

Introduction

Depuis les dernières décennies, l'intérêt croissant vis-à-vis des phénomènes de contournement des isolateurs a conduit à de nombreuses recherches. Ainsi de nouvelles techniques ont vu le jour afin de surveiller les performances et de prédire le contournement des isolateurs Haute Tension.

Dans ce chapitre nous présenterons en première partie des notions essentielles sur la logique floue utilisée pour la prédiction de contournement et en deuxième partie la technique RP appliquée sur le courant de fuite pour diagnostiquer les isolateurs.

II.1. Logique floue

II.1.1. Historique de la logique floue

La logique floue (en anglais fuzzylogic) est de grande actualité aujourd'hui. En réalité elle existe déjà depuis longtemps et nous pouvons diviser son histoire de développement en trois étapes. Ce sont les paradoxes logiques et les principes de l'incertitude d'Heisenberg qui ont conduit au développement de la "logique à valeurs multiples" ou "logique floue" dans les années 1920 et 1930. En 1937, le philosophe Max Black a appliqué la logique continue, qui se base sur l'échelle des valeurs vraies $\{0, 1/2, 1\}$ pour classer les éléments ou symboles [9].

La logique floue est une extension de logique booléenne créée par Lotfi Zadeh en 1965 en se basant sur la théorie mathématique des ensembles flous, qui est une généralisation de la théorie classique. En introduisant la notion de degré dans la vérification d'une condition, permettant ainsi d'être dans un autre état que vrai ou faux, la logique floue confère une flexibilité très appréciable aux raisonnements qui l'utilisent, ce qui rend possible la prise en compte des imprécisions et des incertitudes. [10]

En 1973, le professeur Zadeh publie un article, il y mentionne pour la première fois le terme de variables linguistiques (dont la valeur est un mot et non un nombre). En 1974, Mamdani (Université de Londres) réalise un contrôleur flou expérimental pour commander un moteur à vapeur. En 1980, Smidth et Co. A.S (au Danemark), mettent en application la théorie de la logique floue dans le contrôle d'un four à ciment. C'est la première mise en œuvre pratique de cette nouvelle théorie. En 1987, 'explosion du flou' au Japon (avec le contrôle du métro de Sendai), qui atteint son apogée en 1990. Tout récemment, en Europe et en Amérique du Nord, une intense activité de recherche a débuté afin de développer de nouveaux produits, même pour des objets de la vie courante à une étiquette produit flou [9].

II.1.2. Domaines d'application

Les principaux domaines de recherche et d'application de la logique floue sont les suivants:

- Automatisation de la production du fer et de l'acier, purification de l'eau, chaînes démontage et robots de fabrication.
- Commande des instruments (capteurs, et instruments de mesure), et reconnaissance de voix et de caractères.
- Conception, jugement et décision (consultation, investissement et développement, horaires de train).
- Commande des unités arithmétiques, des micro-ordinateurs, et réalisation des opérateurs.
- Traitement d'information telles que les données, recherche de l'information, modélisation des systèmes, ...etc.

II.1.3. Théorie des ensembles flous

II.1.3.1. 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 est 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. 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 [11].

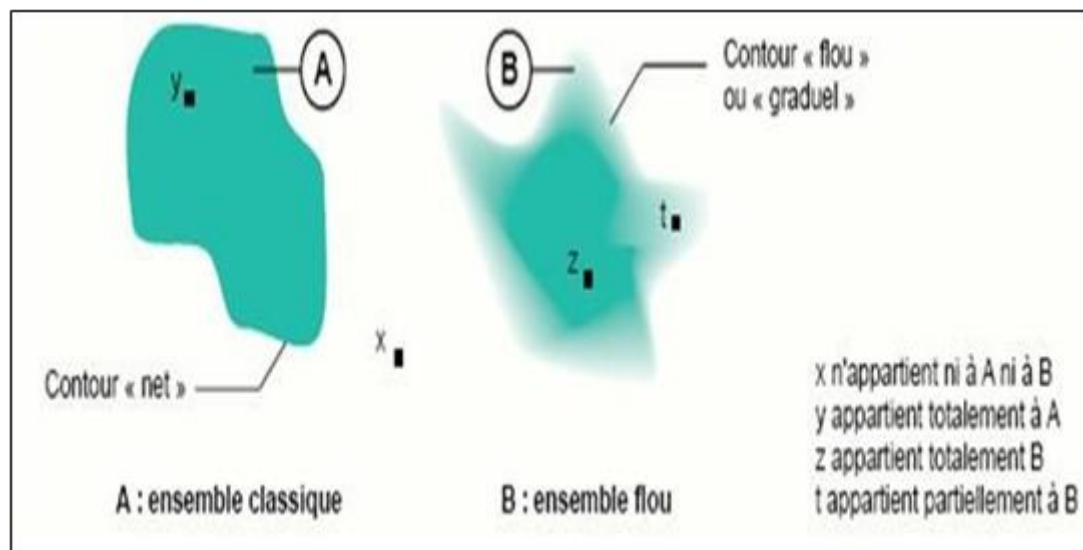


Figure II.1. Comparaison d'un ensemble classique et un ensemble flou [11].

II.1.3.2. Fonction d'appartenance

Un ensemble flou est défini par sa « Fonction d'appartenance », qui correspond à la notion de « fonction caractéristiques » en logique classique. Supposons que nous voulions définir l'ensemble des personnes de « taille moyenne ». En logique classique, nous conviendrons par exemple que les personnes de taille moyenne sont celles dont la taille est comprise entre 1.60m et 1.80m. la fonction caractéristiques de l'ensemble (figure II.2) donne « 0 » pour les tailles hors de l'intervalle [1.60m ; 1.80m] et « 1 » dans cet intervalle [9][11].

