

### III.1. Introduction

De nos jours on entend parler de nouvelles techniques de commande connues sous le nom de contrôle intelligent où on essaye de copier la nature et de reproduire des modes de raisonnement et de comportement dans plusieurs domaines y compris celui de la commande et de l'identification.

La logique floue est l'une des classes de l'intelligence artificielle. Elle a pour objet l'étude et la représentation des connaissances imprécises et le raisonnement approché. Elle a été connue en première fois comme une branche mathématique complémentaire à la théorie de la logique classique, puis elle a trouvé sa place parmi les techniques de commande basées sur l'intelligence artificielle. Elle a été conçue au milieu des années soixante à l'université de Berkley en Californie par le professeur Lotfi Zadeh qui a introduit la notion des variables linguistiques et des ensembles flous. La première application expérimentale de cette technique de commande est celle réalisée par Mamdani. La logique floue ne remplace pas nécessairement les systèmes classiques de régulation. Elle est complémentaire et utilisée particulièrement lorsqu'on ne dispose pas de modèle mathématique précis du processus à commander, ou lorsque ce dernier présente de fortes non linéarités ou imprécisions. De plus, l'intérêt de la logique floue réside dans sa capacité de traiter l'imprécis, l'incertain et le vague. Ainsi, le succès de la commande par la logique floue repose sur sa capacité à traduire une stratégie de contrôle d'un opérateur qualifié en ensemble de règles linguistiques facilement interprétables [42]. La logique floue est appliquée dans plusieurs domaines, tels que la gestion, la médecine et la commande des systèmes. On compte par mis ces applications : la commande des bras robotiques, des machines-outils, des réacteurs chimiques, des véhicules, des appareils électroménagers ...etc.

Dans ce chapitre on présentera un aperçu général sur la théorie de la logique floue et ses principes de base, ces outils Puis on a cite le système fluo en essayant de faire le lien qui existe avec le cas de notre étude

### III.2. Historique

Depuis longtemps l'homme recherche à maîtriser les incertitudes et les imperfections inhérentes à sa nature. La première réelle manifestation fut le développement de la théorie des probabilités à partir du XVII siècle de la volonté de formaliser la prise en compte des connaissances incertaines mais avec la contrainte de maîtriser les incertitudes psychologiques et linguistiques [43].

- La logique floue est apparue avant les années 1940, avec les premières approches par des chercheurs Américains, du concept d'incertitude. Elle a été publiée en 1965 par le professeur : L. A. Zadeh,
- Dès 1972, le Japon s'intéresse à la logique floue et crée une fondation pour la recherche sur les systèmes flous qui deviendra plus tard le bureau japonais de l'IFSA (International Fuzzy Systems Association),
- En 1973, Zadeh propose une méthodologie pour décrire les systèmes en utilisant un langage incorporant la notion de flou,
- En 1974 Mandani effectue la première application expérimentale d'un contrôleur flou.
- La première application industrielle sera effectuée en 1980, dans une cimenterie au Danemark,
- en 1983, la compagnie Fizi Electric utilise la logique floue pour la conduite de procédés de purification d'eau,
- En 1984, l'IFSA est créée. Elle organisa sa première conférence en 1985 et la seconde en 1987.

### III.3. Application de la logique flou

D'après l'historique, la logique floue utilisé dans plusieurs domaines [44]:

**Tableau III. 1** Applications industrielles.

Année	Auteur	Application
1972	L.Zadeh	Approche linguistique
1974	Mandani et assilian	Commande d'une machine à vapeur
1980	Fukami et Ai	L'inférence conditionnelle floue
1983	Sugeno et Takagi	Dérivation des règles de commande
1985	Togar et Watanabe	Processeur flou
1988	Dubois et Prade	Raisonnement approximatif
1991	Barrat et Al	Commande floue de la température d'un four

### III.4. Concept de la logique floue

L'homme perçoit, raisonne, imagine et décide à partir des modèles ou de représentation. 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 exige la recherche d'un modèle qui est le plus objectif et le plus certain possible.

Les modèles de notre cerveau peuvent être assez compliqués et également vagues, flous ou imprécis. L'homme ne raisonne pas comme l'ordinateur : au tout ou rien [21]. La logique floue inspire ses caractéristiques du raisonnement humain. Elle est basée sur la constatation que la plupart de phénomènes ne peuvent être représentés à l'aide de variables booléennes avec deux valeurs (0 ou 1). Peut-on considérer un homme de taille 1.70 m grand ou petit ? N'est-il pas ni vraiment grand, ni vraiment petit ? Pour répondre à ce type de question, la logique floue considère la notion d'appartenance d'un objet à un ensemble, non plus comme une fonction booléenne, mais comme une fonction qui peut prendre toutes les valeurs entre 0 et 1.

En effet, elle caractérise un homme par un degré de vérification ou un degré d'appartenance à "homme de grande taille" compris entre 0 et 1. On peut également définir une fonction "homme de taille moyenne", et une fonction "homme de petite taille"...etc.

Alors, un homme de taille quelconque a trois degrés d'appartenance aux trois catégories "taille petite, taille moyenne et taille grande".

