

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et la Recherche Scientifique
Université Larbi Ben Mhidi Oum el Bouaghi
Faculté des sciences et technologie
Département d'électronique
Option informatique industrielle, 2^{ème} année Master

**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du
diplôme de MASTER en Informatique Industrielle**

Thème

**Commande de la température
d'eau d'un bain par un contrôleur
à Logique Floue**

Promoteur :

Mr. Lamamra kheireddine

Réalisée par :

**Bouba issam
Ounis rabie**

**Année universitaire
2009/2010**

Remerciements

Bouba issam :

En préambule à ce mémoire, je souhaitais adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Je tiens à remercier sincèrement Monsieur Lamamra kheireddine, qui, en tant que Directeur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour..

J'exprime ma gratitude à tous les consultants et internautes rencontrés lors des recherches effectuées et qui ont accepté de répondre à mes questions avec gentillesse.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis, qui m'ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.

Ounis rabie :

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma reconnaissance.

Je voudrais adresser toute ma gratitude à le promoteur de ce mémoire, Lamamra kheireddine, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je désire aussi remercier les professeurs, qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études universitaires.

Merci à tous et à toutes.

Dédicaces

Bouba issam :

*Ce mémoire est dédié
à mes regrettés parents,
Zieb et ben Issa Farida,
qui m'ont toujours poussé et motivé dans mes études. Sans eux,
je n'aurais certainement pas fait d'études longues. Ce mémoire
représente donc l'aboutissement du soutien et des
encouragements qu'ils m'ont prodigués tout au long de ma
scolarité. Qu'ils en soient remerciés par cette trop modeste
dédicace.*

Ounis rabie :

*A ma chère petite sœur Imane.
A mes très chers parents Abd lhafid.et ma défunte mère khadidja
Rabi yerhamha qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont
donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance.
J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma
reconnaissance et tout mon amour.*

*A mes chers frères et sœur: Faouzi, Sami, Moufida, Redha,
Mohamed Chrif.*

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Le contrôle flou	
1. Introduction.....	3
2. Historique.....	3
3. Notion d'ensemble et de sous-ensemble flou	4
3.1. Ensemble et de sous-ensemble classique.....	4
3.2. Ensemble et de sous-ensemble flou	4
3.3. Définition d'un sous-ensemble flou.....	5
3.4. Univers de discours.....	5
3.5. Valeur d'appartenance.....	5
3.6. Fonction d'appartenance.....	6
4. Opérations sur les ensembles flous.....	7
5. Éléments de base de la logique floue.....	9
5.1. Les variables linguistiques.....	9
5.2. Dédutions floues (inférence).....	9
5.2.1. Inférence avec une seule règle.....	9
5.2.2. Inférence avec plusieurs règles.....	9
6. Implication floue.....	10
7. Structure d'un contrôleur flou.....	10
8. Procédure de raisonnement flou.....	11
8.1. Fuzzification.....	11
8.2. Inférence floue.....	12
8.2.1. Méthode d'inférence Max- Min.....	13
8.3. Defuzzification.....	14
8.3.1. Méthode du centre de gravité	14

9. Conclusion.....	15
--------------------	----

Chapitre II : Asservissement

1. Introduction.....	16
2. Notions sur les systèmes de commande asservis.....	16
2.1. Définition.....	16
2.2. Le signal d'entrée.....	16
2.3. Le signal de sortie.....	16
2.4. La précision	16
2.5. Classification des systèmes de commande.....	17
2.5.1. Un système en boucle ouverte.....	17
2.5.2. Un système en boucle fermée.....	17
2.6. Le schéma fonctionnel.....	17
2.7. Le système échantillonné.....	17
2.7.1. Définition.....	17
2.7.2. Le schéma général de la commande numérique.....	17
3. Application.....	18
3.1. Procédé à régler.....	18
3.2. Le contrôle de la température d'eau d'un bain	18
3.3. La consigne de température.....	18
3.4. Le schéma blocs de la régulation de la température d'eau d'un bain.....	19
3.5. Le contrôleur floue	19
3.5.1.Fuzzification.....	20
3.5.2. Inférence floue.....	22
3.5.2.1. La liste des règles.....	22
3.5.2.2. Choix de la méthode d'inférence.....	24
3.5.3. Defuzzification.....	24
3.5.4. La loi de commande.....	25

3.5.5. Adaptation du gain de la commande.....	25
3.5.6. Algorithme.....	26
4. Conclusion.....	27
Chapitre III : Résultats de simulation	
1. Introduction.....	28
2. Résultats et interprétations.....	28
2.1. Les effets des fonctions d'appartenance.....	28
2.2. Résultats de comparaison.....	33
2.3. Les effets du pas d'échantillonnage.....	33
2.4. Résultats de comparaison.....	35
2.5. Les effets du gain.....	35
2.6. Résultats de comparaison.....	38
3. Avantages et désavantages du réglage par la logique floue.....	38
4- Les spécificités de la commande floue.....	39
5-Domaines d'application.....	40
6. Conclusion.....	41
Conclusion générale.....	42
Références bibliographiques.....	43

Introduction générale

De nos jours, des systèmes de régulation du fonctionnement des processus sont intégrés dans de nombreuses applications. Les systèmes à contrôler deviennent de plus en plus complexes, ce qui a fait que les contrôleurs utilisés ne cessent de s'améliorer. Les méthodes de contrôle conventionnelles telles que la commande optimale, la commande adaptative ou la commande robuste, se basent sur une connaissance plus ou moins précise du modèle mathématique du système à contrôler. Lorsque le système est fortement non linéaire, imprécis ou très complexe, dans ce cas, les contrôleurs conventionnels sont difficilement utilisables, c'est pour cela les automaticiens font appel à des techniques plus avancées.

Le «soft-computing» qui regroupe principalement la logique floue, les réseaux de neurones et les algorithmes génétiques constitue une voie encourageante pour aborder ce problème particulier de régulation. Ces méthodes font intervenir des mécanismes qui ont été observés et étudiés dans des domaines de recherche initialement très éloignés de l'informatique : linguistique et raisonnement humain pour la logique floue, physiologie humaine et animale pour les réseaux de neurones ou encore génétique et sélection naturelle pour les algorithmes évolutionnistes.

Le principe de la régulation floue est basé sur des concepts relativement simples, il s'agit de faire intervenir dans le contrôleur des connaissances acquises par un expert humain. L'intérêt principal de cette méthode est qu'elle ne nécessite pas de connaître le fonctionnement du système, mais simplement la façon de le commander. Les connaissances sont exploitées sous une forme linguistique par l'intermédiaire de règles comme «*si condition alors action* ». Une méthode de raisonnement (inférence) utilise ces règles pour définir les commandes qui seront envoyées au système.

Dans ce travail, nous avons utilisé un contrôleur à logique floue pour contrôler la température d'un bain.

Ce mémoire est composé de trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la commande floue, nous présentons les fondements de la logique floue, les méthodes de raisonnement flou (*propositions, implications et inférence*) qui constituent la base de la commande floue et nous décrivons la structure générale d'un contrôleur flou et les différents sous-ensembles qui le constituent.
- Dans le deuxième chapitre, nous rappelons les notions de base d'asservissement d'une manière générale, puis nous décrivons le contrôleur flou que nous avons utilisé dans ce travail comme outil de régulation.
- Dans le troisième chapitre, nous présentons les résultats de simulation obtenus après avoir appliqué de la technique utilisée sur trois aspects (nombre de fonctions d'appartenance, pas d'échantillonnage, gain).

Chapitre I :

*Le
contrôle
flou*

Le contrôle flou

1. Introduction

L'homme perçoit, raisonne, imagine et décide à partir de modèles ou de représentations. Sa pensée n'est pas binaire. L'idée de la logique floue est de "capturer" l'imprécision de la pensée humaine et de l'exprimer avec des outils mathématiques appropriés. La résolution d'un problème passe par la recherche d'un modèle qui est le plus objectif et le plus certain possible. Ce modèle peut être défini en langage naturel ou par les mathématiques. Vu que notre environnement est incertain, dans certaines situations nous n'arrivons pas à définir un modèle qui représente la réalité avec certitude.

Un des fondateurs de la théorie des ensembles flous et de la logique floue, Arnold Kaufmann, écrit: "*La théorie des sous-ensembles flous pose le problème épistémologique suivant: est-il meilleur d'utiliser un modèle certain mais qui représente de trop loin le réel ou un modèle flou qui le représente mieux?*" [1].

2. Historique

Les racines de la logique floue se trouvent dans le principe d'incertitude de Heisenberg. Dans les années 20, les physiciens ont introduit la troisième valeur $1/2$ dans le système logique bivalent $\{0, 1\}$. Pourquoi $1/2$? Parce-que c'est la valeur de vérité de tous les paradoxes. La logique classique interdit tous les paradoxes par ses axiomes.

Au début des années 30, le logicien polonais Jan Lukasiewicz a développé le système logique avec trois valeurs puis l'a étendu à tous les nombres rationnels entre 0 et 1.

Dans les années 30, Max Black a appliqué la logique floue aux ensembles d'éléments ou de symboles. Il a appelé imprécision l'incertitude de ces ensembles. Il a dessiné la première fonction d'appartenance (*membership function*) d'un ensemble flou.

En 1965 Lotfi Zadeh a publié l'article "*Furry sets*" [3] dans lequel il a développé la théorie des ensembles flous et introduit le terme fuzzy dans la littérature technique. C'est le début des tentatives de modélisation de systèmes par des relations floues. Les premières investigations de Zadeh étaient l'utilisation de la logique floue pour représenter le langage naturel. Il a été le premier à formaliser les règles floues (*fuzzy rules*) et à suggérer une approche "système expert" au réglage automatique, où la règle de commande est remplacée par des règles floues.

Les premiers résultats en commande floue ont été publiés par Mamdani et Assilian en 1975, ce qui a encouragé différentes activités en Angleterre, au Danemark et en France.

Après 1980, les recherches s'arrêtent en Europe mais les Japonais les reprennent. Leur industrie a lancé de nombreux produits basés sur la logique floue (plus de 2000!), notamment des appareils électroménagers et du matériel audio-visuel. Actuellement, la logique floue est considérée comme un outil de base au Japon, et les principales directions de recherche sont la combinaison de la logique floue, des algorithmes génétiques et des réseaux de neurones.

3. Notion d'ensemble et de sous-ensemble floue

3.1. Ensemble et de sous-ensemble classique

Une des notions fondamentales dans les mathématiques est la notion d'ensemble. La théorie des ensembles a été créée par le mathématicien allemand Georg Cantor. Il a défini les ensembles comme des collections d'objets, de notre intuition ou de notre intellect, bien spécifiés et tous différents. Un ensemble peut être fini, discret ou continu. Nous pouvons le décrire de trois manières différentes [4]:

- En donnant une liste de ses éléments.

Par exemple: $E = \{a, b, c, d, e\}$ est un ensemble fini qui contient cinq éléments. Ces éléments appartiennent à cet ensemble et cela peut être noté:

$a \in E, b \in E, \dots, e \in E$. La relation inverse est notée: $x \notin E$.

- En donnant une propriété pour l'appartenance.

Si $p(x)$ est un prédicat qui énonce que l'élément x a la propriété p , alors l'ensemble de tous les x avec cette propriété est noté comme:

$$E = \{ x \mid p(x) \}$$

- En définissant la fonction caractéristique pour tous les éléments x de l'univers du discours U . L'univers du discours est l'ensemble référentiel qui contient tous les éléments qui sont en relation avec le contexte donné.

La fonction caractéristique de l'ensemble E , $\mu_E: U \rightarrow \{0,1\}$ est définie comme:

$$\mu_E(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \in E \\ 0 & \text{si } x \notin E \end{cases} \quad (\text{I.1})$$

Nous allons voir que, dans la théorie d'ensembles flous, cette fonction s'appelle *fonction d'appartenance*.

3.2. Ensemble et de sous-ensemble flou

Cantor a défini deux notions importantes dans sa théorie: l'univers du discours U et l'ensemble vide \emptyset . Comme mentionné, l'univers du discours contient tous les éléments qui appartiennent à un contexte spécifié. L'ensemble vide est l'ensemble qui ne contient pas d'éléments [4].

Dans son article "Fuzzy Sets", Zadeh, le fondateur de la théorie des ensembles flous, commence par la définition de collections d'objets. Il donne comme exemple la collection des "nombres réels beaucoup plus grands que 1". Ce n'est pas un ensemble au même sens du terme qu'un ensemble de Cantor. Cette collection est définie imprécisément et un ensemble flou peut très bien exprimer cette imprécision. Zadeh définit un ensemble flou comme: "une collection telle que l'appartenance d'élément quelconque à cette collection peut prendre toutes les valeurs entre 0 et 1". C'est une extension de la théorie des ensembles classiques où l'appartenance à un ensemble ne peut avoir que la valeur 0 (n'appartient pas) ou la valeur 1 (appartient) [3].

3.3. Définition d'un sous-ensemble flou [7][8]

Un sous-ensemble flou A dans un univers du discours X est caractérisé par sa fonction d'appartenance $\mu_A(x)$ qui associe à chaque élément x de X une valeur dans l'intervalle des nombres réels $[0, 1]$. $A = \{x \mid \mu_A(x), x \in X\}$ avec $\mu_A(x) \in [0, 1]$

3.4. Univers de discours

C'est un sous ensemble de \mathbb{R} qui décrit dans le cas général le domaine de variation d'une variable donnée. Par exemple : si on a une température qui varie entre 10° et 100° donc $U = [10 \ 100]$. On utilise souvent des univers de discours normalisés $[-1 \ 1]$, et il existe alors un coefficient de normalisation « g » entre l'univers réel et l'univers normalisé.

3.5. Valeur d'appartenance

La valeur d'appartenance est le degré de compatibilité d'un élément avec le concept qui est représenté par un ensemble flou. Nous allons donner un exemple pour les ensembles classiques et un exemple pour les ensembles flous.

Exemple 3-1

Soit un ensemble U qui est composé de six éléments:

$$U = \{a, b, c, d, e, f\}$$

Il représentera l'univers du discours ou l'ensemble de référence. On peut former un sous ensemble A de l'ensemble $U (A \subset U)$: $A = \{b, d, e, f\}$

Une des formes pour présenter cet ensemble pourrait être:

$$A = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ \hline a & b & c & d & e & f \\ \hline \end{array}$$

Dans cette notation, à l'élément qui appartient à A on attribue la valeur 1, et s'il n'appartient pas à A on lui attribue la valeur 0.

L'essentiel de la théorie mathématique des ensembles réside en ce qu'un élément d'un ensemble de référence appartient ou n'appartient pas à un sous-ensemble de cet ensemble. La fonction d'appartenance au sous-ensemble A est $\mu_A(x)$, et elle peut être évaluée pour chaque élément x de l'ensemble de référence U :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \in A \\ 0 & \text{si } x \notin A \end{cases} \quad (\text{I. 2})$$

Ensemble $\{0, 1\}$ est l'ensemble d'évaluation (*valuation set*).

Exemple 3-2

Soit U un ensemble de six personnes. On va considérer la propriété "être grand". Par exemple, la personne a mesure 1m60, b 1m70, c 1m85, etc. Si on définit une limite, et on dit que tous ceux qui dépassent 1m75 sont grands, on obtient un sous-ensemble A précis des personnes grandes. Mais, cette propriété n'est pas si précise. Les gens qui mesurent 1m74 sont-ils petits? Donc, cette propriété est floue, vague et dépend de l'opinion subjective de celui qui doit créer le sous-ensemble.

Supposons que quelqu'un ait jugé cette propriété dans l'ensemble U de la façon suivante:

$$B = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline 0,4 & 0,6 & 1 & 0,8 & 0,5 & 0,6 \\ \hline a & b & c & d & e & f \\ \hline \end{array}$$

Ainsi, on obtient un sous-ensemble flou B où la personne c est grande, mais la personne a appartient à cet ensemble avec la valeur 0.4 ou 40%, d avec 0,8, etc.

La fonction bivalente $\mu_A(x)$ (éq. 1.2) est étendue à une fonction d'appartenance

$\mu_B(x): U \rightarrow [0,1]$. La valeur $\mu_B(x)$ mesure l'appartenance ou le degré avec lequel un élément x appartient à l'ensemble B :

$$\mu_B(x) = \text{Degré}(x \in B)$$

Cet exemple montre qu'un ensemble flou prend en compte l'imprécision. Cela ne veut pas dire que cet ensemble n'est pas exact. Il est exact dans la mesure où il accepte les nuances et la subjectivité de la personne qui le crée [4].

Nous avons vu dans cet exemple que tout ensemble flou est construit à partir d'un ensemble de référence. C'est son contexte. Un ensemble de référence n'est jamais flou.

3.6. Fonction d'appartenance

Dans les paragraphes précédents, les ensembles de référence étaient des ensembles finis. Nous allons étendre les considérations précédentes sur des ensembles de référence infinis.