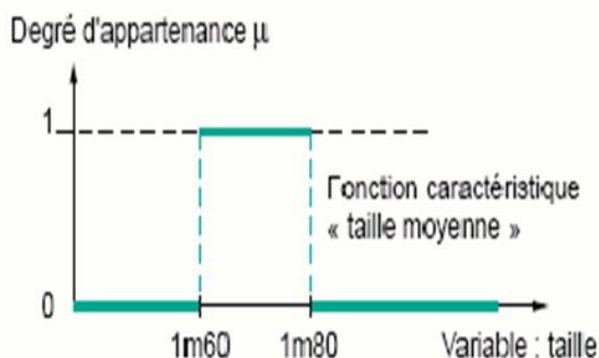


Figure II.2. Fonction caractéristique [11].

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 » (figure II.3), compris entre 0 et 1.

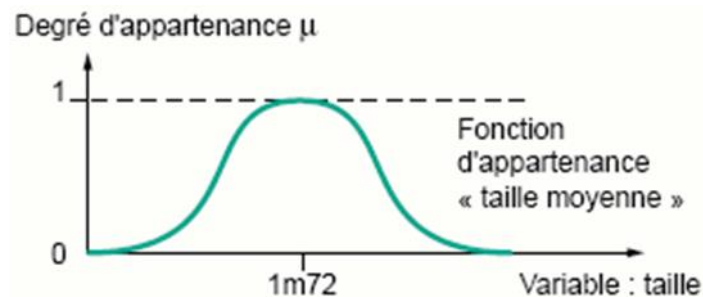


Figure II.3. Fonction d'appartenance [11].

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 II.4).

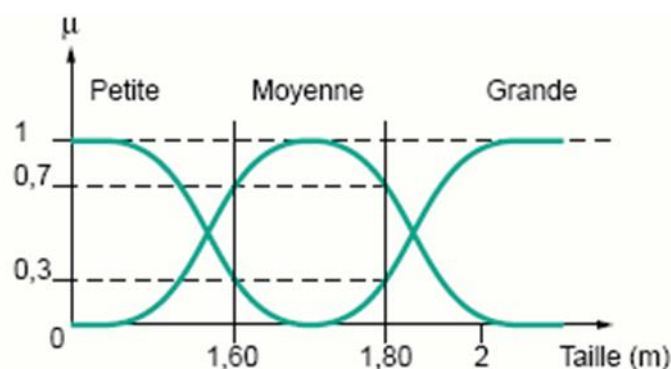


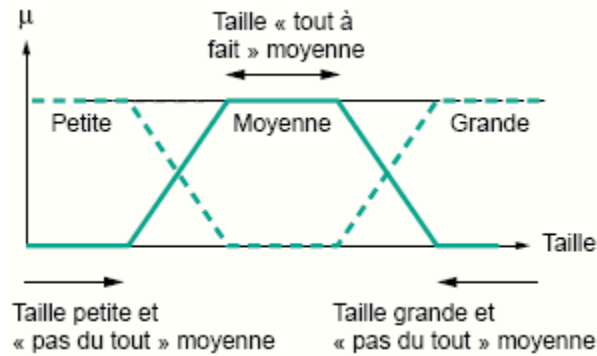
Figure II.4. Fonction d'appartenance, variables et termes linguistiques [11].

Cet exemple montre la gradualité que permet d'introduire la logique floue. Une personne de 1.80m appartient à l'ensemble « taille grande » avec un degré 0.3 et à l'ensemble « taille moyenne » avec un degré de 0.7. En logique classique, le passage de moyen à grand serait brusque. Une personne de 1.80m serait par exemple de taille moyenne alors qu'une personne de 1.81m serait grande, ce qui choque l'intuition.

La variable (par exemple : taille) ainsi que les termes (par exemple : moyenne, grande) définis par les fonctions d'appartenance portent respectivement les noms de variable

linguistique et de termes linguistiques. Comme cela sera vu plus loin, variables et termes linguistiques peuvent être utilisés directement dans des règles.

Les fonctions d'appartenance peuvent théoriquement prendre n'importe quelle forme. Toutefois, elles sont souvent définies par des segments de droites, et dites « linéaires par morceaux » (figureII.5) [11].



FigureII.5. Fonctions d'appartenance linéaires par morceaux [11].

Les fonctions d'appartenance « linéaires par morceaux » sont très utilisées car [9]:

- Elles sont simples.
- Elles comportent des points permettant de définir les zones où la notion est vraie, les zones où elle est fautive, ce qui simplifie le recueil d'expertise.

Dans certains cas, les fonctions d'appartenance peuvent être égales à 1 pour une seule valeur de la variable et égales à 0 ailleurs, et prennent alors le nom de « fonctions d'appartenance singletons ». Un singleton flou (figure II.6) défini sur une variable réelle (taille) est la traduction dans le domaine flou d'une valeur particulière (taille d'une personne x) de cette variable.

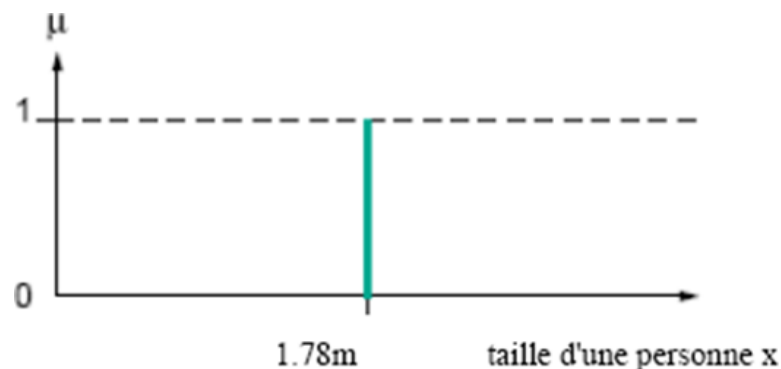


Figure II.6. Fonction d'appartenance singleton [11].

Parmi les fonctions d'appartenance les plus utilisées aussi, on cite : les fonctions triangulaires ; trapézoïdale ; gaussiennes...etc.

