

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT : GENIE ELECTRIQUE
N° : AUT 02



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE
FILIERE : AUTOMATIQUE
OPTION : AUTOMATIQUE ET SYSTEMES

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par: SEMATI Tahar

Intitulé

Commande adaptative floue d'un système
Hydraulique CE105

Soutenu devant le jury composé de :

AIB Abdelghani	Université Mohamed Boudiaf de M'Sila	Président
LOUKAL Keltoum	Université Mohamed Boudiaf de M'Sila	Rapporteur
BOUKHALFA Abdelouahab	Université Mohamed Boudiaf de M'Sila	Examineur


Année universitaire : 2020/2021


Remerciements


Tout d'abord je remercie le bon dieu, le clément de m'avoir donné la foi et le courage de terminer ce projet. Je tiens à adresser mes plus vifs remerciements à Mon encadreuse Mr LOUKAL KELTOUM, pour son aide, son soutien et ses conseils qui m'ont fourni une grande motivation à accomplir ce travail. Je tiens également à remercier mon professeur BOUGUERRA ABDERRAHMEN et tous les enseignants Qui nous aider pendant la période d'étude à l'université. Finalement, Je tiens à exprimer toute ma gratitude à tous ceux qui ont contribué, de près où de loin, à la concrétisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail :

 *A mon cher père et ma chère mère.*

 *A mes chers frères et sœurs.*

 *A toute ma famille.*


 *A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et la prospérité de l'humanité.*

Table des matières

Table des matières	I
Listes des figures	IV
Liste des tableaux	V
Symboles	VI
Introduction Générale	01

Chapitre 01 : Généralités et modélisation d'un système hydraulique

CE105

1.1 Introduction	04
1. 2 Description du système hydraulique à deux réservoirs couplés CE105	04
1.3 Gamme des expériences	05
1.4 Modélisation du système hydraulique CE105 a réservoirs couplés	06
1.4.1 Introduction6	
1.4.2 Modélisation du système hydraulique CE105 a réservoirs couples	06
1.4.3 Détermination des caractéristiques de la pompe et des capteurs de niveau	08
1.4.4 Procédure de calcule K_Q et K_h	09
1. 5 Résultat de simulation en boucle ouverte du système CE105	12
1.6 Conclusion	14

Chapitre 02 : La logique floue type-1 et Logique floue type-2

2.1 Introduction	15
2.2 la logique floue type-1	15

Table des Matières

2.2.1 Introduction	15
2.2.2 Définition	15
2.2.3 Les avantages de la logique floue type 1	16
2.2.4 Les inconvénients	16
2.2.5 Domaines d'application	16
2.2.6 Principes de la logique floue	17
2.2.7 Opérateurs de la logique floue	17
2.2.8 La structure d'une commande par la logique floue	18
a) Interface de fuzzification	18
b) Base de règles	19
b.1) Moteur d'inférence	20
c) Interface de défuzzification	21
2.2.9 Fonction d'appartenance	22
2.3 La logique floue type-2	23
2.3.1 Introduction	23
2.3.2 Concept de base	23
2.3.2.1 Les ensembles flous type-2	23
2.3.3 Différents types d'ensembles flous type-2	27
2.3.4 Opérations sur les ensembles flous type-2	28
2.3.5 Systèmes et contrôleurs flous type-2	29
2.3.6 Commande par logique flou type-2	29
A. Fuzzification	29
B. Mécanisme d'inférence	30
C. Module de traitement de la sortie	31
C.1 Réduction de type	31

C.2 Défuzzification	31
2.4 Conclusion	31

***Chapitre 03 : Commande adaptative par la logique floue
type-2 de CE105***

3.1 Introduction	32
3.2 La commande adaptative	32
3.3 Concept de commande adaptative	33
3.4 Objectif de la commande	33
3.5 Régulateur PID	34
3.5.1 Introduction	34
3.5.2 Principe de la commande PID	34
3.6 Application de la commande par PID de CE105	35
3.8 Application de la commande adaptative floue type 2 de CE105	38
3.9 Résultats de simulation du la commande adaptative floue type 2 de CE105	40
3.10 Commentaires sur les résultats	44
4.11 Conclusion	44
Conclusion Générale	45
Annexe	46
Référence Bibliographiques	47

Liste des figures

Chapitre 01

Figure 1.1 Présentation du système hydraulique CE105 a réservoirs couplés	5
Figure 1.2 Système hydraulique à réservoirs couplés	6
Figure 1.3 Caractéristiques de la pompe et des capteurs de niveau	8
Figure 1.4 Variation du débit en fonction de la tension d'alimentation de la pompe.....	10
Figure 1.5 La tension indiquée par le capteur en fonction du niveau du liquide.....	11
Figure 1.6 schéma bloc de système hydraulique (CE105) en boucle ouvert.....	13
Figure.1.7 La réponse du système hydraulique (CE105) en boucle ouvert.....	13

Chapitre 02

Figure 2.1 L'opérateur ET, OU, NON.....	18
Figure 2.2 Structure de base d'un régulateur flou	18
Figure 2.3 Représentation schématique représente la différence entre singleton.....	19
Figure 2.4 Représentation schématique d'un ensemble flou type-2 gaussien.....	25
Figure 2.5 Représentation schématique des appartenances secondaires	26
Figure 2.6 la région de l'incertitude	26
Figure 2.7 Schéma synoptique d'un contrôleur flou type-2	29
Figure 2.8 Opérations d'entrée d'un système flou type-2 avec fuzzification type gaussien	30

Chapitre 03

Figure 3.1 Schéma block de régulateur PID.....	34
Figure 3.2 Schéma bloc de contrôleur PID appliquée au système hydraulique CE105	35
Figure 3.3 Résultats de simulation de la commande par contrôleur PID, pour une entrée échelon	36
Figure 3.4 Résultats de simulation de la commande par contrôleur PID, pour une entrée carrée.....	38
Figure 3.5 Schéma bloc de contrôleur flou type 2 appliquée au système hydraulique CE105	38
Figure 3.6 Fonction d'appartenance de l'erreur.....	39
Figure 3.7 Fonction d'appartenance de la dérivée de l'erreur	39
Figure 3.8 Fonction d'appartenance de la sortie	39
Figure 3.9 Résultats de simulation de la commande par adaptative floue type 2, pour une entrée échelon	41
Figure 4.10 Résultats de simulation de la commande par adaptative floue type 2,	

Liste des figures

pour une entrée carrée.....	43
-----------------------------	----

Liste des Tableaux

Tableau 1.1 La relation entre la tension d'alimentation et le débit d'entrée 9

Tableau 1.2 La relation entre la tension indiquée par le capteur et le niveau dans le réservoir 10

Tableau 2.3 Fonctions d'appartenance de la logique floue type 122

Tableau 2.4 Fonctions d'appartenance de la logique floue type 228

Symboles

Q_e le débit d'entrée gènère par la pompe.

Q_0 Débit sortant par la valve C.

Q_{12} Débit entre 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) Coefficients de décharge de la valve A et C.

g Constant de gravite $9,8 \text{ m/s}^2$.

u Tension d'alimentation de la pompe.

y_i Capteur de niveau.

k_Q le gain de la pompe.

k_Q 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.

Introduction générale

Introduction générale

La logique, au sens commun du mot, est une conception des mécanismes de la pensée qui ne devrait jamais être floue, toujours rigoureuse et formelle. Mais les Mathématiciens se sont aperçus qu'il n'y avait pas, en réalité, une logique unique, mais autant de logiques qu'on veut tout étant dépendant de l'axiomatique choisie [1].

La logique floue a pour objet d'études la représentation des connaissances imprécises et le raisonnement approché. On peut donc la situer à côté des heuristiques de résolutions de problèmes, des systèmes experts, de l'intelligence artificielle et même du traitement de la langue naturelle. Cette théorie, introduite en 1965 par le professeur Lotfi Zadeh, permet de traiter des propositions ou des États par plusieurs niveaux de vérité [2].

Devant le délicat problème de modélisation des systèmes complexes, les méthodes de commande nécessitant une bonne connaissance du modèle mathématique s'avèrent incapables de répondre aux performances exigées. Afin de répondre à ces exigences toujours croissantes, les algorithmes de commande développés dans la littérature deviennent de plus en plus complexes. Alors la commande floue s'est présentée, ces dernières années, comme l'une des alternatives.

La commande floue se base sur deux concepts essentiels à savoir : celui de la décomposition d'une plage de variation d'une variable sous formes de nuances linguistiques et des règles provenant de l'expertise de l'opérateur humain qui exprime sous forme linguistique comment doivent évoluer les commandes du système en fonction des variations de l'observation.

Un système décrit par des ensembles flous type-1 est appelé système flou type-1. Il y a au moins trois sources d'incertitudes dans de tel système :

- Le sens des mots utilisés dans les règles peut être incertain, c'est-à-dire qu'un mot peut prendre plusieurs sens.
- Les mesures activant un système flou type-1 peuvent être bruitées et incertaines.
- Les données utilisées pour l'ajustement des paramètres d'un système flou type-1 peuvent être aussi bruitées.

Introduction générale

Les systèmes flous type-1, sont incapables de modéliser ces incertitudes, car ils utilisent des fonctions d'appartenance précises, qui ont une représentation bidimensionnelle. Par conséquent, les ensembles flous de type-2, dont les fonctions d'appartenance elles-mêmes sont floues, sont l'extension des systèmes flous type-1.

Les fonctions d'appartenance type-2 ont une représentation tridimensionnelle, la nouvelle (troisième dimension) des ensembles flous fournit un degré de liberté supplémentaire permettant de prendre en charge les incertitudes.

Malheureusement, les ensembles flous type-2 sont plus difficiles à mettre en œuvre, cependant leur utilisation est justifiée par leur efficacité dans les circonstances où il est difficile de trouver une fonction d'appartenance exacte, et leur capacité à minimiser l'effet des incertitudes dans la base des règles du système flou. Si nous projetons la même philosophie sur les systèmes flous, nous allons alors considérer la sortie d'un système flou type-1 comme étant la valeur moyenne de la fonction de densité de probabilité (PDF), donc pour que le système flou prenne en compte les incertitudes, nous aurons alors besoin d'une certaine variance (dispersion); d'où la notion d'ensembles flous type-2 où la variance est considérée comme étant le domaine d'appartenance secondaire de ces derniers. Les ensembles flous type-2 ont donné naissance à la logique et aux systèmes flous type-2 [4].

L'objectif de ce travail consiste à présenter et évaluer la technique de commande appliquée à un système hydraulique à deux réservoirs couplés, en l'occurrence, la commande par logique floue (nous avons appliqué les deux types de ce dernier flou type-1 et flou type-2) et la commande adaptative par la logique floue type-2.

Structure de la Mémoire :

Ce travail qui comprend trois chapitres est organisé comme suit :

- Le **chapitre 1** présente la description et la modélisation d'un système hydraulique à deux réservoirs couplés. Il présente le modèle d'état du système étudié et les résultats de simulation en boucle ouverte.
- Le **chapitre 2** est consacré à la théorie de la commande par la logique floue type-1 et floue type-2 du système hydraulique (CE105) où les résultats de simulation seront présentés et discutés.

Introduction générale

- Le **chapitre 3** est l'objet de la commande adaptative par la logique floue type-2 de CE105. Où les résultats de simulation seront présentés et discutés.

Enfin, ce travail sera clôturé par une conclusion générale qui résumera l'ensemble des résultats obtenus, ainsi que des recommandations et des suggestions sur les travaux futurs dans ce domaine de recherche.

1.1 Introduction

Le comportement dynamique d'un système quelconque ne peut être étudié que s'il est possible de le représenter par un modèle mathématique souvent donné par un système d'équations différentielles ordinaires. L'élaboration d'un modèle dynamique ou la modélisation consiste à utiliser des lois de la physique et/ou des règles de calcul empiriques afin de construire un modèle dynamique relativement simple et satisfaisant compte tenu des objectifs poursuivis et des moyens disponibles. Alors, l'étape de modélisation est un passage indispensable pour concevoir des systèmes de commande performants. Dans ce chapitre, nous allons présenter la modélisation du système hydraulique à deux réservoirs couplés CE105 en utilisant les lois de la physique et, en particulier, la loi de Bernoulli. Un test de simulation en boucle ouverte du modèle non linéaire obtenu du système hydraulique sera présenté à la fin du chapitre.

1.2 Description du système hydraulique à deux réservoirs couplés CE105

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 [1], 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 donnant une tension proportionnelle au niveau du liquide [4].

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.

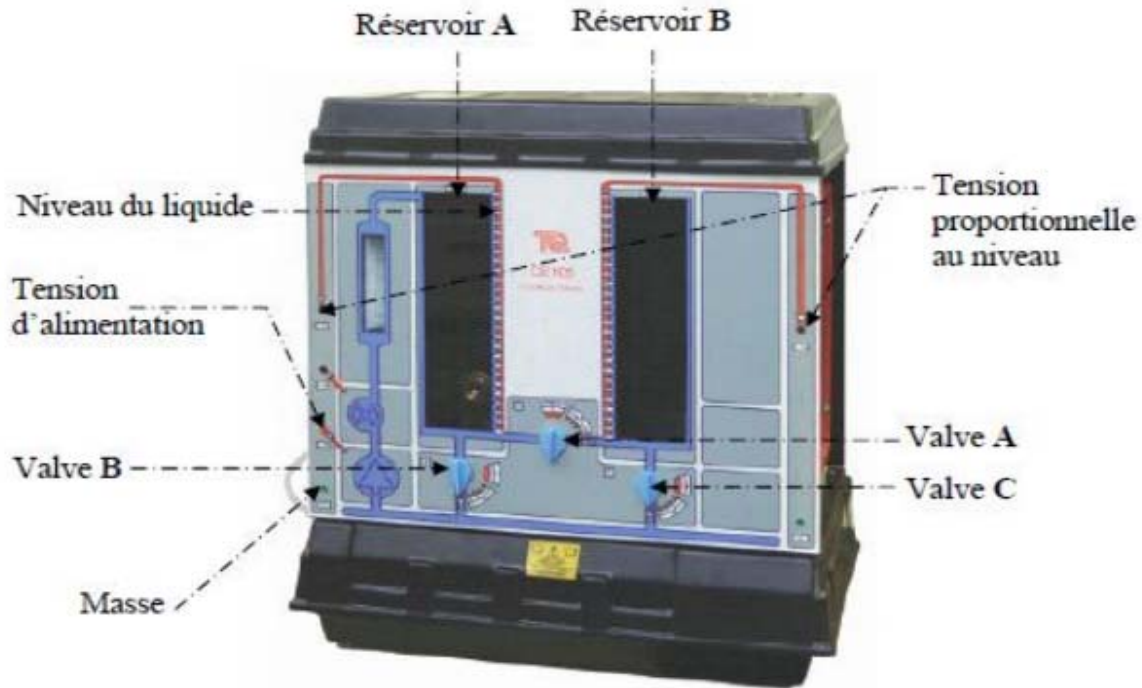


Figure1. 1 Présentation du système hydraulique CE105 a réservoirs couplés.

1.3 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 [13] ;

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 Modélisation du système hydraulique CE105 a réservoirs couplés

1.4.1 Introduction

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.

1.4.2 Modélisation du système hydraulique CE105 a réservoirs couplés

Il est important de connaître la relation mathématique qui décrit le comportement du système CE105 a réservoirs couplés, surtout pour un automaticien où la modélisation est une phase très importante dans la synthèse de la loi de commande. Comme il est illustré sur la figure 1.2, le CE105 contient deux réservoirs, et caractérisé par deux états (le niveau dans le premier réservoir) et (le niveau dans le deuxième réservoir) [6]. Et trois débits, c'est le débit d'entrée généré par la pompe, et est le débit entre le premier et le deuxième réservoir ; est le débit sortant par la valve C.

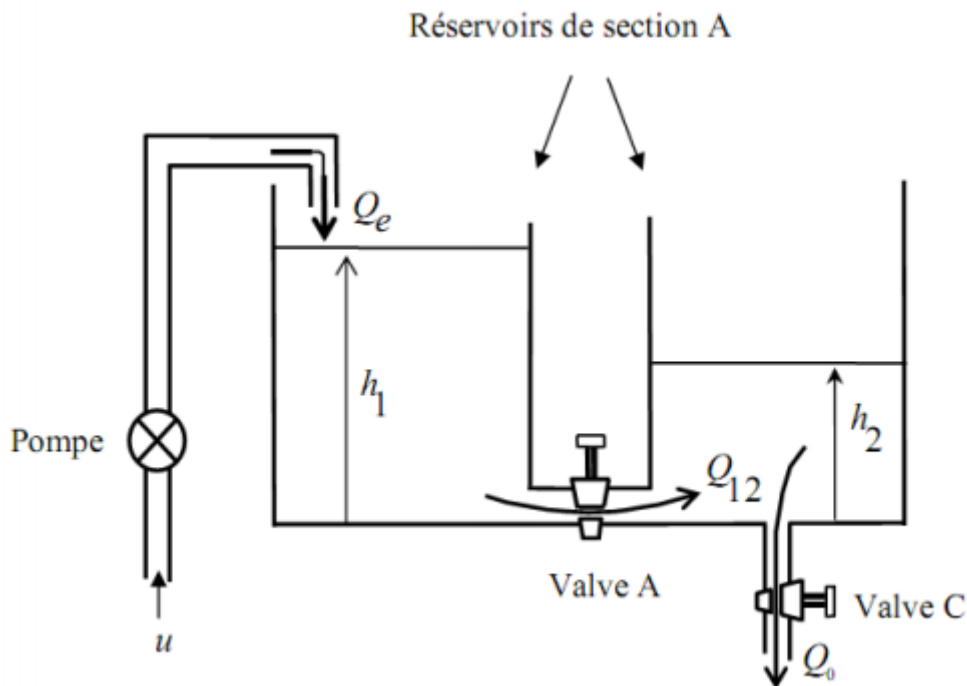


Figure 1.2 Système hydraulique à réservoirs couplés.