Il s'agit d'une fonction qui caractérise le degré de vérité de la variable floue. On peut évidemment choisir n'importe quelle forme pour les fonctions d'appartenance. Cependant, dans la pratique, on utilise les fonctions trapézoïdales, les formes en cloche (gaussiennes) ou les fonctions triangulaires [9].

Exemple 3.3

Supposons que la figure 1.1(a) représente un ensemble classique des personnes dans la force de l'âge. La lettre μ désigne l'appartenance à cet ensemble et x désigne l'âge.

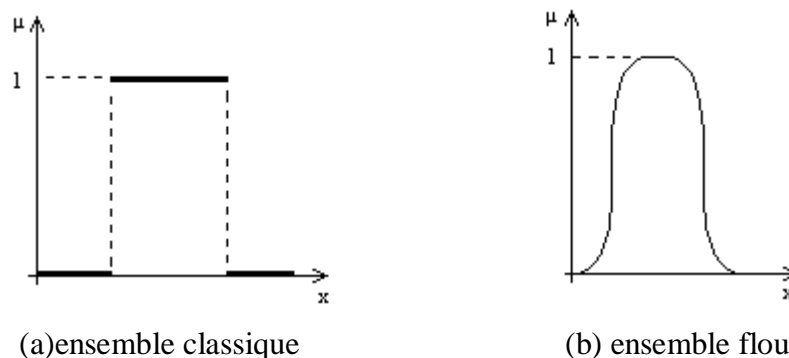


Figure I.1 Représentation graphique de sous ensembles dont les ensembles de référence sont infinis

Si l'on veut présenter cette propriété comme une propriété floue, on doit passer à un ensemble flou et nous pouvons dessiner une courbe comme celle de la figure I.1(b). Cette courbe est arbitraire, subjective, dépendante de l'instant parce que les différentes personnes jugent différemment les propriétés concernant l'âge.

Remarquez que nous avons décidés de ne pas mettre de valeurs numériques pour ces fonctions parce que chaque personne peut avoir ses propres idées sur ces limites! Cette fonction deviendrait quasiment objective si elle était acceptée par un groupe suffisamment important [4]. Cette présentation s'appelle dans la littérature ensembles comme fonctions (*sets as functions*).

4. Opérations sur les ensembles flous

Les opérations de base des ensembles classiques peuvent également être appliquées aux ensembles flous. Nous allons donner un exemple.

Exemple 4.1

Soit un ensemble de référence U :

$$U = \{a, b, c, d, e, f, g\}$$

Soit A_1 et A_2 deux sous-ensembles de cet ensemble de référence:

$$A_1 = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 0.4 & 0.8 & 1 & 0.8 & 0.2 & 0.5 & 0.1 \\ \hline \end{array}$$

$$A_2 = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 0 & 0.5 & 0.3 & 0.9 & 1 & 0.7 & 0 \\ \hline a & b & c & d & e & f & g \\ \hline \end{array}$$

Si nous définissons les valeurs d'appartenance de l'ensemble d'intersection comme:

$$\mu_{A_1 \cap A_2}(x) = \mu_{A_1}(x) \wedge \mu_{A_2}(x) = \mathbf{\min}(\mu_{A_1}(x), \mu_{A_2}(x))$$

Nous obtenons l'ensemble suivant:

$$A_1 \cap A_2 = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 0 & 0.5 & 0.3 & 0.8 & 0.2 & 0.5 & 0 \\ \hline a & b & c & d & e & f & g \\ \hline \end{array}$$

De même, en utilisant l'opérateur de maximisation pour l'union:

$$\mu_{A_1 \cup A_2}(x) = \mu_{A_1}(x) \vee \mu_{A_2}(x) = \mathbf{\max}(\mu_{A_1}(x), \mu_{A_2}(x))$$

Nous pouvons écrire

$$A_1 \cup A_2 = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 0.4 & 0.8 & 1 & 0.9 & 1 & 0.7 & 0.1 \\ \hline a & b & c & d & e & f & g \\ \hline \end{array}$$

Si l'opération de complément est définie comme $\mu_{\overline{A_1}}(x) = \neg \mu_{A_1}(x) = 1 - \mu_{A_1}(x)$

L'ensemble complémentaire de A_1 est :

$$\overline{A_1} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 0.6 & 0.2 & 0 & 0.2 & 0.8 & 0.5 & 0.9 \\ \hline a & b & c & d & e & f & g \\ \hline \end{array}$$

Cela veut dire que si l'élément a appartient à A_1 avec la valeur 0.4, il n'appartient pas à A_1 avec la valeur 0.6.

Après cet exemple, nous pouvons conclure que l'intersection d'un ensemble flou et de son complément ne donne pas un ensemble vide:

$$A_1 \cap \overline{A_1} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 0.4 & 0.2 & 0 & 0.2 & 0.2 & 0.5 & 0.1 \\ \hline a & b & c & d & e & f & g \\ \hline \end{array}$$

$$A_1 \cap \overline{A_1} \neq \emptyset \quad \text{(I.3)}$$

De même, l'union d'un ensemble et de son complément ne donne pas l'ensemble de référence:

$$A_1 \cup \overline{A_1} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 0.6 & 0.8 & 1 & 0.8 & 0.8 & 0.5 & 0.9 \\ \hline a & b & c & d & e & f & g \\ \hline \end{array}$$

$$A_1 \cup \overline{A_1} \neq U \quad \text{(I.4)}$$

5. Éléments de base de la logique floue

5.1. Les variables linguistiques

Les sous-ensembles flous permettent d'exprimer en termes mathématiques les différents attributs qualificatifs du langage commun (petit, grand...). Ceci est effectué par l'introduction d'un nouveau type de variables dites variables linguistiques qui, contrairement à une variable numériques dont la valeur est un nombre, prennent comme variable des termes du langage humain, qu'on appelle valeurs floues. Comme exemple de variables linguistiques, nous pouvons citer « TEMPERATURE » qui peut prendre pour valeurs floues les attributs qualificatifs suivants « CHAUD », « TIEDE » et « FROID ». La représentation mathématique d'une valeur floue est réalisée par les sous-ensembles flous. En effet, une valeur floue n'est rien d'autres qu'un sous-ensemble flou dans un univers de discours [10].

5.2. Dédutions floues (inférence)

En générale, plusieurs valeurs de variables linguistiques convenablement définies par des fonctions d'appartenances, sont liées entre elle par des règles afin de tirer des conclusions, on parle alors des déductions floues ou inférences. Dans ce contexte, on peut distinguer en général deux genres de règles d'inférences [11].

5.2.1. Inférence avec une seule règle

Le cas d'inférence avec une seule règle se présente lorsqu'il faut comparer plusieurs concurrents (objets, personnes) dans une situation et on doit choisir l'optimum. Les variables qui déterminent la situation sont des variables linguistiques (variables floues), on trouve cette problématique essentiellement dans des domaines no techniques ou il faut prendre une décision. Le critère Y pour la prise de décision peut être formulé par une seule règle :

$$Y = [x_1 \text{ ou } (x_2 \text{ et } x_3) \text{ ou } \dots \dots \dots] \text{ et } x_n$$

5.2.2. Inférence avec plusieurs règles

Le cas d'inférence avec plusieurs règles se présente lorsqu'une ou plusieurs variables nécessitent une prise de décision déférente, suivant les valeurs qu'atteignent ces variables. Cette problématique se présente essentiellement pour des problèmes de réglage et de commande ou la prise de décision conduite à l'exécution d'une certaine opération [11]. Les règles peuvent alors être exprimées sous forme générale :

$$\text{Opération} = \text{Si condition } I \text{ , Alors opération } I \text{ ou}$$

Si condition 2 , Alors opération 2 ou

.....

Si condition m , Alors opération m

Les inférences avec plusieurs règles sont caractérisées par le fait qu'en générale plusieurs règles sont (plus ou moins) simultanément vérifiées. L'opération qui doit être effectuée doit tenir compte des différentes conditions et s'obtient par les règles de calcul de la logique floue.

6. Implication floue

On envisage généralement toutes les caractérisations possibles des variables qui décrivent l'état dans lequel il se trouve (température). Puis on indique comment doivent être caractérisées les variables qui permettent d'agir sur le processus (échauffement, refroidissement) en fonction de chacune de ces descriptions, d'après l'avis de l'expert ou de l'opérateur spécialisé, de façon à respecter une consigne de fonctionnement du processus [6].

7. Structure d'un contrôleur flou

Un contrôleur flou est décrit par un ensemble de règles de type SI (condition) ALORS (action) permettant de convertir la stratégie de contrôle linguistique acquise auprès d'un expert humain en une stratégie de contrôle automatique bien adaptée au monde réel [12]. Le schéma synoptique général d'un contrôleur flou est illustré par (Figure I.2) :

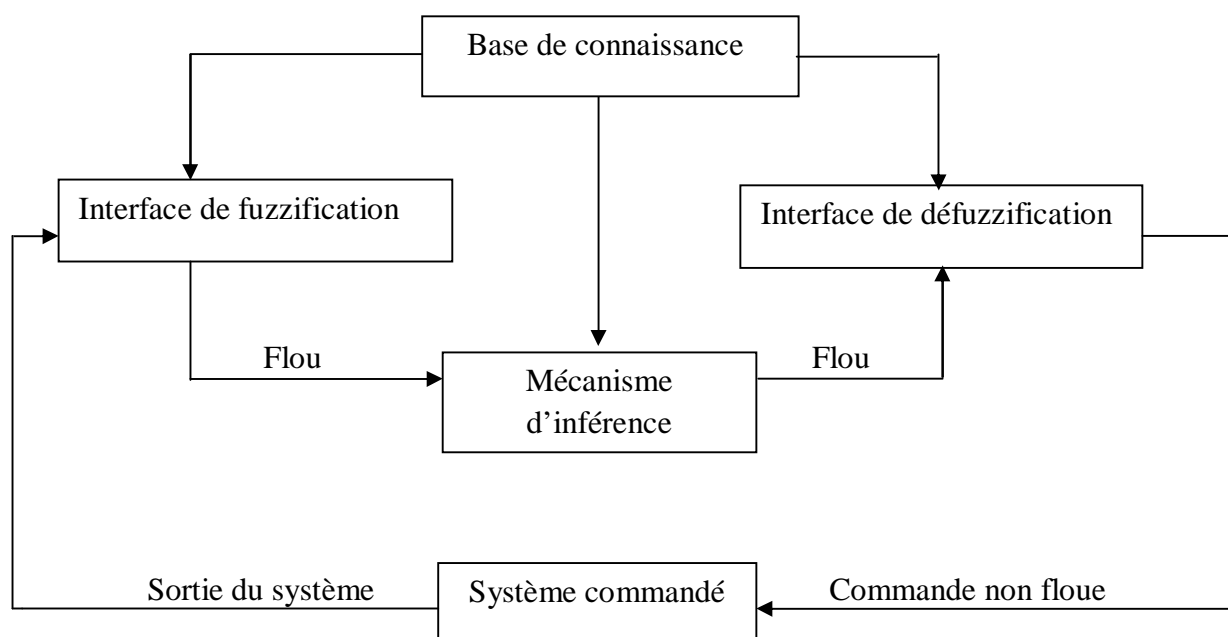


Figure I.2. Structure générale d'un système basé sur la logique floue

Chaque système basé sur la logique floue est composé de quatre blocs principaux [4] :

- **Base de connaissance:** On appelle base de règle, l'ensemble des règles reliant les variables floues d'entrée aux variables floues de sortie à l'aide de différents opérateurs [5].

Ces règles se représentent sous la forme :

Si condition1 et condition 2 (et...) alors action sur les sorties.

- **Bloc de décision ou le moteur d'inférence:** (inférence des opérations sur les règles)
Un module d'interface avec le flou établit une représentation des connaissances adéquate, en utilisant généralement une discrétisation de l'univers de définition des variables ou une normalisation dans l'intervalle [0, 1] et il définit les caractérisations floues des variables correspondant à des qualifications linguistiques [6].
- **Fuzzification:** (transformation des entrées précises en degrés d'appartenance) Lors de Fuzzification, pour chaque variable d'entrée réelle, on calcule ses degrés d'appartenance aux ensembles flous qui lui sont associés.
- **Defuzzification:** (transformation des résultats flous en sorties précises [4]) La défuzzification est l'opération qui permet de passer d'une représentation sous forme de variable linguistique à une variable numérique applicable physiquement [13].

8. Procédure de raisonnement flou

8.1. Fuzzification

C'est la conversion d'une grandeur physique en une variable linguistique ; celle-ci est évaluée par des ensembles flous qui permettent de partitionner le domaine de fonctionnement. A chaque Sous ensemble flou, on associe une fonction d'appartenance [13]. Les entrées dans un régulateur flou sont en général mesurées à l'aide d'organes de mesure qui sont le plus souvent de type analogique. Etant donné que l'implémentation du régulateur flou se fait presque toujours de manière numérique, il faut d'abord prévoir une conversion analogique/ numérique [2]. Cette conversion est liée d'une part à une quantification des signaux, à cause de la longueur finie des grandeurs digitales, et d'autre part à un échantillonnage, à cause du fonctionnement discontinu de la conversion.

L'attribution de degrés d'appartenance à chaque valeur d'entrée est un passage des grandeurs physiques aux variables linguistiques. Les variables linguistiques sont définies par leurs valeurs linguistiques. En général, les fonctions d'appartenance qui représentent les valeurs

linguistiques sont définies en forme triangulaire, trapézoïdale ou en forme de cloche. Il n'y a pas de règle précise pour la définition de fonctions d'appartenance. On peut introduire pour une variable x trois, cinq ou sept valeurs linguistiques. Ce nombre dépend de la résolution du réglage désirée. La désignation standard des ensembles flous est:

- NG Négatif Grand
- NM Négatif Moyen
- NP Négatif Petit
- EZ Environ zéro
- PP Positif Petit
- PM Positif Moyen
- PG Positif Grand [4].

Un nombre de valeurs linguistiques supérieur à sept n'apporte en général aucune amélioration du comportement dynamique du réglage flou. Par contre, un tel choix compliquerait la formulation des règles d'inférence. Les fonctions d'appartenance peuvent être symétriques, régulièrement distribuées ou avoir une distribution non uniforme. Il est important d'éviter les lacunes ou des chevauchements insuffisants de deux ensembles voisins. Ceci provoque des zones de non-intervention du réglage (zones mortes) [2], ce qui conduit à une instabilité du réglage. De même, il faut éviter un chevauchement trop important car il conduit à un aplatissement des caractéristiques du régulateur.

Il ne faut pas oublier qu'il est indispensable de créer les fonctions d'appartenance pour les variables de sortie. D'habitude, on les crée de la même manière que les fonctions des entrées, c'est-à-dire en forme de triangle, de trapèze ou de cloche [4].

8.2. Inférence floue

Après avoir établi la base de règle et les sous ensembles flous correspondant à la fuzzification des variables d'entrée, le système d'inférence permet de faire la liaison entre les variables d'entrée et celle de sortie sous forme de règle floues. Il peut être représenté par différents description (linguistique, symbolique, matrice d'inférence, tableau d'inférence) [13]. Supposons que le système flou ait deux entrées convenablement transformées en variables linguistiques x , y et une sortie z . et que l'on a défini n règles linguistiques comme suit:

$$\text{Si } x = A_1 \text{ et } y = B_1 \text{ alors } z = C_1$$

$$\text{Si } x = A_2 \text{ et } y = B_2 \text{ alors } z = C_2$$

Si $x = A_n$ et $y = B_n$ alors $z = C_n$

Où x , y et z sont des variables linguistiques qui représentent les variables d'état de processus et les variables de contrôle, A_n , B_n et C_n sont les sous-ensembles flous définis dans les ensembles de référence pour x , y et z respectivement. En toute généralité, n'importe quelle combinaison des opérateurs 'et' et 'ou' non peut apparaître dans la condition d'une règle, suivant les conditions imposées par le système à régler [4]. Parmi les mécanismes d'inférence les plus utilisés on cite celle de Mamdani.

8.2.1. Méthode d'inférence Max- Min

Elle utilise uniquement des comparaisons, d'où sa simplicité et sa facilité d'emploi. Elle est donc très rapide à l'exécution et facile à programmer, ce fut la première méthode d'inférence à être utilisée inventée par Mamdani.

Les fonctions décrivant les différents opérateurs dans cette méthode sont :

- Au niveau de la condition : *ET* est représenté par la fonction *Min*.

OU est représenté par la fonction *Max*.

- Au niveau de la conclusion : *OU* est représenté par la fonction *Max*.

Alors est représenté par la fonction *Min*.

Exemple :

Si on se limite au cas de deux règles contenant deux prémisses ($m = n = 2$), l'inférence s'exprime par :

Règle 1 : Si (x_1 est A_{11}) et (x_2 est A_{12}) ; alors (Y est B_1)

Règle 2 : Si (x_1 est A_{21}) et (x_2 est A_{22}) ; alors (Y est B_2)

...