La figure II.7 montre l'allure de ces fonctions.

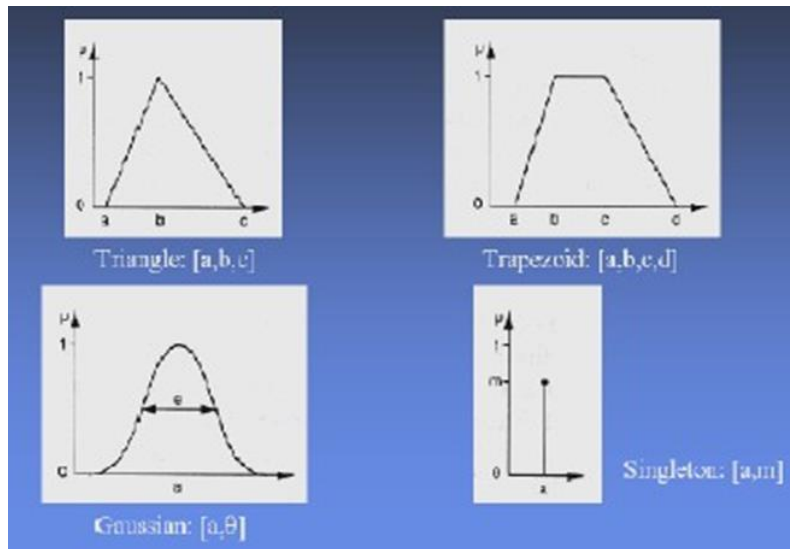


Figure II.7. Différentes formes de fonctions d'appartenance [12].

Les fonctions d'appartenance présentées ci-dessus peuvent être exprimées par les expressions suivantes :

- **Triangulaire**

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{a-x}{a-b} & \text{si } x \in [a, b] \\ \frac{x-c}{b-c} & \text{si } x \in [b, c] \end{cases} \quad (\text{II.1})$$

- **Trapèze**

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & \text{si } x \in [a, b] \\ \mathbf{1} & \text{si } x \in [b, c] \\ \frac{x-d}{b-a} & \text{si } x \in [c, d] \end{cases} \quad (\text{II.2})$$

- **Gaussienne**

$$\mu_A(x) = \exp\left(-\left(\frac{x-a}{\theta}\right)^2\right) \quad (\text{II.3})$$

- **Singleton**

$$\mu_A(x) = \begin{cases} m & \text{pour } x = a \\ 0 & \text{pour } x \neq a \end{cases} \quad (\text{II.4})$$

II.1.3.3. Propriétés des ensembles flous

On définit complètement une partie floue (sous ensemble flou) par sa fonction d'appartenance qu'on note $\mu_A(x)$; la valeur de cette fonction d'appartenance $\mu_A(x)$ est appelé degré d'appartenance de l'élément x au sous ensemble A .

- **Support**

On appelle « support » d'un ensemble flou A de X , noté $\text{supp}(A)$ est l'ensemble des éléments appartenant, même très peu, à A c'est-à-dire dont le degré d'appartenance à A est supérieur à 0 ordinaire de point x dans X tel que $\mu_A(x) > 0$. Il est noté par $S(A)$, et défini par [13]:

$$\text{supp}(A) = \{x \in X \mid \mu_A(x) > 0\} \quad (\text{II.5})$$

L'ensemble flou dont le support est un ensemble singleton est appelé « Singleton flou »

- **Hauteur**

La « hauteur » d'un ensemble flou A est la plus grande valeur du degré d'appartenance $\mu_A(x)$. Elle est noté par $\text{hgt}(A)$ est définie par [13]:

$$\text{hgt}(A) = \max \{ \mu_A(x) \mid x \in X \} \quad (\text{II.6})$$

Un ensemble flou A est appelé normal si $\text{hgt}(A) = 1$, et sous normal si $\text{hgt}(A) < 1$.

- **Noyau**

Le noyau d'un ensemble flou A , noté $n(A)$ est l'ensemble ordinaire qui contient tous les éléments totalement possibles x dans X de A . il est noté par $n(A)$ et défini comme suit [13]:

$$n(A) = \{x \in X \mid \mu_A(x) = 1\} \quad (\text{II.7})$$

S'il y a un seul point avec un degré d'appartenance égale à 1, alors ce point est appelé la valeur modale de A .

Les figures II.8 et II.9 montrent respectivement les supports et les noyaux des ensembles flous représentés par leurs fonctions d'appartenance dans la (figure II.7)

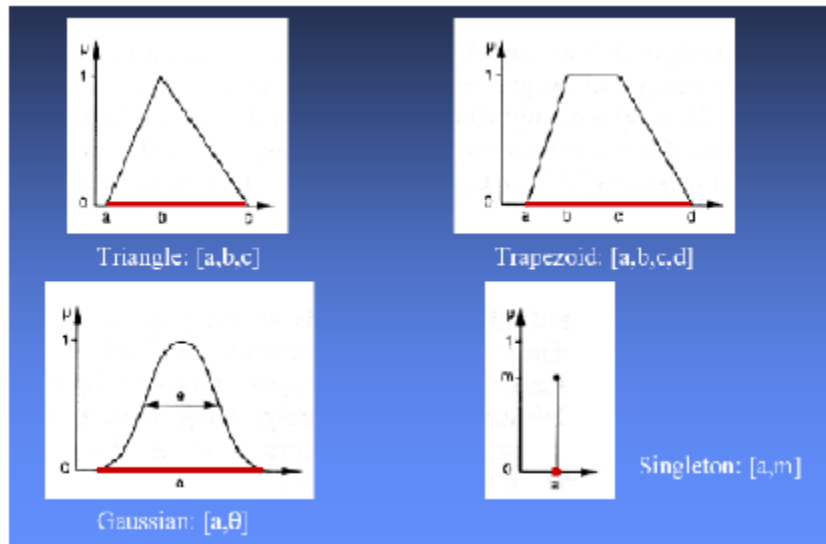


Figure II.8. Support des différents ensembles flous (couleur rouge) [14].