Un homme de taille 1.75 m appartient à la catégorie de "taille grande" avec un degré de vérification de 50% et à la catégorie de "taille moyenne" avec le même degré de vérification. Tandis qu'il appartient à la catégorie de "taille petite" avec un degré de vérification de 0%. Cela peut être traduit par la (figure III.1).

Cette représentation montre que le passage d'une catégorie à une autre ne se fait pas brutalement comme dans le cas de la logique classique, mais il se fait progressivement. Mathématiquement, on peut définir ou associer une fonction  $\mu_A(x)$  qui exprime le degré d'appartenance de l'élément  $x$  à la catégorie  $A$ , où  $x$  : est la taille de l'homme et  $A$  : est la catégorie ou la classe (petite, moyenne, grande).

Telle que pour la catégorie (grande) par exemple on a :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{Pour } x \geq 1.80 \\ 0 & \text{Pour } x \leq 1.70 \\ 10(x-1.70) & \text{Pour } 1.70 < x < 1.80 \end{cases} \quad (\text{III.1})$$

De la même manière, on peut définir la fonction  $\mu_B(x)$ ,  $\mu_C(x)$  pour les catégories moyenne et petite, respectivement. On appelle  $\mu_A(x)$ ,  $\mu_B(x)$  et  $\mu_C(x)$  fonctions d'appartenance.

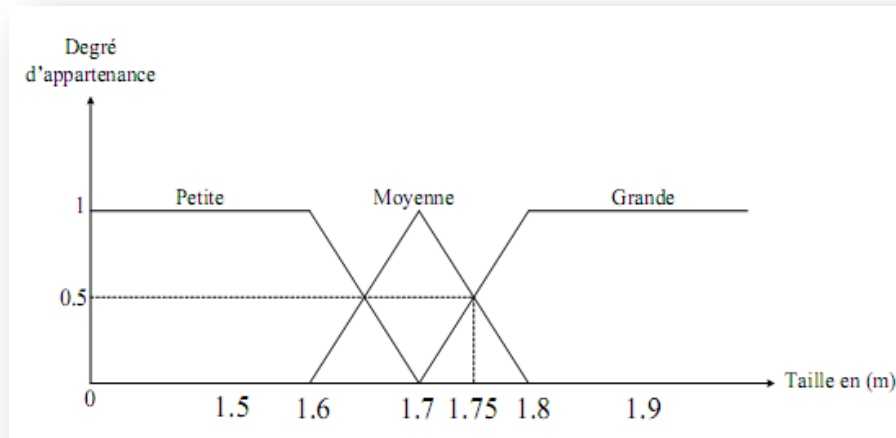


Figure III. 1 Concept flou des différentes catégories de la taille d'un homme.

### III.5. Notions de base de la logique floue

Ce n'est pas facile de donner un état de lieux complet de la logique floue, mais uniquement quelques notions de base d'une manière abrégée.

#### III.5.1 Ensemble net

Dans la théorie classique des ensembles, c'est la fonction caractéristique qui définit l'ensemble. Cette fonction ne prend que les deux valeurs discrètes :

- 0 (l'élément n'appartient pas),
- 1 (...appartient à l'ensemble).

Par définition un ensemble net est l'ensemble d'éléments qui vérifient une certaine condition, et pour être représenté comme dans la théorie des ensembles [45]. Prenant le cas d'un ensemble net A : Alors on peut noter :

$$A = \{x/x \text{ vérifie certaines conditions}\}.$$

Relativement à l'échelle qu'on a prise, la seule valeur que peut prendre chaque élément de cet ensemble en introduisant la fonction d'appartenance est soit «0» soit «1».

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

### III.5.2 Ensemble flou

Un ensemble flou est défini par une fonction d'appartenance qui peut prendre toutes les valeurs réelles comprises entre 0 et 1. Le concept de base a pour but d'éviter le passage brusque d'une classe à une autre et de permettre des graduations dans l'appartenance d'un élément à une classe ce qui permet à un élément à appartenir plus ou moins fortement à une classe [42].

Les trois catégories "Petite, Moyenne, Grande" définies précédemment, associées à leurs fonctions d'appartenance, sont appelées des ensembles flous. Et on peut définir également l'univers de discours ou l'univers de référence comme étant l'ensemble des valeurs réelles que peut prendre la variable floue  $x$  (la taille de l'homme). Dans un domaine continu les ensembles flous sont définis par leurs fonctions d'appartenance. Tandis que dans le cas discret les ensembles flous sont des valeurs discrètes dans l'intervalle  $[0, 1]$ .

#### Exemple : variation de la température

L'aspect "vague" de ce qualificatif n'est pas représenté (figure III.2). On peut définir le degré d'appartenance de la variable température à l'ensemble "faible" comme le "degré de vérité" de la proposition "la température est faible".

En logique booléenne, le degré d'appartenance ( $\mu$ ) ne peut prendre que deux valeurs (0 ou 1). La température peut être :

Elle ne peut pas prendre deux qualificatifs à la fois.