On souhaite synthétiser des régulateurs qui asservissent les niveaux de fluide, h_1 dans le premier cas et h_2 dans le second, à une consigne et cela quelque soient les coefficients d'ouverture des vannes de fuite (qui constituent des perturbations des systèmes étudiés) [5]. En utilisant l'équation d'équilibre d'écoulement, pour le premier réservoir, on obtient : 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.

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

$$Q_e - Q_{12} = A \frac{dh_1}{dt} \quad (1.1)$$

Pour le deuxième réservoir

$$Q_{12} - Q_o = A \frac{dh_2}{dt} \quad (1.2)$$

Avec, A la section du réservoir h_i le niveau du liquide dans le réservoir i Le débit d'entrée du deuxième réservoir Q_{12} dépend de la différence entre les deux Réservoirs [3], tel que :

$$Q_{12} = s_n \cdot a_{12} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_1 - h_2)} \quad (1.3)$$

Le débit de sortie Q_o dépend seulement du niveau h_2 par :

$$Q_o = s_n \cdot a_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_2} \quad (1.4)$$

Avec, A la section du réservoir, h 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 [6] tels que :

Alors :

$$\begin{cases} Q_{12} = S_n \cdot a_{12} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_1 - h_2)} \\ \text{et} \\ Q_o = S_n \cdot a_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_2} \end{cases} \quad (1.5)$$

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 gravité, avec $g = 980 \text{ cm} / \text{s}^2$

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

$$\begin{cases} \frac{dh_1}{dt} = \frac{1}{A} (Q_e - S_n \cdot a_{12} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_1 - h_{12})}) \\ \text{et} \\ \frac{dh_2}{dt} = \frac{1}{A} (S_n \cdot a_{12} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_1 - h_2)} - S_n \cdot a_0 \sqrt{2g \cdot h_2}) \end{cases} \quad (1.6)$$

1.4.3 Détermination des caractéristiques de la pompe et des capteurs de niveau

Il est clair que pour l'équation différentielle, 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[6] :

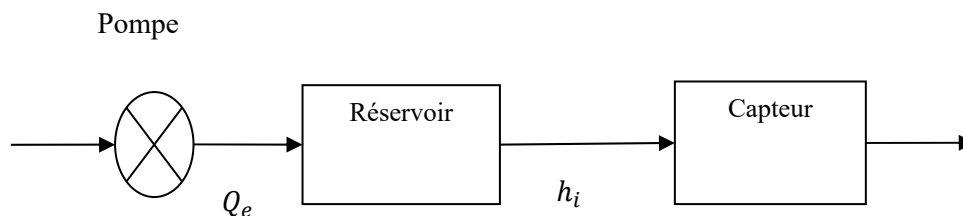


Figure.1.3. Caractéristiques de la pompe et des capteurs de niveau.

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 :

$$Q_e = K_Q \cdot u \quad \text{Et,} \quad y_i = K_h \cdot h_i, \quad i = 1,2. \quad (1.7)$$

Donc, il nous reste qu'à déterminer les gains K_Q et K_h . Ceci constitue l'objectif de l'étape suivante.

1.4.4 Procédure de calcul K_Q et K_h

L'équipement utilisé pour cette phase d'identification est constitué du système hydraulique CE105 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 $4000 \text{ cm}^3/\text{min}$.

Lorsque le débit maximum est atteint, on répète la même procédure mais dans la direction inverse (décroissante) de $4000 \text{ cm}^3/\text{min}$ jusqu'à $0 \text{ cm}^3/\text{min}$ [4] Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau (1.1).

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
40000	10.36	10.2

Tableau 1.1 La relation entre la tension d'alimentation et le débit d'entrée.

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 1.2) :

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

Tableau 1.2 La relation entre la tension indiquée par le capteur et le niveau dans le réservoir.

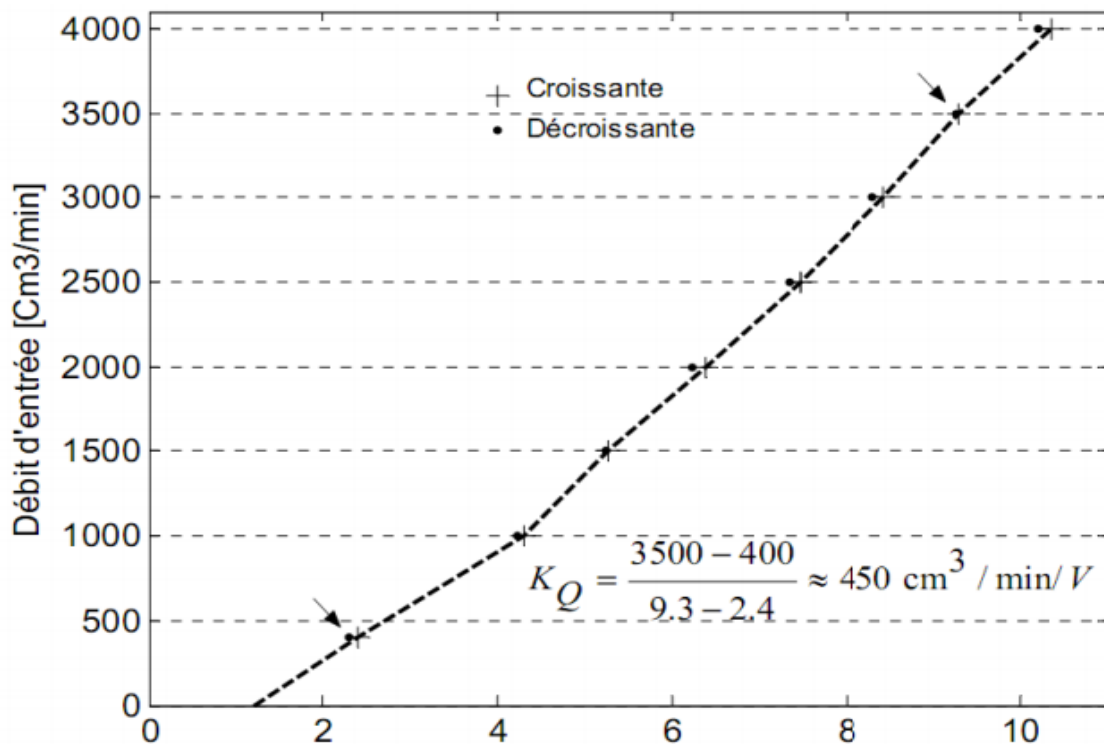


Figure.1.4 Variation du débit en fonction de la tension d'alimentation de la pompe.

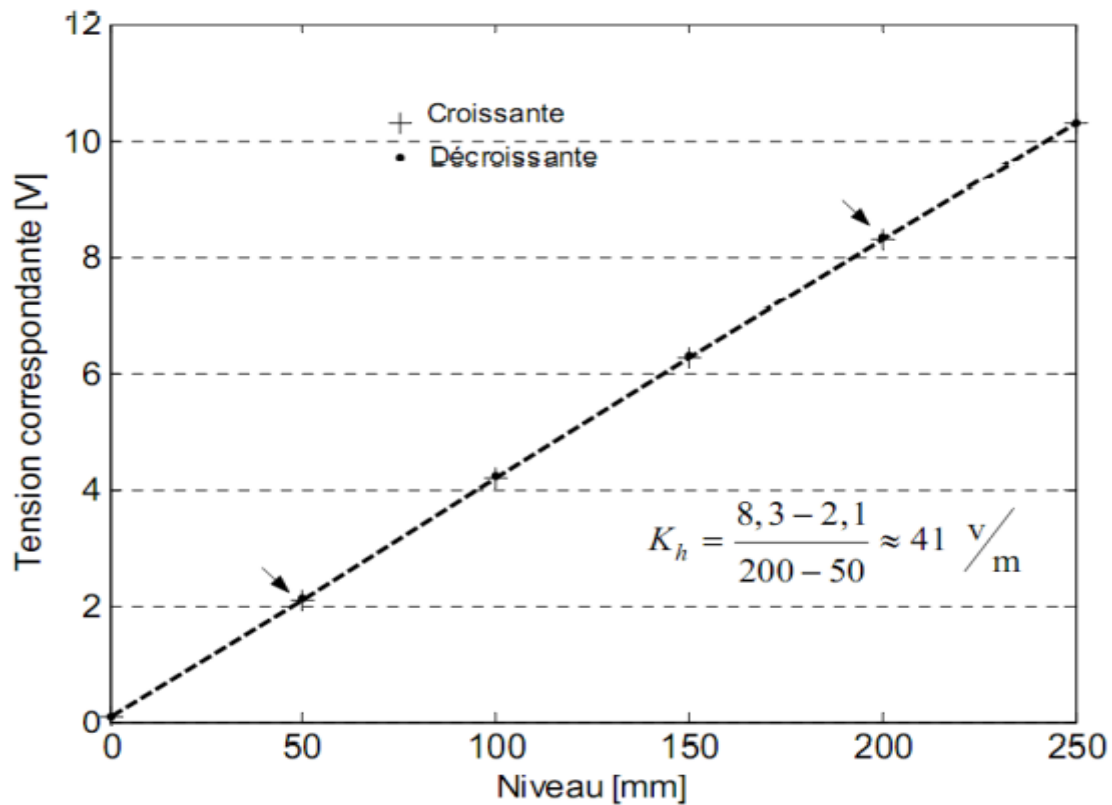


Figure.1.5 La tension indiquée par le capteur en fonction du niveau du liquide.

Le modèle qui décrit le comportement du système CE105 est le suivant :

$$\begin{cases} \dot{h}_1 = \frac{1}{A} (K_Q \cdot u - S_n \cdot a_{12} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_1 - h_{12})}) \\ \text{et} \\ \dot{h}_2 = \frac{1}{A} (S_n \cdot a_{12} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_1 - h_2)} - S_n \cdot a_0 \sqrt{2g \cdot h_2}) \end{cases} \quad (1.8)$$

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, nous définissons le modèle d'état avec $x = [x_1, x_2]^T = [h_2, h_1]^T$, Tel que :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \frac{1}{A} (S_n \cdot a_{12} \sqrt{2 \cdot g \cdot (x_2 - x_1)} - S_n \cdot a_0 \sqrt{2g \cdot x_1}) \\ \dot{x}_2 = \frac{1}{A} (-S_n \cdot a_{12} \sqrt{2 \cdot g \cdot (x_2 - x_1)} + K_Q \cdot u) \\ y = K_h \cdot x_1 \end{cases} \quad (1.9)$$

$$\text{En choisissant: } \beta_1 = \frac{S_n \cdot a_{12} \sqrt{2g}}{A}, \quad \beta_2 = \frac{S_n \cdot a_0 \sqrt{2g}}{A}, \quad K_u = \frac{K_Q}{A}. \quad (1.10)$$

Le modèle d'état :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \beta_1 \sqrt{(x_2 - x_1)} - \beta_2 \sqrt{x_1} \\ \dot{x}_2 = -\beta_1 \sqrt{(x_2 - x_1)} + K_u \cdot u \\ y = K_h \cdot x_1 \end{cases} \quad (1.11)$$

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 [9]. 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 (avec la valve B fermée). Pour cette configuration le système est appelé "CE105 à réservoirs couplés"

1. 5 Résultat de simulation en boucle ouverte du système CE105

Dans cette section, nous présentons les résultats de simulation en boucle ouverte du système hydraulique CE105. Ces résultats ont été obtenus en représentant le modèle dynamique non linéaire du système hydraulique CE105 à réservoirs couplés dans Simulink (Figure 1.8) avec les paramètres de simulation suivants :

- La section de chaque réservoir $A=9350 \cdot 10^{-6} m^2$.
- La section de chaque valve $S_n=78.5 \cdot 10^{-6} m^2$.
- 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 $y_r = 41 \frac{v}{m}$.
- La période d'échantillonnage $T=0.2 \text{ sec}$.
- Le temps de Simulation $T_{max}=900 \text{ sec}$ a constante de gravité $g=9.81 \text{ m}/\text{sec}^2$.
- Un gain de commutation $k=8$ On définit le profil y_r .

- Comme étant une consigne pour la sortie $y_r = k_h \cdot x_1$ Cette référence est Proportionnelle au niveau désiré dans les deuxièmes réservoirs.

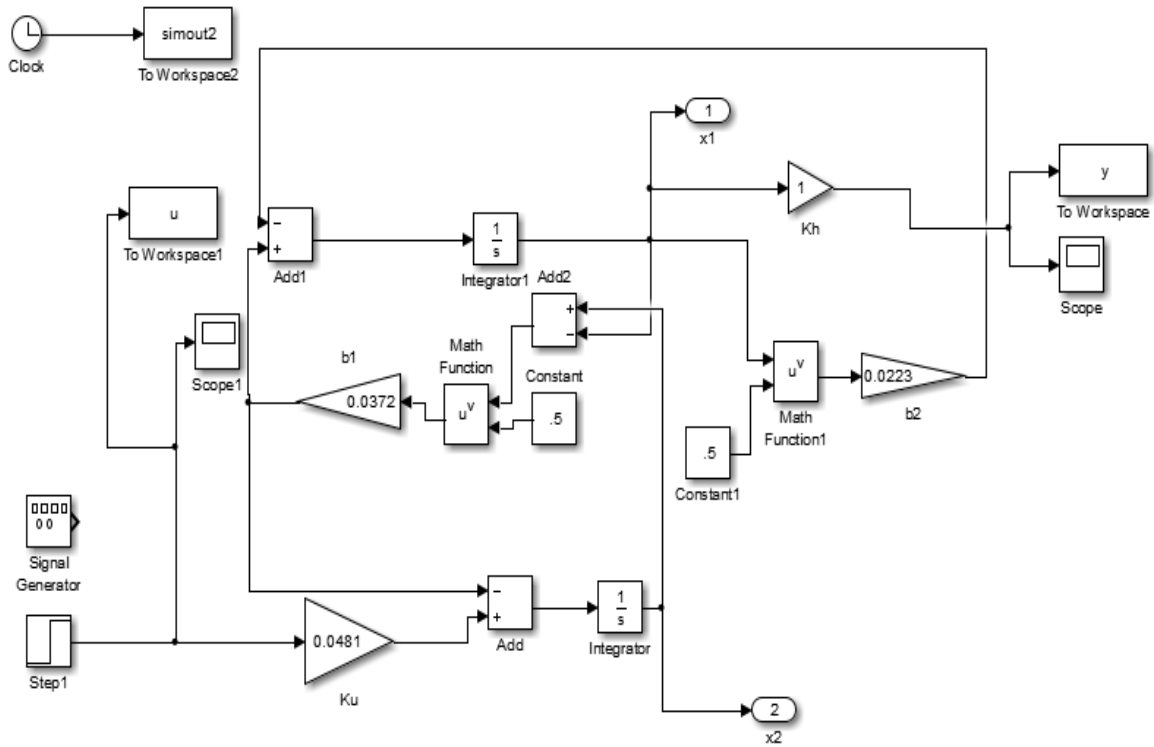
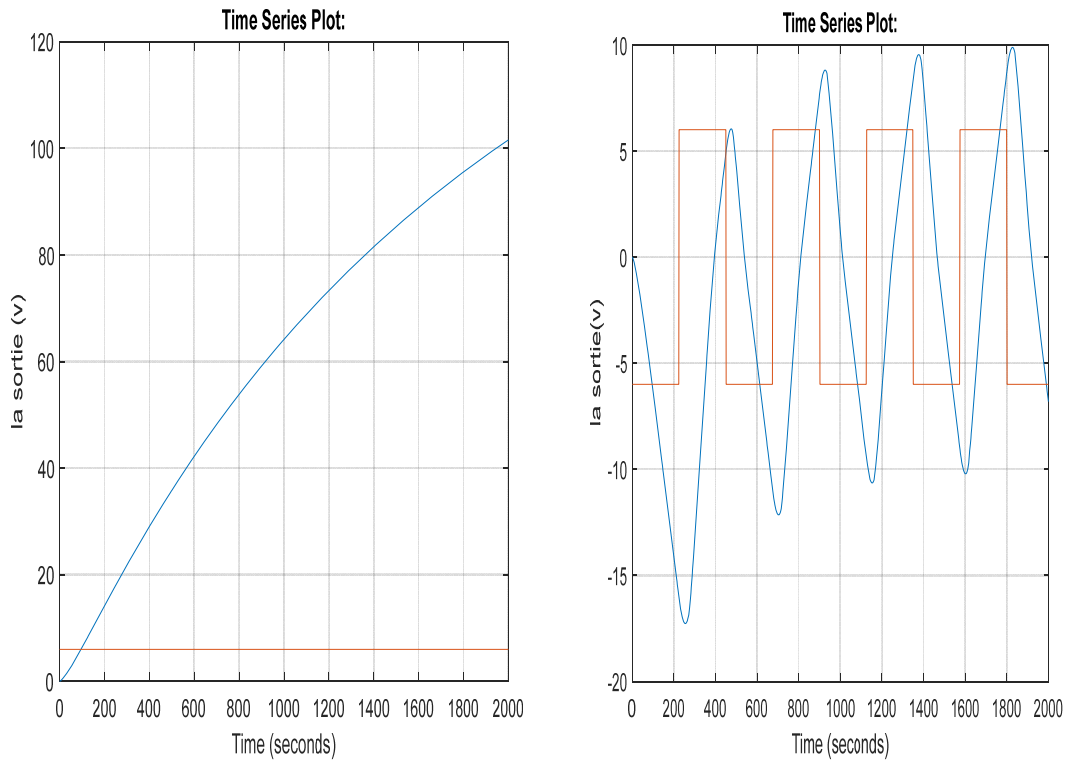


Figure1.6 Schéma bloc de système hydraulique (CE105) en boucle ouvert.



a) la sortie pour une entrée constante.

b) la sortie pour une entrée carrée.