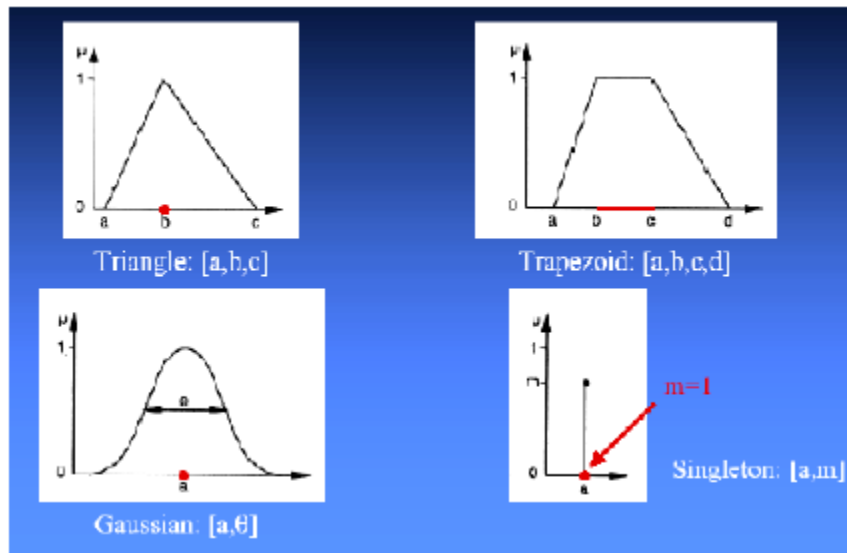


Figure II.9. Noyaux des différents ensembles flous (couleur rouge) [14].

II.1.3.4. Univers de discours et degré d'appartenance

Pour la variable floue x , on définit un ensemble flou A sur un univers de discours U par une fonction degré d'appartenance μ_A [15]:

$$\mu_A : U \rightarrow [0,1]$$

$$x \rightarrow \mu_A(x)$$

L'univers de discours est l'ensemble des valeurs réelles que peut prendre la variable floue x et $\mu_A(x)$ le degré d'appartenance de l'élément x à l'ensemble flou A .

Plus généralement, le domaine de définition de $\mu_A(x)$ peut être réduit à un sous ensemble de U . On peut ainsi avoir plusieurs fonctions d'appartenances, chacune caractérisant un sous ensemble flou. C'est par l'association de tous les sous-ensembles de l'univers de discours, que l'on obtient l'ensemble flou de la variable flou x . En pratique, l'intersection entre deux sous-ensembles consécutifs est non nulle. Il en résulte un chevauchement des variables qui doit être suffisant pour permettre une description continue des variables mais pas trop important pour limiter l'imprécision. Il est notamment préférable d'éviter que les fonctions d'appartenance de deux sous-ensembles voisins soient simultanément égales à 1 [11].

II.1.3.5. Variables floues (variables linguistiques)

Le concept des variables linguistique joue un rôle important dans le domaine de la logique flou. 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. ».

Ce genre d'expressions forme ce qu'on appelle des variables linguistique de la logique flou [11].

II.1.3.6. Opérateurs en logique floue

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 [11].

- Intersection

L'opérateur logique correspondant à l'intersection d'ensemble 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, noté par $A \cap B$, est défini par :

$$(A \text{ ET } B) = \text{MIN}(\mu(A), \mu(B)) \quad (\text{II.8})$$

- Union

L'opérateur logique correspondant à union d'ensemble 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 est définie par :

$$(A \text{ OU } B) = (\mu(A), \mu(B)) \quad (\text{II.9})$$

- Complément

L'opérateur logique correspondant au complément d'un ensemble est la négation est définie par :

$$\mu(\text{NONA}) = 1 - \mu(A) \quad (\text{II.10})$$

Des exemples sur les opérations sont représentés sur la (figure II.10).

L'intersection de A et B, noté par (a). Les opérations minimum, maximum et complémentation à 1 ont été choisies pour définir respectivement l'intersection, l'union et le complément d'ensembles flous Parce qu'ils préservent presque toute la structure de la théorie classique des ensembles.

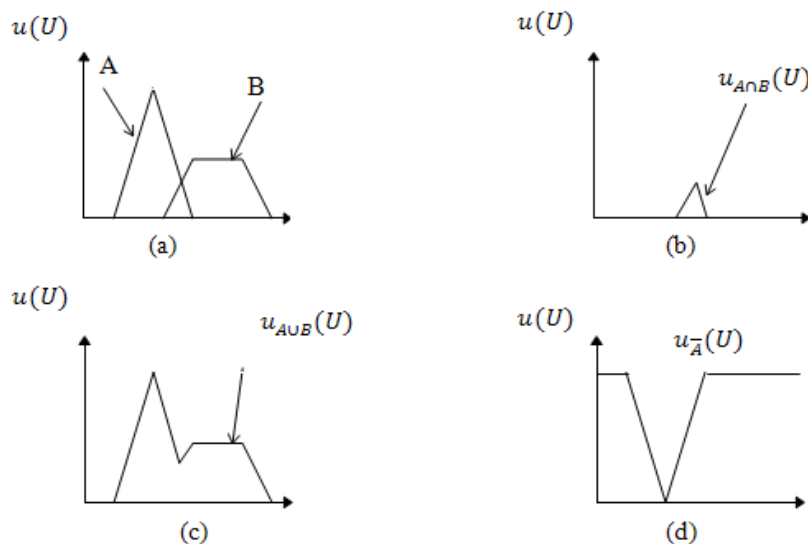


Figure II.10. Les différents opérateurs de la logique floue [12].