- Faible :  $\mu_{\text{faible}}(T) = 1, \mu_{\text{moyenne}}(T) = 0, \mu_{\text{élevée}}(T) = 0$
- Moyenne :  $\mu_{\text{faible}}(T) = 0, \mu_{\text{moyenne}}(T) = 1, \mu_{\text{élevée}}(T) = 0$
- Elevée :  $\mu_{\text{faible}}(T) = 0, \mu_{\text{moyenne}}(T) = 0, \mu_{\text{élevée}}(T) = 1$

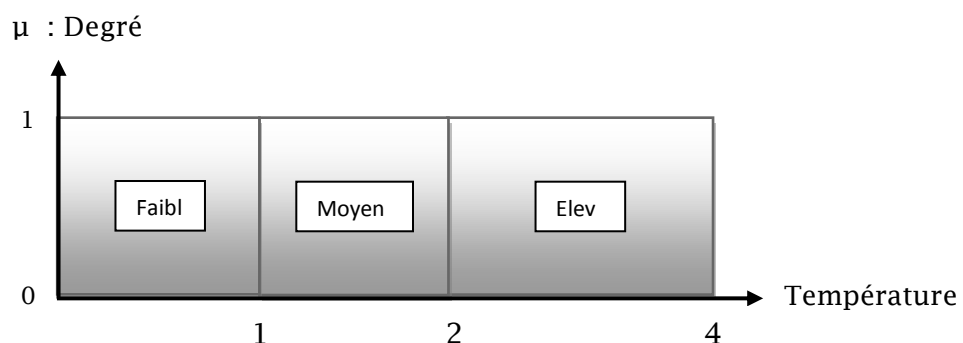


Figure.III. 2 Exemple d'ensembles considérés en logique booléenne.

En logique floue, le degré d'appartenance devient une fonction qui peut prendre une valeur réelle comprise entre 0 et 1 inclus.

$\mu_{\text{moyenne}}(T)$  Par exemple, permet de quantifier le fait que la température puisse être considérée comme moyenne.

Dans ce cas, la température peut être considérée, à la fois, comme faible avec un degré d'appartenance de 0,2 et comme moyenne avec un degré d'appartenance de 0,8 (figure III.3)

$$\mu_{\text{faible}}(T) = 0.2, \mu_{\text{moyenne}}(T) = 0.8, \mu_{\text{élevée}}(T) = 0$$

$\mu$  : Degré d'appartenance

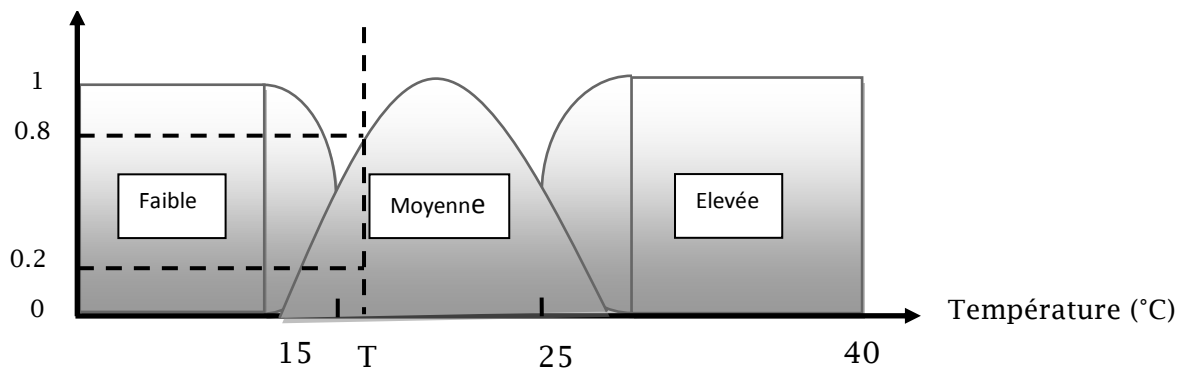


Figure.III. 3: Exemple d'ensembles considérés en logique floue.

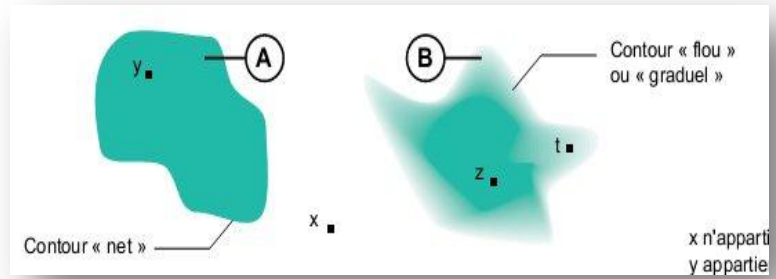
### III.5.3 Notion d'appartenance partielle

Dans la théorie des ensembles, un élément appartient ou n'appartient pas à un ensemble. La notion d'ensemble est à l'origine de nombreuses théories mathématiques. Cette notion essentielle ne permet cependant pas de rendre compte de situations pourtant simples et rencontrées fréquemment.

Parmi des fruits, il est facile de définir l'ensemble des pommes. Par contre, il sera plus difficile de définir l'ensemble des pommes mûres. On conçoit bien que la pomme mûrit progressivement la notion de pomme mûre est donc graduelle. C'est pour prendre en compte de telles situations qu'a été créée la notion d'ensemble flou [45].

