

2.1 Introduction

Au départ, La logique floue s'affirme comme une technique opérationnelle. Utilisée à côté d'autres techniques de contrôle avancé, elle fait une entrée mais appréciée dans les automatismes de contrôle industriel. La logique floue ne remplace pas nécessairement les systèmes de régulation conventionnels. Elle est complémentaire. Ses avantages viennent notamment de ses capacités : formaliser et simuler l'expertise d'un opérateur ou d'un concepteur dans le conduit et le réglage d'un procédé ; donner une réponse simple pour les procédés dont la modélisation est difficile ; prendre en compte sans discontinuité des cas ou exceptions de natures différentes, et les intégrer au fur et à mesure dans l'expertise ; prendre en compte plusieurs variables et effectuer de la « fusion pondérée » des grandeurs d'influences.

2.2 La logique floue

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].

2.2.1 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]

2.2.2 Quelques avantages de la logique floue

- 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).

2.2.3 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)

2.2.4 Application 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.

2.3 La Commande Floue

Les applications industrielles basées sur cette technique ont commencé en Europe au début des années 1980 avec le contrôle d'un four à ciment [7], pour déboucher sur le célèbre boom de la logique floue au Japon au début des années 1990 dans les secteurs industriels (l'énergie – les transports – l'aérospatial – la robotique.....etc.) [8].

2.3.1 But de la Commande Floue

la commande floue a pour but de traiter des problèmes de commande classique de processus à partir uniquement de connaissances de comportement que les spécialistes du procédé doivent formuler sous forme linguistique (floue).

2.3.2 Les Concepts de la Logique Floue

Ce rapport permet de considérer des classes d'objets dont les frontières ne sont pas clairement déterminées, par l'introduction d'une fonction caractéristique (fonctions d'appartenance des objets à la classe) prenant des valeurs courantes entre 0 et 1, contrairement aux ensembles «booléens», dont la fonction caractéristique ne prend que deux valeurs possibles 0 et 1.

2.3.3 Les Bases de la Commande Floue

2.3.3.1 Variables linguistiques et ensembles flous :

La description imprécise d'une certaine situation, d'un phénomène ou d'une grandeur physique ne peut se faire que par des expressions relatives ou floues. Ces différentes classes d'expressions floues dites ensembles flous forment ce qu'on appelle des variables linguistiques. Afin de pouvoir traiter numériquement ces variables linguistiques qui sont normalisées généralement sur un intervalle bien déterminé appelé univers de discours, il faut les soumettre à une définition mathématique à base de fonctions d'appartenance qui montrent le degré de vérification de ces variables linguistiques relativement aux différents sous-ensembles flous de la même classe.

2.3.3.2 Fonctions d'appartenances :

Dans ce contexte on associe à chaque valeur de la variable linguistique une fonction d'appartenance désignée par $\mu_A(x)$, qui sera désignée par le degré ou le facteur d'appartenance. Il est à noter que l'ensemble des éléments de x pour lesquels

$\mu_A(x) > 0$, est appelé «support de A». Le plus souvent, on utilise pour les fonctions d'appartenance les fonctions suivantes [8] :

- **Fonction triangulaire** : Elle est définie par trois paramètres $\{a, b, c\}$ qui déterminent les coordonnées des trois sommets.

$$\mu(x) = \max \left(\min \left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b} \right), 0 \right) \quad (2.1)$$

- **Fonction trapézoïdale** : Elle est définie par quatre paramètres $\{a, b, c, d\}$:

$$\mu(x) = \max \left(\min \left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{c-x}{c-d} \right), 0 \right) \quad (2.2)$$

- **Fonction gaussienne** : Elle est définie par deux paramètres $\{\sigma, m\}$:

$$\mu(x) = \exp \left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2} \right) \quad (2.3)$$

- **Fonction sigmoïdale** : Elle est définie par deux paramètres $\{a, c\}$:

$$\mu(x) = \frac{1}{1+\exp(-a(x-c))} \quad (2.4)$$

2.3.4 Opérateurs :

Ces opérateurs permettent d'écrire des combinaisons logiques entre notions floues, c'est-à-dire de faire des calculs sur des degrés de vérité. Comme pour la logique classique, on peut définir des opérateurs ET, OU, négation.