II.1.3.7. Règles floues

Une règle floue est une déclaration de la forme suivante :

SI x est A ALORS y est B

Où x et y sont des variables linguistiques et A et B sont des valeurs linguistiques, déterminées par les ensembles flous sur les ensembles X et Y. Une valeur linguistique est une variable floue. Par exemple : la tension est haute. La variable linguistique *tension* prend la valeur linguistique élevée. La plage de valeurs linguistiques possible d'une règle représente l'univers de cette variable. [16]. Un exemple de règle floue est la règle de conduite automobile à l'approche d'un carrefour contrôlé par de feux tricolore

Si le feu est rouge	Si ma vitesse est élevée	Et si le feu est proche	Alors je freine fort
Si le feu est rouge	Si ma vitesse est faible	Et si le feu est loin	Alors je maintiens ma vitesse
Si le feu est orange	Si ma vitesse est moyenne	Et si le feu est loin	Alors je freine doucement
Si le feu est vert	Si ma vitesse est faible	Et si le feu est proche	Alors j'accélère.

Si le feu est rouge, si ma vitesse dépasse 85.6 km/h et si le feu est à moins de 62.3m, alors j'appuie sur le frein avec une force de 33.2 Newtons [10][17].

Intuitivement, il semble donc que les variables d'entrées à l'instar de cet exemple sont appréciés par le cerveau de manière approximative, correspondant ainsi au degré de vérification d'une condition de la logique floue [10].

II.1.3.7.1. Principes et étape de mise en œuvre d'un mécanisme d'inférence flou

Le mécanisme d'inférence le plus couramment utilisé est celui dit « Mamdani ». Une base de règles floues de « Mamdani » comprend donc des règles linguistiques faisant appel à des fonctions d'appartenance pour décrire les concepts utilisés (**figure II.11**) [18].

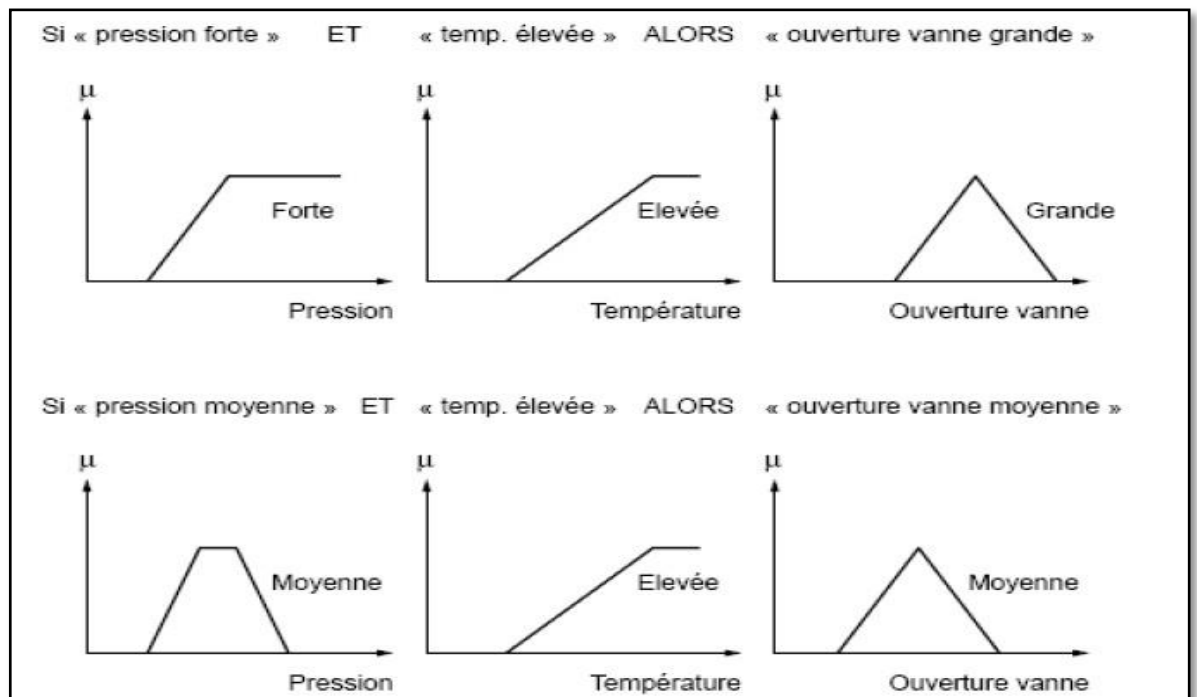


Figure II.11. Principe de mécanisme d'un SIF [11].

Le mécanisme d'inférence de type Mamdani comprend les étapes suivantes :

II.1.3.7.1.1. Fuzzification

IL s'agit de la conversion analogique/ numérique, ainsi que du traitement de grandeurs mesurées et de leur transformation en valeur linguistique avec des définitions des fonctions d'appartenance, comme illustré par la (**figure II.12**) [11].

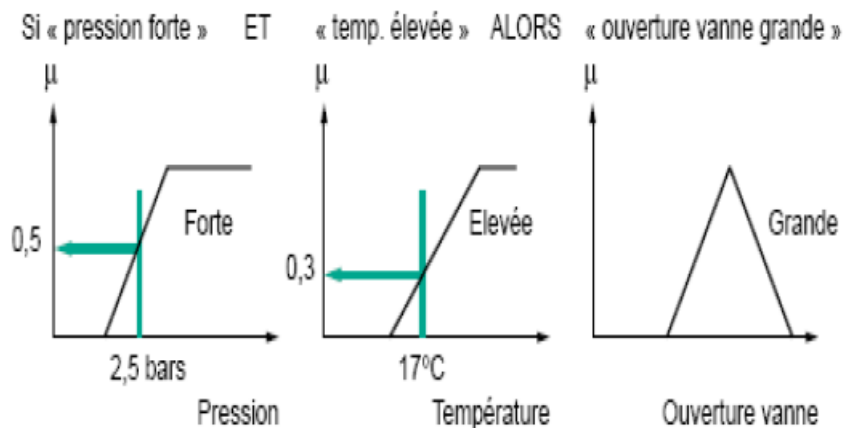


Figure II.12. Fuzzification [11].