Figure.1.7 La réponse du système hydraulique (CE105) en boucle ouvert.

1.6 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre la description du système hydraulique CE105 et présente le modèle mathématique de système CE105. Nous faisons de simulation de système hydraulique (CE105) en boucle ouverte pour une entrée constante et entrée carrée, alors notre système sera instable. Dans le chapitre suivant une approche utilisant un système de contrôle basé sur la logique floue sera introduite.

2.1 Introduction

La logique floue a été introduite en 1965 par L.Zadeh comme une description mathématique; bien que , le principe de cette idée a été connu plus tôt chez les philosophes et les logiciens. Cette approche fait partie des méthodologies intelligentes, elle est inspirée de la capacité de l'homme prendre des décisions et agir de façon convenable malgré le flou (l'incertitude)des connaissances disponibles. Elle a été introduite dans le but d'approcher le raisonnement humain à l'aide d'une représentation adéquate des connaissances telles que la base des règles et les fonctions d'appartenance, qui sont construites par introduction des informations linguistiques et numériques fournies par l'expert humain.

Dans ce chapitre nous allons présenter les notions de base pour un système flou : propriétés, opérations et relations des ensembles flous, où nous comparons entre les systèmes flous type-1 et les systèmes flous type-2 par la description détaillée de leur structure, et finalement on présente une certaine classe des systèmes flous (FBF) qui sont des approximantes universelles.

2.2 la logique floue type-1

2.2.1 Introduction

L'utilisation de la logique floue dans la commande des systèmes nécessite d'avoir des connaissances approfondies sur cette théorie et son utilisation dans la commande, d'où la nécessité de présenter quelques bases générales de la logique floue : Théorie des ensembles flous, les relations floues, principe de réglage par logique floue ainsi que la structure de commande par logique floue des systèmes multi-variables. La logique floue est à l'image de logique binaire, clairement et logiquement étayée à l'aide de théorie mathématique [7]. Elle est apparue en 1965 avec la publication par LOTFI ZADEH d'un article intitulé « les ensembles flous » [8]. La logique floue permet de manipuler des symboles et d'inférer des actions en utilisant des règles logiques à partir des prémisses imprécises ou incertaines [9]. En 1975 Mamdani a développé à partir de quelques principes de la logique floue une stratégie de contrôle de procédé, par la suite ces travaux ont été repris, et les techniques utilisées dans les réalisations récentes sont issues [10].

2.2.2 Définition

Logique floue : « logique qui substitue à la logique binaire une logique fondée sur des variables pouvant prendre, outre les valeurs « vrai » ou « faux », les valeurs intermédiaires « vrai » ou « faux » avec une certaine probabilité » [11].

2.2.3 Les avantages de la logique floue type 1

- Nous n'avons pas besoin d'établir le modèle mathématique. Cela évite des années De travail sur des modèles.
- Ensuite la logique floue permet de prendre en compte les typologies linguistiques et donc toutes les nuances que l'on a créées dans le but d'imiter au mieux le réel.
- Traitement des systèmes à comportement complexe (même si on a un exemple Simplifié, cela reste un système complexe en mathématique pure).
- Nous pouvons aujourd'hui servir des solutions matérielles comme des Microprocesseurs uniquement dédiés aux calculs flous, ce qui permet d'accroître le Rendement puisque cela réduit la programmation.
- L'ajoute ou le retrait des règles ne change quasiment rien au principe de la logique Floue, alors qu'en logique bivalente (logique classique), cela peut changer du tout au Tout.
- On peut augmenter facilement le nombre d'entrées sans réellement compliquer les calculs (alors qu'en logique simple la taille des calculs est exponentielle).

2.2.4 Les inconvénients

- réglage empirique.
- performances en boucle fermée dépendent de l'expertise.
- il n'existe pas de théorie générale qui caractérise rigoureusement la stabilité, la robustesse (difficulté de certification dans le transport, espace)

2.2.5 Domaines d'application

Les domaines d'applications pratiques déjà connues sont innombrables, nous en citons quelques uns [12] :

- l'intelligence artificielle.
- la robotique.
- le contrôle des machines.
- l'informatique.
- le traitement des données.
- la communication homme-machine.
- la reconnaissance des formes.
- la médecine.

- les transports.

2.2.6 Principes de la logique floue

Les domaines d'applications de la logique floue concernant principalement les problèmes où les données ne peuvent être formulées de manière explicite, ainsi que des techniques de contrôle et de réglages, lorsque les moyens classiques atteignent leurs limites (Exemples systèmes non linéaires, etc.). La logique floue est bien connue par des automaticiens pour ses applications dans le contrôle et commande de procédés, appelé alors couramment « contrôle flou ». Tout comme un contrôleur (ou correcteur) classique [7], Son but est de traiter les problèmes de commande de processus avec une approche différente de l'automatique classique.

2.2.7 Opérateurs de la logique floue

Supposant deux fonctions d'appartenance $\mu_A(x)$ et $\mu_B(x)$ de deux variables floues x et y caractérisant la température de l'air et la force du vent, l'exemple "l'air est froid et le vent est fort" ou encore "si l'air est froid ou le vent n'est pas faible" il faut fermer la porte. Les compositions ET et OU en plus de la négation apparaissent et doivent être définies. Pour pouvoir décider de fermer la porte ou non il faut que deux conditions soient vérifiées en même temps. Alors, il est important de pouvoir composer entre les divers prédicats et leurs fonctions d'appartenance [13].

➤ L'opérateur ET:

L'opérateur ET est réalisé dans la plupart des cas par la formation du minimum (intersection) des deux fonctions d'appartenance :

$$\mu_C(z) = \mu_{A \text{ et } B}(z) = \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (2.1)$$

➤ L'opérateur OU:

En général, l'opérateur OU est réalisé par la formation du maximum des deux fonctions d'appartenance :

$$\mu_C(z) = \mu_{A \text{ ou } B}(z) = \max(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (2.2)$$

Cet opérateur est commutatif, associatif, admet 1 comme élément absorbant et 0 comme élément neutre.

➤ L'opérateur NON:

Il est caractérisé en logique floue par la fonction :

$$\mu_C(z) = \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3.3)$$

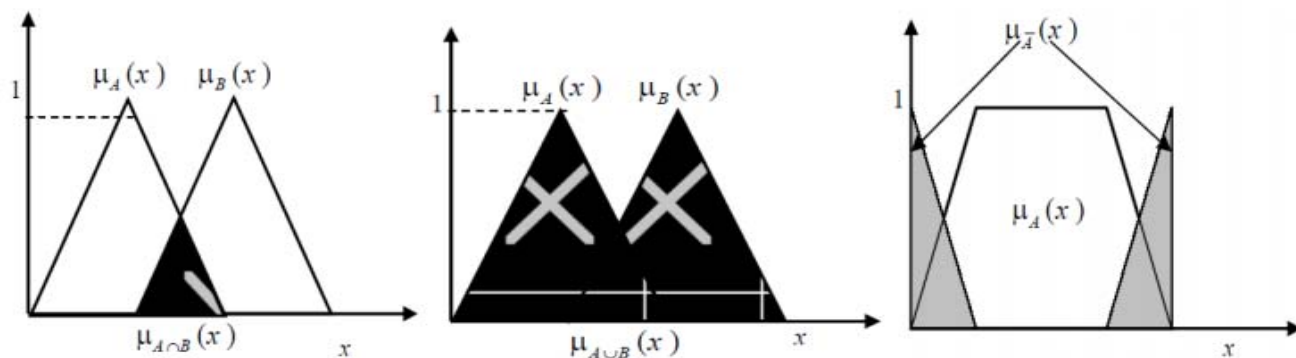


Figure 2.1 L'opérateur ET, OU, NON.

2.2.8 La structure d'une commande par la logique floue :

Il existe trois modules pour un régulateur à logique floue [29] :

- La fuzzification des entrées et sorties.
- L'inférence floue selon une base de règle.
- La défuzzification des sorties.

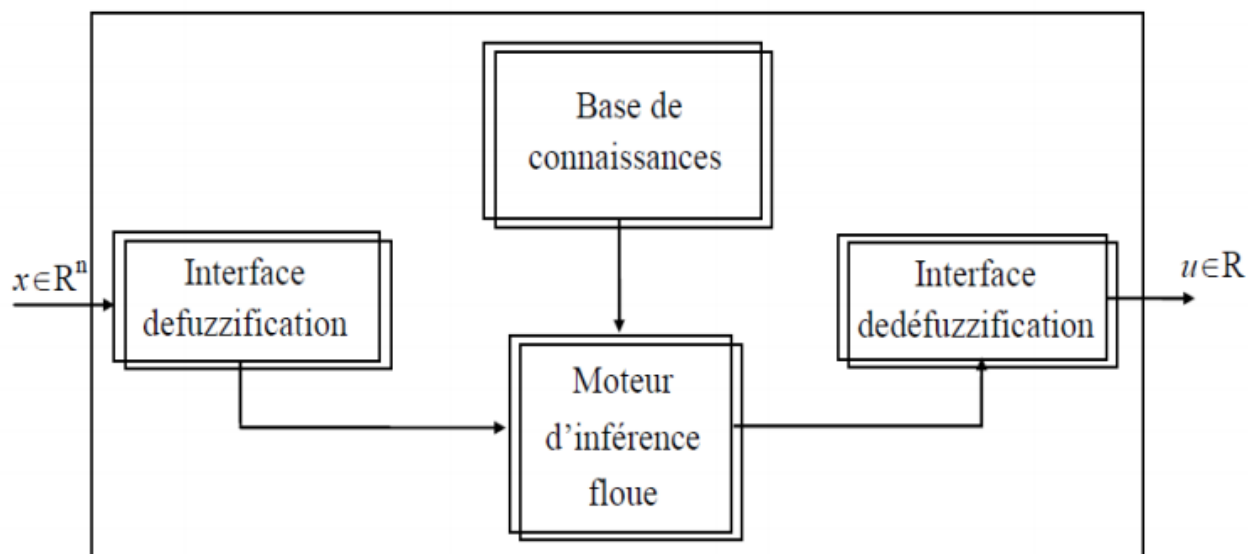


Figure 2.2 Structure de base d'un régulateur floue

a) Interface de fuzzification

La fuzzification est le premier traitement qui entre en compte dans la structure d'un système floue. Elle consiste à donner un degré d'appartenance à une valeur réelle d'entrée en fonction des ensembles flous. Dans un système floue, il faut rendre flous (fuzzifier) les entrées et les sorties du système. Pour le système floue, la fuzzification des variables est une étape importante du processus

de mise en œuvre. Les caractéristiques de cette étape sont habituellement déterminées par des experts ou des opérateurs qualifiés travaillant sur le processus et recourant le plus souvent à leurs connaissances. De plus, les performances du système flou seront influencées par la fuzzification (Flaus, 1994). Les étapes de la fuzzification consistent à

- ✓ Etablir les variables linguistiques ;
- ✓ Etablir les quantificateurs flous (nombre de valeurs linguistiques) ;
- ✓ Attribuer une signification numérique à chaque quantificateur flou : Fonction d'appartenance [7].

Il existe deux types de fuzzification généralement utilisés à savoir [23] :

• Fuzzification par singleton

Cette démarche est utilisée lorsque la valeur fournie par le capteur est supposée précise

• Fuzzification non singleton

Dans cette démarche, on considère que le capteur peut engendrer une erreur de la mesure ou être exposé à un bruit.

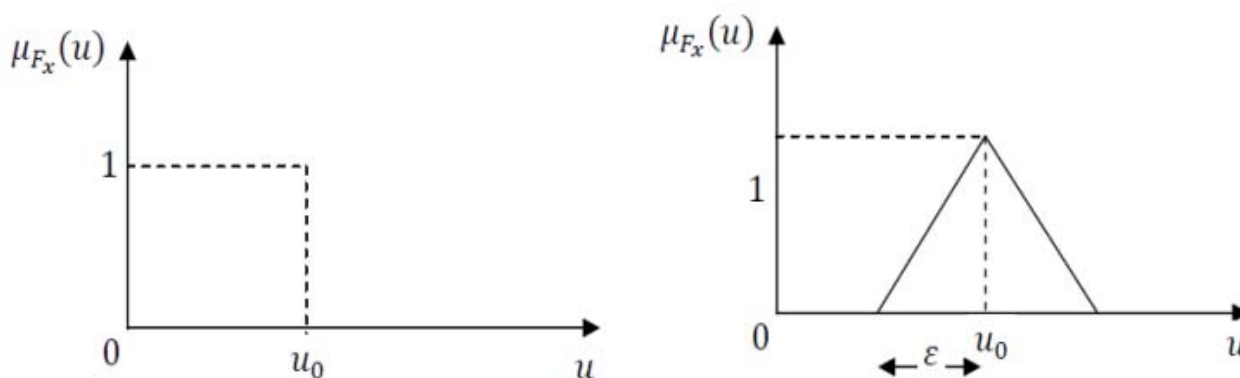


Figure 2.3 Représentation schématique représente la différence entre singleton

b) Base de règles

La base de règles floues, ou base de connaissances, contient des règles floues décrivant le comportement du système, elle est le cœur du système entier dans le sens où tous les autres composants sont utilisés pour interpréter et combiner ces règles afin de former le système final. Ces règles peuvent être fournies par un expert ou peuvent être extraites de données numériques. Dans les deux cas, les règles prennent la forme « SI prémisse ALORS conclusion », à titre d'exemple :

- Modèle de Mamdani :

R^i : Si x_1 est F_1^i et x_2 est F_2^i et ... x_n est F_n^i Alors y_j est G_j

- Modèle de Takagi Sugeno :

R^i : Si x_1 est F_1^i et x_2 est F_2^i et ... x_n est F_n^i Alors $y_i = a_0^i + a_1^i x_1 + \dots + a_n^i x_n$

Où : $i = 1 \dots m$.

- m est le nombre total des règles.
- F_1, F_2, \dots, F_n sont les ensembles flous (valeurs linguistique) des entrées (x_1, x_2, \dots, x_n)
- G_j est l'ensemble flou correspondant à la sortie y_j
- les $a_0^i, a_1^i, \dots, a_n^i$ sont paramètres ajustables des conséquences de la règle R^i .

b.1) Moteur d'inférence

Le moteur d'inférence floue transforme, à l'aide des techniques de raisonnement flou, la partie floue issue de la fuzzification en une nouvelle partie floue afin de définir l'ensemble flou caractérisant la commande. En fait, le mécanisme d'inférence combine les règles floues pour effectuer une transformation à partir des ensembles flous dans l'espace d'entrée vers des ensembles flous dans l'espace de sortie. Il existe plusieurs méthodes d'inférence utilisées dans la littérature, parmi elles, on cite :

➤ Méthode d'inférence max-min (méthode de Mamdani)

La méthode d'inférence max-min est réalisée, au niveau de la condition l'opérateur « ET » par la formulation du minimum. La conclusion dans chaque règle, introduite par « ALORS », lie le facteur d'appartenance de la prémisse avec la fonction d'appartenance de la variable de sortie est réalisé par la formation du minimum. Enfin l'opérateur « OU » qui lie les différentes règles est réalisé par la formation du maximum [12].

➤ Méthode d'inférence max-produit (méthode de Larsen)

La méthode d'inférence max-produit est réalisée, au niveau de la condition, l'opérateur « ET » par la formation du produit. La condition dans chaque règle, introduite par « ALORS » est réalisée par la formation du produit. L'opérateur « OU », qui lie les différentes règles, est réalisé par la formation du maximum [12], [13].