Conclusion : (Y est B_0)

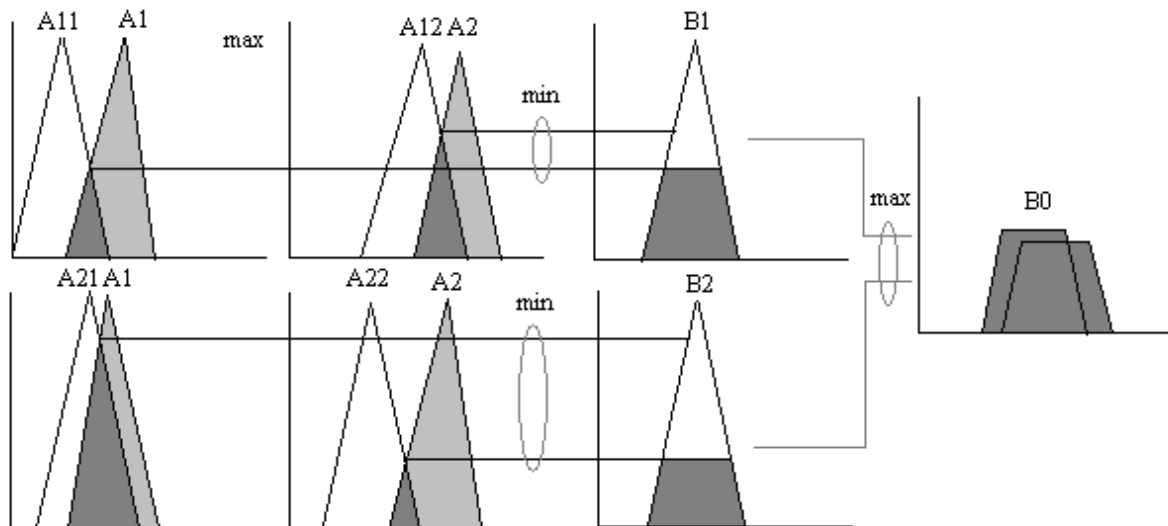


Figure I.3. Méthode de max min de Mamdani

L'inférence max-min est une méthode relativement simple largement utilisée dans les applications industrielles.

8.3. Defuzzification

Donc dans l'étape de Defuzzification, on réalise l'opération inverse, à savoir, obtenir une valeur réelle de la sortie à partir des surfaces obtenues dans l'étape d'inférence, il existe plusieurs méthodes de Defuzzification, dont la plus utilisée est celle du centre de gravité.

8.3.1. Méthode du centre de gravité

La sortie correspond à l'abscisse du centre de gravité de la surface de la fonction d'appartenance résultante. Ce qui se détermine d'une manière générale par la règle suivante:

$$Y = \frac{\int_{-1}^{+1} m_{res}(Y_{res}) Y_{res} dY_{res}}{\int_{-1}^{+1} m_{res}(Y_{res}) dY_{res}} \quad (I.5)$$

Avec :

Y_{res} : la variable de sortie.

μ_{res} : La fonction d'appartenance de la variable de sortie déterminée via l'engin d'inférence.

Y : la grandeur numérique de sortie.

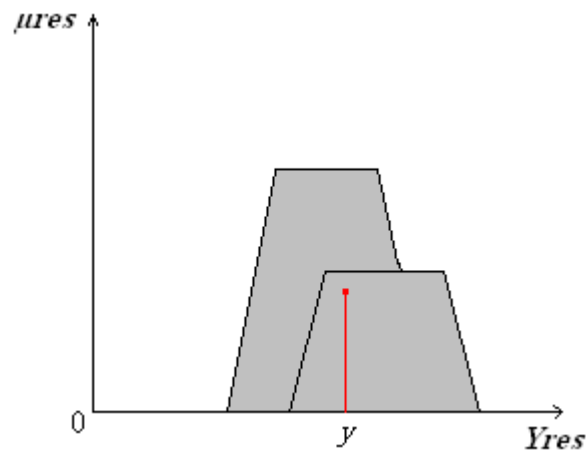


Figure I.4. Méthode de centre de gravité

9. Conclusion

Nous avons cité dans ce chapitre les éléments de base nécessaires à la compréhension de la logique floue. L'approche floue permet de tenir compte à la fois des connaissances d'un expert humain et de l'incertitude et de l'imprécision des données traitées par le contrôleur. En fait, le fonctionnement d'un contrôleur flou dépend d'un nombre très important de paramètres (fonctions d'appartenance, règles floues, règles d'inférence, défuzzification) qu'il faut régler lors de la conception. Comme ces paramètres s'influencent mutuellement, il est peu probable qu'une méthode de synthèse traitant indépendamment chaque sous-système du contrôleur flou puisse fournir un résultat «optimal».

Dans certains cas, une approche globale de la conception est toutefois possible. Elle est basée sur une méthode d'apprentissage, dans laquelle un système extérieur au contrôleur analyse les performances de ce dernier lorsqu'il utilise un ensemble donné de paramètres. Par essais successifs, le système extérieur peut sélectionner le jeu de paramètres qui assurera le «meilleur» fonctionnement du contrôleur.

Chapitre II :

Asservissement

L'Asservissement

1. Introduction

Nous avons vues dans le chapitre précédent les notions de bases de la logique floue ainsi les différentes étapes de la conception d'un régulateur flou, l'objectif de ce chapitre est la création d'un contrôleur flou puissant capable de régler un système non linéaire à un modèle mathématique proportionnellement complexe. Nous entamions tout d'abord par la définition de quelques notions de base sur l'asservissement.

2. Notions sur les systèmes de commande asservis

2.1. Définition

Dans le domaine de la technologie ou de la science, nous restreignons en général le sens des termes systèmes de commande pour les appliquer uniquement aux systèmes dont la fonction principale est de commander, diriger ou régler d'une manière active ou dynamique [15].

Les systèmes de commande asservis, ou asservissements, ou systèmes bouclés sont conçus de manière à corriger par eux-mêmes les écarts entre la valeur réelle du signal de sortie et la valeur désirée, correspondant à la loi imposée [14].

Donc un système de commande est un assemblage de constituants physiques branchés ou reliés les uns aux autres de telle sorte qu'il puisse se commander, se diriger ou se régler lui-même [15].

2.2. Le signal d'entrée

On appelle signal d'entrée l'excitation ou stimulus appliqué au système de commande à partir d'une source d'énergie extérieure [15].

2.3. Le signal de sortie

On appelle signal de sortie la réponse effective obtenue à partir du système de commande. Elle peut coïncider ou non avec la réponse que doit normalement provoquer le signal d'entrée [15].

2.4. La précision

On dit qu'un système bouclé est d'autant plus précis que la déférence $e(t)$ entre la valeur réelle $y(t)$ de sa grandeur de sortie et la valeur désirée $cons(t)$ de $y(t)$ est réduite [14].

2.5. Classification des systèmes de commande

Les systèmes de commande entrent dans deux catégories générales: les systèmes en boucle ouvertes et les systèmes en boucle fermée. Cette distinction est fondée sur la nature du signal de commande qui est la quantité donnant au système l'impulsion nécessaire à la formation du signal de sortie [15].

2.5.1. Un système en boucle ouverte

Un système de commande en boucle ouverte est un système où le signal de commande est indépendant du signal de sortie [15].

2.5.2. Un système en boucle fermée

Un système de commande en boucle fermée est un système où le signal de commande dépend d'une façon ou d'une autre du signal de sortie [15].

2.6. Le schéma fonctionnel

Un schéma fonctionnel consiste en une représentation graphique abrégée des relations de cause à effet entre le signal d'entrée et le signal de sortie d'un système physique. C'est un moyen à la fois utile et aisé de caractériser les relations fonctionnelles existant entre les différents organes d'un système de commande. On peut également utiliser le terme élément pour désigner un organe du système [15].

2.7. Le système échantillonné

2.7.1. Définition

Un système échantillonné est un système à évolution continue pour lequel la prise et la transmission d'information s'effectuent à des instants discrets $t(k)$ du temps appelés instants d'échantillonnage. Le cas le plus fréquent est celui de l'échantillonnage à période constante T , pour lequel $t(k+1) - t(k) = T$ quelque soit k [16].

2.7.2. Le schéma général de la commande numérique

Le schéma de base de la régulation numérique est représenté dans la figure II.1 [16] :

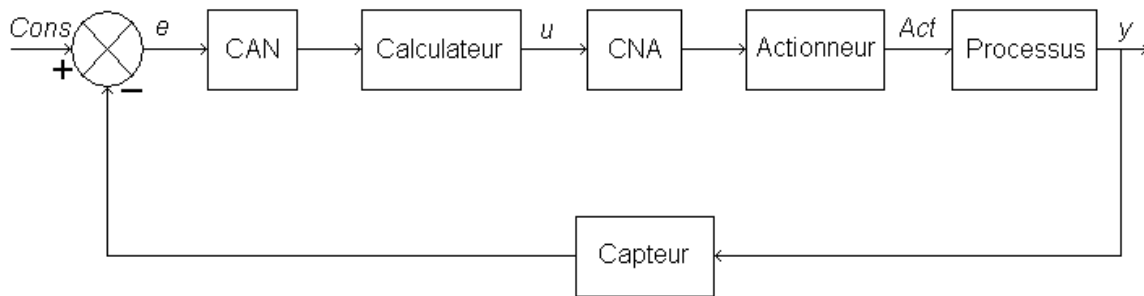


Figure II.1 Schéma blocs de la commande numérique

3. Application

3.1. Procédé à régler

Ce procédé est constitué de :

- Processus: un bain d'eau.
- Actionneurs: actionneur réchauffement, actionneur de refroidissement.
- Capteur: un thermocouple.

3.2. Le contrôle de la température d'eau d'un bain (processus d'Omatu-Tanomaru) [17]

La fonction de transfert non linéaire du 1^{er} ordre en boucle fermée sous forme récurrente de ce système est telle que (fonction (II.1)):

$$y(k+1) = a(k) \times y(k) + \left(\frac{b(k)}{1 + \exp(0.5 \times y(k) - 1)} \right) u_c(k) + (1 - a(k)) \times y_0$$

$$a(k) = \exp(-ak)$$

$$b(k) = \frac{b}{a} \times (1 - \exp(-ak))$$

k : (période d'échantillonnage) ; $y_0 = 25$ °C ; $I = 40$; $\alpha = 1.00151 \times 10^{-4}$; $\beta = 8.67973 \times 10^{-3}$.

3.3. La consigne de température

La référence de la température de l'eau est :

$$ref = \begin{cases} 34 & k \leq 30 \\ 34 + 0.5(k - 30) & 30 < k \leq 50 \\ 44 + 0.8(k - 50) & 50 < k \leq 70 \\ 60 + 0.5(k - 70) & 70 < k \leq 90 \\ 70 & 90 < k \leq 120 \end{cases}$$

La consigne est représentée dans la figure suivante :

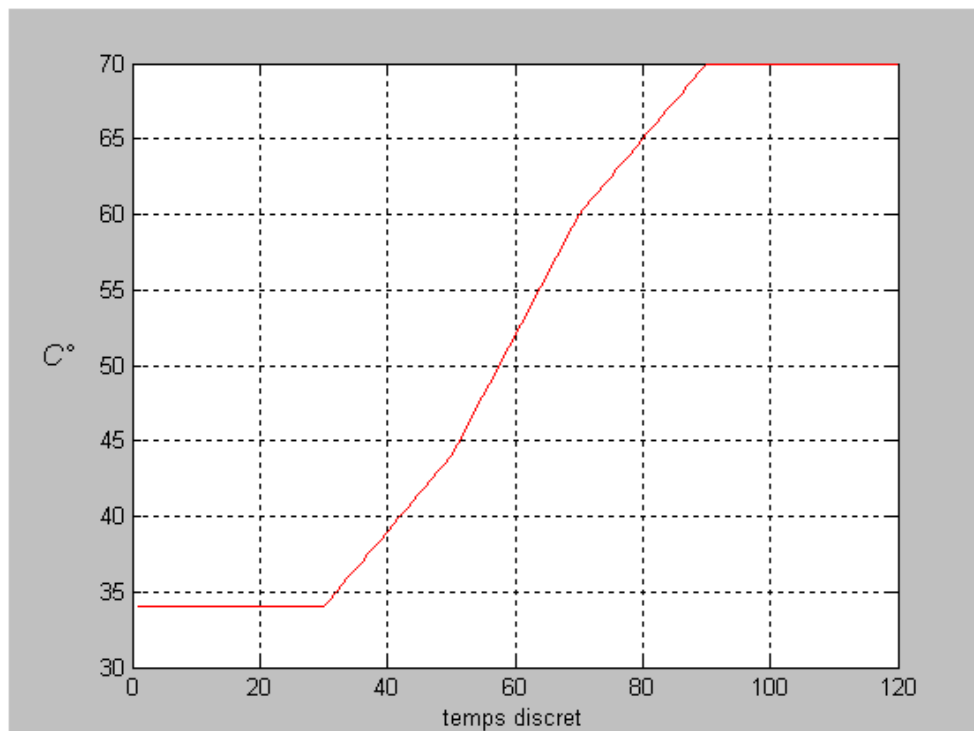


Figure II.2 Consigne de température

3.4. Le schéma blocs de la régulation de la température d'eau d'un bain

La structure de contrôle flou est représentée sur la figure II.3 :

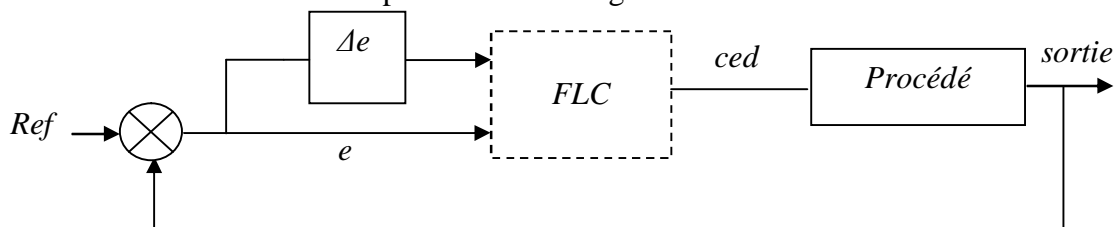


Figure II.3 Schéma de la structure de contrôle flou

Le schéma ci-dessus présente la structure de commande qu'on a opté, on a choisi un contrôleur flou à deux entrées qui sont l'erreur « e » entre la sortie du système et la référence désirée et la dérivée de l'erreur « Δe », La dérivée de l'erreur suffit pour indiquer la variation de l'erreur, et une sortie qui est la commande « ced » à appliquer au système commandé.

3.5. Le contrôleur flou

A fin de construire le régulateur flou, nous nous sommes ramenés à faire un ensemble de choix sur les éléments constitutifs de ce dernier, à savoir les fonctions d'appartenances, la méthode d'inférence et de defuzzification.

Il est à souligner qu'il n'y a pas une méthode qui permet de fixer ces éléments d'une manière déterministe. On ne trouve que des orientations acquises par l'expérience dans le domaine de la régulation floue.

3.5.1. Fuzzification

Dans notre travail nous avons essayé plusieurs types de fonction d'appartenance et à la fin nous avons opté pour des fonctions de forme triangulaire avec intervalle de variation de $[-100\ 100]$ pour les deux entrées, à chaque une nous avons associé sept sous ensembles.

- Les sous ensembles de l'entrée « *err* » sont : *GN1* : grand négative, *NI* : négative, *PN1* : petit négative, *Z1* : nul, *PP1* : petit positive, *P1* : positive, *GP1* : grand positive.

