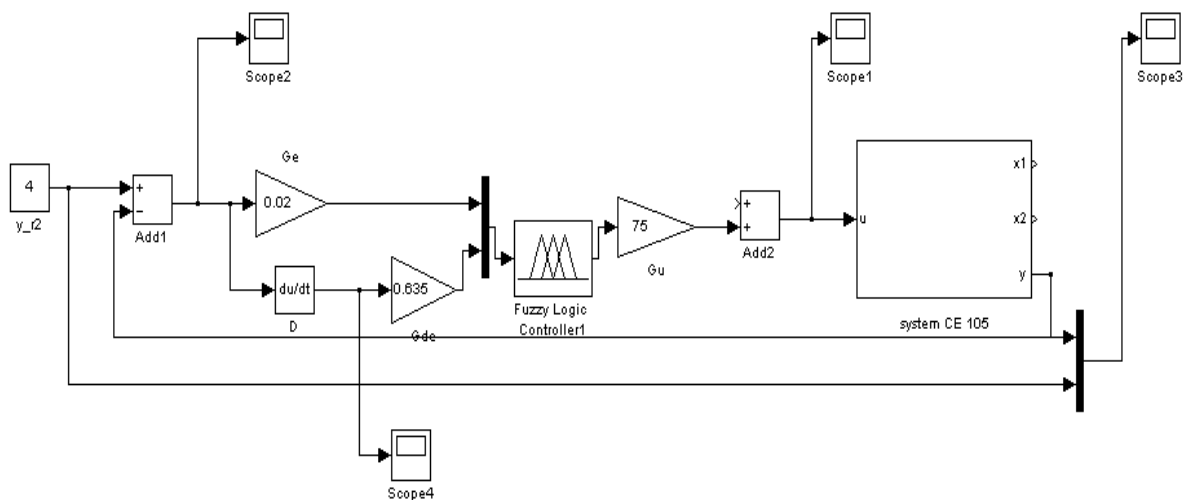


FIG 4.8 : Schéma blocs du système de régulation CE 105 par un RLF « PI »

4.4 RESULTATS DE SIMULATION

Dans cette partie, nous simulons le comportement dynamique de système hydraulique CE 105 a réservoir couples a une consigne de 4 mm avec régulateur flou de type Mamdani à sept ensembles flous de formes triangulaires appliqués aux variables d'entrées et Des nef ensembles flous de formes triangulaires appliqués aux variables de sortie dans les deux régulateur (PID , PI) Il apparaît, suite aux différents résultats présentés les évolutions de niveau , et la tension de commande , et l'erreur.

4.4.1 Simulation par RLF « PID »

Une fois le régulateur est configuré, on simule et on obtient la réponse suivante Fig 4.9

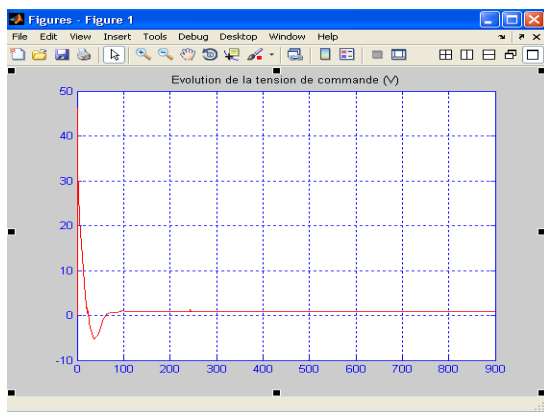


FIG 4.10 : Evolution de la tension de commande

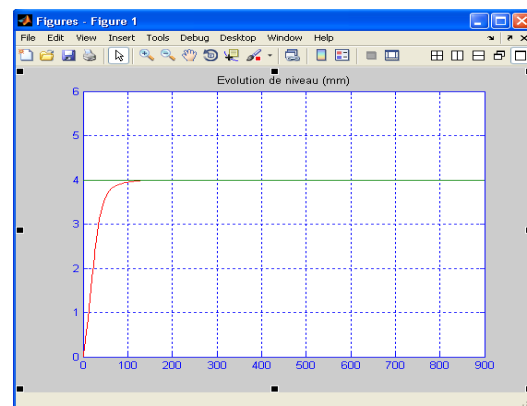


FIG 4.9 : Evolution de Niveau « mm »