➤ Méthode de Sugeno

L'opérateur « ET » est réalisé par la formation du minimum, la conclusion de chaque règle floue a une forme polynomiale. La sortie est égale à la moyenne pondérée de la sortie de chaque règle

floue.

c) Interface de défuzzification

La dernière étape, mais non la moindre, est la défuzzification. Le système d'inférence fournit une sortie floue par l'évaluation des règles à la suite d'une ou plusieurs entrées réelles. Se pose alors le problème de lui donner une représentation floue approximative ou une valeur précise, c'est la défuzzification. La défuzzification est généralement l'une des tâches les plus gourmandes en temps d'opération du traitement flou. Il existe de nombreuses méthodes de défuzzification, mais seulement quatre sont pratiquées. Les méthodes les plus couramment utilisées sont [14] :

➤ Méthode du maxima

Dans ce cas le défuzzificateur représente la valeur maximale de la fonction d'appartenance résultante issue de l'inférence. Cependant, cette méthode représente des inconvénients lorsqu'il y a plusieurs valeurs pour lesquelles la fonction d'appartenance résultante est maximale.

➤ Méthode de la moyenne des maximas

Le défuzzificateur examine l'ensemble flou qui détermine les valeurs pour lesquelles la fonction d'appartenance est maximale, ensuite se fait le calcul de la moyenne des ces valeurs comme résultat de défuzzification.

➤ Méthode du centre de gravité

Le défuzzificateur détermine le centre de gravité y et utilise cette valeur comme sortie du système flou. Ceci est donné par :

$$y = \frac{\int y \mu(y) dy}{\int \mu(y) dy}$$

➤ Méthode des hauteurs pondérées

Le défuzzificateur d'abord évalue $\mu_{B^k}(y)$ en \bar{y}^k et calcul ensuite la sortie du système flou par :

$$y = \frac{\sum_{K=1}^M \mu_{B^k}(\bar{y}) \bar{y}^k}{\sum_{K=1}^M \mu_{B^k}(\bar{y})}$$

Où : \bar{y}^k dénote le centre de gravité de l'ensemble flou B^k

L'équation ci-dessus est facile à utiliser. Cependant, son inconvénient réside dans le fait qu'elle n'utilise pas la forme entière de la fonction d'appartenance. Elle n'utilise que le centre y^k du support de la fonction d'appartenance de la conclusion, et ceci sans tenir compte du fait que la fonction d'appartenance soit étroite ou large.

2.2.9 Fonction d'appartenance

Il s'agit d'établir une relation entre le degré de vérité de la variable floue et la grandeur d'entrée correspondante, les sous-ensembles flous sont ceux caractérisés par une fonction d'appartenance notée $\mu_A(x)$ définie sur $[0,1]$.

Les fonctions d'appartenance les plus utilisées sont représentées dans le tableau suivant [29] [30] :

Fonction	Forme algébrique	Forme graphique
Fonction triangulaire	$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x < b \\ \frac{d-x}{d-c} & b \leq x < c \\ 0 & x > c \end{cases}$	
Fonction trapézoïdale	$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x < c \\ \frac{d-x}{d-c} & c \leq x < d \\ 0 & x > d \end{cases}$	
Fonction gaussien	$\mu_A(x) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)^2\right)$	
Fonction singleton	$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & x = a \\ 0 & x \neq a \end{cases}$	

Tableau 2.1 Fonctions d'appartenance de la logique floue type-1.

2.3 La logique floue type-2

2.3.1 Introduction

Le concept des ensembles flous de type-2 a été introduit par Zadeh [20] comme extension du concept des ensembles flous ordinaires dits ensembles flous type-1. Un ensemble flou type2 est caractérisé par une fonction d'appartenance, c.-à-d. la valeur d'appartenance de chaque élément de l'ensemble est un nombre flou dans l'intervalle $[0,1]$. Les ensembles flous type-2 peuvent être utilisés dans des situations où l'incertitude est présente (par exemple l'incertitude sur la forme des fonctions d'appartenance) [21]

Cette partie sera consacrée à la présentation des principes de base et le fondement théorique de la théorie de la logique floue type-2

2.3.2 Concept de base

2.3.2.1 Les ensembles flous type-2

Définition 1

Un ensemble flou type-2, noté \bar{A} est caractérisé par une fonction d'appartenance tridimensionnelle,

$\mu_{\bar{A}}(x, u)$, c.-à-d.:

$$\bar{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \mu_{\bar{A}}(x, u) / (x, u) \quad J_x \subseteq [0,1]$$

(2.4)

Avec \iint dénote l'union de tous les éléments du produit cartésien sur x et u . $0 \leq \mu_{\bar{A}}(x, u) \leq 1$

À chaque point fixe x de X , J_x est l'appartenance primaire de x et x est appelé variable primaire.

Définition 2

A chaque valeur de x , notée $x = x'$, le plan dimensionnel dont les axes sont u et $\mu_{\bar{A}}(x', u)$ est appelé tranche verticale (vertical slice) de $\mu_{\bar{A}}(x, u)$. Une fonction d'appartenance secondaire est une tranche verticale de $\mu_{\bar{A}}(x, u)$.

Donc pour $x' \in X$ et $\forall u \in J_{x'} \subseteq [0, 1]$ on a

$$\mu_{\bar{A}}(x = x', u) = \mu_{\tilde{A}}(x') = f_{x'}(u) / u J_x \subseteq [0,1] \quad (2.4)$$

Avec $0 \leq f_{x'}(u) \leq 1$.

Puisque $\forall x'$, ce x' va appartenir à X , c.-à-d. $x' \in X$, alors nous notons la fonction d'appartenance secondaire par $\mu_{\tilde{A}}(x)$ qui est une fonction d'appartenance floue type 1.

En se basant sur le concept des ensembles secondaires, on peut réinterpréter un ensemble flou type-2 comme l'union de tous les ensembles secondaires, c.à.d. en utilisant l'équation (2.4). [21]
[14]

On peut écrire \tilde{A} sous la forme suivante :

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) / \forall x \in X\}$$

Où comme : $\tilde{A} = \int_{x \in X} \mu_{\tilde{A}}(x) / x = \int_{x \in X} [\int_{u \in J_x} f_x(u) / u] / x \quad J_x \subseteq [0, 1]$

Définition 3

Le domaine de la fonction d'appartenance secondaire est appelé appartenance primaire de x noté J_x telle que $J_x \subseteq [0, 1] \quad \forall x \in X$

Définition 4

L'amplitude de la fonction d'appartenance secondaire est appelée degré d'appartenance secondaire notée $f_x(u)$.

Définition 5

Un ensemble flou type-2 intervalle est un ensemble flou type-2 dont toutes les fonctions d'appartenance secondaires sont des ensembles type-1 de formes intervalles, c.à.d : [5]

$$f_x(u) = 1, \quad \forall u \in J_x \subseteq [0, 1], \quad \forall x \in X \quad (2.5)$$

Les ensembles flous type-2 intervalle reflètent l'uniformité de l'incertitude au niveau de la fonction d'appartenance primaire, ce type de fonctions d'appartenance est le plus souvent utilisé dans les systèmes flous type-2. Notons que ce type de fonctions d'appartenance est représenté seulement par ses domaines (intervalles), qui peuvent être exprimés en termes de bornes de gauches et de droites $[l, r]$ ou par leurs centres et largeurs $[c - s, c + s]$

où $c = (l + r) / 2$ et $s = (r - l) / 2$

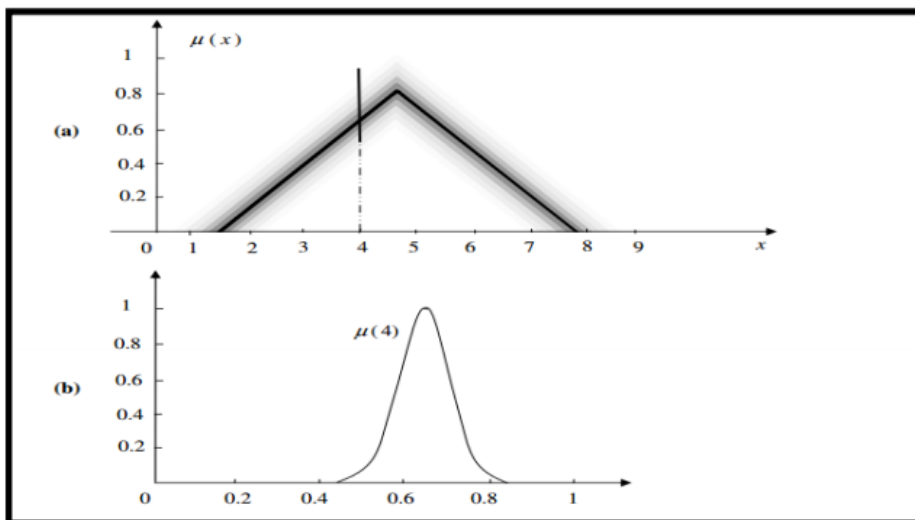


Figure 2.4 Représentation schématique d'un ensemble flou type-2 gaussien.

Définition 6

Supposons que chaque fonction d'appartenance secondaire d'un ensemble flou type 2 possède un seul degré d'appartenance unitaire. On définit alors une fonction d'appartenance principale comme l'union de tous ces points : [5] [15]

$$M_{principale}(x) = \int_{x \in X} u / x \text{ où } f_x(u) = 1 \tag{2.6}$$

Pour un ensemble flou type-2 intervalle, nous définissons la fonction d'appartenance principale comme étant l'union de toutes les valeurs d'appartenance moyennes de la fonction d'appartenance primaire.

Notons que lorsque l'incertitude des fonctions d'appartenance disparaît, la fonction d'appartenance d'un ensemble flou type-2 se réduit à la fonction d'appartenance principale.

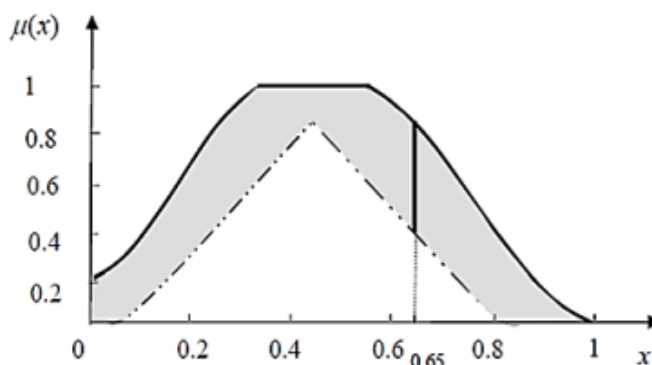


Figure 2.5 Représentation schématique d'un ensemble flou type-2 intervalle

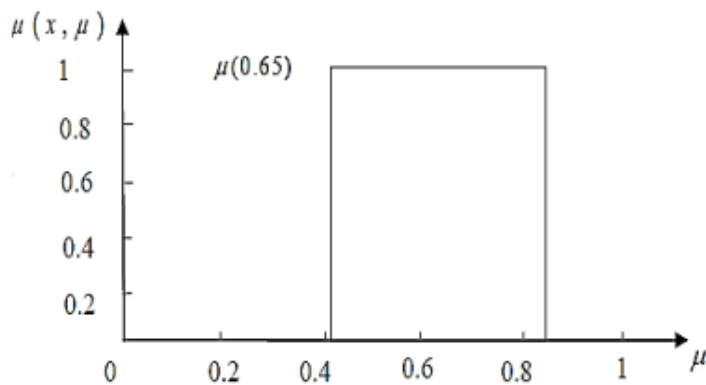


Figure 2.6 Représentation schématique des appartenances secondaires

On remarque que les appartenances secondaires sont des ensembles flous intervalle type-1.

Définition 7

L’incertitude dans un ensemble flou type-2 \tilde{A} est représentée par une région bornée appelée « Footprint Of Uncertainty » FOU. C’est l’union de toutes les appartenances primaires : [17] [18]

$$FOU(\tilde{A}) = \cup_{x \in X} J_x \quad (3.8)$$

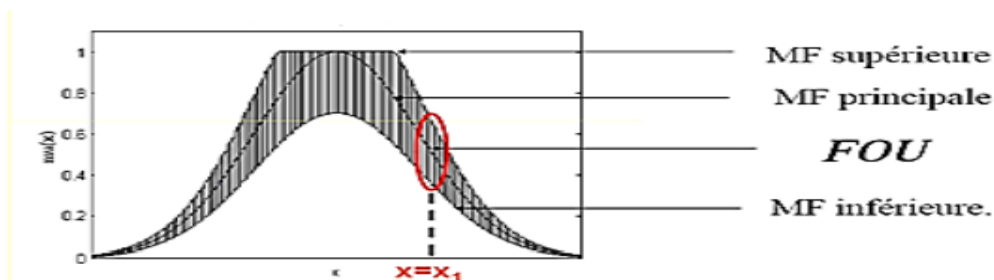


Figure 2.7 La région de l’incertitude

Définition 8

La fonction d’appartenance supérieure et la fonction d’appartenance inférieure sont des fonctions d’appartenance de type-1 et sont les frontières du FOU d’un ensemble flou \tilde{A} type-2. La fonction d’appartenance supérieure sera notée par $\overline{\mu_{\tilde{A}}(x)}$, et la fonction d’appartenance inférieure sera notée par $\underline{\mu_{\tilde{A}}(x)} \forall x \in X$, alors nous avons :[19]

$$\overline{U\tilde{A}(x)} = \overline{FOU(\tilde{A})} \quad (2.7)$$

$$\underline{U\tilde{A}(x)} = \underline{FOU(\tilde{A})} \quad (2.8)$$

2.3.3 Différents types d'ensembles flous type-2

➤ Ensemble flou type-2 gaussien :

Le degré d'appartenance de chaque point est un ensemble flou type-1 gaussien dont le domaine de définition est inclus dans l'intervalle [0,1].

➤ Ensemble flou type-2 « triangulaire » :

Le degré d'appartenance de chaque point est un ensemble flou type-1 triangulaire dont le domaine de définition est inclus dans l'intervalle [0, 1].

➤ Ensemble flou type-2 « intervalle » :

ensemble ordinaire dont le domaine de définition est inclus dans l'intervalle [0, 1]. Dans ce cas, les appartenances secondaires sont égales à 1.

Les fonctions d'appartenance les plus utilisées sont représentées dans le tableau suivant :

Fonction	Forme algébrique	Forme graphique
Fonction triangulaire	$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x < c \\ 0 & x > c \end{cases}$ $\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & x < (a + \alpha) \\ (1 - \alpha) \frac{x - (a + \alpha)}{b - (a + \alpha)} & (a + \alpha) \leq x < b \\ (1 - \alpha) \frac{x - (a + \alpha)}{b - (a + \alpha)} & b \leq x \leq (c - \alpha) \\ 0 & x > (c - \alpha) \end{cases}$	
Fonction trapézoïdale	$\overline{\mu_A(x,u)} = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x < c \\ \frac{d-x}{d-c} & c \leq x < d \\ 0 & x > d \end{cases}$ $\mu_{\tilde{A}}(x,u) = \begin{cases} 0 & x < (a + \alpha) \\ (1 - \alpha) \frac{x - (a + \alpha)}{b - (a + \alpha)} & (a + \alpha) \leq x < b \\ (1 - \alpha) \frac{(d - a) - x}{(d - a) - c} & b \leq x \leq (d - \alpha) \\ 0 & x > (d - \alpha) \end{cases}$	

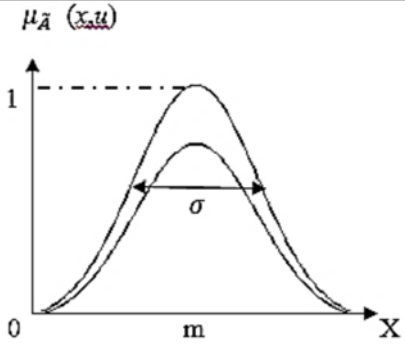
Fonction gaussien	$\overline{\mu A(x, u)} = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)^2\right)$ $\overline{\mu A(x, u)} = (1 - a)\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)^2\right)$	
-------------------	--	---

Tableau 2.2 fonctions d'appartenance type 2.

2.3.4 Opérations sur les ensembles flous type-2

Les degrés d'appartenance des ensembles flous type-2 sont des ensembles type-1 ; par conséquent, pour effectuer des opérations telles que l'union et l'intersection sur les ensembles type-2, nous devons faire appel aux opérations t-conorm et t-norm sur des ensembles de type-1. Cela est réalisable en. Cela est réalisable en utilisant le principe d'extension de Zadeh [15] Une opération " * " entre deux nombres ordinaires peut être étendue à deux ensembles type-1 :

$$F = \int_v f(v)/v \quad (2.9)$$

$$G = \int_w g(w)/w \quad (2.10)$$

De la façon suivante :

$$F * G = \int_v \int_w [f(v) \bullet g(w)] / v * w \quad (2.11)$$

Où le symbole "•" représente l'opération T-norme utilisée, généralement c'est une opération de produit ou de minimum. L'extension de la T-conorme aux ensembles flous de type-1 est donnée par :

$$F \cap G = \int_v \int_w [f(v) \bullet g(w)] / v \vee w \quad (2.12)$$

Similairement, l'extension de la T-norme aux ensembles de type-1 sera donnée par :

$$F \cap G = \int_v \int_w [f(v) \bullet g(w)] / v \wedge w \quad (2.13)$$

La complémentation est donnée par :

$$\bar{F} = -F = \int_v \int_w [f(v) \bullet g(w)] / v \wedge w \quad (2.14)$$

Les opérations d'union " join", d'intersection "meet", et de complémentation sont notées : \cup , \cap , et \neg respectivement.