La théorie des ensembles flous repose sur la notion d'appartenance partielle: chaque élément appartient partiellement ou graduellement aux ensembles flous qui ont été définis. Les contours de chaque ensemble flou (Figure.III.4) ne sont pas « nets », mais « flous » ou « graduels ».

$x$  n'appartient ni à  $A$  ni à  $B$   
 $y$  appartient totalement à  $A$   
 $z$  appartient totalement à  $B$   
 $t$  appartient partiellement à  $B$   
 $B$



*a: ensemble classique*

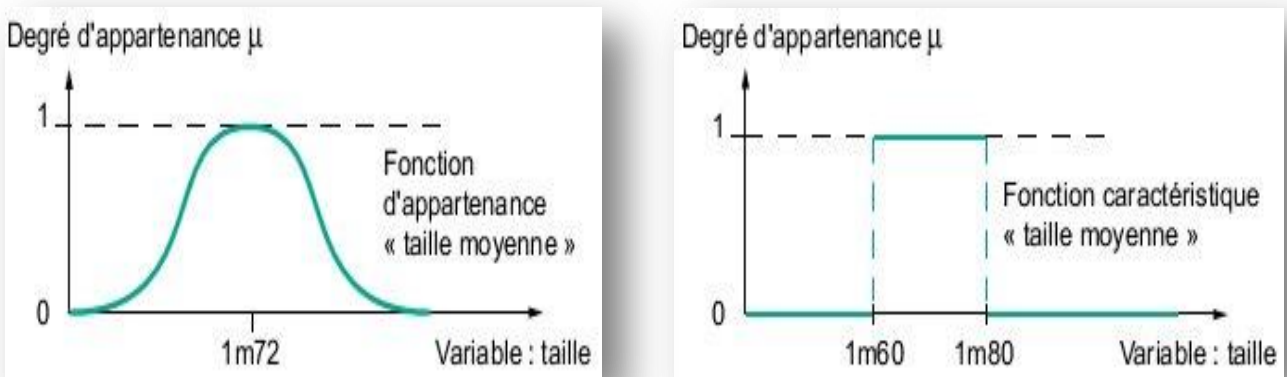
*b: ensemble flou*

**Figure.III. 4:** Comparaison d'un ensemble classique et d'un ensemble flou.

### III.5.4 Fonctions d'appartenance

Un ensemble flou est défini par sa « fonction d'appartenance », qui correspond à la notion de « fonction caractéristique » en logique classique. Par exemple pour définir l'ensemble des personnes de « taille moyenne ». En logique classique, nous conviendrons que les personnes de taille moyenne sont celles dont la taille est comprise entre 1,60 m et 1,80 m. La fonction caractéristique de l'ensemble (Figure III.5) donne « 0 » pour les tailles hors de l'intervalle [1,60 m ; 1,80 m] et « 1 » dans cet intervalle. L'ensemble flou des personnes de « taille moyenne » sera défini par une « fonction d'appartenance » qui diffère d'une fonction caractéristique par le fait qu'elle peut prendre n'importe quelle valeur dans l'intervalle [0, 1].

A chaque taille possible correspondra un « degré d'appartenance » à l'ensemble flou des « tailles moyennes compris entre 0 et 1 » (Figure III.5).



**Figure.III. 5:** fonction caractéristique : Logique floue et logique classique

Plusieurs ensembles flous peuvent être définis sur la même variable, par exemple les ensembles «taille petite», «taille moyenne» et «taille grande», notions explicitées chacune par une fonction d'appartenance (Figure III.6).

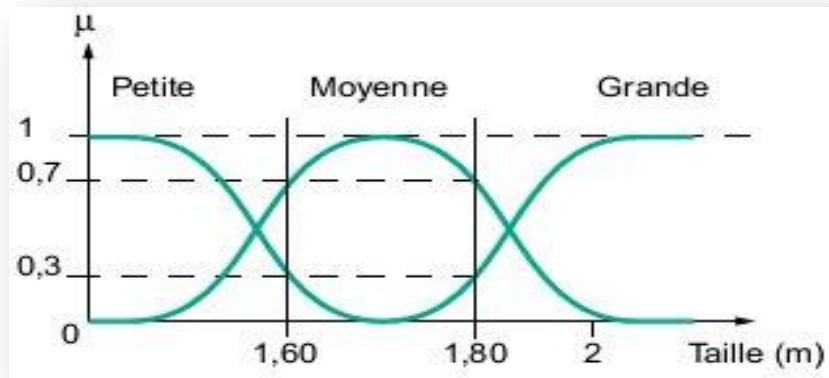


Figure.III. 6 fonction d'appartenance, variable et termes linguistiques.

#### III.5.4.1 Différentes formes des fonctions d'appartenance

Le choix de la forme des fonctions d'appartenance est subjectif et soumis aux préférences du concepteur. Les formes géométriques les plus répandues en pratique sont : trapézoïdale, triangulaire et gaussienne à cause de la linéarité qui facilite l'implémentation.