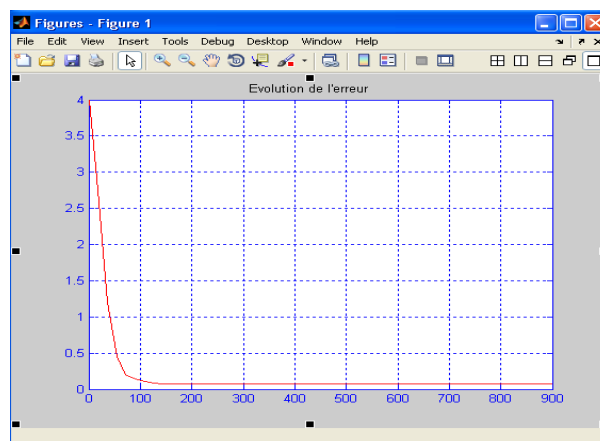


FIG 4.11 : Evolution de l'erreur

4.4.2 Simulation par RLF « PI »

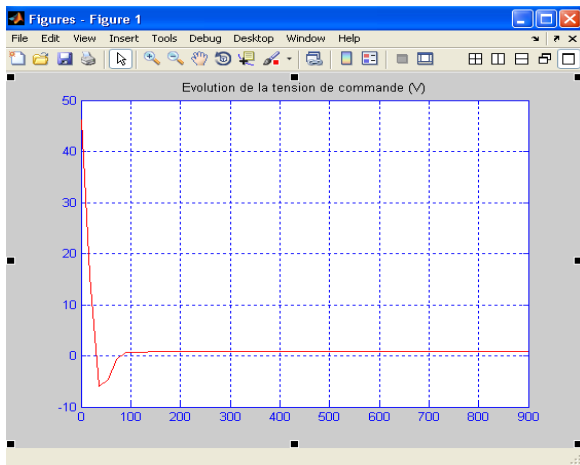


FIG 4.13 : Evolution de la tension de commande

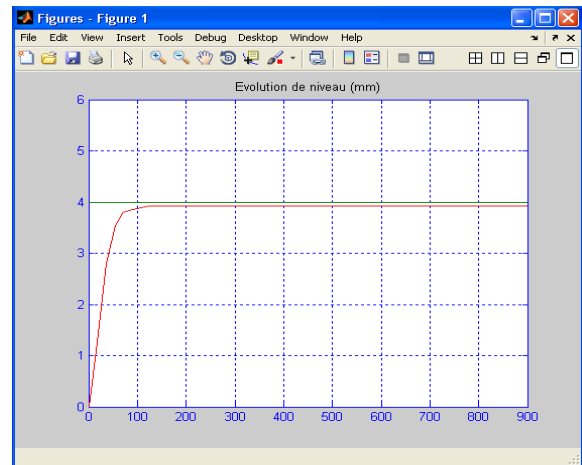


FIG 4.12 : Evolution de Niveau « mm »

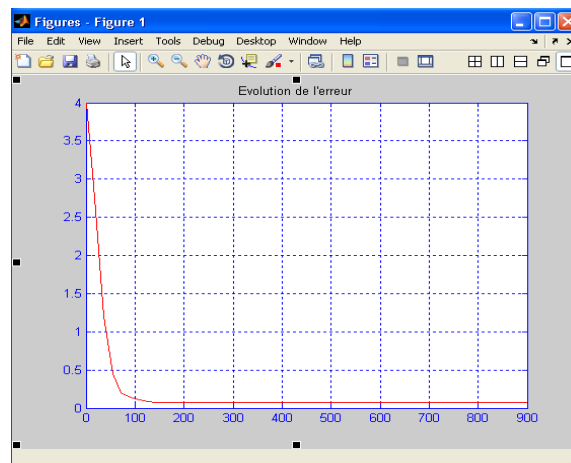


FIG 4.14 : Evolution de l'erreur

4.5 COMPARAISON ENTRE LES DEUX REGULATEURS FLOUS PID ET PI

Notre étude concerne la comparaison entre le régulateur flou type PI et, dans cette partie, en va relever les mesures nécessaires pour cette comparaison.