2.3.5 Systèmes et contrôleurs flous type-2

Il existe quatre modules pour un régulateur à logique floue :

1. La fuzzification des entrées et sorties.
2. L'inférence floue selon une base de règle.
3. La réduction de type.
4. La défuzzification des sorties.

L'architecture d'un contrôleur flou est donnée par le schéma suivant :

2.3.6 Commande par logique floue type-2

Cette partie est consacrée à l'application de la logique floue type-2 à la commande de vitesse de la machine asynchrone. Il s'agit d'une poursuite d'un profil de vitesse d'une non linéarité forte, ce qui nous oblige à la commander à l'aide d'un régulateur non-linéaire tel que le régulateur par logique floue (RLF) afin d'obtenir un système de commande de haute performance.

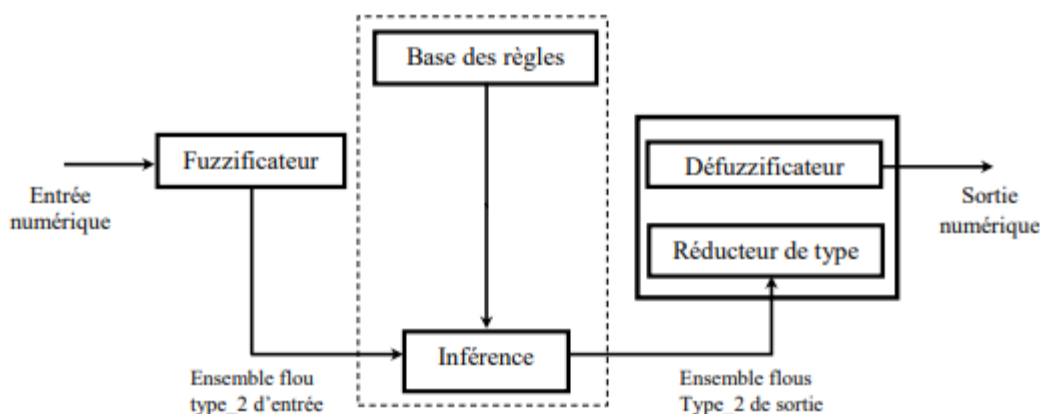


Figure 2.8 Schéma synoptique d'un contrôleur flou type-2

Les systèmes flous type-2 sont dotés d'un nouveau module appelé réducteur de type, permettant de réduire des ensembles flous de type-2 à des ensembles flous de type-1.

A. Fuzzification

L'interface de fuzzification fait correspondre à l'entrée déterministe un ensemble flou qui peut être généralement un EFT-2. Cependant, dans ce qui suit, nous utilisons seulement une fuzzification par singleton pour laquelle l'ensemble flou d'entrée possède uniquement un seul degré d'appartenance non nul [24].

B. Mécanisme d'inférence

La différence entre le type-1 et le type-2 réside seulement dans la nature des fonctions d'appartenance, donc, la structure des règles dans le cas du type-2 va rester exactement la même, la seule différence étant que quelques (ou toutes) les fonctions d'appartenance seront de type-2.

Il n'est pas nécessaire que toutes les fonctions d'appartenance des prémisses et des conséquences soient de type-2. Il suffit qu'une seule fonction d'appartenance dans une prémisse ou dans une conséquence soit de type-2 pour que tout le système le soit aussi [25].

Dans un système flou type-2 intervalle, avec une t-norm min ou prod, l'intervalle d'activation

$F^l \in [\underline{F}^l \ \overline{F}^l]$ de la $i^{ième}$ regale est :

$$\underline{F}^l = \underline{\mu} \tilde{F}_1^l(x_1) * \underline{\mu} \tilde{F}_1^l(x_2) * \dots * \underline{\mu} \tilde{F}_2^l(x_2) \tag{2.15}$$

$$\overline{F}^l = \overline{\mu} \tilde{F}_1^l(x_1) * \overline{\mu} \tilde{F}_2^l(x_2) * \dots * \overline{\mu} \tilde{F}_2^l(x_2) \tag{2.16}$$

Ceci est clairement représenté sur la figure (3.3), où le nombre d'antécédents est $p = 2$.

Dans ce cas, le degré d'activation est un ensemble type-1 intervalle $[\underline{f}^l \ \overline{f}^l]$ ou :

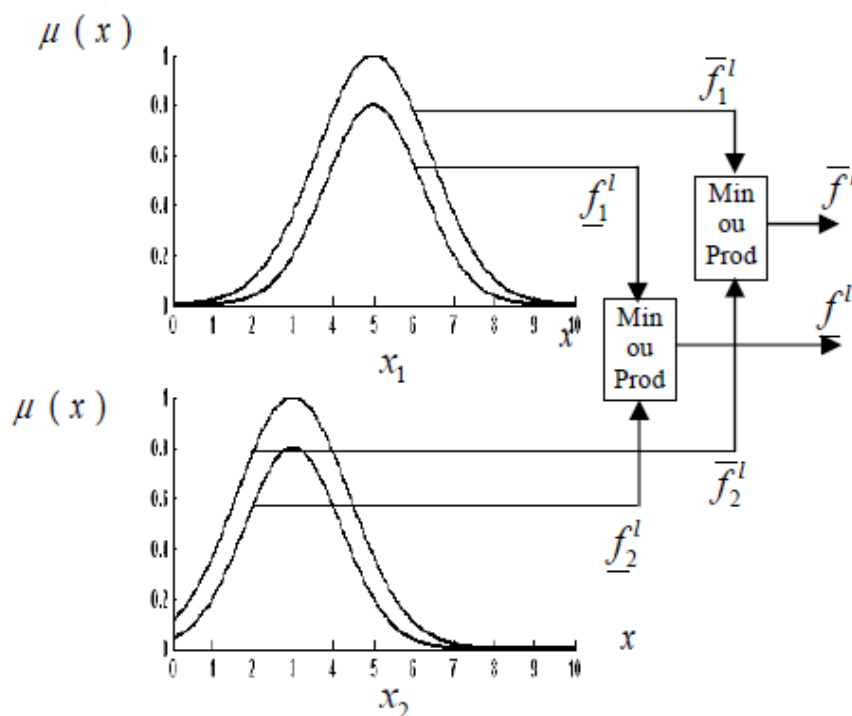


Figure 2.9 Opérations d'entrée d'un système flou type-2 avec fuzzification type gaussien

C. Module de traitement de la sortie

Le module de traitement de la sortie se compose de deux blocs, le réducteur de type et l'interface de défuzzification.

C.1 Réduction de type

Etant donné que la sortie du système d'inférence est un ensemble flou type-2, son type doit être réduit avant l'étape de défuzzification pour qu'on puisse l'utiliser afin de générer une sortie réelle. C'est la principale différence structurelle entre les systèmes flous type-1 et ceux de type-2. [26]

Parmi les méthodes de réduction de type utilisées on cite :

- La réduction de type par le centre de gravité
- La réduction de type par la hauteur.
- La réduction de type par le centre des ensembles.

C.2 Défuzzification

Pour obtenir une sortie ordinaire (non floue) du système flou type-2, nous devons défuzzifier l'ensemble de type réduit. Nous allons transformer l'ensemble flou type-2 en ensemble flou type-1 et la sortie soit [14] :

$$YCG = \frac{y_l + y_r}{2} \quad (2.17)$$

2.4 Conclusion

Dans ce chapitre plusieurs notions de base de la théorie de la logique floue type-1 sont présentées ainsi leur extension à la logique floue type-2 telle que, les propriétés des ensembles flous, les opérations sur ces ensembles, les relations floues et leur composition. La structure des systèmes flous type-1 et type-2 ainsi le fonctionnement de leurs différents blocs constituant sont détaillés. Le bloc de défuzzification dans le cas des systèmes flous type2 contient un module supplémentaire qui consiste en une réduction de type. Différentes méthodes de réalisation de cette réduction de type sont exposées.

3.1 Introduction

La commande adaptative est une approche où les paramètres du contrôleur sont ajustés on-line afin de maintenir les performances exigées en dépit des (imprévus) changements dans le processus. Elle consiste à identifier un processus et son environnement à partir de quelques mesures entrées-sorties, et d'utiliser ensuite le modèle obtenu pour concevoir la commande.

Le terme de 'système adaptatif' ou 'commande adaptative' a été utilisé depuis 1950, car les méthodes de commande non adaptative conventionnelle exigées que le modèle du système soit connu, et même les méthodes de commande existantes traitent les systèmes linéaires seulement.

Plusieurs méthodes de conception de la commande adaptative ont été introduites, qu'on peut les classer en deux classes principales, commande adaptative directe qui utilise les systèmes flous comme des régulateurs, et commande adaptative indirecte qui utilise les systèmes flous pour modéliser le processus.

Les systèmes adaptatifs flous ont l'avantage d'être utilisés malgré l'absence de modèle mathématique et les informations linguistiques données par l'expert sont incorporées directement par les règles floues dans le contrôleur.

Dans ce chapitre nous allons voir la manière de construire une commande adaptative floue indirecte, qui utilise une fois les systèmes flous type-1 pour approximer la dynamique des systèmes non linéaire inconnus, et une autre on remplace les systèmes flous type-1 par les systèmes flous type-2. Dans les deux cas les paramètres du contrôleur seront ajustés par une loi d'adaptation munie d'un algorithme de projection. La stabilité du système en boucle fermée est assurée par la synthèse de Lyapunov au sens que tous les signaux soient bornés, à la fin un exemple de simulation sera présenté, pour valider notre structure des deux commandes proposées, et réaliser une étude comparative entre ces deux commandes.

3.2 La commande adaptative

L'origine de la commande adaptative remonte aux années 1950. Les automaticiens se sont vite aperçus qu'un contrôleur avec les paramètres fixes n'était pas toujours capable d'assurer les performances escomptées, surtout quand les paramètres du système varient avec le temps. Une commande adaptative diffère donc d'une commande ordinaire du fait que ses paramètres sont variables et ajustés grâce à un mécanisme qui agit en temps réel en se basant sur l'état du processus commandé. Une commande adaptative peut être conçue selon deux approches différentes. L'une appelée auto réglable et l'autre modèle de référence. Les auteurs Yu et Kuo (1996) utilisent la commande adaptative indirecte pour la

commande en vitesse d'un moteur hydraulique la méthode de moindres carrés est utilisée pour identifier les paramètres du procédé et les résultats obtenus en simulation nous montre que c'est une commande assez stable et robuste. [31]

Les auteurs Yun et Cho (1988) ont utilisé la commande adaptative directe basée sur la méthode de Lyapunov pour la commande en vitesse d'un vérin hydraulique linéaire avec perturbation extérieure inconnue. Les résultats obtenus en simulation ont révélé la robustesse de cette commande.

3.3 Concept de commande adaptative

Dans plusieurs cas de la théorie de commande, le système à contrôler possède des paramètres incertains au début de l'opération de commande. Malgré que cette incertitude paramétrique disparaisse en temps réel par un certain mécanisme d'ajustement, elle peut causer une incertitude ou une instabilité du système de commande. Dans d'autres cas, un phénomène inverse se produit, où on démarre avec des paramètres connus et certains, mais au cours de fonctionnement, ces paramètres perdent leurs valeurs et deviennent incertains. Donc sans une préconception continue du régulateur, le régulateur initial s'avère inefficace. Généralement, l'objectif principal de la commande adaptative est de maintenir des performances désirées d'un système en présence d'incertitudes ou variation paramétrique du procédé.

Un régulateur adaptatif diffère d'un régulateur ordinaire dans le fait que les paramètres du premier sont variables et qu'il existe un certain mécanisme d'ajustement de ces paramètres. Dans le présent travail nous allons utiliser la commande adaptative à modèle de référence (MRAC) [31-34].

3.4 Objectif de la commande

L'objectif de notre commande est de forcer la sortie du système y à suivre un signal de référence borné bien déterminé $y_m(t)$, sous la contrainte que tous les signaux impliqués soient bornés. Pour cela on détermine une commande par retour d'état $u=(u/\theta)$ et une loi d'adaptation pour ajuster le vecteur de paramètres tel que les conditions suivantes soient satisfaites :

- Le système en boucle fermée doit être stable et robuste dans le sens où toutes les variables estimées soient uniformément bornées.
- L'erreur de poursuite, $e=y_m-y$ doit être la plus petite possible sous les contraintes définies dans (i).

3.5 Régulateur PID

3.5.1 Introduction

Le régulateur PID peut être le plus généralement utilisé dans système de contrôle en boucle fermée, les trois parties du régulateur PID agissent comme suit :

Partie proportionnel pour réduit les perturbations dans la réponse d'erreur du système, partie intégrale pour éliminer l'erreur en régime permanent, et la Réponse dynamique avec La stabilité du système peut être atténuée et améliorâtes grâce à la partie d'intégration.

Les performances du système sont affectées par les paramètres PID (K_p , K_i et K_d), le problème dans le régulateur PID est le choix de ses paramètres cela le rend apte à contrôler, le paramètre proportionnel réduira le temps de montée du système, le paramètre intégral réduira l'erreur en régime permanent et là le paramètre dérivé réduira le temps de stabilisation et le dépassement.

3.5.2 Principe de la commande PID

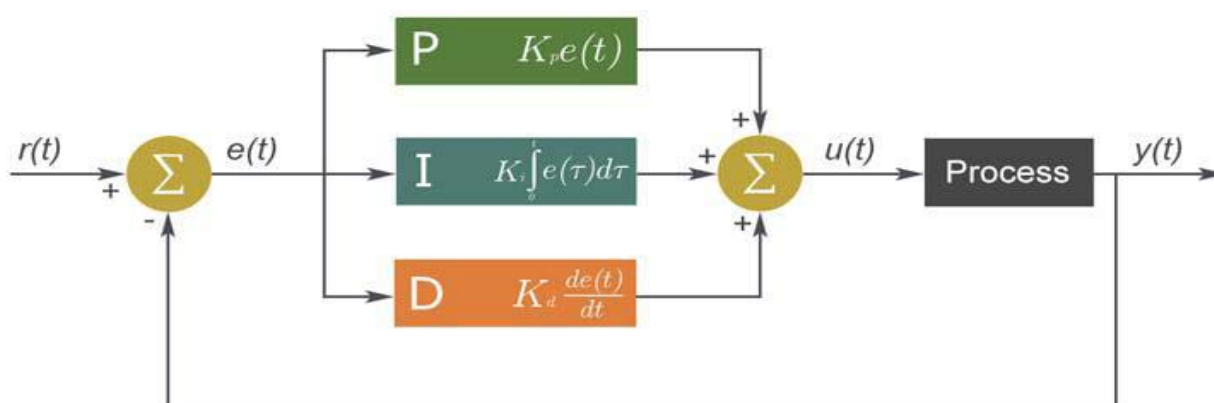


Figure 3.1 Schéma block de régulateur PID

P: action proportionnelle à l'erreur de réglage (la plus naturelle)

I: action par intégration ; permet d'annuler l'erreur statique (pour une référence constante) ; dégrade généralement la réponse transitoire

D: action dérivée permet d'améliorer la réponse transitoire grâce à l'effet d'anticipation [31]