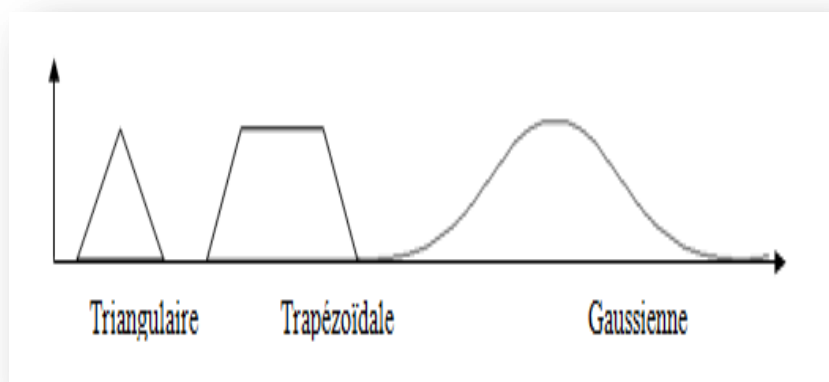


Figure.III. 7 Formes de bases des fonctions d'appartenance.

#### III.5.5 Variables linguistiques

Le concept des variables linguistiques joue un rôle important dans le domaine de la logique floue. Une variable linguistique comme son nom le suggère, est une variable définie à base de mots ou des phrases au lieu des nombres. En effet, la description d'une certaine situation, d'un phénomène ou d'un procédé contient en général des expressions floues comme "quelque,



beaucoup, souvent, chaud, froid, rapide, lent, grand, petit ...etc." [42]. Ce genre d'expressions forme ce qu'on appelle des variables linguistiques de la logique floue.

On peut représenter une variable linguistique par un triplé  $(V, U, T_v)$ , tels que :  $V$  est une variable numérique (Vitesse, Taille, Température) définie sur un univers de référence  $U$  et  $T_v$  est un ensemble de catégories floues de  $U$ , qui sont utilisées pour caractériser  $V$  à l'aide de fonctions d'appartenance.

Considérons la vitesse de rotation d'une machine électrique comme une variable linguistique définie sur un univers de discours  $U = [0,100] \text{ rd/s}$ , et son ensemble de catégories floues  $T_{\text{vitesse}} = (\text{Lente}, \text{Rapide}, \text{Moyenne})$ .

Ces trois ensembles flous de  $T_{\text{vitesse}}$  peuvent être représentés par des fonctions d'appartenance comme le montre la figure (III.8).

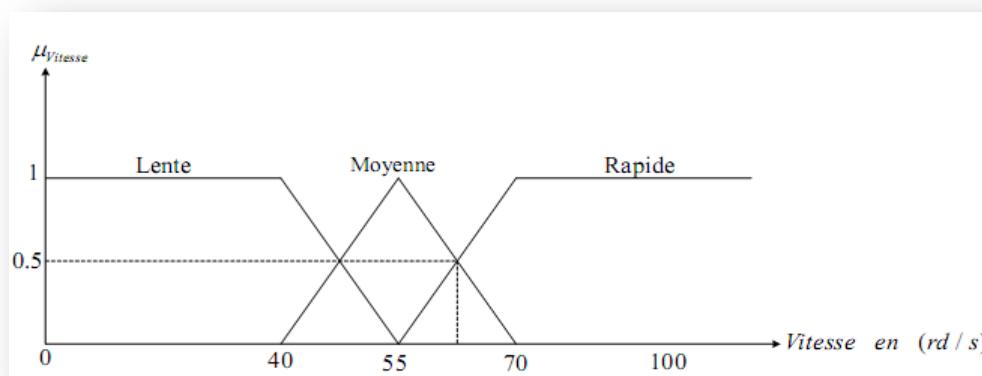


Figure.III. 8: Représentation graphique des ensembles flous d'une variable linguistique.

### III.5.6 Opérateurs de la logique floue

Dans la théorie des ensembles classiques on définit les relations intersection, union et complémentation qui sont traduites par les opérateurs ET, OU, NON. Ces opérateurs existent également en logique floue, mais sont adaptés aux spécificités de cette logique pour traiter les ensembles flous. Ainsi des opérateurs homologues à ceux de la logique booléenne sont créés en essayant de respecter un certain nombre de propriétés et afin de retrouver les opérations de base existant en logique classique [46].

Soient  $E$  et  $F$ , deux sous-ensembles flous d'une variable linguistique définis sur l'univers de discours  $UD$  par leurs fonctions d'appartenance respectives  $\mu_E$  et  $\mu_F$ .

### III.5.6 1 Opérateur ET (Intersection floue)

Le sous-ensemble flou, correspondant à l'intersection des sous-ensembles E et F est défini par les éléments x de l'univers de discours UD qui appartiennent à E et F.