On obtient les mesures ci-dessous, Ces mesures nous montrent la performance du régulateur flou (PID) par rapport au régulateur flou (PI), avec un temps de réponse et l'erreur

	Temps de réponse à 5% (sec)	Erreur (mm)
RLF « PID »	63,21	0,0070
RLF « PI »	61,43	0,0782

TAB 4.1 : étude comparative entre flou type PID et PI

- On remarque que l'erreur du régulateur PID est inférieure par rapport à l'erreur du régulateur PI, Donc le régulateur PID est le plus précis.

4.6 CONCLUSION

On conclue chaque fois qu'on change le gain d'entrée de notre RLF (PID, PI) on agit sur la rapidité du système et à chaque fois qu'on change le gain de la sortie du système on agit sur la précision. Après plusieurs réglages effectués, notre système devient performant (plus rapide et plus précis).

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Ce travail propose de modéliser et de réguler le niveau d'eau d'un système Hydraulique à deux réservoirs Couples. Le procédé est tout d'abord décrit par des équations non linéaires en se Basant sur les équations de bilan de débit. Les outils fournis par la logique floue type « mamdani » permettent une modélisation des phénomènes pouvant en un certain sens s'approcher du raisonnement humain. Le fait de dépasser le tout ou rien des ordinateurs introduit une souplesse faisant la puissance des outils flous dans de nombreux domaines. Mais même s'ils bénéficièrent d'un effet de mode, les algorithmes flous ne sont pas nécessairement les meilleurs. Plus le système est complexe, plus les règles qui le régissent sont nombreuses et compliquées. Il s'agit là d'un obstacle majeur au contrôle en temps réel.

Elle apporte des solutions à des problèmes compliqués ou difficilement modélisables et elle n'a pas des méthodes générales de synthèses, alors il est nécessaire de varier à l'entrée et faire des tests jusqu'à atteindre la consigne.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Applied Non Linear Control. Jean-Jacques E. Slotine & Weiping Li.1991. Prentice Hall.
- [2] Manuel d'utilisation, "TecQuipment CE105 Coupled Tanks Appa Control Systems, UMIST ,Manchester, U,K.
- [3] TecQuipment Ltd, Bonsall Street, Long Eaton, Nottingham NG10 2AN, UK
www.tecquipment.com
- [4] www.control-systems-principles.co.uk
- [5] M. Boubakir Ahcene , Méthodes de commande par mode de glissement appliquées au bras manipulateur et au système hydraulique CE105 à réservoirs couplé , Thèse de Magister Robotique, Automatique et Informatique industrielle, EMP Alger2007
- [6]R.KETATA" Méthodologies de régulation numérique incluant la logique floue "-Thèse de Docteur L.A.A.S Toulouse – 1992
- [7] M. BAUER" Application de contrôleurs à logique floue pour la commande vectorielle des machinesà induction: commande en vitesse et en position "Rapport de stage ingénieur- ESIM- 22 Février 1995
- [8] A.IBALIDEN" Implantation d'un régulateur de type flou sur des commandes d'onduleurs pilotant des machines alternatives : application à la détermination des correcteurs "- Rapport d'activités 1994-1995
- [9] B. BEAUFRERE " Application de la logique floue à la planification de trajectoires de robots mobiles dans des environnements inconnus "- Thèse de Docteur de l'université de Poitiers, Décembre 1994.

[10] P. Y. GLORONNEC " Algorithme d'apprentissage pour systèmes d'inférences floues " - INSA de Rennes (IRISIA)- 1999.

[11] B. DEMAYA" Commande floue des systèmes à dynamiques complexes- Application à la commande d'un moteur thermique "- Thèse de Docteur LAAS Toulouse - 17 Octobre 1994

[12] A. BEN TAZIRI, La logique floue
http://www.tn.refer.org/hebergement/cours/logique_floue/index.html

[13] A. BOULAHIA, Commandes floue et neuro-floue appliquées à un robot manipulateur, Thèse de Magister en Automatique, EMP Alger, Juillet 2000.

[14] L. FOULLOY, S. GALICHET, A. TITLI, *Commande Floue1, de la Stabilisation à la supervision*, Hermes Sciences, © LAVOISIER, 2003.

[15] K. ZINSER, R. SCHREIBER" La logique floue: une nouveauté prometteuse de la technique d'automatisation "- La Technique moderne- N° 1-2- 1994