3.6 Application de la commande par PID de CE105

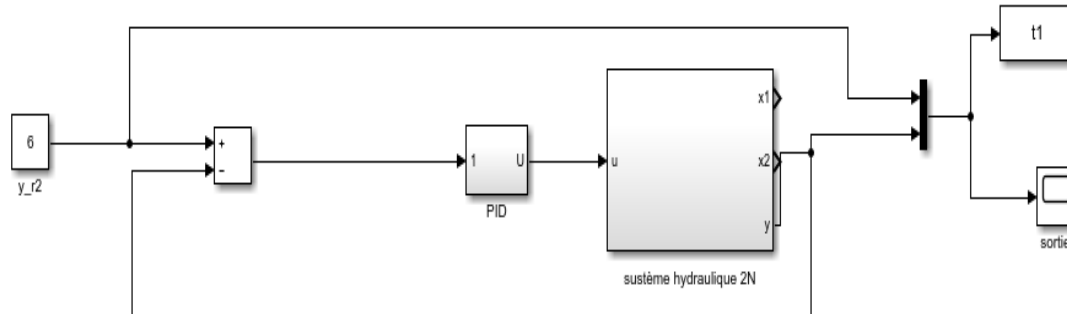
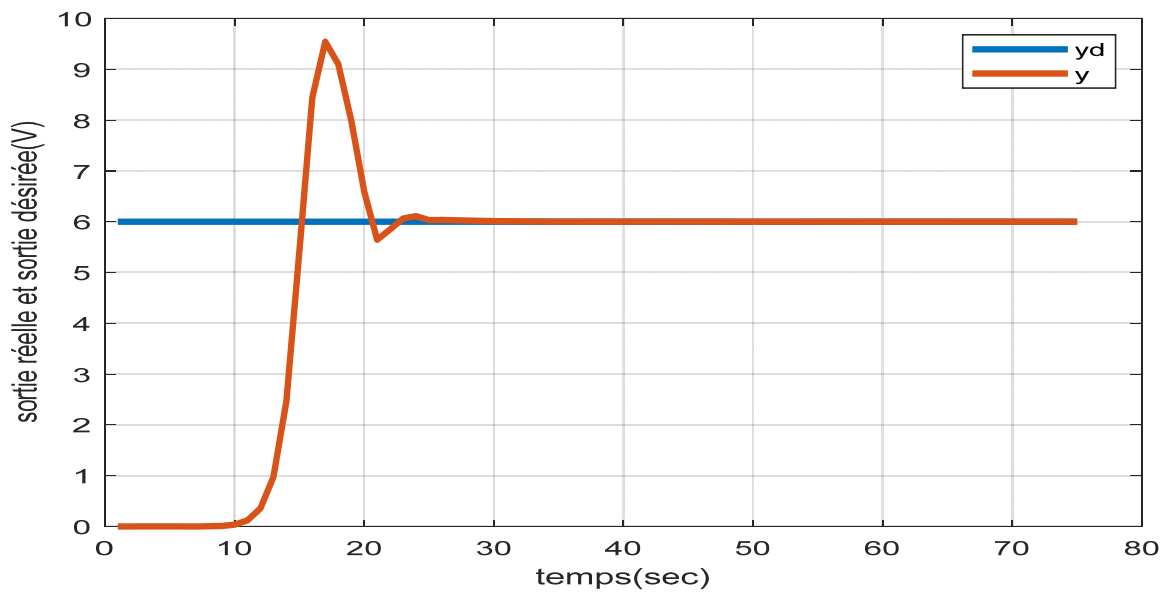
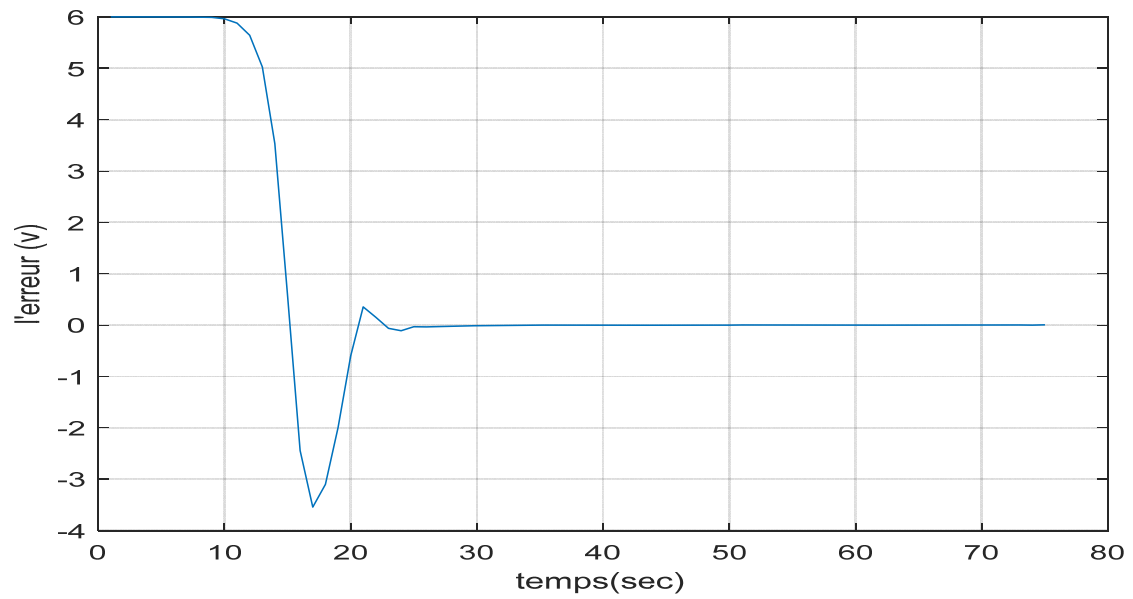


Figure3.2 Schéma bloc de contrôleur PID appliquée au système hydraulique CE105.

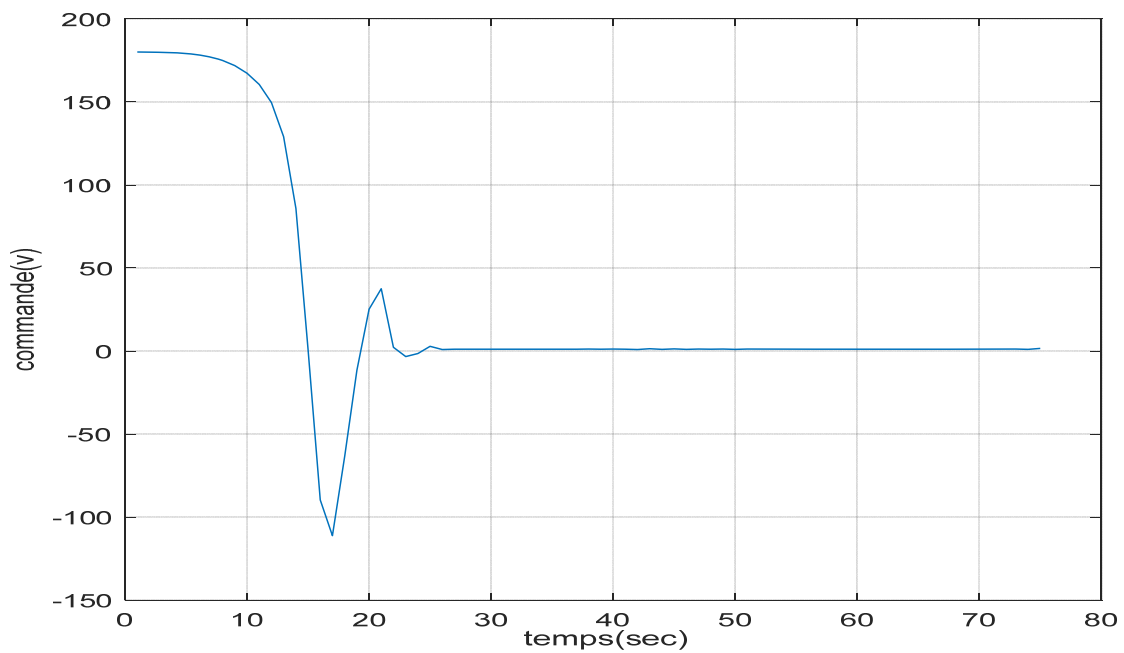
3.7 Résultats de simulations du la commande par PID de CE105



a): la sortie.

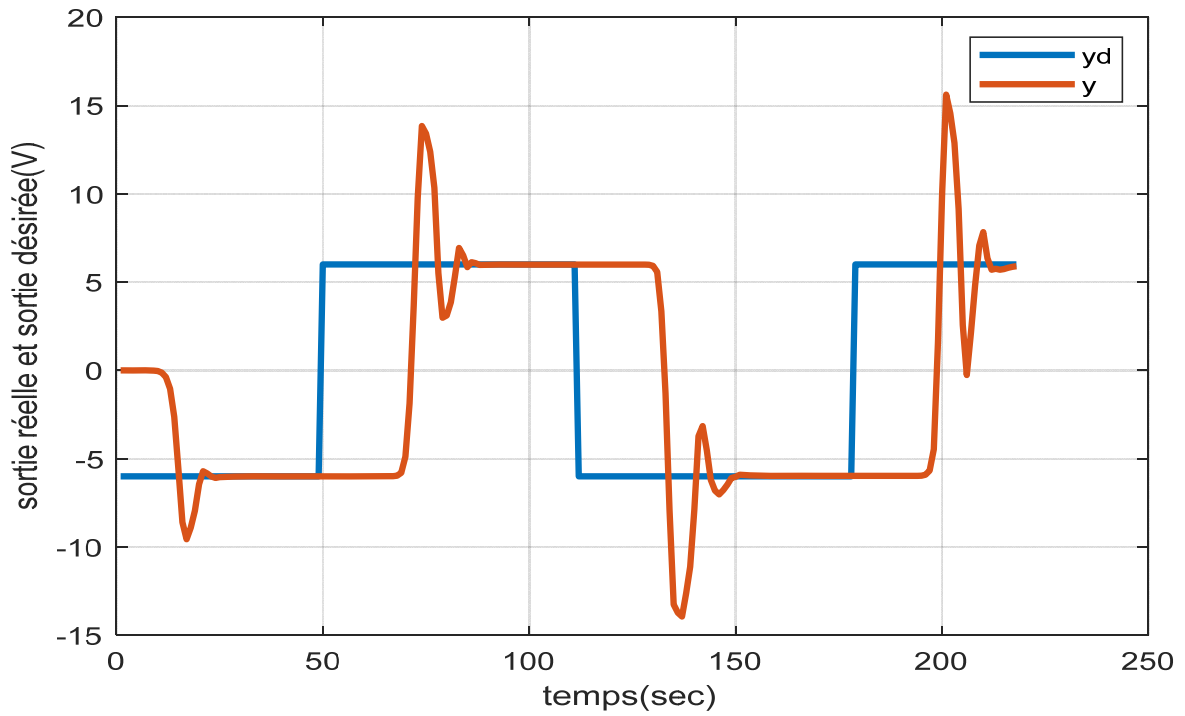


b):l'erreur

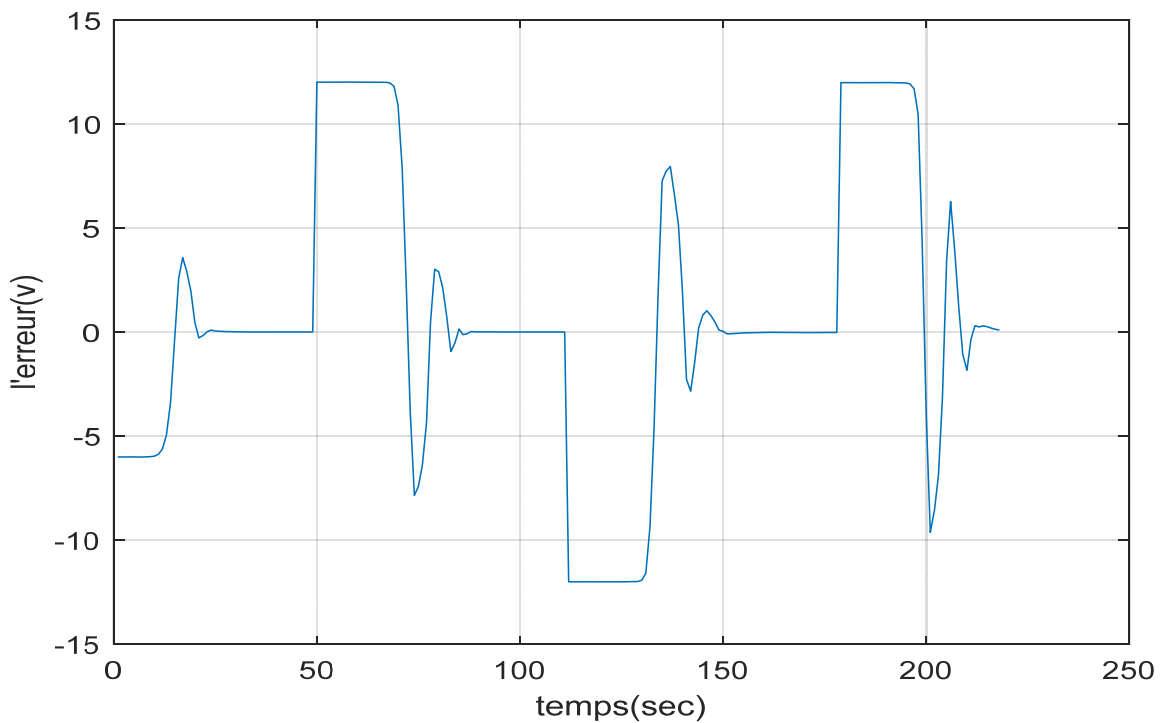


c): la commande.

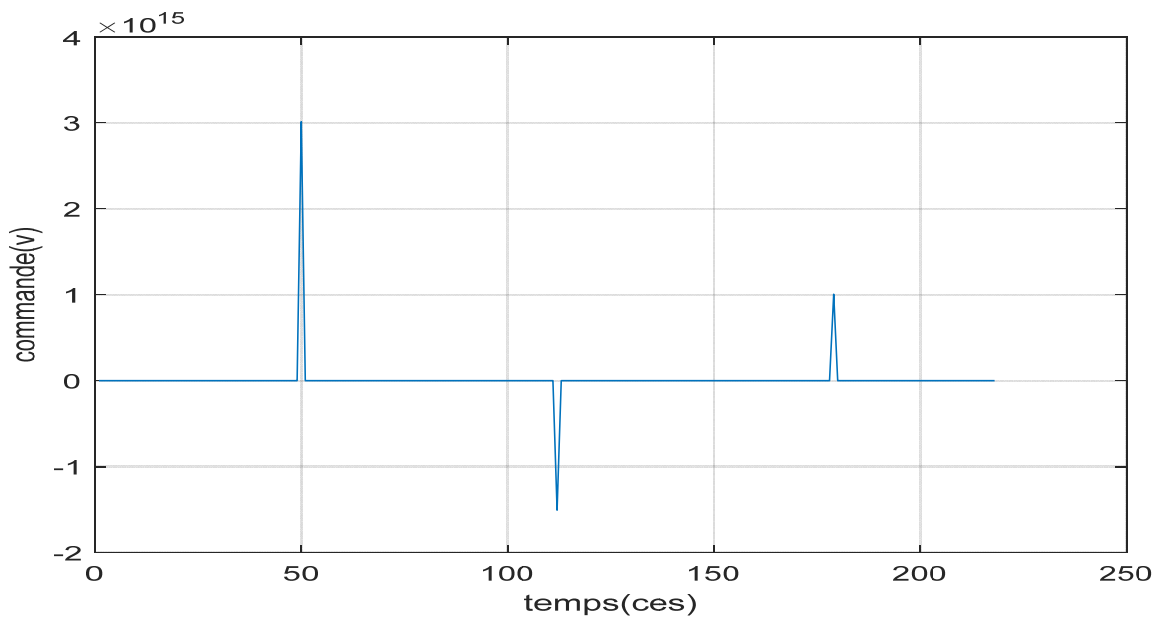
Figure 3.3 résultats de simulation de la commande par contrôleur PID, pour une entrée échelon



a): la sortie.



b): l'erreur



c):la commande

Figure 3.4 résultats de simulation de la commande par contrôleur PID, pour une entrée carrée

3.8 Application de la commande adaptative floue type 2 de CE105

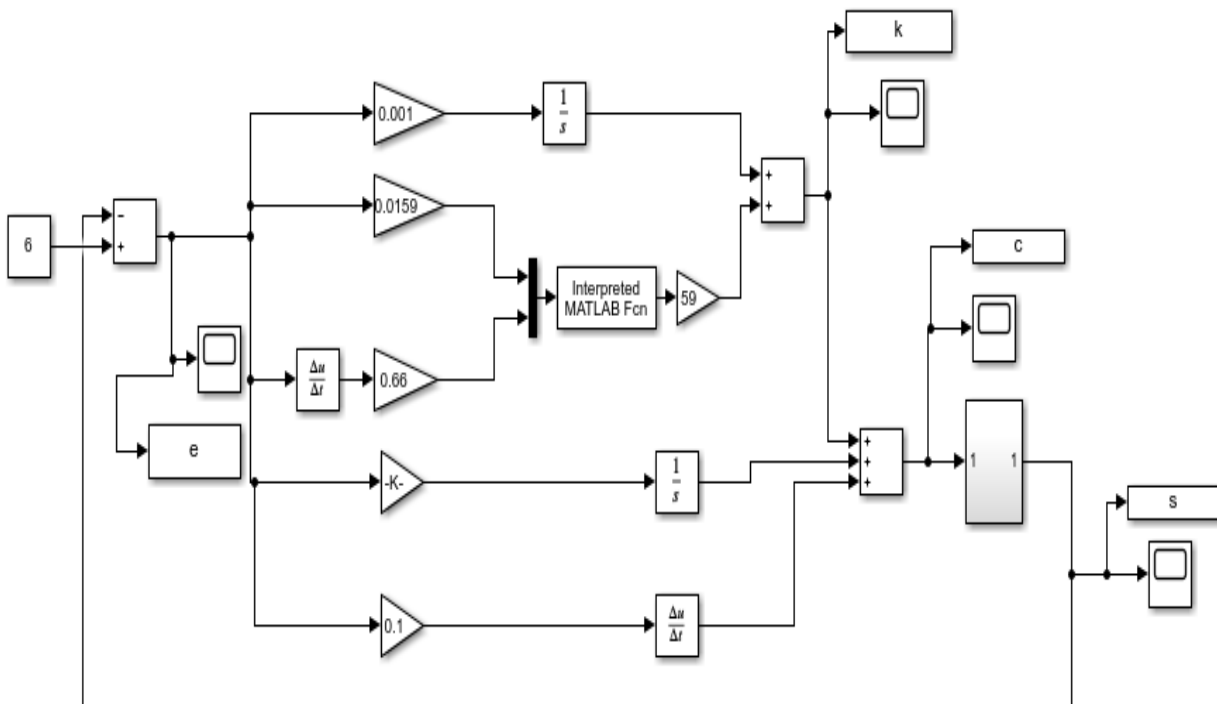


Figure 3.5 Schéma bloc de la commande adaptative floue type 2 appliquée au système hydraulique CE105.