II.1.3.7.1.2. Degré d'activation

Le degré d'activation d'une règle est l'évaluation du prédicat de chaque règle par combinaison logique des propositions du prédicat, comme illustré par la figure II.13. Le « ET » est réalisé en effectuant le minimum entre les degrés de vérité des propositions [11][18].

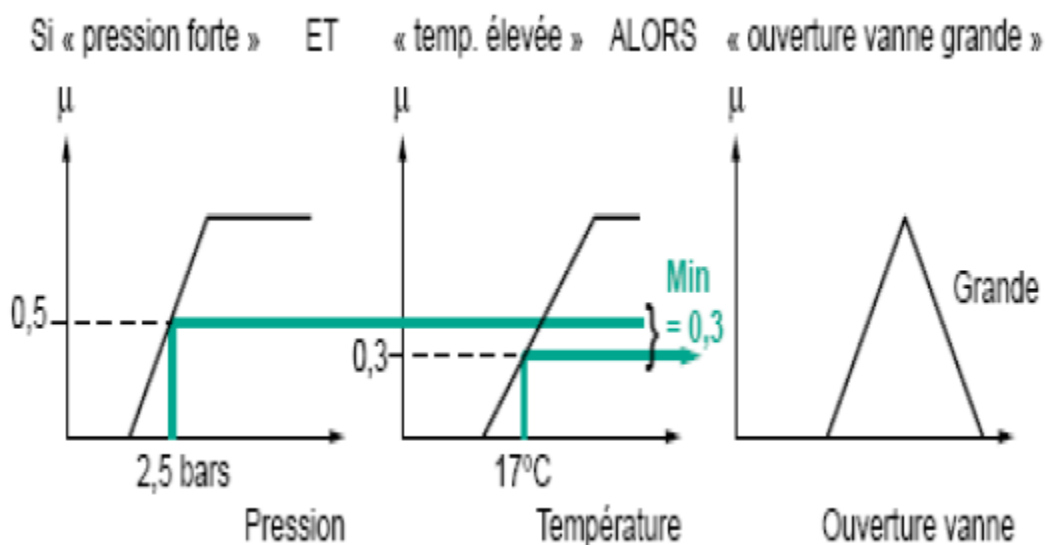


Figure II.13. Activation [11].

II.1.3.7.1.3. Implication

Le degré d'activation de la règle permet de déterminer la conclusion de la règle, c'est l'implication. Il existe plusieurs opérateurs d'implication, mais le plus utilisé est le « minimum ». L'ensemble flou de conclusion est construit en réalisant le minimum entre le degré d'activation et la fonction d'appartenance, sorte de « écrêtage » de la fonction d'appartenance de conclusion (figure II.14) [11].

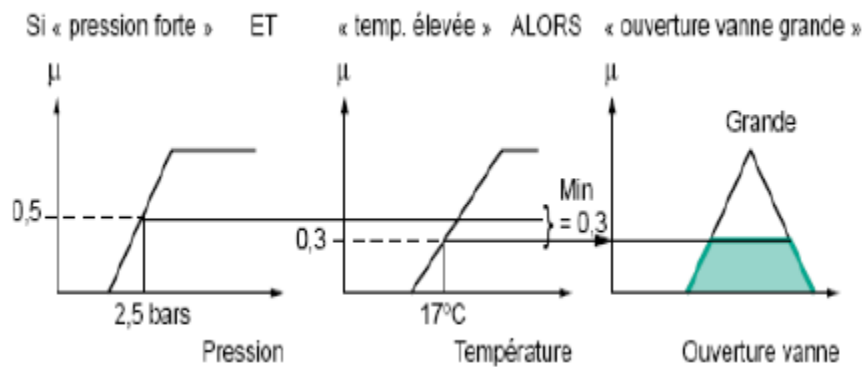


Figure II.14. Implication [11].

II.1.3.7.1.4. Agrégation

L'ensemble flou global de sortie est construit par agrégation des ensembles flous obtenus par chacune des règles concernant cette sortie [11].

L'exemple suivant présente le cas où deux règles agissent sur une sortie. On considère que les règles sont liées par un « OU » logique, et on calcule donc le maximum entre les fonctions d'appartenance résultantes pour chaque règle (figure II.15)