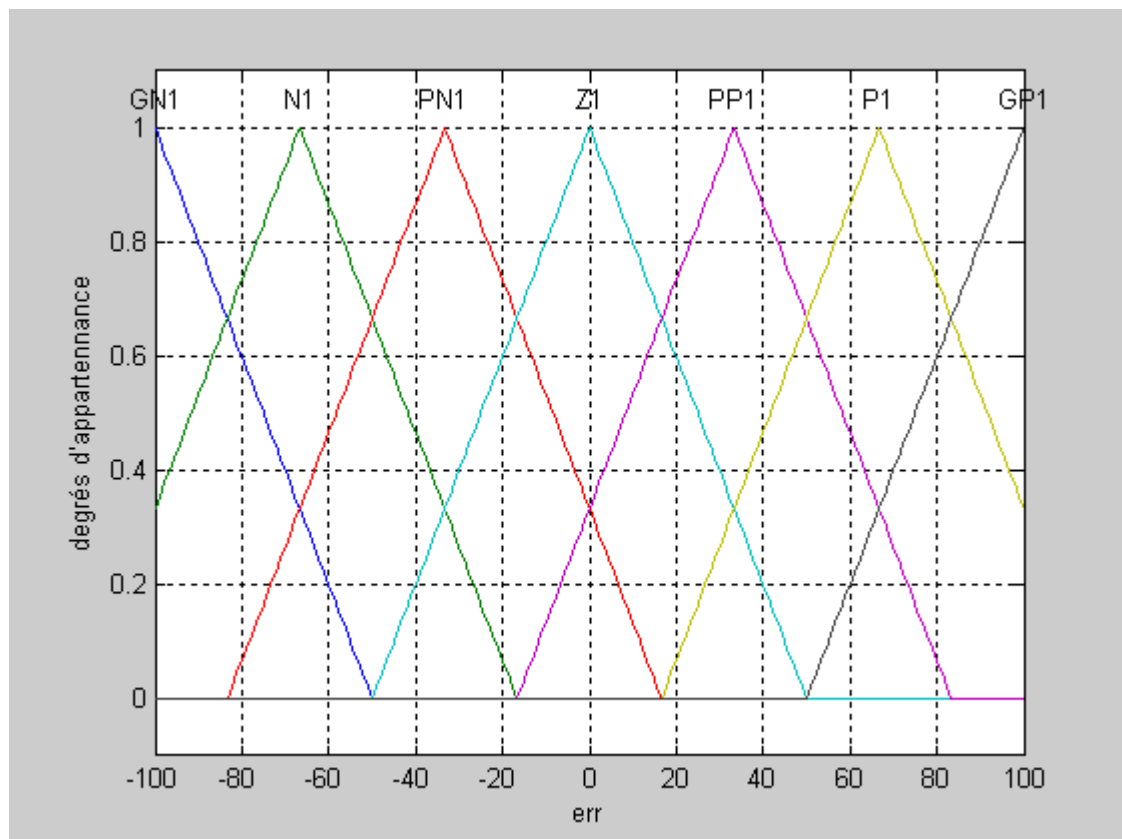


Figure II.4 Les sous ensembles de l'entrée « *err* »

- Les sous ensembles de dérivée d'entrée « Δe » sont : *GN2* : grand négative, *N2* : négative, *PN2* : petit négative, *Z2* : nul, *PP2* : petit positive, *P2* : positive, *GP2* : grand positive.

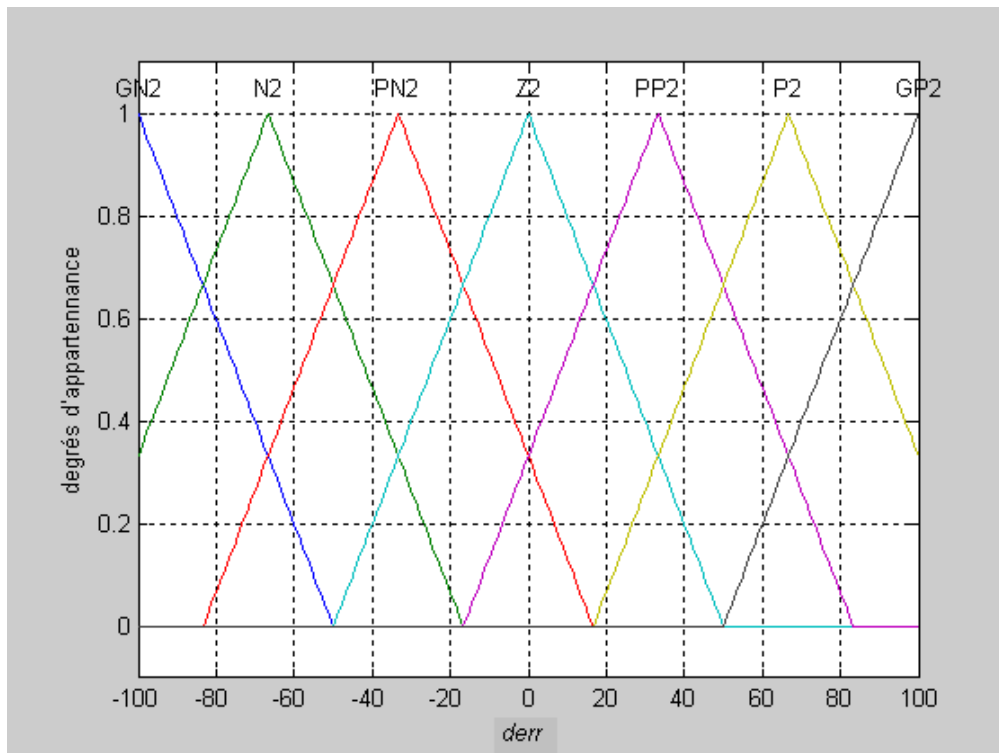


Figure II.5 Les sous ensembles de la dérivée d'entrée « Δe »

- Les sous ensembles de la sortie « ced » avec intervalle de variation de [-100 100] sont :
GN3 : grand négative, *N3*: négative, *PN3* : petit négative, *Z3*: nul, *PP3*: petit positive, *P3* : positive, *GP3* : grand positive.

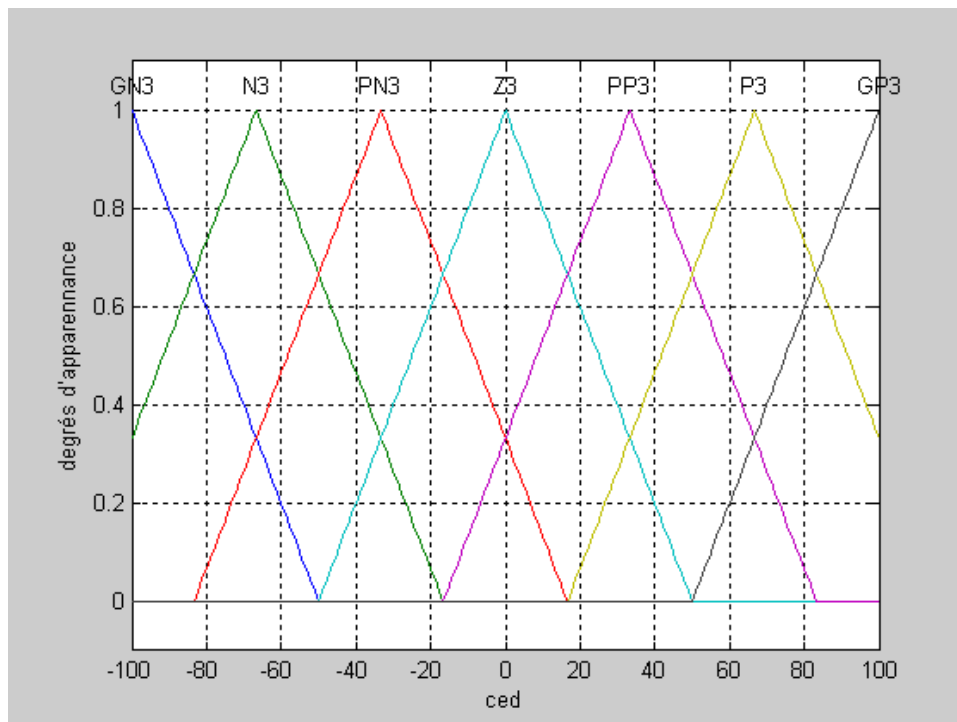


Figure II.6 Les sous ensembles de la sortie « ced »

3.5.2. Inférence floue

3.5.2.1. La liste des règles :

Si err est GN1 et d_err est GN2 alors ced est GP3

Si err est N1 et d_err est GN2 alors ced est P3

Si err est PN1 et d_err est GN2 alors ced est PP3

Si err est Z1 et d_err est GN2 alors ced est PP3

Si err est PP1 et d_err est GN2 alors ced est PN3

Si err est P1 et d_err est GN2 alors ced est N3

Si err est GP1 et d_err est GN2 alors ced est Z3

Si err est GN1 et d_err est N2 alors ced est P3

Si err est N1 et d_err est N2 alors ced est P3

Si err est PN1 et d_err est N2 alors ced est PP3

Si err est Z1 et d_err est N2 alors ced est PP3

Si err est PP1 et d_err est N2 alors ced est PN3

Si err est P1 et d_err est N2 alors ced est Z3

Si err est GP1 et d_err est N2 alors ced est N3

Si err est GN1 et d_err est PN2 alors ced est P3

Si err est N1 et d_err est PN2 alors ced est P3

Si err est PN1 et d_err est PN2 alors ced est PP3

Si err est Z1 et d_err est PN2 alors ced est PP3

Si err est PP1 et d_err est PN2 alors ced est Z3

Si err est P1 et d_err est PN2 alors ced est PN3

Si err est GP1 et d_err est PN2 alors ced est N3

Si err est GN1 et d_err est Z2 alors ced est P3

Si err est N1 et d_err est Z2 alors ced est P3

Si err est PN1 et d_err est Z2 alors ced est PP3

Si err est Z1 et d_err est Z2 alors ced est Z3

Si err est PP1 et d_err est Z2 alors ced est PN3

Si err est P1 et d_err est Z2 alors ced est N3

Si err est GP1 et d_err est Z2 alors ced est N3

Si err est GN1 et d_err est PP2 alors ced est P3

Si err est N1 et d_err est PP2 alors ced est P3

Si err est PN1 et d_err est PP2 alors ced est Z3

Si err est Z1 et d_err est PP2 alors ced est PN3

Si err est PP1 et d_err est PP2 alors ced est PN3

Si err est P1 et d_err est PP2 alors ced est N3

Si err est GP1 et d_err est PP2 alors ced est N3

Si err est GN1 et d_err est P2 alors ced est P3

Si err est N1 et d_err est P2 alors ced est Z3

Si err est PN1 et d_err est P2 alors ced est PP3

Si err est Z1 et d_err est P2 alors ced est N3

Si err est PP1 et d_err est P2 alors ced est PN3

Si err est P1 et d_err est P2 alors ced est N3

Si err est GP1 et d_err est P2 alors ced est N3

Si err est GN1 et d_err est GP2 alors ced est Z3

Si err est N1 et d_err est GP2 alors ced est P3

Si err est PN1 et d_err est GP2 alors ced est PP3

Si err est Z1 et d_err est GP2 alors ced est N3

Si err est PP1 et d_err est GP2 alors ced est N3

Si err est P1 et d_err est GP2 alors ced est N3

Si err est GP1 et d_err est GP2 alors ced est GN3

Pour élaborer ces règles, nous exploitons une table de décision de quarante neuf règles. La première ligne représente les fonctions d'appartenances de l'erreur « *err* », la première colonne représente celle de la variation de l'erreur « *Δe* ». Les autres cases représentent les fonctions d'appartenance possibles pour la sortie « *ced* ».

<i>err</i> <i>Δe</i>	<i>GN1</i>	<i>N1</i>	<i>PN1</i>	<i>Z1</i>	<i>PP1</i>	<i>P1</i>	<i>GP1</i>
<i>GN2</i>	<i>GP3</i>	<i>P3</i>	<i>PP3</i>	<i>PP3</i>	<i>PN3</i>	<i>N3</i>	<i>Z3</i>
<i>N2</i>	<i>Z3</i>	<i>P3</i>	<i>P3</i>	<i>PP3</i>	<i>PN3</i>	<i>Z3</i>	<i>N3</i>
<i>PN2</i>	<i>P3</i>	<i>P3</i>	<i>PP3</i>	<i>PP3</i>	<i>Z3</i>	<i>PN3</i>	<i>N3</i>
<i>Z2</i>	<i>P3</i>	<i>P3</i>	<i>PP3</i>	<i>Z3</i>	<i>PN3</i>	<i>N3</i>	<i>N3</i>
<i>PP2</i>	<i>P3</i>	<i>P3</i>	<i>Z3</i>	<i>PN3</i>	<i>PN3</i>	<i>N3</i>	<i>N3</i>
<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>Z3</i>	<i>PP3</i>	<i>N3</i>	<i>PN3</i>	<i>N3</i>	<i>N3</i>
<i>GP2</i>	<i>Z3</i>	<i>P3</i>	<i>PP3</i>	<i>N3</i>	<i>N3</i>	<i>N3</i>	<i>GN3</i>

Table II.1 table d'inférence

3.5.2.2. Choix de la méthode d'inférence

Notre choix s'est porté sur la méthode d'inférence *Max- Min* de Mamdani déjà décrite dans le premier chapitre (paragraphe 8.2.1).

3.5.3. Defuzzification

Dans notre travail nous avons choisi la méthode du centre de gravité. La variable de sortie prend, l'abscisse de centre de gravité de la surface obtenue.

La règle générale de Defuzzification de type centre de gravité est, pour un système à deux entrées « *err* » et « *Δe* » :

Si e est A ET Δe est B alors sortie = c

Avec *A* et *B* qui sont des fonctions d'appartenances, respectivement, de « *err* » et « *Δe* », et *c* est l'abscisse de centre de gravité de la surface obtenue.

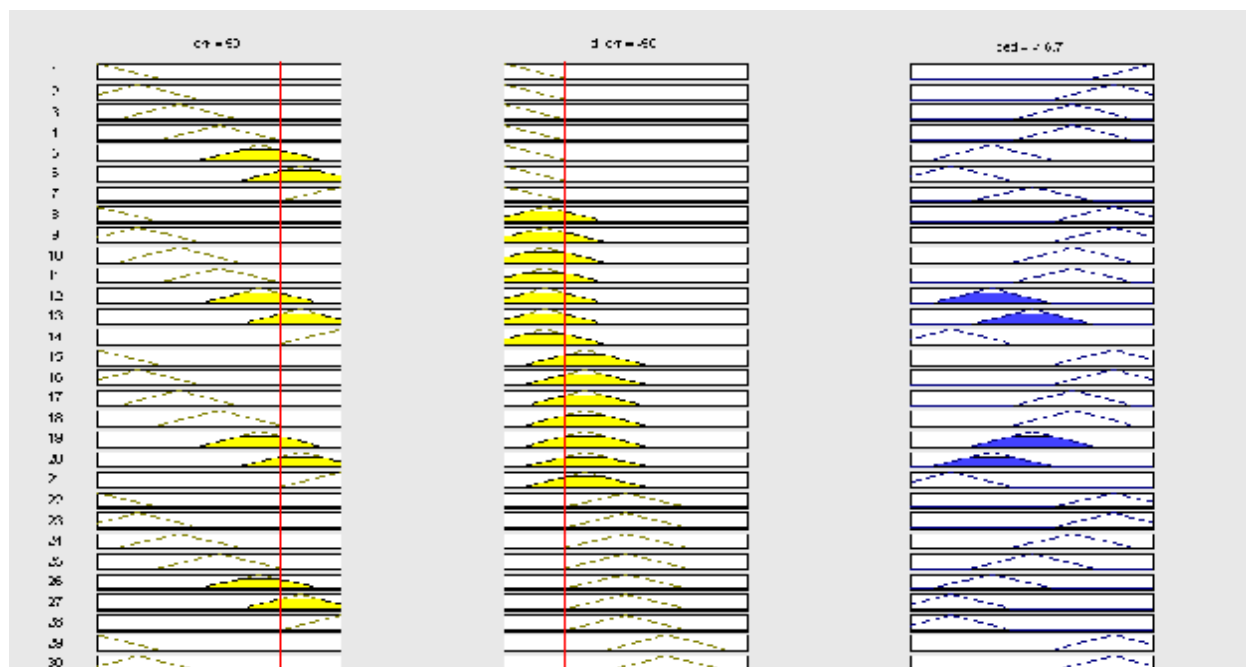


Figure II.7 Defuzzification par la méthode du centre de gravité

3.5.4. La loi de commande

La loi de commande dépend des entrées du régulateur, de l'erreur et de sa variation, tel que $u=f(e, \Delta e)$, de ce fait l'activation de l'ensemble des règles de décision associées fournit la variation de la commande Δu nécessaire, ce qui permet l'ajustement de la commande. La forme générale de la loi de commande est donnée par la fonction:

$$ced(k) = ced(k-1) + a * \Delta u(k)$$

Où : Δu : représente la variation de la commande, a : le gain associé à la commande ced .

3.5.5. Adaptation du gain de la commande

Généralement, dans les études effectuées sur les réglages flous, le gain associé à la commande est pris fixe. Cette constante est choisie généralement de faible valeur pour éviter le problème d'instabilité. Cependant, un faible gain rend le système plus lent.

Sachant que : le comportement en régime transitoire d'un système asservi est caractérisé par son amortissement et sa rapidité [26].

3.5.6. Algorithme

L'organigramme de la figure II.6 illustre la structure générale de l'algorithme de simulation du contrôleur flou.