Dans la logique floue, l'opérateur ET peut être exprimé par :

$$\mu_{E \cap F}(x) = \min \{ \mu_E(x), \mu_F(x) \} \quad \forall x \in UD \quad (\text{III.5})$$

Ou bien :

$$\mu_{E \cap F}(x) = \mu_E(x) \cdot \mu_F(x) \quad \forall x \in UD \quad (\text{III.6})$$

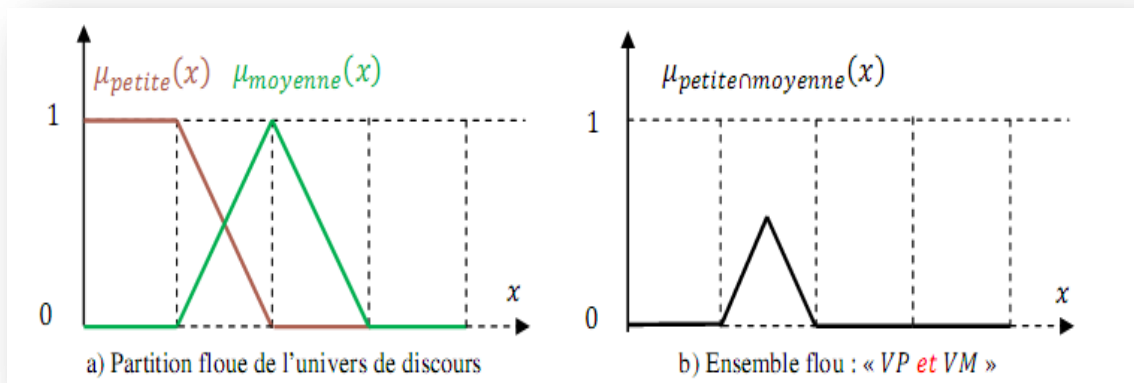


Figure.III. 9: Intersection des sous-ensembles flous « petite » et « moyenne ».

### III.5.6 2 Opérateur OU (Union floue)

Le sous-ensemble flou correspondant à l'union des sous-ensembles E et F est un sous-ensemble de l'univers de discours UD défini par tous les éléments x de UD qui appartiennent ou bien à E ou bien à F, ce que l'on note  $(E \cup F)$ . L'opérateur OU est généralement réalisé par la formation du maximum, que l'on exprime comme suit :

$$\mu_{E \cup F}(x) = \max \{ \mu_E(x), \mu_F(x) \} \quad \forall x \in UD \quad (\text{III.5})$$

Ou bien :

$$\mu_{E \cup F}(x) = \mu_E(x) + \mu_F(x) \quad \forall x \in UD \quad (\text{III.5})$$

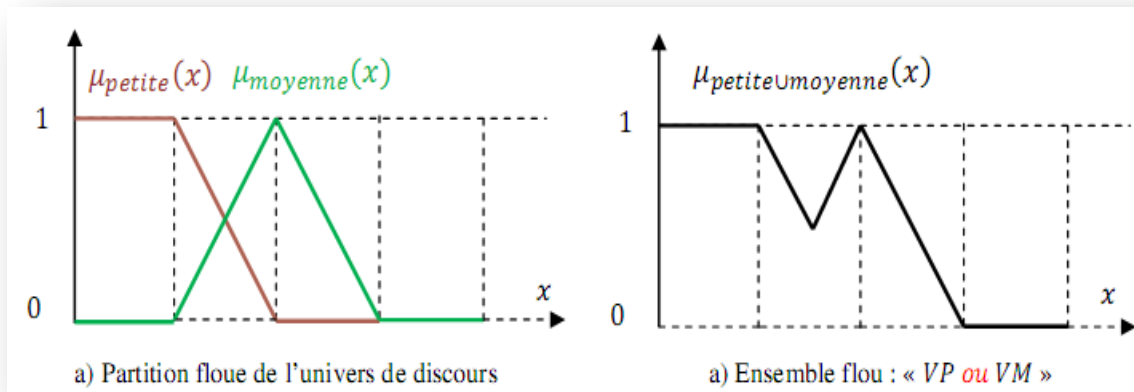


Figure.III. 10: Union des sous-ensembles flous « petite » et « moyenne ».

### III.5.6 3 Opérateur NON (négation floue)

Comme l'illustre la (figure III.11), le sous-ensemble flou complémentaire du sous-ensemble E est un sous-ensemble de l'univers de discours UD défini par les éléments x de l'UD qui n'appartiennent pas au sous-ensemble flou E. On peut exprimer ça par :

$$\mu_{\bar{E}}(x) = 1 - \mu_E(x) \quad \forall x \in UD \quad (\text{III.5})$$

Le complément flou représente l'opération NON de la logique classique au sens flou.

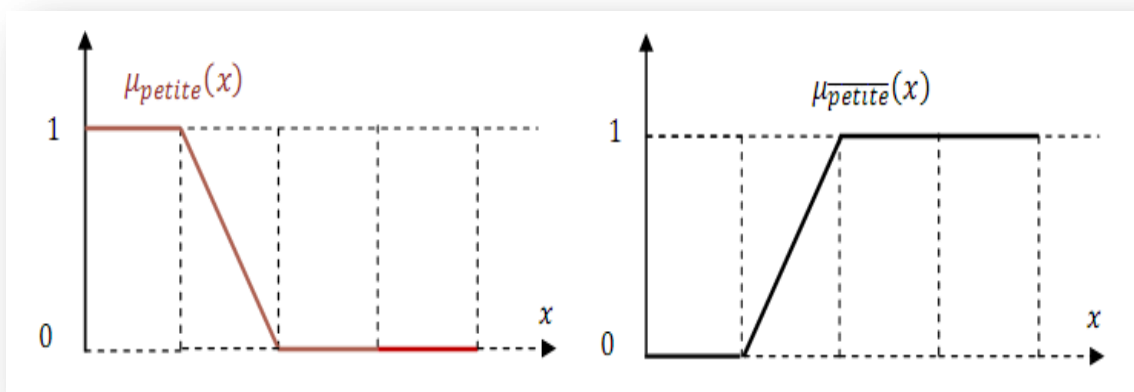


Figure.III. 11 : négation du sous-ensemble flou « petite ».