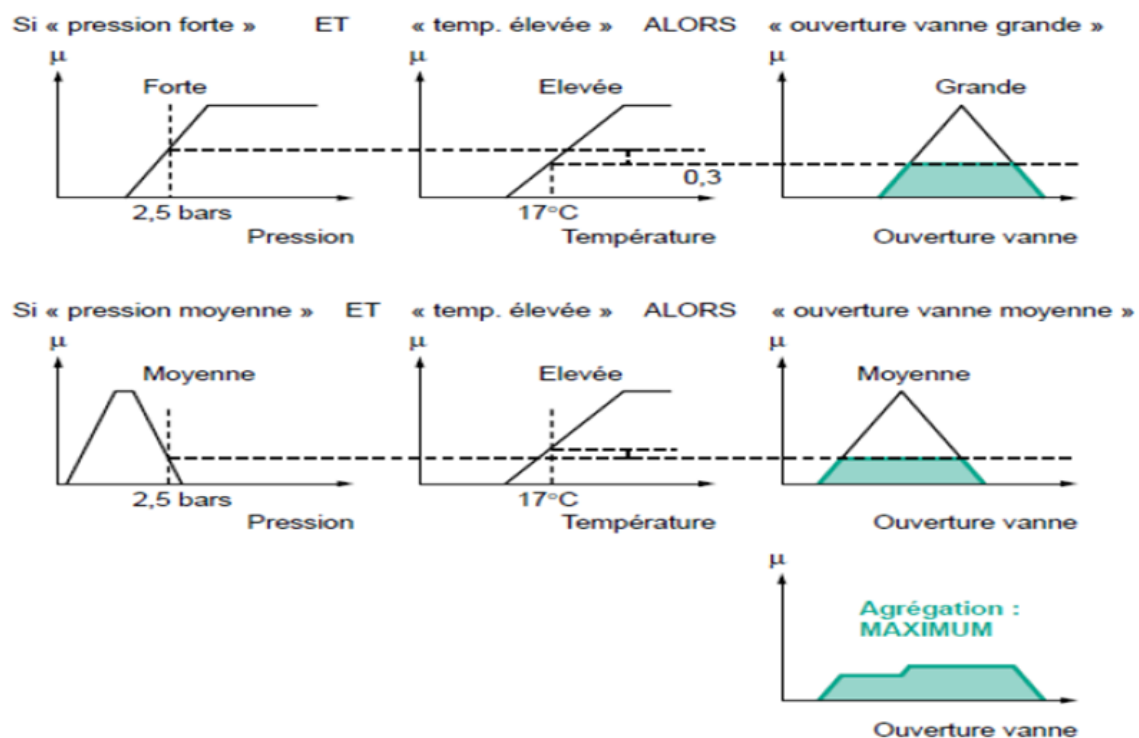


Figure II.15. Agrégation des règles [11].

II.1.3.7.1.5. Défuzzification

Cette étape consiste à réaliser l'opération inverse de la fuzzification, c'est-à-dire, obtenir une valeur physique de la sortie à partir de la surface obtenue. Plusieurs méthodes de défuzzification existent. Comme pour tous les opérateurs flous, le concepteur du système ou doit choisir parmi plusieurs définitions possibles de défuzzification [12].

Les plus utilisées sont :

- Méthode du maximum.
- Méthode de la moyenne des maximums.
- Méthode du centre de gravité.

La méthode du centre de gravité est la plus utilisée. Cette méthode consiste à trouver le centre de gravité de la surface obtenue. L'abscisse du centre de gravité de la sortie peut se déterminer à l'aide de la relation générale [12].

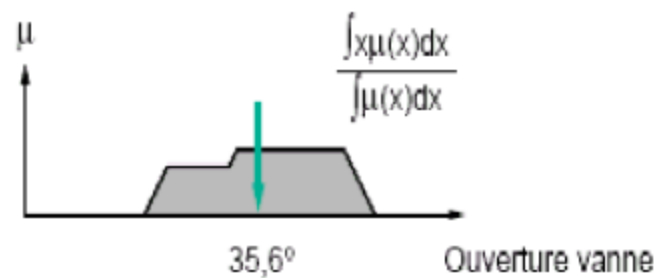


Figure II.16. Defuzzification par centre de gravité [11].

II.2. Technique RP

Le diagramme de récurrence, ou Recurrent Plot (RP) concerne l'aspect qualitatif de la théorie du chaos. En se basant sur l'étude de la récurrence d'états d'un système dynamique, cette méthode permet une reconstruction sans pertes des données, et donne un aperçu immédiat de l'état du processus étudié.

II.2.1. Diagramme de récurrence (RP)

II.2.1.1. Définition

Le premier concept de récurrence fut introduit par Henry Poincaré en 1890, qui non seulement, a introduit le premier concept de point récurrent [19], mais a aussi introduit un phénomène fondamental d'instabilité appelé « sensibilité aux conditions initiales » qui, modulant une propriété supplémentaire de récurrence, rend les systèmes dynamiques non prédictibles en pratique à « long terme ». Cette théorie, n'a pu être exploitée qu'après 70 ans, et ce en attendant le développement des ordinateurs et machines de calcul.

En 1987, Eckmann et al [20] ont introduit la méthode des RP pour visualiser les récurrences des systèmes dynamiques. Supposons qu'on ait une trajectoire $\{\vec{x}_i\}_{i=1}^N$ d'un système dans son espace de phase. Ainsi, le RP correspondant est construit comme suit : chaque point de l'espace de phase $\{\vec{x}_i\}_{i=1}^N$ est testé s'il est proche ou non d'un autre point. Ainsi, si la distance entre ces deux points est inférieure à un seuil 'prédéfini, les points sont dits récurrents et sont

associés à un point noir. Dans le cas contraire, ils sont non récurrents et sont associés à un point blanc. Cela se traduit par une matrice $N \times N$, telle que :

$$R_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{si } \vec{x}_i \approx \vec{x}_j \\ 0 & \text{si } \vec{x}_i \neq \vec{x}_j \end{cases} \quad i, j = 1, \dots, N \quad \text{II.11}$$

Où N est le nombre d'états considérés et $\vec{x}_i \approx \vec{x}_j$ indique l'égalité avec une certaine erreur ε .

Ainsi, l'équation II.12 peut être réécrite sous sa forme matricielle :

$$R_{i,j}(\varepsilon) = (\varepsilon - \|\vec{x}_i - \vec{x}_j\|), \quad i, j = 1, \dots, N \quad \text{II.12}$$

Où N est le nombre de point \vec{x}_i mesurés, ε est le seuil $\theta(\cdot)$ est la fonction ($\theta(x) = 0$ si $x < 0$, et $\theta = 1$ autrement) et $\|\cdot\|$ est une norme.

Pour un ε fixé (pour les états voisins de ε) on introduit la notion suivante :

$$\vec{x}_i \approx \vec{x}_j \Leftrightarrow R_{i,j} = 1 \quad \text{II.13}$$

Puisque $R_{i,j} = 1$ par définition, le diagramme de récurrence se caractérise par une ligne noire diagonale, appelé « la ligne d'identité » (Line Of Identity, LOI), avec un angle de $\pi/4$.