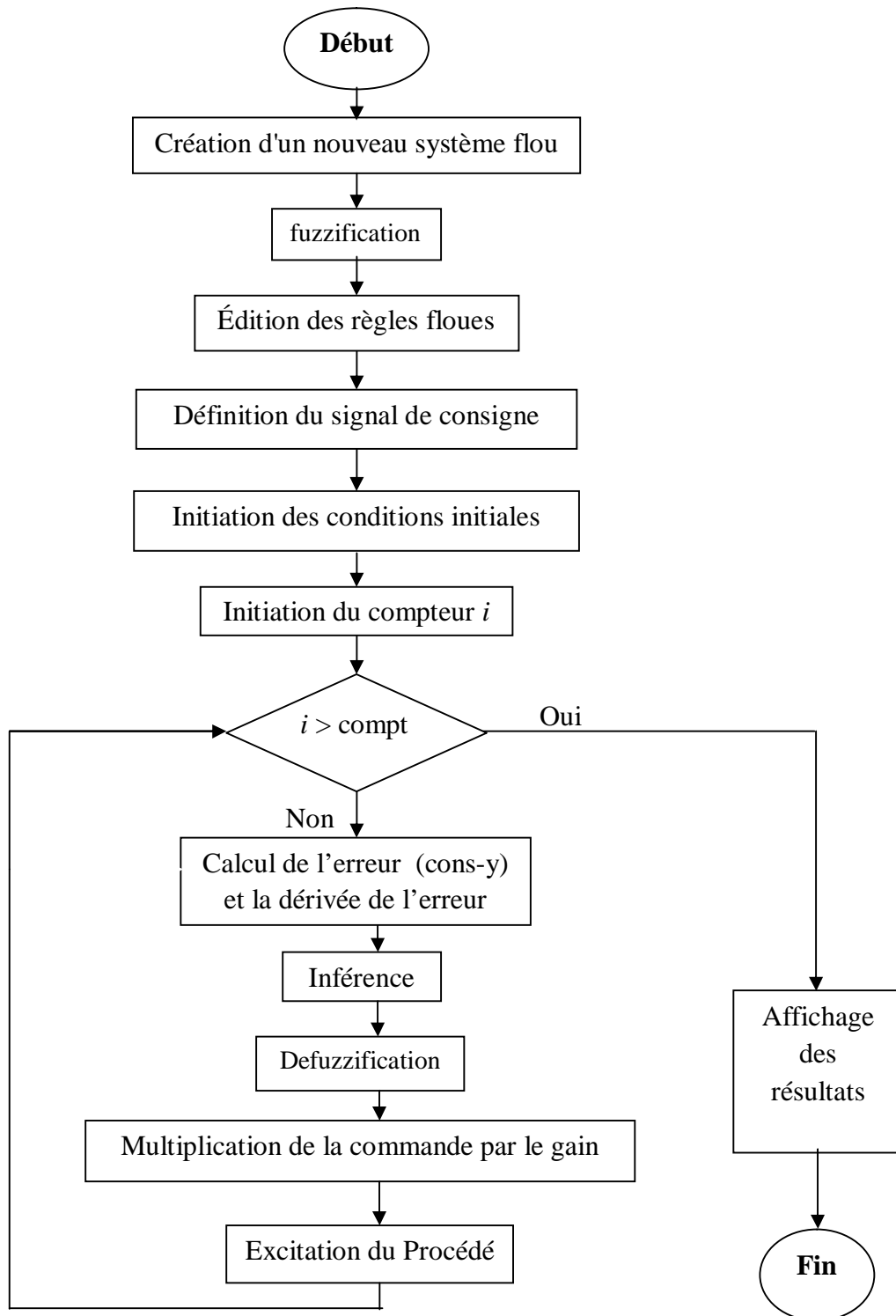


Figure II.8 Organigramme général de l'algorithme

4. Conclusion

L'introduction des contrôleurs flous dans le monde du contrôle industriel a permis d'élargir la gamme de choix de contrôleurs efficaces et d'éliminer certains inconvénients qui handicapaient les régulateurs classiques.

Chapitre III :

Résultats

de

simulation

Résultats de simulation

1. Introduction

Pour la majorité des problèmes d'automatique que l'on souhaite résoudre, on ne veut pas trouver une solution parmi d'autre mais une bonne solution. La qualité d'une solution est mesurée par rapport à un critère, lui-même calculé grâce à la fonction appelée consigne, tel que la consigne et la sortie du système sont les variables du problème. Le but est alors de trouver une précision qui satisfait les contraintes du problème.

2. Résultats et interprétations

Dans ce travail nous avons contrôlé la température et nous avons faits une étude comparative en contrôlant notre système. Après la simulation nous avons trouvés les résultats suivants:

2.1. Les effets des fonctions d'appartenance

La comparaison entre un régulateur flou à sept fonctions d'appartenance dans les variables d'entrées et de sortie(1^{er} contrôleur), et un régulateur flou à trois fonctions d'appartenance dans les variables d'entrées et cinq fonctions d'appartenance dans la variable de sortie (2^{ème} contrôleur), a donnée les résultats suivants:

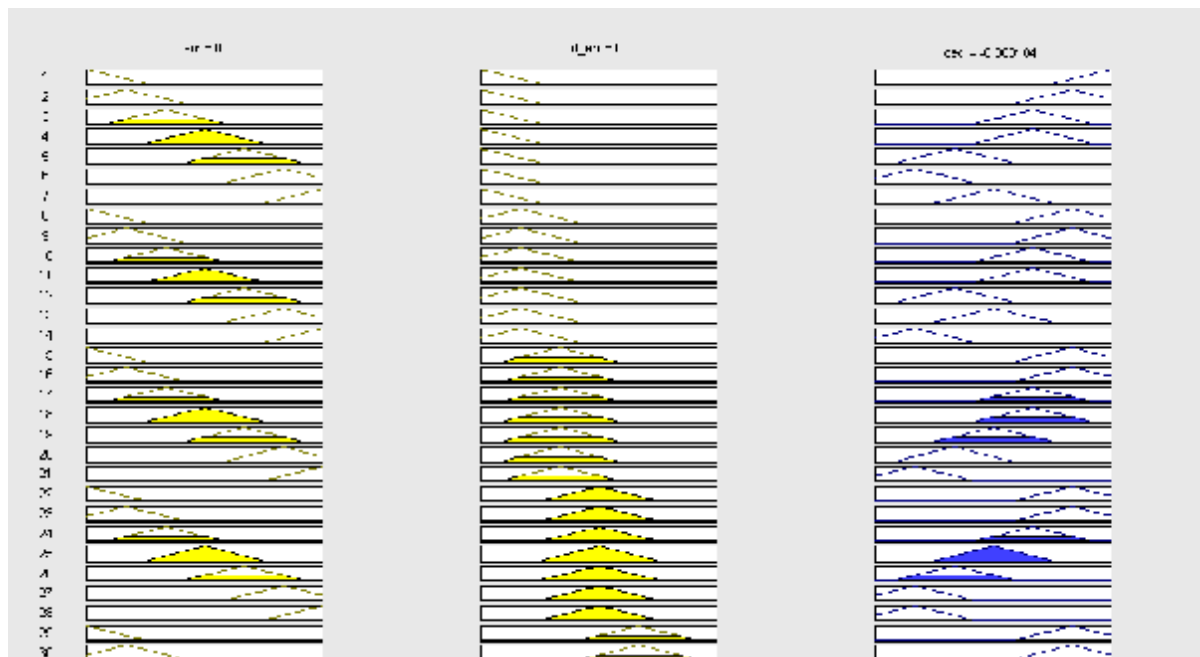


Figure III.1. Defuzzification du 1^{er} contrôleur

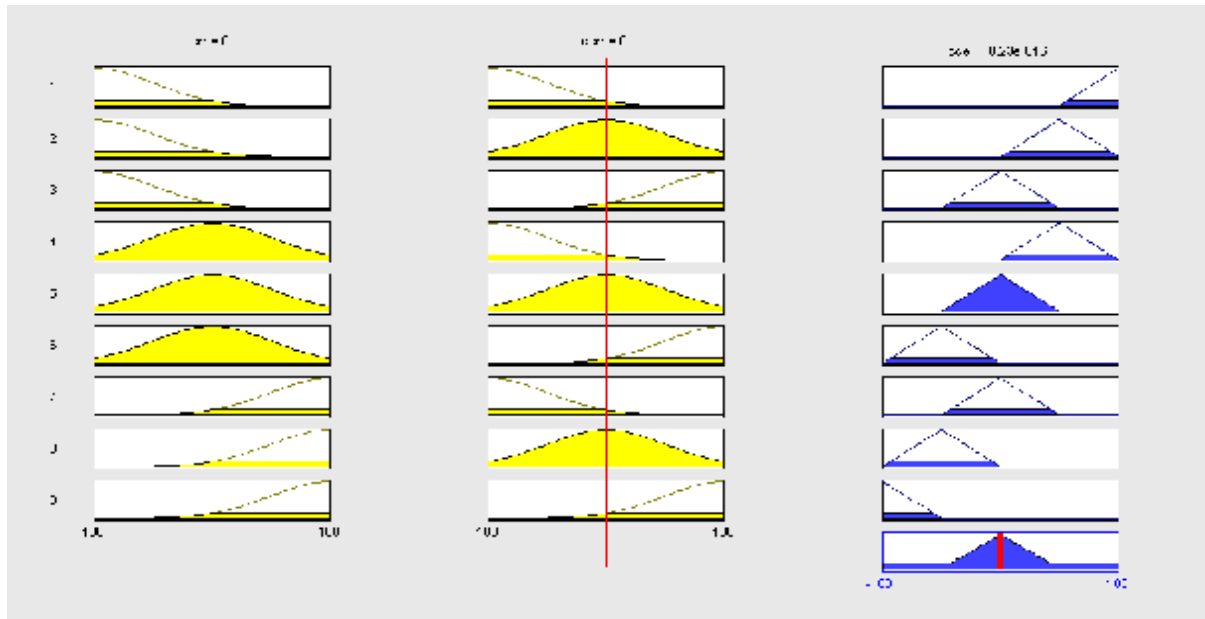


Figure III.2. Defuzzification du 2^{ème} contrôleur

La figure III.1 et la figure III.2 montrent l'opération de Defuzzification on remarque l'application de plusieurs règles d'inférence à la fois dans les deux contrôleurs.