### III.5.7 Règles floues

La règle floue est une relation exprimée à l'aide d'une implication entre deux propositions floues. Par exemple, considérons deux variables linguistiques  $(V_1, U, T_{v1})$ ,  $(V_2, U, T_{v2})$  et les deux propositions suivantes "  $V_1$  est A ", " est B ", où A et B sont deux ensembles flous de  $V_1$  et  $V_2$ . On peut définir la règle floue par l'expression "si  $V_1$  est A Alors  $V_2$  est B".

- La proposition " $V_1$  est A " est la condition de l'implication.
- La proposition " $V_2$  est B " est la conclusion de l'implication.

Généralement, plusieurs règles floues sont nécessaires pour prendre une décision face à une situation donnée. On s'intéresse au cas de plusieurs règles floues dans le domaine de la commande et la régulation. Les règles floues peuvent être décrites de plusieurs façons [42]:

- **Linguistiquement** : dans ce cas, on exprime les règles de façon explicite comme suivant :

Si l'accélération est faible et la vitesse est faible Alors faire appel à un grand couple".

- **Symboliquement** : il s'agit, dans ce cas, d'une description linguistique où l'on remplace la désignation des ensembles flous par des symboles tels que ( $PG, PP, \dots etc$ ) désignant (Positif Grand, Positif Petit, ...etc)
- **Par matrice d'inférence** : dans ce cas, on rassemble toutes les règles dans un tableau appelé "Matrice d'inférence". Les entrées du tableau représentent les degrés d'appartenance des variables linguistiques des entrées. Et l'intersection d'une colonne et d'une ligne donne l'ensemble flou de sortie défini par la règle.

### III.6. Système floue

Un système flou (SF) est une relation non linéaire qui permet de prendre des données numériques (entrées nettes) les faire passer dans un domaine flou puis avoir une sortie scalaire (sortie nette). La structure générale de ce traitement est donnée par la figure qui suit [43]:

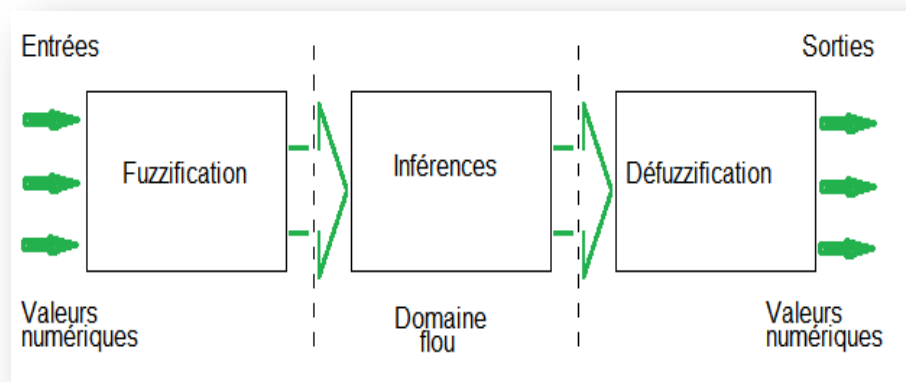


Figure.III. 12: schéma d'un système flou.

### III.6.1 Interface de fuzzification

La fuzzification est l'opération de projection des variables physiques réelles sur des ensembles flous caractérisant les valeurs linguistiques prises par ces variables [42] [46].

Le bloc de fuzzification effectue les fonctions suivantes :

- Définition des fonctions d'appartenance de toutes les variables d'entrées.
- Transformation des grandeurs physiques (réelles ou numériques) à des grandeurs linguistiques ou floues.
- Représentation d'échelle transférant la plage des variables d'entrées aux univers de discours correspondants.
- Pour les fonctions d'appartenance, on utilise généralement les formes triangulaires et trapézoïdales.

### III.6.2 Mécanisme d'inférence flou

L'inférence floue ou la logique de prise de décision est le cœur du contrôleur flou qui possède la capacité de simuler les décisions humaines et de déduire (inférer) les actions de commande floue à l'aide de l'implication floue et des règles d'inférence de la logique floue [42]. Elle utilise les variables floues transformées par la fuzzification et les règles d'inférence pour créer et déterminer les variables floues de sortie, en se basant sur des opérations floues appliquées aux fonctions d'appartenance.

Comme on l'a mentionné, il existe plusieurs possibilités pour réaliser les opérateurs flous qui s'appliquent aux fonctions d'appartenance. On introduit la notion de mécanisme ou méthode d'inférence, qui dépend des relations utilisées pour réaliser les différents opérateurs dans une inférence, permettant ainsi un traitement numérique de cette dernière.