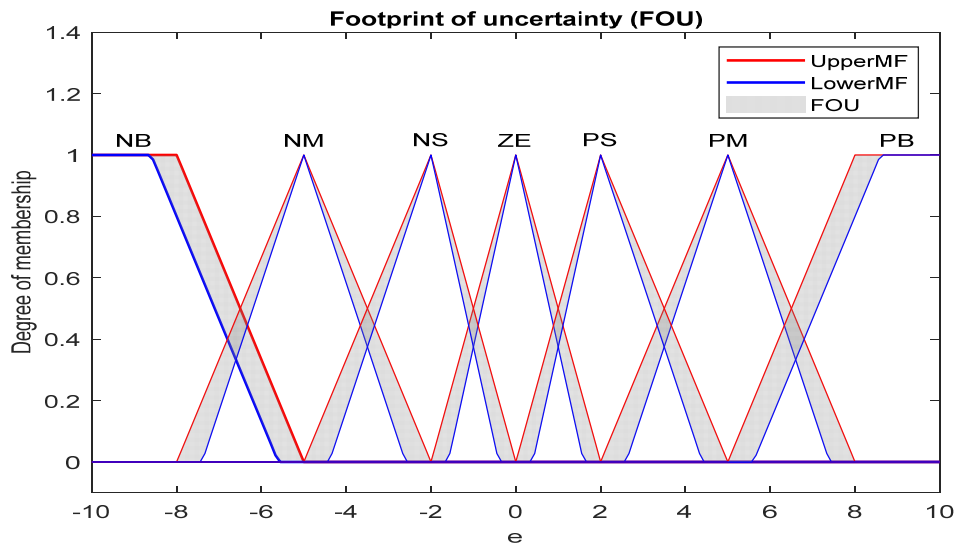


Figure 4.6 fonction d'appartenance de l'erreur

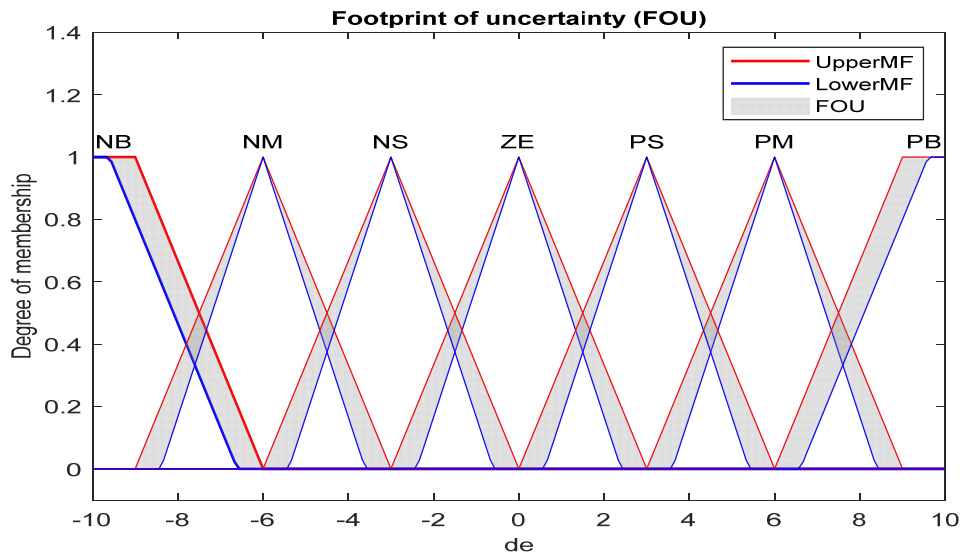


Figure 4.7 fonction d'appartenance de la dérivée de l'erreur

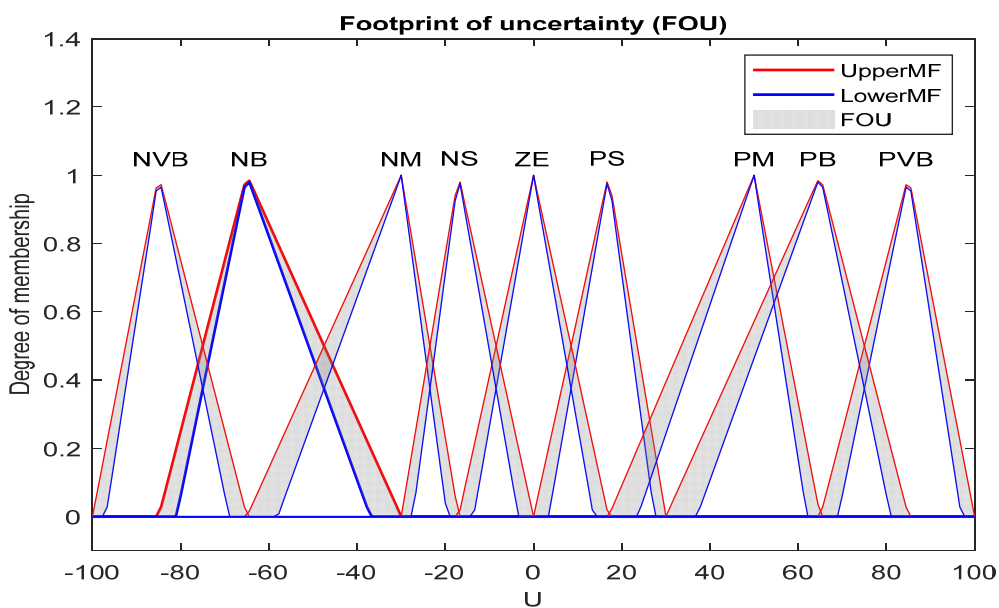
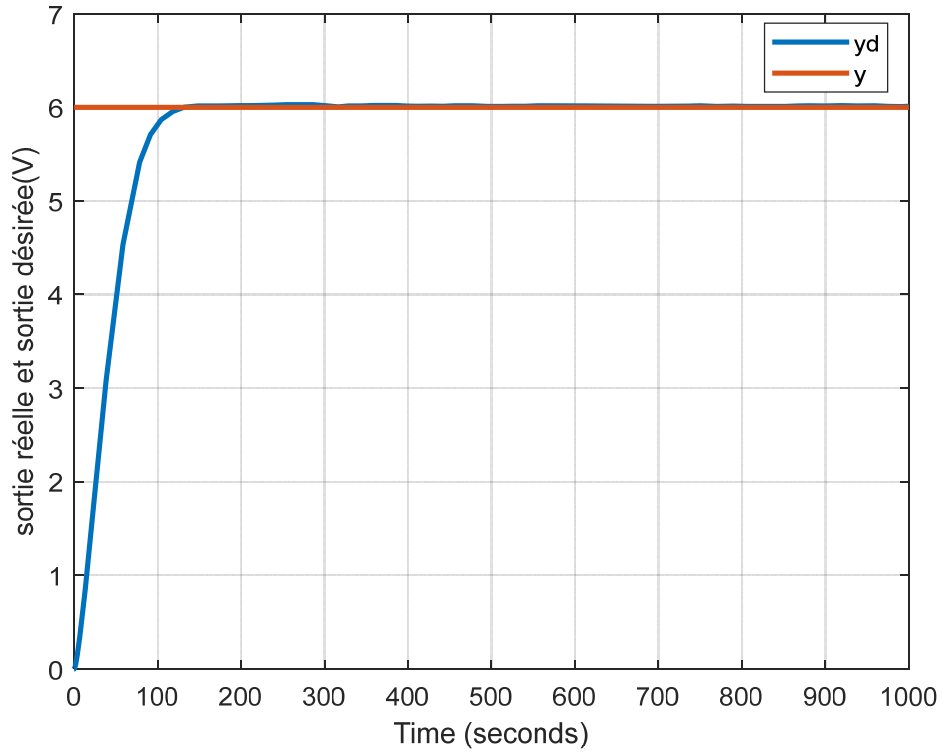
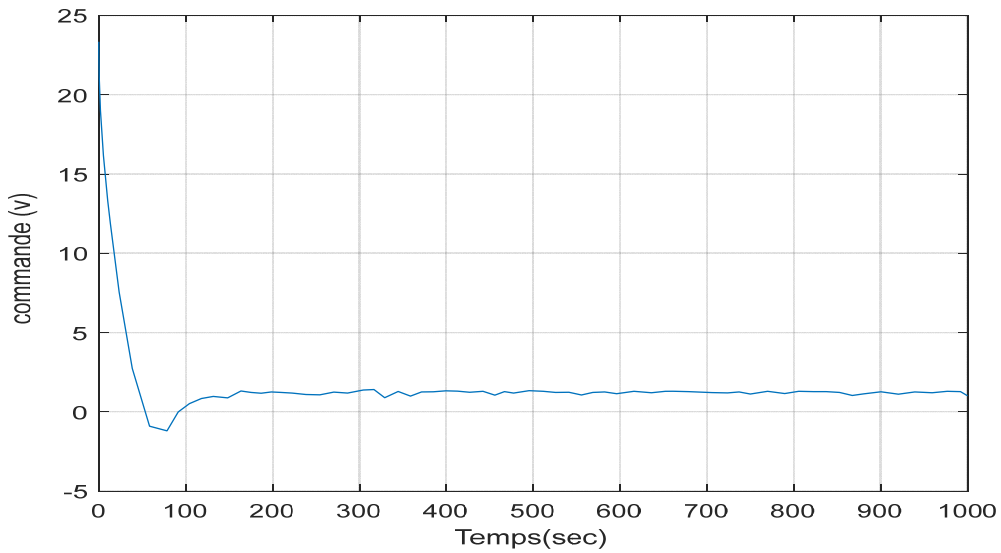


Figure 4.8 fonction d'appartenance de la sortie

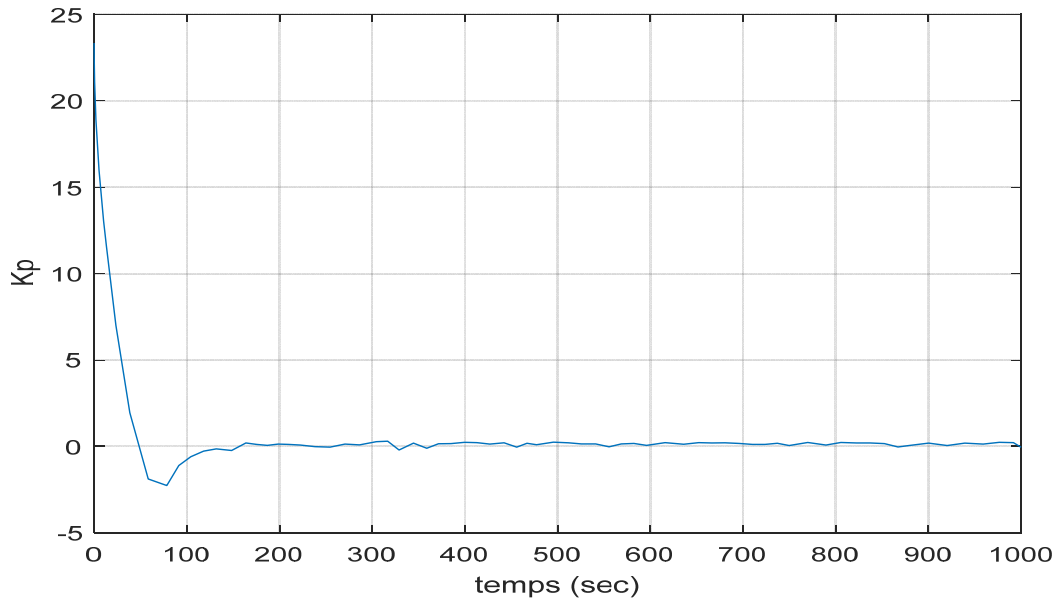
3.9 Résultats de simulation du la commande adaptative floue type 2 de CE105



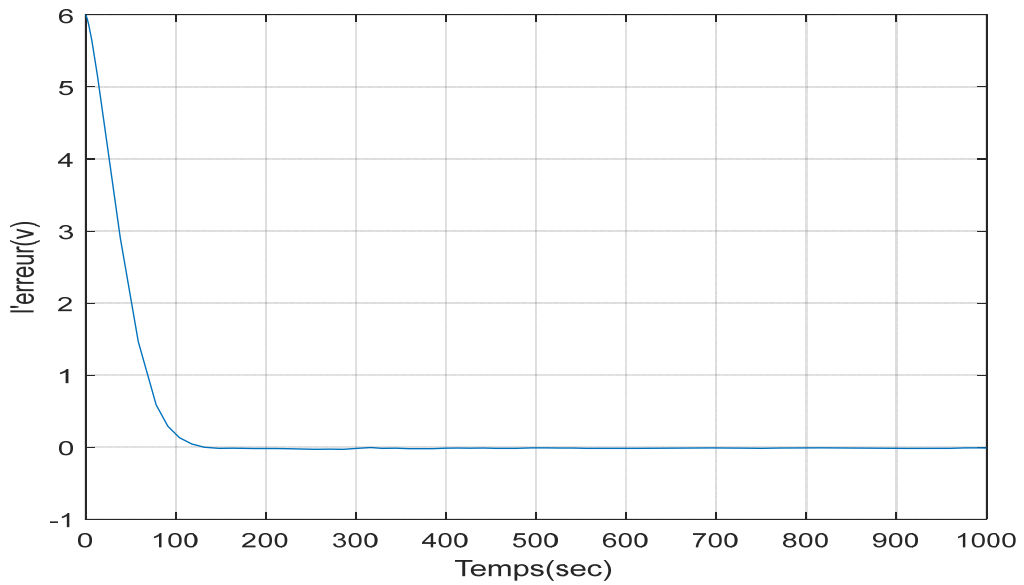
a): la sortie.



a): la commande.

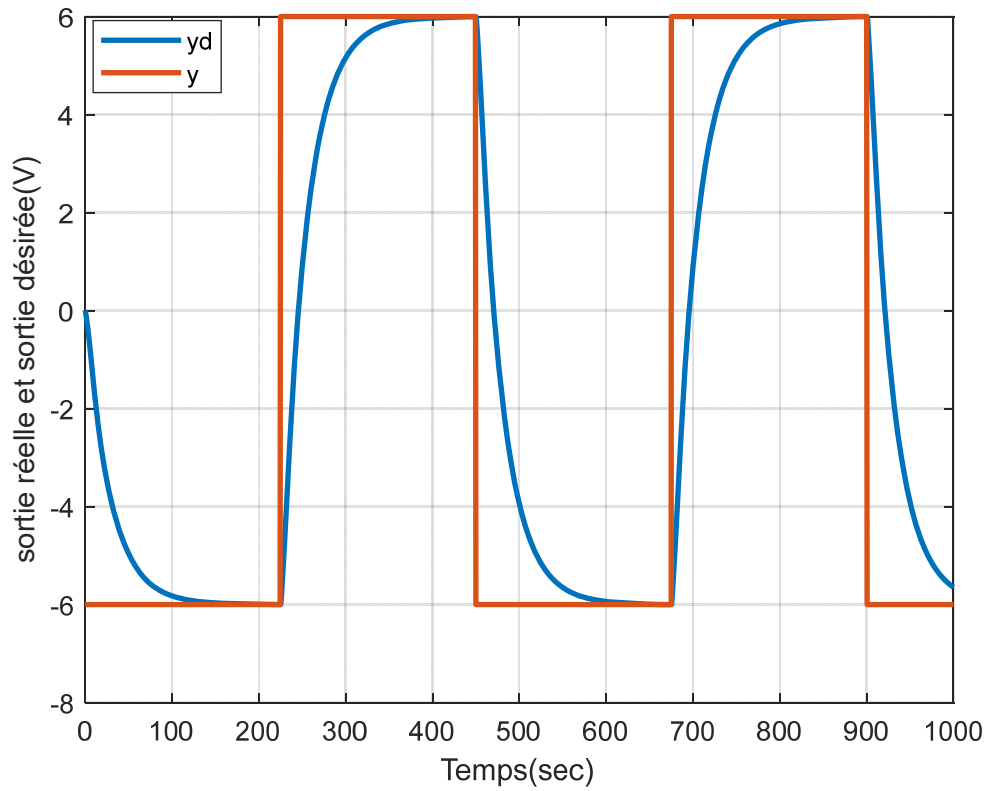


c): K_p .