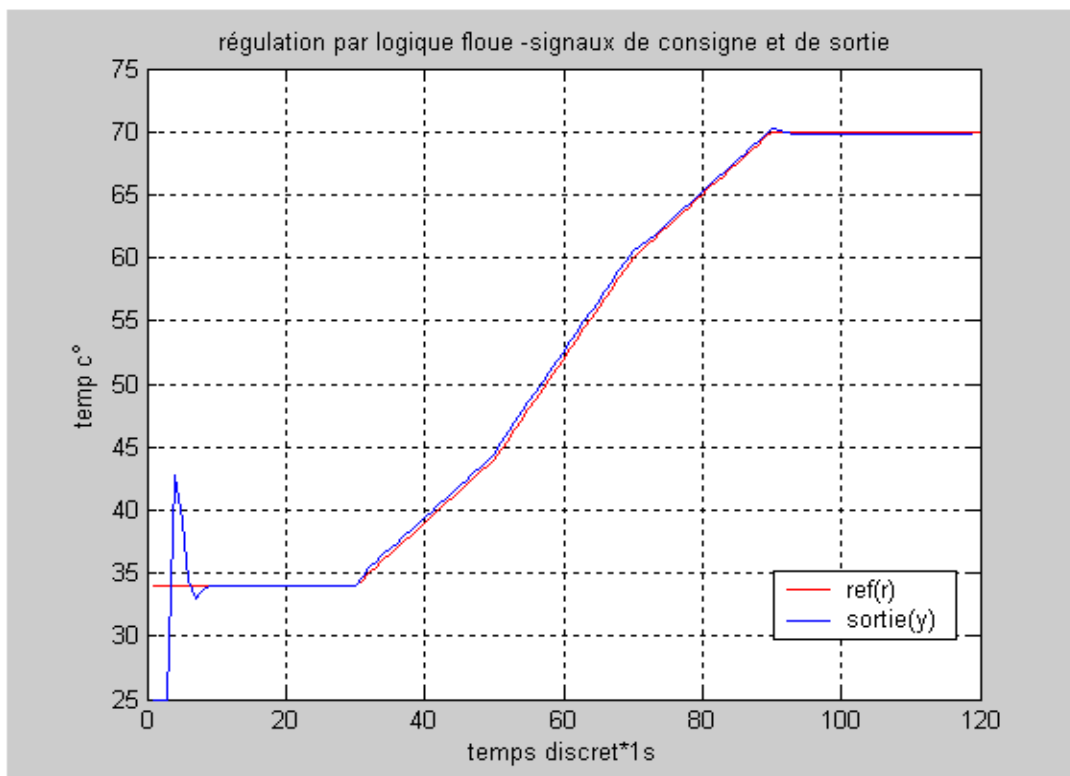


Figure III.3. Signaux de consigne et de sortie du 1^{er} contrôleur

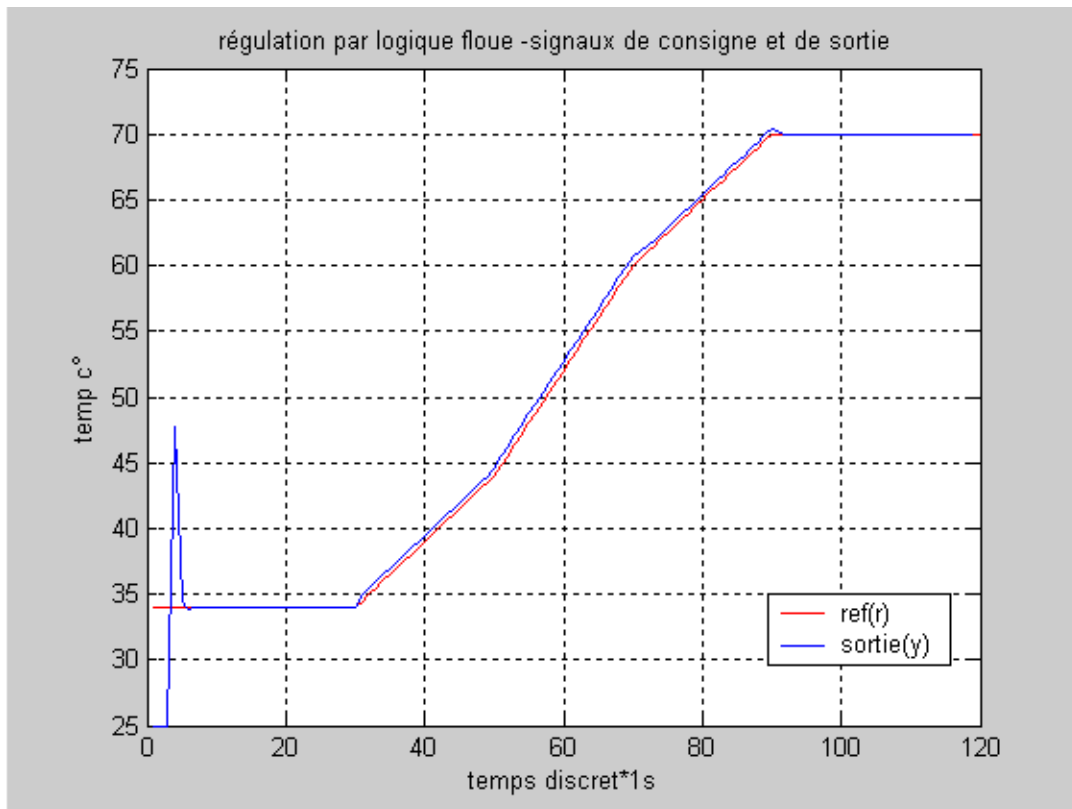


Figure III.4. Signaux de consigne et de sortie du 2^{ème} contrôleur

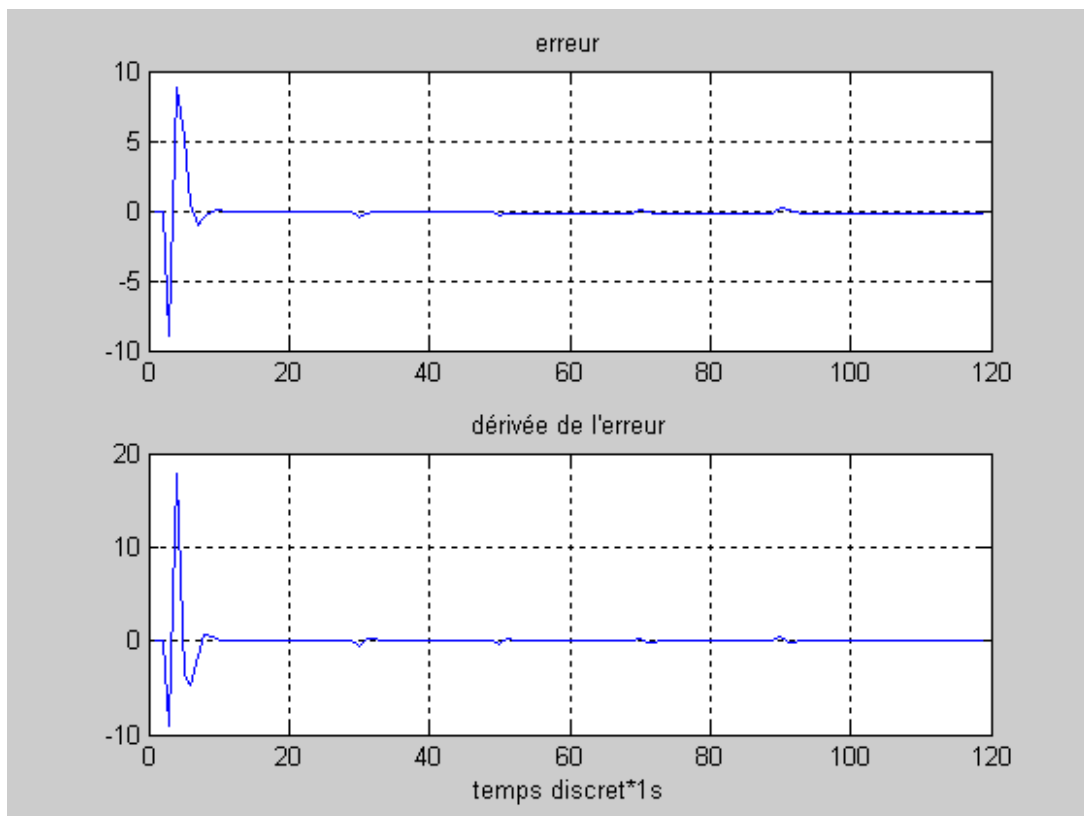


Figure III.5. Signaux d'erreur et sa dérivée du 1^{er} contrôleur

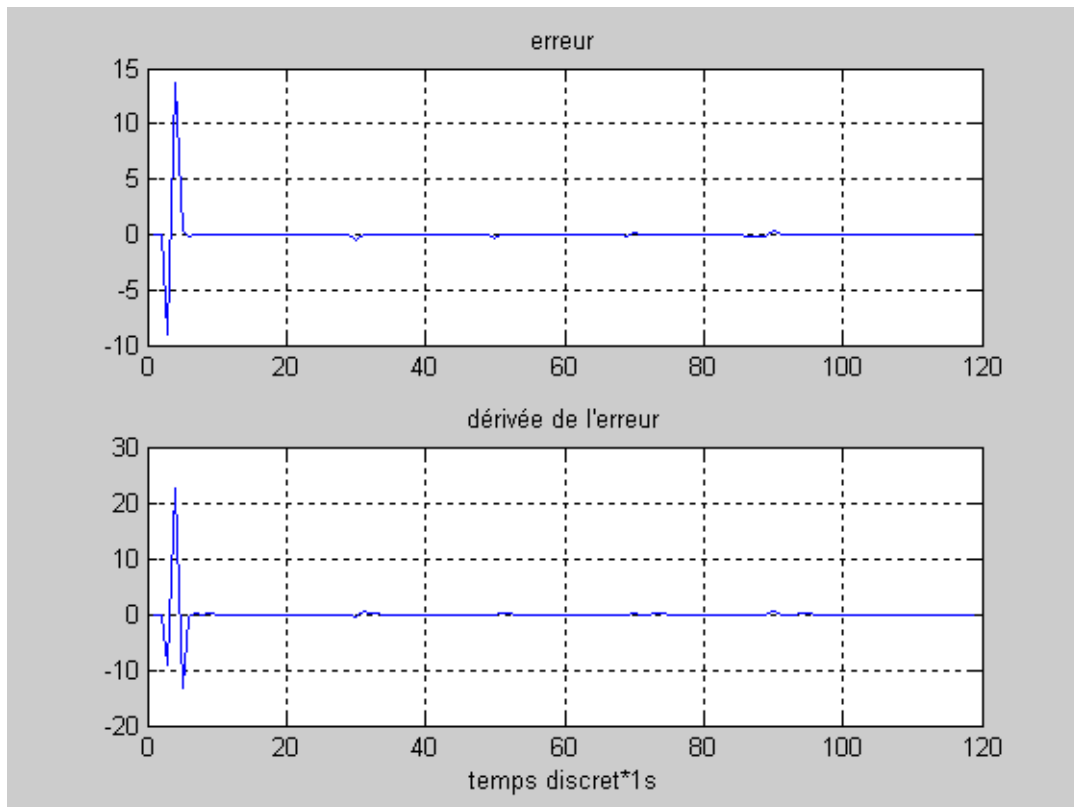


Figure III.6. Signaux d'erreur et sa dérivée du 2^{ème} contrôleur

Les figures III.3, III.4, III.5 et III.6 montrent la diminution du 1^{er} dépassement pour le 1^{er} régulateur par rapport à celui du 2^{ème} régulateur ce qui implique la diminution d'erreur dynamique.

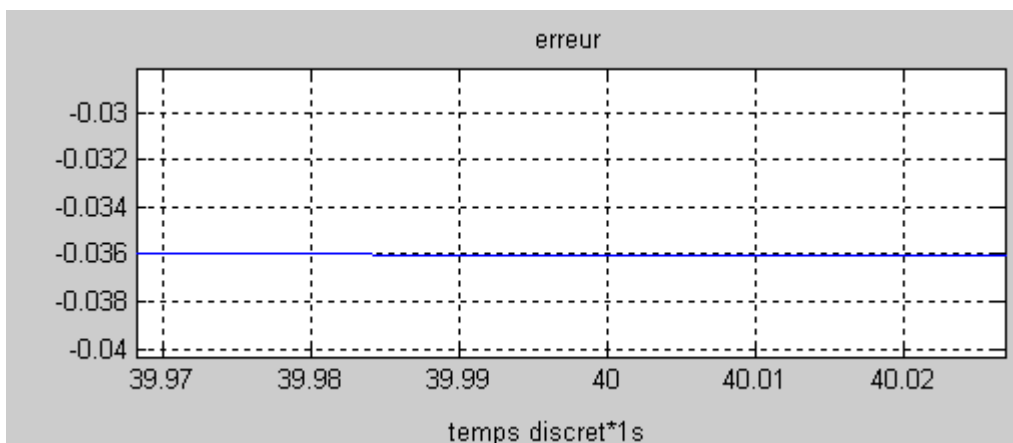


Figure III.7. Signal d'erreur statique zoomer du 1^{er} contrôleur

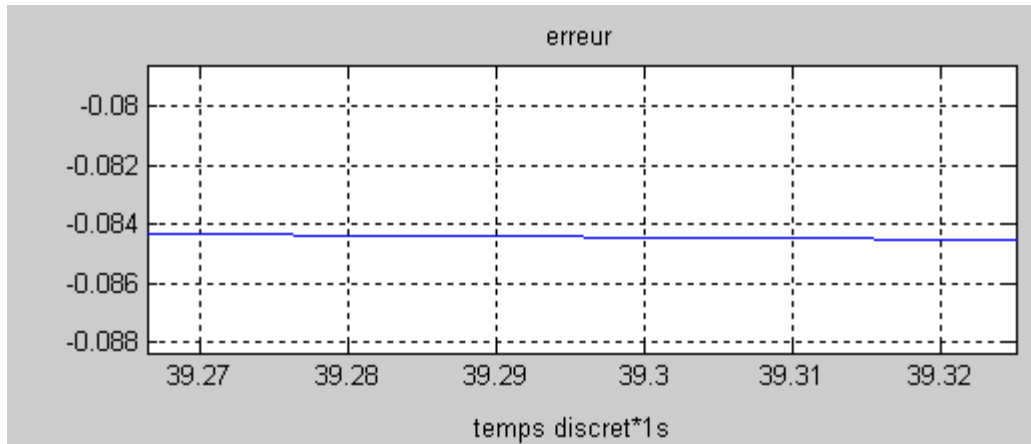


Figure III.8. Signal d'erreur statique zoomer du 2^{ème} contrôleur

Les figures III.7 et III.8 montrent la diminution de l'erreur statique pour le 1^{er} régulateur par rapport à celle du 2^{ème}.

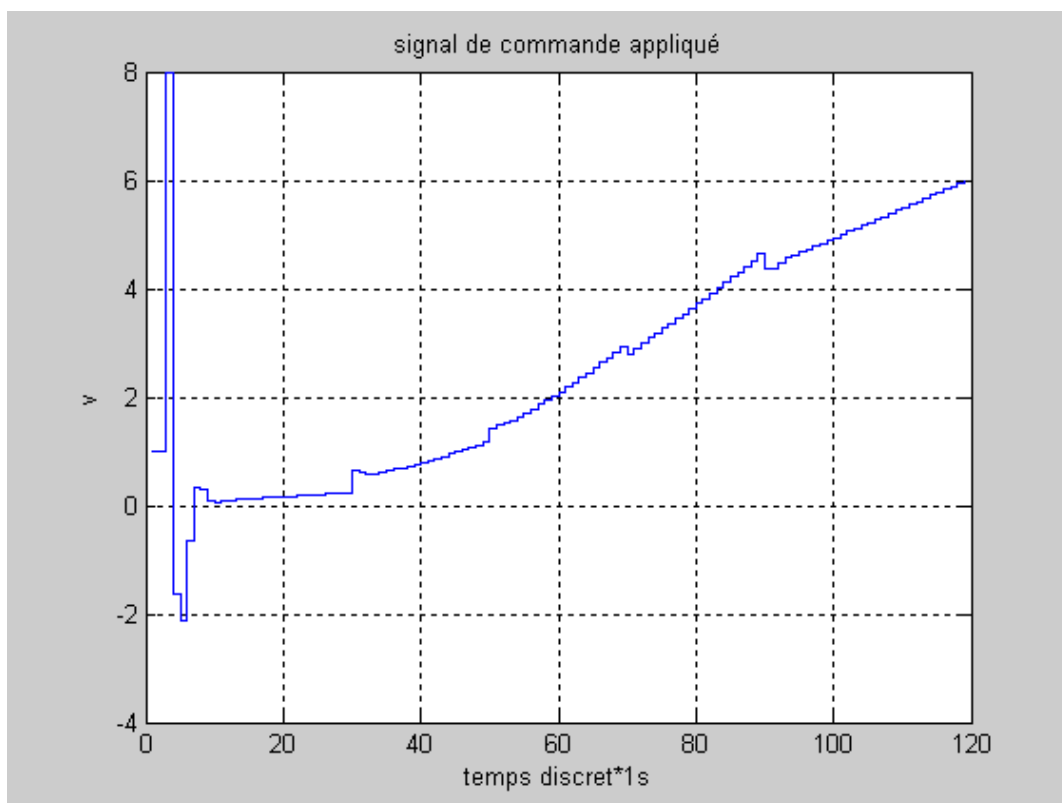


Figure III.9. Signal de commande appliqué du 1^{er} contrôleur

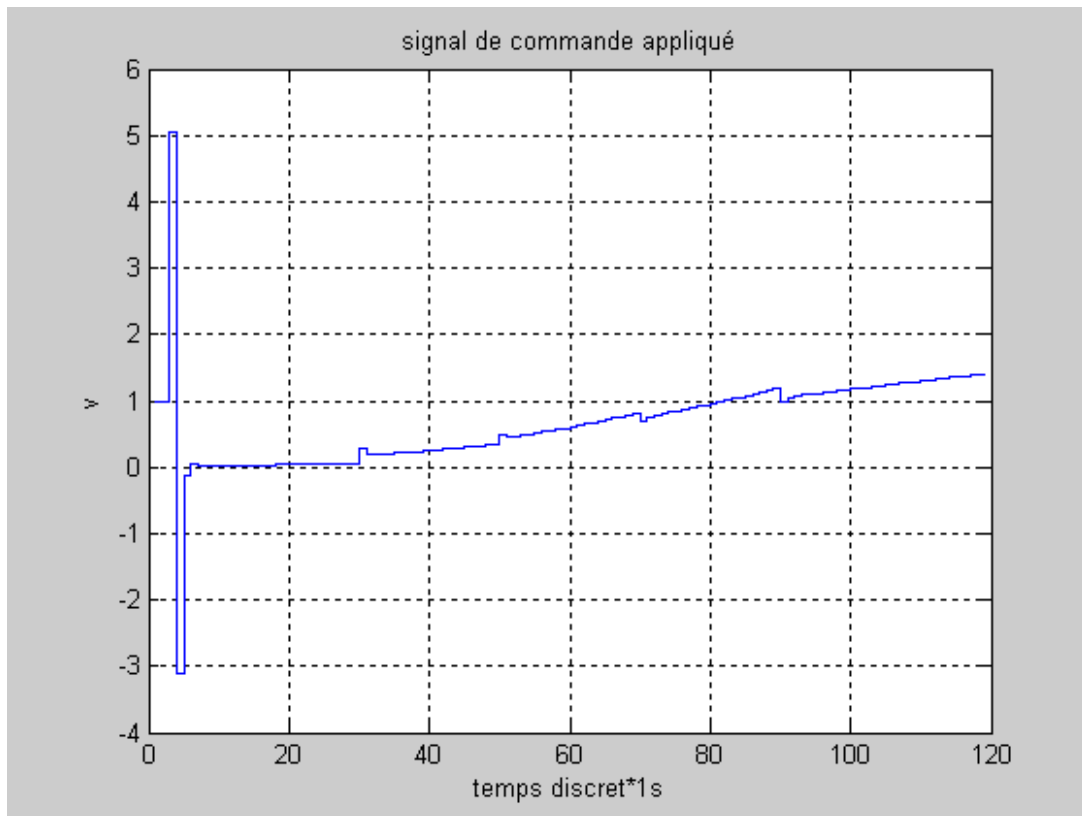


Figure III.10. Signal de commande appliqué du 2^{ème} contrôleur

Les figures III.9 et III.10 montrent les signaux de commande appliqués. On remarque que le signal du 1^{er} régulateur est plus riche en harmonique par rapport à celui du 2^{ème}, ce qui explique la disponibilité de choix des règles pour le 1^{er} contrôleur.

2.2. Résultats de comparaison

Après l'observation des résultats obtenus, on peut dire que le régulateur de sept fonction d'appartenance a permis d'améliorer les performances du réglage de diminuer l'erreur d'une façon générale (dynamique et statique).

2.3. Les effets du pas d'échantillonnage

La comparaison entre le même contrôleur flou avec deux pas d'échantillonnage 0.1s et 1s respectivement a donné les résultats suivants :

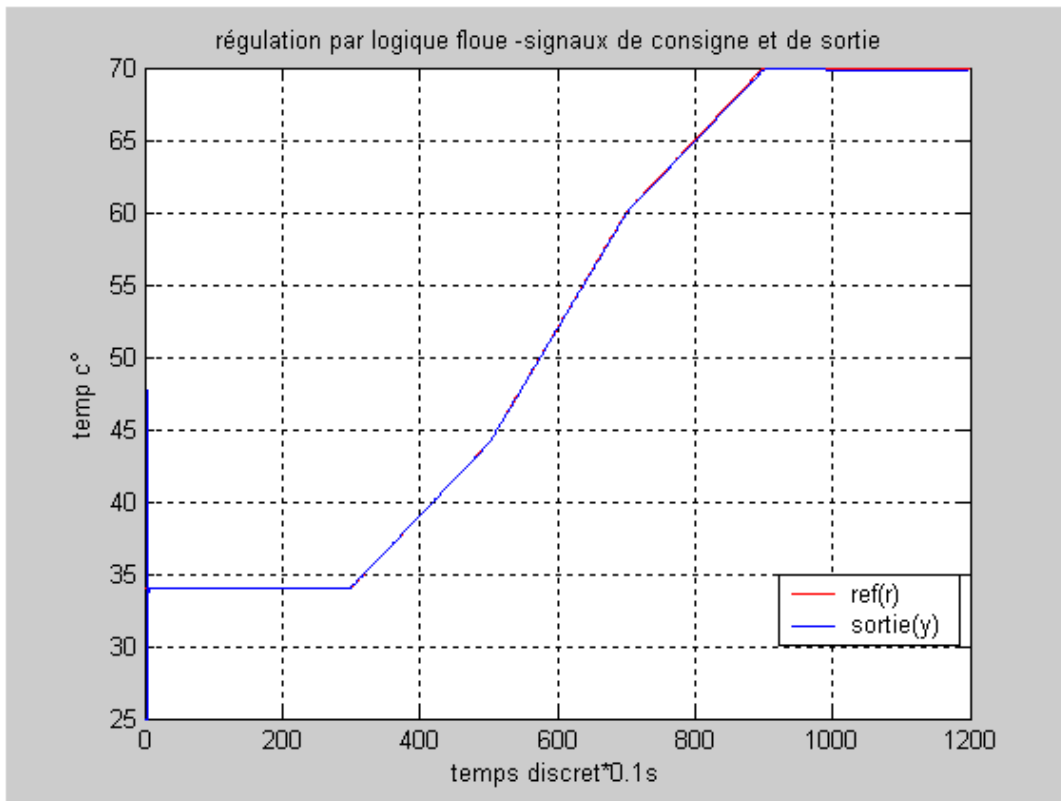


Figure III.11. Signaux de consigne et de sortie avec un pas d'échantillonnage de 0.1s