Pour le réglage par logique floue, on utilise en général l'une des trois méthodes suivantes :

- Méthode d'inférence Max-Min (Méthode de Mamdani).
- Méthode d'inférence Max-Produit (Méthode de Larsen).
- Méthode d'inférence Somme-Produit.

Le tableau suivant résume la façon utilisée par ces trois méthodes d'inférence pour représenter les trois opérateurs de la logique floue (ET OU ALORS).

**Tableau III. 2:** Méthodes usuelles de l'inférence floue.

Méthodes D'inférence	Opérateurs flous		
	ET	OU	Alors
Max-Min	Minimum	Maximum	Minimum
Max-Produit	Minimum	Maximum	Produit
Somme-Produit	Produit	Moyenne	Produit

### III.6.3 Interface de défuzzification

La defuzzification est la dernière étape dans la commande floue. Elle consiste à transformer les informations floues établies par le mécanisme d'inférence en une grandeur physique ou numérique pour définir la loi de commande du processus. Plusieurs méthodes ont été élaborées pour faire cette opération.

La méthode de defuzzification choisie est souvent liée à la puissance de calcul du système flou [42]. Parmi les plus couramment utilisées, on cite :

- **Méthode de Maximum** : cette méthode génère une commande qui représente l'abscisse de la valeur maximale de la fonction d'appartenance résultante issue de l'inférence floue. Cette méthode est simple, rapide et facile, mais présente certains inconvénients lorsqu'il existe plusieurs valeurs pour lesquelles la fonction d'appartenance résultante est maximale et ne tient pas compte de l'effet de toutes les règles.
- **Méthode de la moyenne des maximums** : cette méthode génère une commande qui représente la valeur moyenne de tous les maximums, dans le cas où il existe plusieurs valeurs pour lesquelles la fonction d'appartenance résultante est maximale.
- **Méthode du centre de gravité** : cette méthode génère une commande égale à l'abscisse du centre de gravité de la fonction d'appartenance résultante issue de l'inférence floue. Cette abscisse de centre de gravité peut être déterminée à l'aide de la relation générale suivante:

$$x_G = \frac{\int x \mu_{rés}(x) dx}{\int \mu_{rés}(x) dx} \quad (IV.1)$$

L'intégrale du numérateur donne le moment de la surface, tandis que l'intégrale du dénominateur donne la surface de la fonction d'appartenance  $\mu_{\text{rés}}(x)$ .

- Cette méthode est la plus utilisée dans les systèmes de commande floue, (car elle tient compte de toutes les règles et ne présente pas une confusion de prise de décision), malgré sa complexité, puisqu'elle demande des calculs importants.

### III.7. Avantages et Inconvénients de la logique floue

On cite quelques avantages et inconvénients liés à l'application de la logique floue sont cités ci-dessous

#### Avantages

- Facilité d'implantation,
- Solution des problèmes multi-variables complexes,
- Robustesse vis-à-vis des incertitudes,
- Possibilité d'intégration du savoir de l'expert.

#### Inconvénients

- Technique de réglage essentiellement empirique,
- Performances dépendent de l'expertise,
- Absence de théorie générale qui caractérise rigoureusement la stabilité, la robustesse.

### III.8. Conclusion

Cette étude nous a permis d'aboutir aux points suivants :

- Les systèmes flous sont très riches, vu la possibilité de pouvoir décider sur plusieurs paramètres à savoir les fonctions d'appartenance.
- L'avantage de la LF proche du langage humain et permet de capter le savoir-faire humain.
- L'inconvénient majeur de la LF réside dans le manque d'un cadre théorique et d'outils analogiques qui peuvent optimiser l'architecture du contrôleur floue qui est l'objectif d'étude dans le quatrième chapitre .La régulation de vitesse d'une GSAP présente un bon terrain pour tester l'efficacité de cette nouvelle technique.

<b>III.1.</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>49</b>
<b>III.2.</b>	<b>Historique.....</b>	<b>49</b>
<b>III.3.</b>	<b>Application de la logique flou .....</b>	<b>50</b>
<b>III.4.</b>	<b>Concept de la logique floue .....</b>	<b>51</b>
<b>III.5.</b>	<b>Notions de base de la logique floue.....</b>	<b>52</b>
III.5.1	Ensemble net.....	52
III.5.2	Ensemble flou.....	53
III.5.3	Notion d'appartenance partielle .....	54
III.5.4	Fonctions d'appartenance .....	55
III.5.4.1	Différentes formes des fonctions d'appartenance .....	56
III.5.5	Variables linguistiques.....	56
III.5.6	Opérateurs de la logique floue .....	57
III.5.6 1	Opérateur ET (Intersection floue).....	58
III.5.6 2	Opérateur OU (Union floue).....	58
III.5.6 3	Opérateur NON (négation floue).....	59
III.5.7	Règles floues.....	59
<b>III.6.</b>	<b>Système floue.....</b>	<b>60</b>
III.6.1	Interface de fuzzification .....	61
III.6.2	Mécanisme d'inférence flou .....	61
III.6.3	Interface de défuzzification .....	62
<b>III.7.</b>	<b>Avantages et Inconvénients de la logique floue .....</b>	<b>63</b>
<b>III.8.</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>63</b>

■