Choix des opérateurs : Il existe de nombreuses variantes dans ces opérateurs. Cependant, les plus répandus sont ceux dits « de Zadeh » décrits ci-dessous.

Dans ce qui suit, le degré de vérité d'une proposition A sera noté $\mu(A)$,

Intersection : L'opérateur logique correspondant à l'intersection d'ensembles est le ET.

Le degré de vérité de la proposition « A ET B » est le minimum des degrés de vérité de A et de B

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

Union : L'opérateur logique correspondant à l'union d'ensembles est le OU. Le degré de vérité de la proposition « A OU B » est le maximum des degrés de vérité de A et de B :

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

Complément : L'opérateur logique correspondant au complément d'un ensemble est la négation.

$$\mu(\text{NON } A) = 1 - \mu(A)$$

2.4 La structure d'une Commande Floue

La structure conventionnelle d'une commande floue est présentée par figure (2.1), elle est composée de quatre blocs distincts dont les définitions sont données ci-dessous :

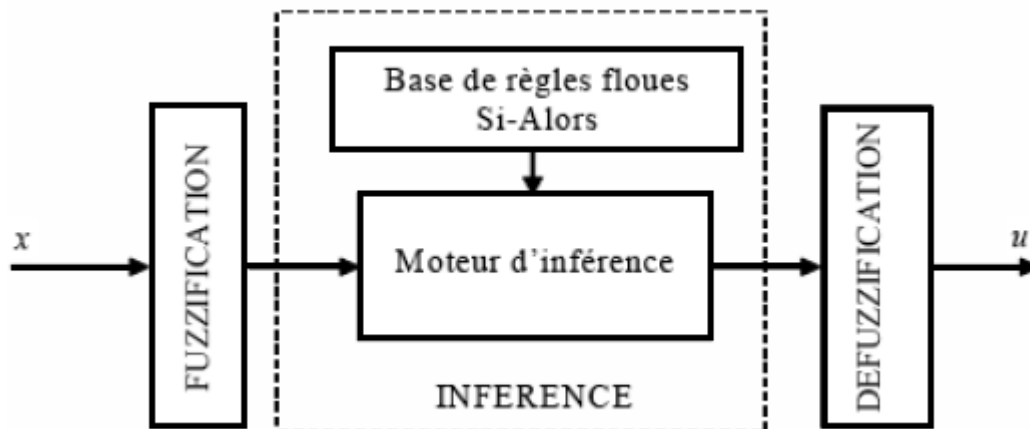


Figure 2.1 : structure de base d'un système flou.

2.4.1 Interface de fuzzification :

La fuzzification est réalisée dans l'interface d'entrée du contrôleur flou. Durant cette phase, les informations issues du système sont tout d'abord normalisées. Ensuite, les données normalisées sont transformées en qualifications linguistiques, en utilisant des règles sémantiques définies par un expert.

2.4.2 Moteur d'inférence :

L'inférence floue est le processus de formulation de la relation entre les entrées et les sorties par logique floue. Cette relation offre une base avec laquelle la décision est prise par le système flou. L'inférence floue fait appel alors aux concepts expliqués dans les sections précédents. A savoir : Fonctions d'appartenance, les opérateurs flous et les règles floues.

Nous distinguons une variété importante d'inférences floues, mais nous nous contentons d'en présenter quatre types. L'inférence de Max-min (mamdani), Max-prod, Som-prod et de Sugeno.

Les quatre inférences diffèrent par la manière de déterminer des sorties. Pour le réglage par logique floue, on utilise en généralement une des méthodes suivantes :

- **Méthode d'inférence MAX-MIN (Méthode de MAMDANI) :**

C'est la méthode la plus universelle mais qui n'est guère applicable en raison du temps de calcul très long.