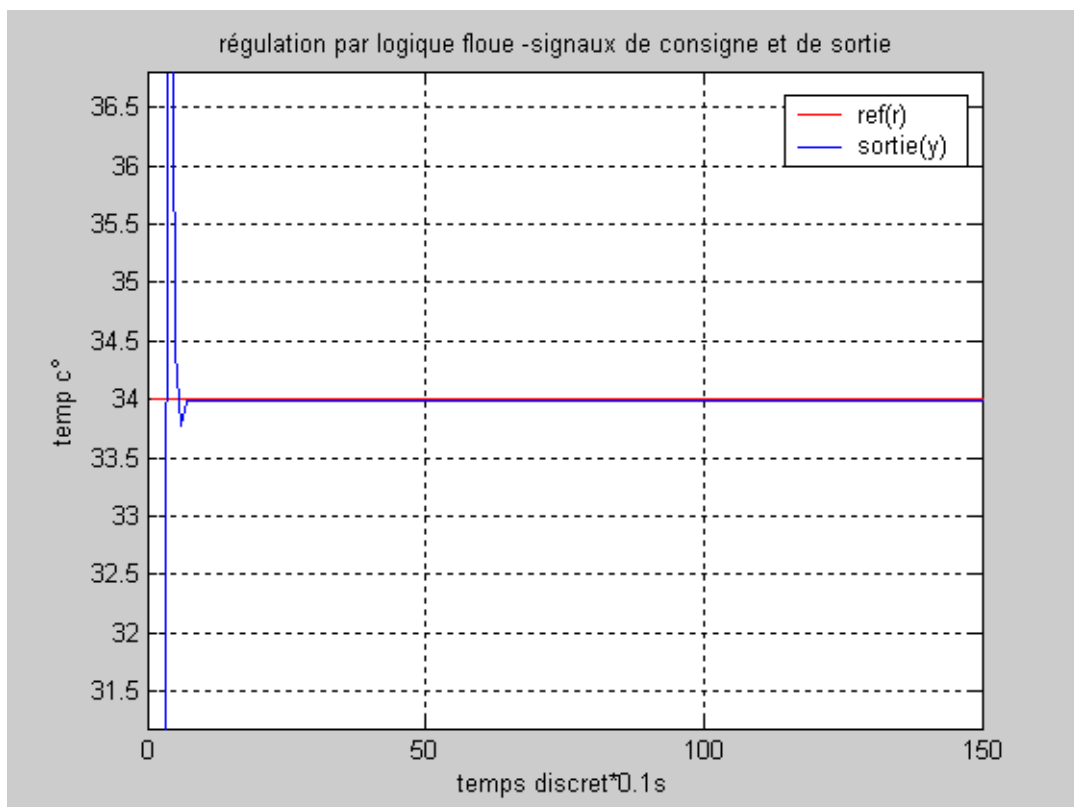


Figure III.12. Signaux de consigne et de sortie zoomer avec un pas d'échantillonnage de 0.1s

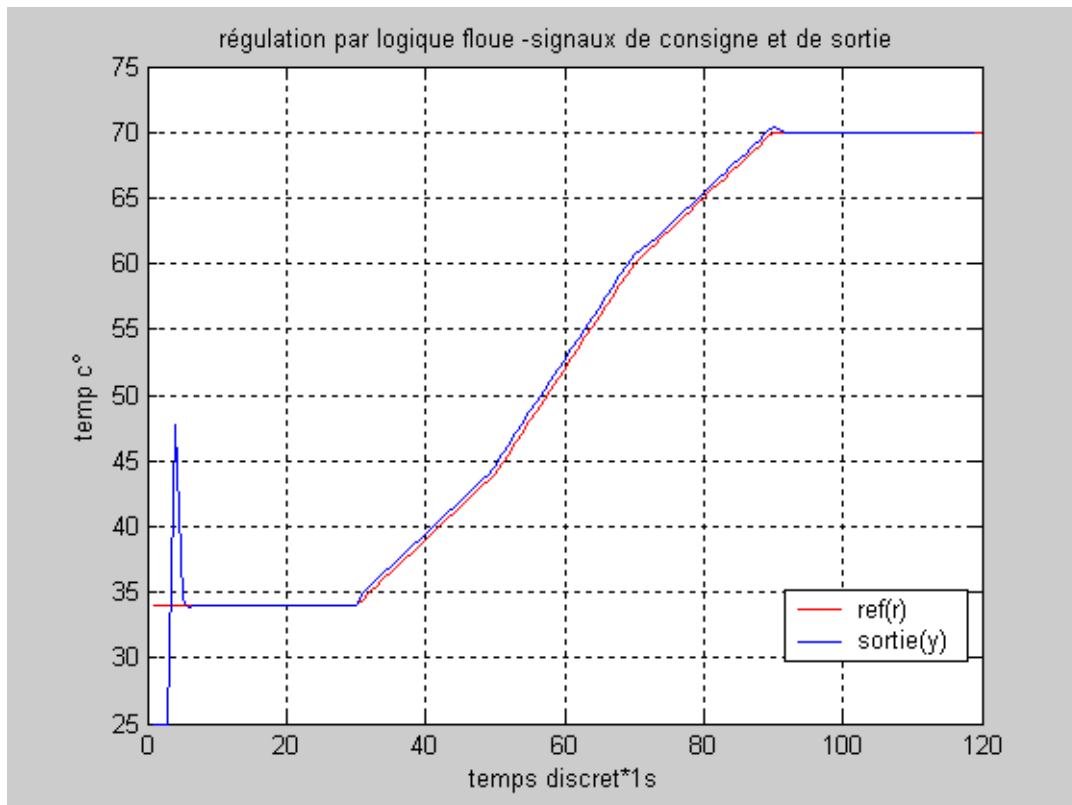


Figure III.13. Signaux de consigne et de sortie avec un pas d'échantillonnage de 1s

2.4. Résultats de comparaison

Le bon choix de la période d'échantillonnage a permis l'amélioration des performances du réglage sur toute l'erreur statique, elle a bien diminuée, mais il reste toujours que la période d'échantillonnage soit réalisable, sachant que la période d'échantillonnage 0.1s est techniquement très acceptable.

2.5. Les effets du gain

La comparaison entre le même contrôleur flou avec deux gains de 0.511 et 0.651 respectivement a donné les résultats suivants :

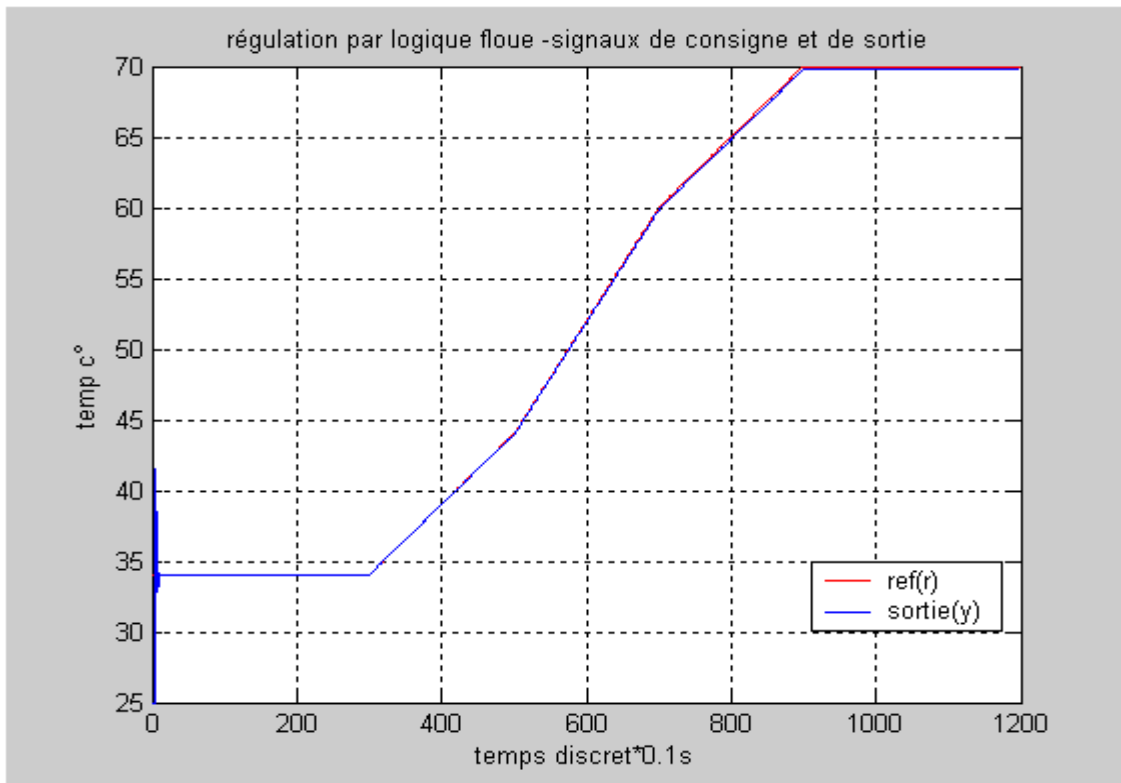


Figure III.14. Signaux de consigne et de sortie avec un gain de 0.511

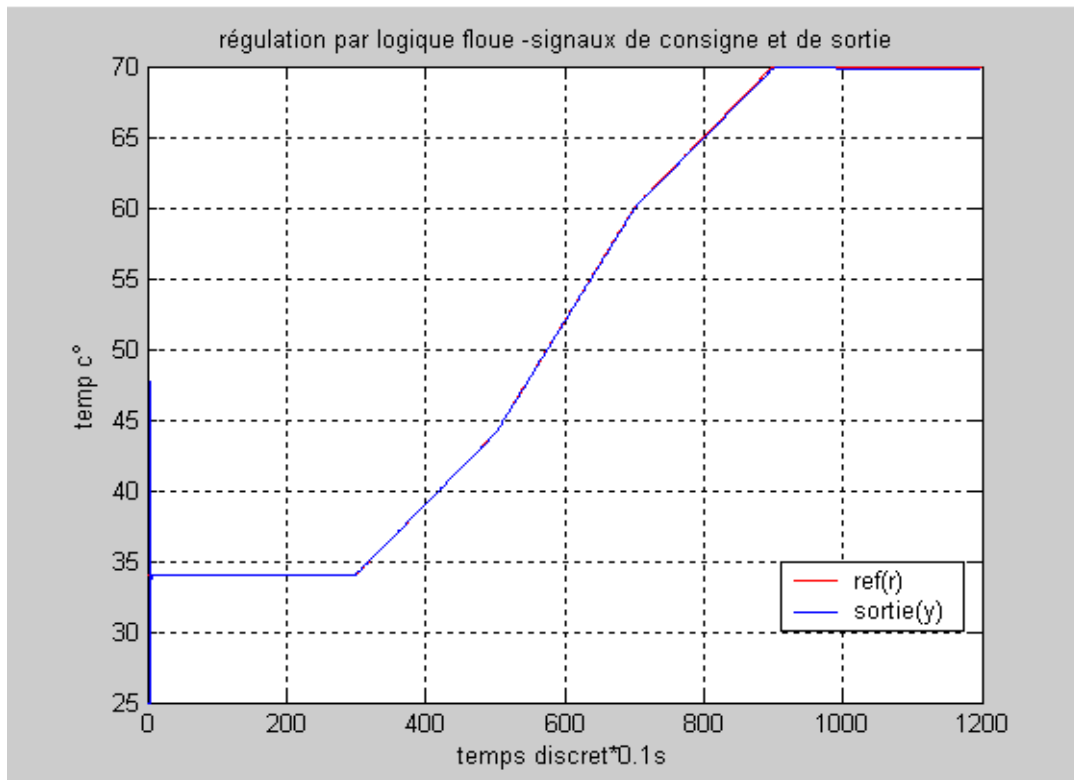


Figure III.15. Signaux de consigne et de sortie avec un gain de 0.651

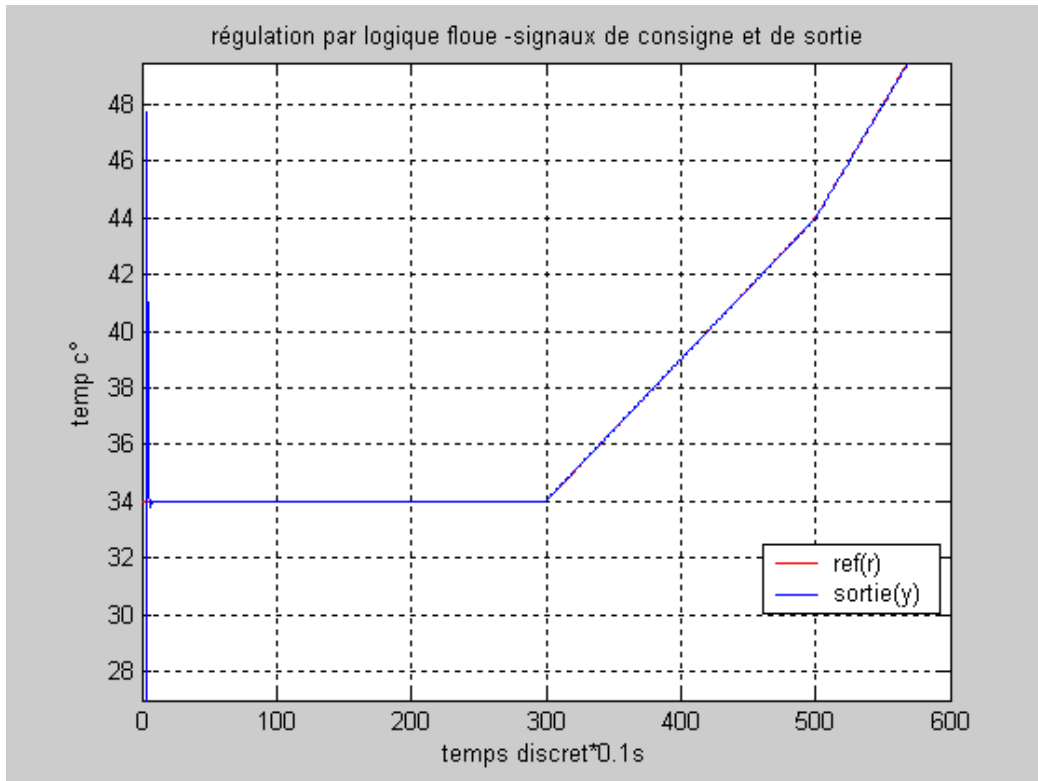


Figure III.16. Signaux de consigne et de sortie zoomer avec un gain de 0.511

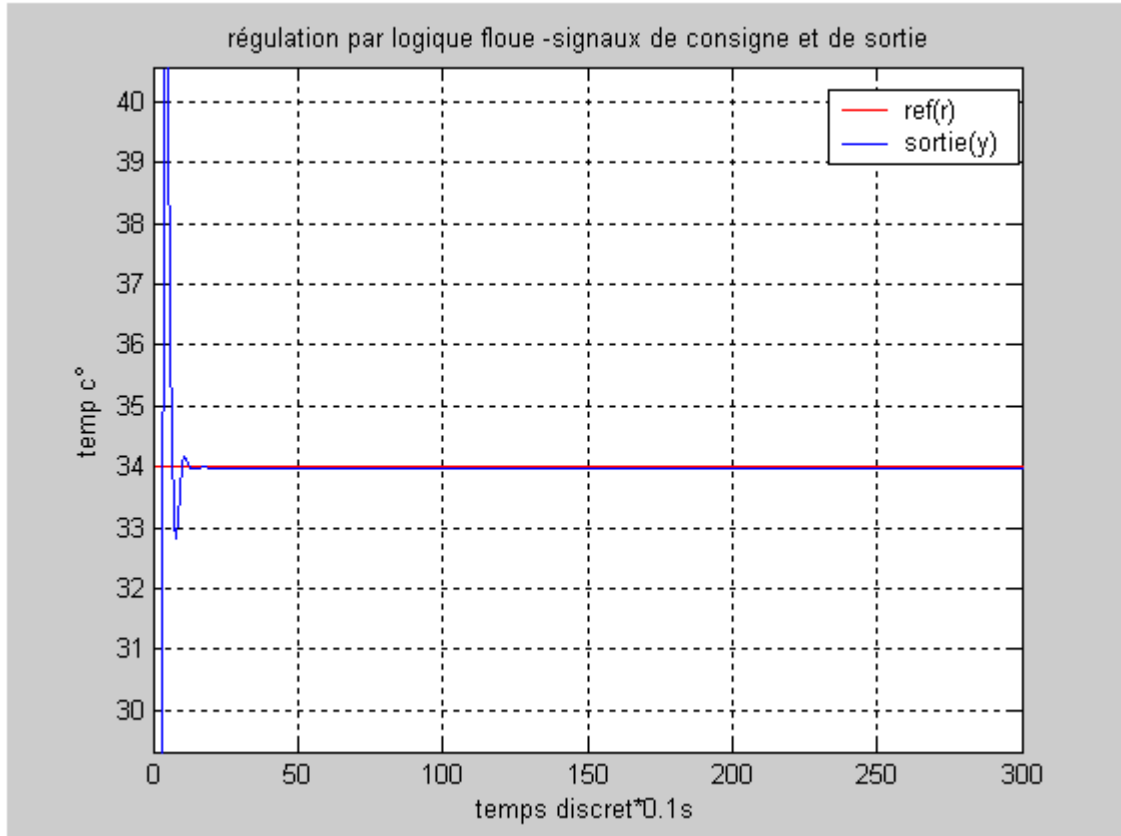


Figure III.17. Signaux de consigne et de sortie zoomer avec un gain de 0.651

Les figures III.14, III.15, III.16 et III.17 montrent la diminution du 1er dépassement du gain multiplicatif de 0.511 par rapport à celui de 0.651, donc la diminution de l'erreur dynamique.