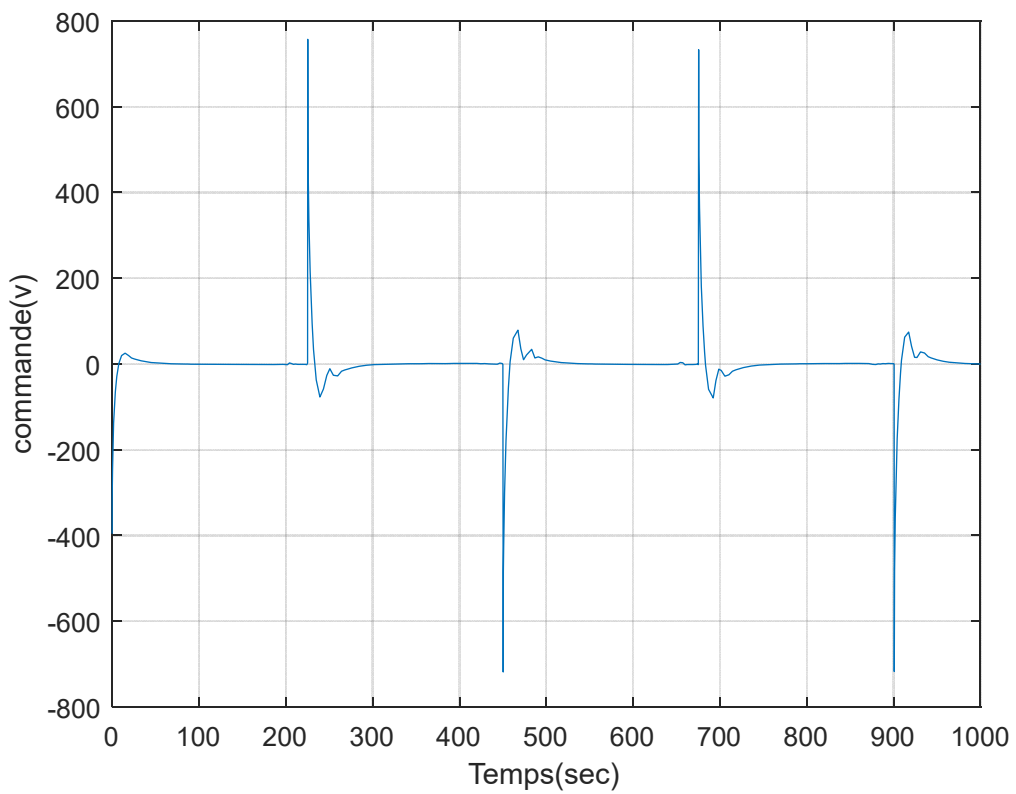


d): l'erreur.

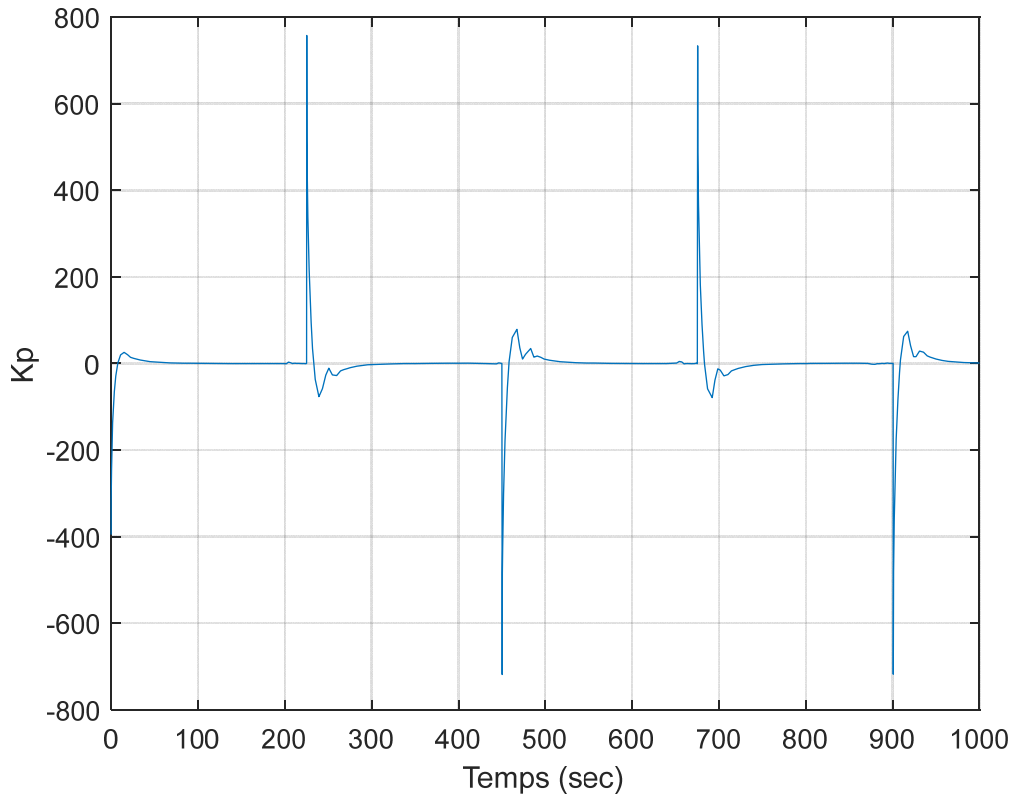
Figure.3.9 résultats de simulation de la commande par logique floue type 2, pour une entrée échelon



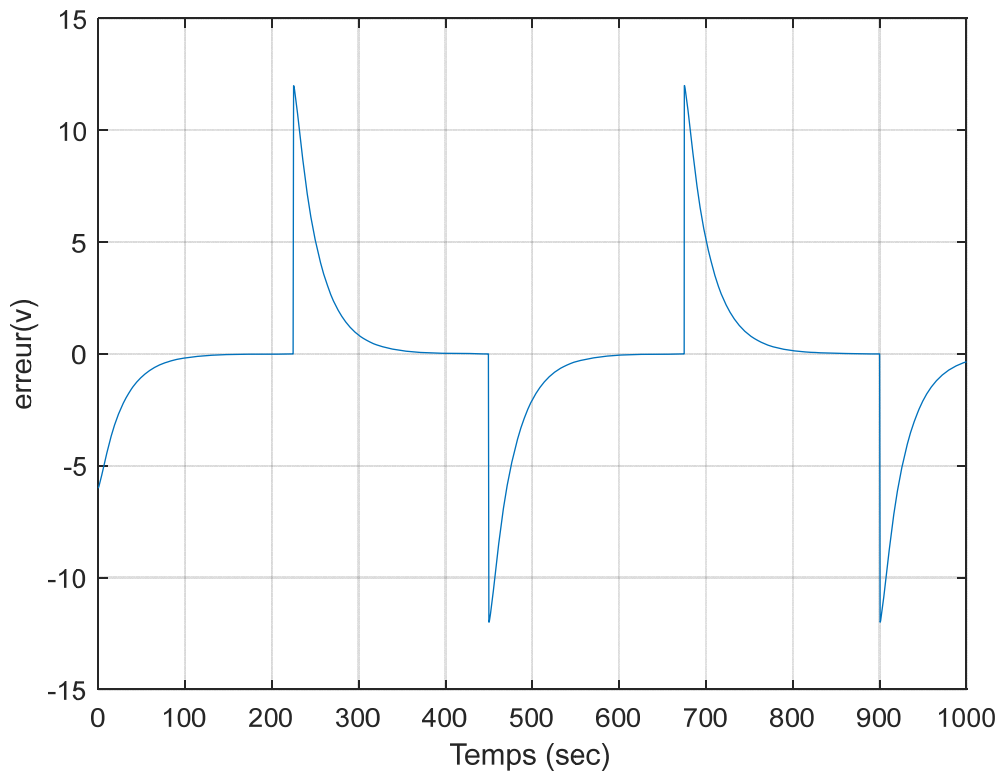
a): la sortie.



b): la commande.



c): K_p .



a): l'erreur.

Figure3.10 résultats de simulation de la commande par logique floue type 2, pour une entrée carrée.

3.10 Commentaires sur les résultats

Les résultats de simulation de la commande adaptative floue type 2 appliquée **sur** le système hydraulique CE105, sont présentés sur la figure 3.9, et la figure 3.10. Nous remarquons qu'on a abouti à des résultats satisfaisants en le temps de réponse et la stabilité de systèmes et la précision de convergence vers leurs pour une entre carrée et une entrée échelon.

4.11 Conclusion

Dans ce chapitre. Nous avons fait une comparaisons entre la commande par adaptative flou type-2 et commande par contrôleur PID. Après avoir fait une simulation et les résultats apparaissent. Nous avons conclu la commande par adaptative flou type-2 donne de meilleurs résultats dans le temps de réponse et la stabilité de systèmes et la précision de convergence vers leurs valeurs désirées par rapport au de commande de contrôleur PID.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous sommes intéressés à la commande d'un système hydraulique à deux réservoirs couplés.

En premier lieu, notions générale sur le réservoir couplée CE105, c'est système utiliser dans les domaines industriels et les réservoirs des avions.

Dans le deuxième chapitre nous avons présente La modélisation d'un système hydraulique à deux réservoirs couplés, en l'occurrence, le système hydraulique CE105 a été présenté en premier lieu. Le modèle d'état obtenu est un modèle dynamique non linéaire de deuxième ordre où les variables d'état sont les niveaux du liquide dans les deux réservoirs. La variable de sortie étant le niveau dans le deuxième réservoir. La variable d'entrée de commande étant la tension d'alimentation de la pompe qui alimente le premier réservoir.

Dans le troisième chapitre, nous avons abordé principalement deux techniques de commande intelligente : la logique flous type-1 et la logique floue type-2.

Dans le dernier chapitre, nous avons présenté les résultats de simulation des systèmes hydraulique à deux réservoirs couplés régulé par les deux types de contrôleur précédent. Nous avons noté que le contrôleur flou type-2 a une bonne performance (rapidité, stabilité et précision) et plus utile que le contrôleur PID, ensuite contrôleur flou type-2 n'affecte pas par les parasites (retard et perturbation) contrairement que le PID. Poursuite, si nous augmentons le nombre des règles flous, l'erreur est réduite et le temps de calcul est augmenté.

Enfin, les résultats de simulation ont montré la supériorité des régulateurs flous *type-2* par rapport aux régulateurs flous *type-1*, pour ce type des systèmes.

Suggestions et perspectives

Suite à cette étude, quelques suggestions et perspectives peuvent être faites afin de pouvoir contribuer si possible les systèmes hydrauliques, à savoir :

- Application des techniques de réglage de l'automatique moderne à savoir la commande non linéaire, la fusion des réseaux de neurones avec les techniques flous type-2, la commande par mode glissant et mode glissant d'ordre supérieur, commande par la méthode du backstepping, commande hybride glissante-backstepping etc ...

Annexe

Les paramètres du système hydraulique CE105 sont donnés au tableau 1 :

Section du chaque réservoir	A	9350.10^{-6} m^2
Section de l'ouverture variable de chaque valve	s_1	$78.5. 10^{-6} \text{ m}^2$
	s_2	$78.5. 10^{-6} \text{ m}^2$
Coefficient de décharge	a_{12}	1
	a_0	0.6
Gain de la pompe	K_p	$450.10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s.v}$
Gain du capteur	K_s	41 v/m
Constante de gravité	g	9.81 m/sec^2

Tableau 1 : Paramètres du Système Hydraulique [6].

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Manuel d'utilisation, "TecEquipment CE105 Coupled Tanks Appa Control Systems, UMIST ,Manchester, U,K
- [2] A. Rahal- M. Fedjiri « Contrôle directe du couple de la machine asynchrone » PFEUniversité M'sila, M'sila 2004.
- [3] www.control-systemes-principles.co.uk
- [4] 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
- [5] Zeglache Samir, « TP de 2eme années master (commande du système non linéaire) »,Master Automatique ,Université de M'sila, 2011-2012.
- [6] M. Boubakir, « Méthodes de commande par mode de glissement appliquées au bras manipulateur et au système hydraulique CE105 à réservoirs couplés», Ecole Militaire Polytechnique, Mémoire de magistère, 2007.
- [7] J.Lvern, « La logique floue : Concepts et définitions », Electronique radio plan541, pp11-18,1992.
- [8] H.Buhler, « Réglage par logique floue », Presses polytechniques romandes, 1994.
- [9] D.Driankov, H.Hellendoorn et M.Reinfrank « An introduction : fuzzy control», Springer Verlag, 1996..
- [10] Zadeh, L. A. Soft computing and fuzzy logic. IEEE Software, 11(6), pp 48-56, 1994
- [11] M.Jamshidi, N.Vadiee et T.J.Ross, « Fuzzy logic and control» , Prentice-Hall, 1993.
- [12] Jang, J.-S. R.ANFIS : Adaptive-network-based fuzzy inference systems. IEEE Trans. Syst. Man and Cybern., 23(3) :665–685, 1993..
- [13] M. Cao, J.L. Silwaneto, H. Huy, " Fuzzy logic based controller for induction motor drives," IEEE. Trans. Fuzzy systems, pp. 631-634, 2000.
- [14] N.N. Karnik et J.M. Mendel : 'An introduction to type-2 Fuzzy Logic Systems', Technical Report, University of Southern California, 1998.

Références bibliographiques

- [15] L. A. Zadeh, « Fuzzy sets, fuzzy logic and fuzzy systems», World Scientific Publishing 1996.
- [16] Mme OUISSI Fatima Zohra, « Classification des arythmies cardiaques par les arbres de décision flous », thèse de master, Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, 2011.
- [17] J.M. Mendel et R.I. Bob John : ‘type-2 Fuzzy Sets Made Simple’, IEEE Transactions, Fuzzy Systems, vol. 10, issue.2, page 117-127, 2002.
- [18] J. M. Mendel, R. I. John et F. Liu : ‘Interval type-2 fuzzy logic systems made simple’, IEEE Transactions, Fuzzy Systems, vol.14, issue.6, page808–821, 2006.
- [19] S. Coupland et R. John : ‘A new and efficient method for the type-2 meet operation’, IEEE international conference, Fuzzy systems, vol.2, page 959-964, 2004
- [20] L.X. Wang, " Adaptive fuzzy systems and control," design and analysis. Prentice-hall, englewood clifs, Nj, 1994.
- [21] A. Alwadie, H. Ying, H. Shah, "A practical two-input.two-output takagi-sugeno fuzzy controller," int. Journal of fuzzy syst. Vol. 5, N0.2, 2003.
- [22] Gacogne. Louis, ‘Eléments de logique floue’, Paris, Hermès, 1997.
- [23] Nakoula Y : ‘Apprentissage des Modèles linguistiques flous, par jeu de règles pondérées’, Thèse de Doctorat, Université de Savoie, France, juillet 1997.
- [24] N.N. Karnik et J.M. Mendel : ‘centroid of a type-2 fuzzy set’, Information sciences, vol.132, issue.1-4, page.195-220, 2001..
- [25] Q. Liang et J. M. Mendel : ‘Interval type-2 fuzzy logic systems: Theory and design’, IEEE Transactions, Fuzzy Systems, vol.8, issue.5, page 535-550, 2000.
- [26] HAMIZI Abdelhakim : ‘Commande Adaptative Floue Type-2 d’un bras Manipulateur’, mémoire de magistère en électronique option robotique, Université de Batna, 2011/2012.
- [27] L. A. Zadeh, « Fuzzy sets, fuzzy logic and fuzzy systems», World Scientific Publishing 1996.
- [28] N. N. Karnik, et J. M. Mendel, “An introduction to type-2 fuzzy logic systems,” Univ. Southern California, Rep., Oct. 1998.
- [29] Antoine Cornuéjols : ‘Introduction à la logique floue’, présentation, janvier2008.

Références bibliographiques

- [30] Gacogne . Louis, 'Eléments de logique floue', Paris, Hermès, 1997.
- [31] K. J. Aström, et B. Wittenmark, "Adaptive Control," Addison-Wesley, 1989
- [32] I. D. Landau, R. Lozano et M. M'Saad, "Adaptive Control," Springer, 1998.
- [33] J. Jacques, et E. Slotine, "Applied Nonlinear Control," Prentice Hall, 1991.
- [34] R. Isermann, K. H. Lachmann et D. Matko, "Adaptive Control Systems," Prentice Hall 1992.

Résumé

Le travail réalisé dans cette mémoire concerne la commande adaptative par la logique floue type-2 d'un système hydraulique CE105, en utilisant des approches issues de la théorie de la logique floue type1 et type2 et leurs applications sur le système hydraulique CE105. Dans une première partie, on a présenté un bref tour d'horizon sur les systèmes hydrauliques, puis la modélisation mathématique du système hydraulique CE105 et la théorie de la logique floue type-1 et la commande par la logique floue type-2 du système hydraulique CE105. Des simulations sont effectuées pour valider chaque commande. Finalement les résultats obtenus de cette technique de commande robuste basée sur les systèmes flous type-2 du système hydraulique CE105 se traduisent par de meilleures performances dynamiques.

Mots clés : système hydraulique, CE105, commande adaptative, logique floue type-1, floue type-2.

Abstract

The work concerns the adaptive controller of a hydraulic system CE105, using approaches derived from type1 and type2 fuzzy logic theory and their applications on the hydraulic system CE105. In the first part, we presented a brief overview of the hydraulic systems, then the mathematical modeling of the hydraulic system CE105 and the type-1 fuzzy logic control and type-2 fuzzy logic control of the hydraulic system. CE105. Simulations are carried out to validate each order. Finally, the results obtained from this robust control technique based on fuzzy type-2 systems of the hydraulic system CE105 show superior performances.

Key words: hydraulic system, CE105, adaptive controller, type-1 fuzzy logic, type-2 fuzzy logic.