Cette méthode réalise, au niveau de la condition, l'opérateur "ET" par la fonction du "Min" et l'opérateur "OU" par la fonction "Max", la conclusion dans chaque règle, introduite par "ALORS", lie le facteur d'appartenance de la condition avec la fonction d'appartenance de la variable de sortie par l'opérateur ET, réalisé dans le cas présent par la fonction "Min". Enfin l'opérateur OU qui lie les différentes règles est réalisé par la fonction "Max".

La dénomination de cette méthode, dite Max-Min ou "implication de Mamdani", est due à la façon de réaliser les opérateurs "ALORS" et "OU" de l'inférence. [12]

$$\text{SI } (x_1 \text{ est } A_{i1}) \text{ et } \dots \text{ et } (x_m \text{ est } A_{im}) \text{ ALORS } (y \text{ est } f_1, \dots, f_m)$$

dans laquelle x_1, \dots, x_m et y sont des éléments des univers du discours x_1, \dots, x_m , et

A_{i1}, \dots, A_{im} sont des termes linguistiques sur ces mêmes univers du discours. f_1, \dots, f_m sont également des quantités floues sur l'univers du discours y

- **Méthode d'inférence MAX-PRODUIT (Méthode de LARSEN)**

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

- **Méthode d'inférence SOMME-PRODUIT**

Cette méthode est la plus utilisée car son temps de calcul est court. Dans ce cas, l'opérateur "ET" est réalisé par le Produit, de même que la conclusion "ALORS", tandis que l'opérateur "OU" est réalisé par la valeur moyenne des degrés d'appartenances intervenant dans l'inférence.

- **Méthode d'inférence SUGENO :**

Sugeno a proposé une méthode d'inférence floue qui garantit la continuité de la sortie [13]. Cette méthode d'inférence s'avère très efficace dans des applications faisant intervenir à la fois des techniques linéaires, d'optimisation et adaptatives. Dans l'inférence de Sugeno, les règles floues sont exprimées de la façon suivante :

$$\text{SI } (x_1 \text{ est } A_{i1}) \text{ et } \dots \text{ et } (x_m \text{ est } A_{im}) \text{ ALORS } y = f_i(x_1, \dots, x_m)$$

Dans laquelle x_1, \dots, x_m et y sont des éléments des univers du discours x_1, \dots, x_m et

A_{i1}, \dots, A_{im} Sont des termes linguistiques sur ces mêmes univers du discours. y est une fonction de x_1, \dots, x_m .

2.4.3 Interface de Déffuzification :

La commande nécessitant un signal précis, il faudra donc transformer la fonction d'appartenance résultante obtenue à la sortie du moteur d'inférence en une valeur précise. Cette opération est appelée déffuzification. Parmi les méthodes utilisées dans la littérature [8], [14], [15], on peut citer :

1. Le centre de gravité
2. La méthode de la hauteur

3. La méthode de la hauteur modifiée
4. La méthode de la valeur maximum
5. La méthode de la moyenne des centres

Dans ce travail, on utilisera le centre de gravité [14] qui permet d'exprimer analytiquement la sortie du système flou, de simplifier sa mise en œuvre et de réduire le temps de calcul. Dans ce cas, la sortie du système flou de type Takagi-Sugeno est donnée par :

$$u = \frac{\sum_{j=1}^m c^j \prod_{i=1}^n \mu_i^j}{\sum_{j=1}^m \prod_{i=1}^n \mu_i^j} \quad (2.5)$$

Où n et m sont respectivement le nombre d'entrées et celui de règles floues utilisées.

2.5 Conclusion :

La logique floue ouvre des possibilités remarquables de codification des connaissances des experts. Cependant, les applications utilisant la logique floue ne sont pas fondamentalement plus performantes. Elles sont tout simplement plus faciles à réaliser et à utiliser : l'utilisation faite par la logique floue d'expressions du langage courant permet au système flou de rester compréhensible pour les personnes non expertes. C'est ainsi que des machines complexes peuvent devenir plus conviviales cause à l'utilisation de la logique floue.

Malheureusement la manipulation de règles non précises peut générer un nombre d'erreurs non négligeable. La mise en place d'un système flou nécessite donc une attention particulière lors de la phase de teste de manière à détecter Les éventuelles aberrations du système.