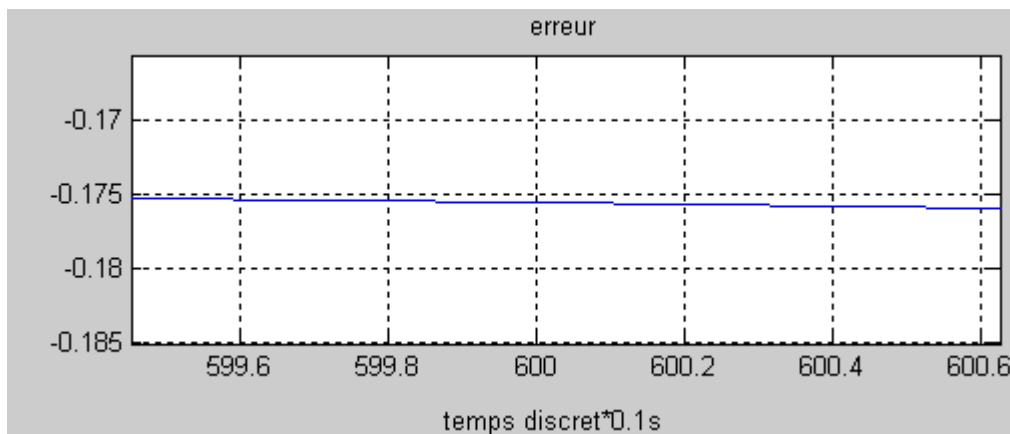


Figure III.18. Signal d'erreur dynamique zoomer avec un gain de 0.511

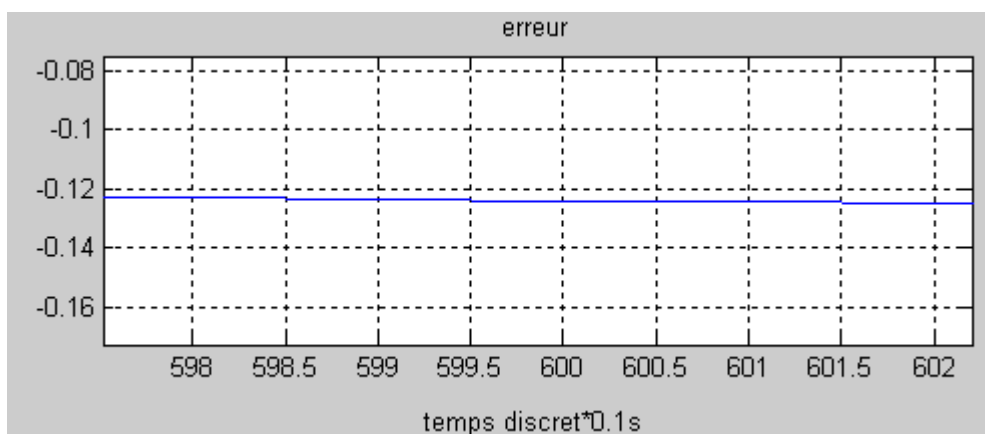


Figure III.19. Signal d'erreur dynamique zoomer avec un gain de 0.651

On remarque dans les figures III.18 et III.19 l'augmentation de l'erreur statique pour le gain multiplicatif de 0.511 par rapport à celui de 0.651.

2.6. Résultats de comparaison

L'ajustement sur le gain est très sensible par ce que la diminution de ce dernier diminue l'erreur dynamique et augmente l'erreur statique, et vis à vis.

3. Avantages et désavantages du réglage par la logique floue

Les régulateurs standards traitent les relations mathématiques bien définies. Dans le cas du réglage par la logique floue, il n'est pas nécessaire d'établir un modèle du système à régler. Si

un modèle existe quand même, on peut l'utiliser pour tester et modifier la stratégie du réglage à l'aide d'une simulation numérique.

Les avantages principaux des régulateurs flous sont les suivants :

- Il n'est pas nécessaire de faire un modèle mathématique du système à régler
- On peut implémenter des connaissances de l'opérateur du processus
- On peut maîtriser les systèmes non linéaires et les systèmes difficiles à modéliser
- Diminuer le coût de réalisation
- Grâce à des processus dédiés (DSP, FPGA), on peut régler des processus rapides

Les désavantages sont les suivants :

- Manque de directives précises pour la conception d'un régulateur flou
- Approches artisanale et non systématique (il est souvent très difficile d'implanter les connaissances de l'opérateur)
- Précision de réglage en peu élevée
- Cohérence des inférences non garantie à priori (possible apparition de règles d'inférence contradictoires).

Le talon d'Achille des systèmes flous réside dans l'absence de méthode standard pour la transformation de la connaissance ou de l'expérience humaine vers la base de règles linguistique d'un système flou; il n'y a pas de procédure générale pour choisir un nombre optimal de règles [4].

4. Les spécificités de la commande floue

Les spécificités de la commande floue résident dans les points suivants:

- La connaissance mathématique du fonctionnement du processus n'est pas nécessaire. C'est le savoir-faire de l'opérateur qualifié manipulant habituellement le processus ou les connaissances d'experts qui sont prises en compte pour mettre au point la commande floue.

• Des variables caractérisées subjectivement sont utilisables. Les sens humains (toucher, vue ...) peuvent par exemple être modélisés. On peut utiliser des critères décrits linguistiquement ou dont les qualifications sont mal définies.

Par conséquent, la réalisation d'un contrôleur flou est particulièrement recommandée lorsque le processus à commander est mal connu, ou difficile à décrire précisément, par exemple en raison d'une trop grande complexité. Elle est également très utile lorsque les variables intervenant dans le processus sont caractérisées de façon imprécise [6].

5. Domaines d'application

Les applications de la commande floue sont maintenant très nombreuses, dans des domaines variés et il est impossible d'en établir une liste exhaustive. La plupart a donné lieu à des réalisations industrielles, principalement au Japon. Certaines sont simples, comme dans le cas d'appareils électroménagers par exemple, d'autres sont complexes, comme celles qui concernent la conduite d'un hélicoptère sans pilote au Japon, le contrôle de certaines usines ou une partie du guidage de la navette spatiale américaine par la NASA. On peut grossièrement les classer selon les thèmes suivants:

Transports: véhicules automobiles (transmission automatique, véhicules sans pilote, maintien de vitesse et de direction, ABS, système anti-cliquetis, régulation de ralenti, suspension active), transports guidés (métro autonome, suspension active de wagons), navette spatiale (contrôle d'altitude, système anticollision, arrimage), hélicoptères (hélicoptères sans pilote, mise en autorotation), infrastructures (conditionnement d'air d'un tunnel routier), grues.

Procédés industriels: cimenterie, usine de traitement des eaux, régulation de la température d'un réacteur chimique, forage de tunnel, rectifieuse, mélangeur de matières premières en sidérurgie, production de papier, machine à électroérosion pour gravure, systèmes de déchargement, fabrication d'éthylène, fermentation du saké, four d'usine alimentaire, convoyeur en vitesse, bras robot pour la préhension d'objets de consistance variable, robot découpant au laser, incinération des ordures, contrôle de la distribution des eaux.

Applications domestiques: air conditionné d'immeuble, climatisation de pièces, groupes d'ascenseurs, lave-linge, sèche-linge, aspirateur, robot aspirant, température de douche, réfrigérateur, télévision, ventilateur, four à micro-ondes, four mixte, sélection de club de golf.

Technique: comptage des impulsions téléphoniques, clavier d'ordinateur reconnaissant l'écriture Kanji, billetterie automatique, caméscope, autofocus, contrôle de sublimation pour impression couleur, caméra suivant un objet mobile[6].

6. Conclusion

Le but de la conception d'un système flou est de capturer l'imprécision du processus de raisonnement humain sans utiliser une analyse quantitative. Les algorithmes de réglage dans les contrôleurs flous sont basés sur le concept de règles linguistiques de forme Si ... Alors ... Ces règles forment le cœur de chaque régulateur flou exprimant la procédure de raisonnement et l'expérience d'un opérateur humain. La logique floue se prête alors très bien au réglage et à la commande de processus qui sont mal maîtrisés par des méthodes conventionnelles.

Conclusion générale

Dans le cas où le modèle mathématique d'un système non linéaire, le contrôleur flou (FLC, Fuzzy Logic Controller) est une solution possible qui donne généralement de bons résultats, le contrôleur flou donne des performances meilleurs que celles des approches classiques, seulement il présente un inconvénient qui est la nécessité de la présence d'un expert humain pour un bon réglage des paramètres (fonctions d'appartenances, règles flous...) intervenant dans la phase de conception ce qui n'est pas toujours disponible.

Dans ce travail, on s'est fixé comme but la régulation par un contrôleur flou de la température d'un bain, et ceci en utilisant l'approche de sept fonctions d'appartenances qui doit fournir les meilleurs paramètres du réglage, cette phase d'inférence est faite en offline, une fois trouvé, le contrôleur sera en suite placé en boucle fermée avec le système à contrôler. Les résultats obtenus pour les trois exemples sont très satisfaisants.

Les résultats de simulation du contrôleur flou ont montré que la sortie du système suit l'entrée la référence souhaitée, mais, l'introduction de d'autres paramètres (nombre de fonction d'appartenance, pas d'échantillonnage, gain) a donné des résultats meilleurs. Ces résultats montrent que le jeu sur ces paramètres constitue un moyen efficace pour mettre en commun la robustesse de chaque technique à la conception des contrôleurs floue, d'une fonctionnalité intelligente, qui est le but visé par les contrôleurs dites intelligents.

La conception du contrôleur flou peut être assimilée à un problème d'optimisation, et pour des résultats plus performantes, pour cela nous proposons d'étudier les contrôleurs hybrides, par exemple d'utiliser les algorithmes génétiques afin d'optimiser un contrôleur flou. Durant ce travail nous avons appris beaucoup de nouvelles connaissances. Nous souhaitons que notre travail va apporter une aide précieuse aux futurs étudiants et à toute personne qui désire étudier, comprendre ou réaliser un contrôleur à logique floue pour commander les processus industriels.

La table des figures

Chapitre I : Le contrôle flou

Figure I.1 Représentation graphique de sous ensembles dont les ensembles de référence sont infinis.....	7
Figure I.2. Structure générale d'un système basé sur la logique floue.....	10
Figure I.3. Méthode de max min de Mamdani.....	14
Figure I.4. Méthode de centre de gravité.....	15

Chapitre II : Asservissement

Figure II.1 Schéma blocs de la commande numérique.....	18
Figure II.2 Consigne de température.....	19
Figure II.3 Schéma de la structure de contrôle flou.....	19
Figure II.4 Les sous ensembles de l'entrée « err ».....	20
Figure II.5 Les sous ensembles de la dérivée d'entrée « Δe ».....	21
Figure II.6 Les sous ensembles de la sortie « ced ».....	21
Figure II.7 Defuzzification par la méthode du centre de gravité.....	25
Figure II.8 Organigramme général de l'algorithme.....	26

Chapitre III : Résultats de simulation

Figure III.1. Defuzzification du 1 ^{er} contrôleur.....	28
Figure III.2. Defuzzification du 2 ^{ème} contrôleur.....	29
Figure III.3. Signaux de consigne et de sortie du 1 ^{er} contrôleur.....	29
Figure III.4. Signaux de consigne et de sortie du 2 ^{ème} contrôleur.....	30
Figure III.5. Signaux d'erreur et sa dérivée du 1 ^{er} contrôleur.....	30
Figure III.6. Signaux d'erreur et sa dérivée du 2 ^{ème} contrôleur.....	31
Figure III.7. Signal d'erreur statique zoomer du 1 ^{er} contrôleur.....	31
Figure III.8. Signal d'erreur statique zoomer du 2 ^{ème} contrôleur.....	32
Figure III.9. Signal de commande appliqué du 1 ^{er} contrôleur.....	32

Figure III.10. Signal de commande appliqué du 2 ^{ème} contrôleur.....	33
Figure III.11. Signaux de consigne et de sortie avec un pas d'échantillonnage de 0.1s.....	34
Figure III.12. Signaux de consigne et de sortie zoomer avec un pas d'échantillonnage de 0.1s.....	34
Figure III.13. Signaux de consigne et de sortie avec un pas d'échantillonnage de 1s.....	35
Figure III.14. Signaux de consigne et de sortie avec un gain de 0.511.....	36
Figure III.15. Signaux de consigne et de sortie avec un gain de 0.651.....	36
Figure III.16. Signaux de consigne et de sortie zoomer avec un gain de 0.511.....	37
Figure III.17. Signaux de consigne et de sortie zoomer avec un gain de 0.651.....	37
Figure III.18. Signal d'erreur dynamique zoomer avec un gain de 0.511.....	38
Figure III.19. Signal d'erreur dynamique zoomer avec un gain de 0.651.....	38

Références bibliographiques

- [1] A. Kaufmann, Initiation élémentaire aux sous-ensembles flous à l'usage des débutants, CPIT, EPFL, 1992.
- [2] H. Buhler, Réglage par logique floue (Fuzzy Logic), Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 1993.
- [3] L. A. Zadeh, «Fuzzy sets», Information and Control 8, pp. 338-353, 1965.
- [4] Jelena Goddjevack " Idées nettes sur la logique floue".
- [5] D.Willaeys ,P.Mangin, N. Malvache (1977) Use of fuzzy sets for system modelizing and control.
- [6] Bernadette, Bouchon-Meunier La logique floue et ses applications (octobre 1995).
- [7] B. Bouchon- Meunier, " La logique floue", Presses Universitaires de FRANCE, 1993.
- [8] H. Buhler, " Réglage par logique floue ", Presses Polytechnique Romandes. Edit 1994.
- [9] B.Bouchon-Meunier, " La logique floue et ses applications ", Addison-Wesley France, 1995.
- [10] Pierre chevaille, " Système D'inférence Floue ", Application d'une fonction de contrôle, cours, école national d'ingénieur de Brest, laboratoire d'information industrielle, 2002.
- [11] Baghli .L. "contribution à la commande de la machine asynchrone, utilisation de la logique floue, des réseaux de neurones et des algorithmes génétiques ", Thèse Doctorat- Université Henri Poincaré, Nancy-I, janvier 1999.
- [12] Prof Ahmed El Hajjaji, "la logique floue et théorie du flou", 21-22, décembre 2006 a l'ISET de Sfax.
- [13] T.Takaki et M.Sugeno, " Derivation Of Fuzzy Control Rules From Humanope-Ator's Control Action", Dans Proc, Of IFAC Symp. On Fuzzy Information, Knowledge Representation and Decision Analysis, pp 55–60, Marseilles, France, 1983.
- [14] M. BENALEGUE-H. MOSTEFAI 'asservissements linéaires continue'.
- [15] J. J DI STEFANO, A. R. STUBBERUD, I. J WILLIAMS 'système asservis 1 cours et problems'.
- [16] Ph Vanheeghe. C Sueur. P Borne 'automatique des systems échantillonnés'.
- [17] J. Tanomaru and S. Omatu, "Process Control By On-Line Trained Neural Controllers," *IEEE Trans.Industrial Electronics*, vol. 39, pp. 511-521, Dec. 1992.

The page features decorative green brushstrokes in the corners. The top-left stroke curves from the top edge towards the center. The top-right stroke curves from the top edge towards the center. The bottom-left stroke curves from the bottom edge towards the center. The bottom-right stroke curves from the bottom edge towards the center. All strokes are in various shades of green and have a textured, brush-like appearance.

ANNEXE