Le paramètre ε est crucial lors d'un diagramme de récurrence. Ainsi, une attention spéciale doit lui être accordée. Si la valeur de ε est trop grande, la plupart des points seront voisins d'autres points, ce qui produira un diagramme condensé, et donc des points non pertinents. D'autre part, si la valeur de ε choisie est trop petite, on peut perdre la plupart des points récurrents, et donc aucune information utile ne sera tirée. Par ailleurs, il n'existe pas de méthode standard pour choisir la valeur de ε . La plupart des chercheurs la choisissent comme étant égale à 0.25σ , σ représente la déviation standard du signal étudié. [21][22]

II.2.1.2. Diagramme de récurrence

Le diagramme de récurrence est une matrice de points où chaque point est dit récurrent. RP fournit des informations sur la corrélation temporelle des points d'espace de phase. Les lignes horizontales ou verticales indiquent que l'état du système ne change pas ou change très lentement dans le temps. [23]

L'ensemble des lignes parallèles à la diagonale principale est la signature du déterminisme. [24]

II.2.2. Structures dans les diagrammes de récurrence

Il existe 4 types de diagramme de récurrence (figure II.17), et cela dépendamment de leurs structures :

- diagramme homogène ;

- diagramme périodique et quasi-périodique ;
- diagramme dévié : une déviation est causée par des systèmes à faible variations des paramètres (systèmes non stationnaires) ;
- diagramme interrompu : les changements abrupts causent des surfaces blanches sur le diagramme [25][26].

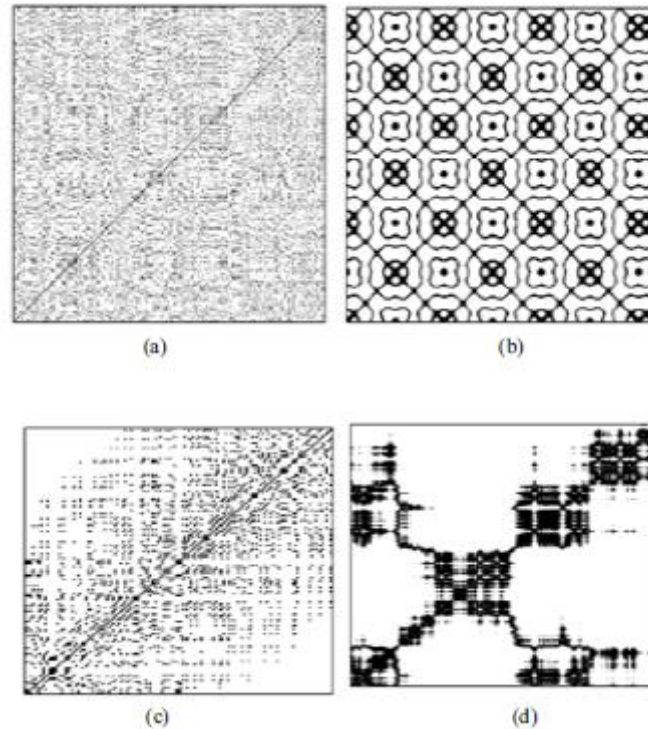


Figure II.17 Topologie caractéristique des diagrammes de récurrence (a) Homogène, (b) périodique, (c) dévié et (d) interrompu

La technique RP consiste donc en points isolés, points joints dans des segments de lignes et espaces blancs. Les points denses et les segments blancs reflètent dans notre cas la caractéristique non linéaire du signal du courant de fuite. Un « point récurrent » signifie que la distance entre deux vecteurs voisins dans l'espace de phase est inférieure ou égale à la valeur du seuil. La diagonale principale existe dans toutes les structures, ce qui correspond au fait que la distance entre le vecteur et la diagonale elle-même est nulle. Le point à la plus haute densité indique que la distance entre les vecteurs reconstruits dans l'espace de phase change légèrement.

Il indique que les vecteurs incrustés sont très similaires aux vecteurs voisins dans m -dimensions d'espace de phase [25].

Les points à faible densité représentent un dispersement évident dans le processus. Alors que les espaces blancs indiquent un changement rapide d'amplitude. Nous résumons les

significations à propos de la topologie des structures du diagramme de récurrence dans le tableau suivant.

Tableau II.1. Exemple typique de diagramme de récurrence et leurs significations.[27]

Exemples	Signification
(1) Homogénéité	Le processus est stationnaire.
(2) Eclaircissement des coins haut gauche et bas droit	Données non stationnaires ; le processus contient un mouvement ou un décalage.
(3) Disruptions (bandes blanches)	Données non stationnaires ; certains états sont rares ; présence de transitions.
(4) Modèle périodique/ quasi périodique	Processus cyclique ; la période correspond à la distance entre les lignes ; différentes distances entre les lignes diagonales révèlent un processus quasi périodique.
(5) Points isolés	Forte fluctuation du processus ; si seuls les points isolés sont présents, le processus étudié est faiblement ou non corrélé.
(6) Points denses	La densité des points indique l'intensité du processus étudié. Si les points gagnent en densité, l'activité du processus étudié s'intensifie.
(7) Lignes diagonales (parallèles à la LOI)	L'évolution est similaire à d'autres périodes ; le processus peut être déterministe. Si ces lignes diagonales sont présentes à côté des points isolés, le processus peut être chaotique.
(8) Lignes diagonales (orthogonale à la LOI)	L'évolution est similaire à d'autres périodes mais en temps inverse ; parfois, cela indique une dimension d'immersion insuffisante.
(9) Lignes verticales et horizontales	Certains états présentent des changements peu nombreux ou lents ; indiquent des états laminaires.
(10) Lignes longues arquées	L'évolution est similaire à d'autres périodes mais à une vitesse différente ; la dynamique du système peut être variable.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit quelques notions de bases sur la théorie de la logique floue, les différentes formes des fonctions d'appartenance, les propriétés des ensembles flous, règles floues, et pour démontrer comment les ensembles flous interagissent ensemble ; nous avons cité les principaux opérateurs de la logique floue mais aussi sur le diagramme de récurrence RP.

Dans le chapitre suivant nous détaillerons l'utilisation de la logique floue pour la prédiction de contournement d'un isolateur de Haute Tension et de la RP pour le traitement du courant de fuite, ce qui prouvera l'utilité de ces nouvelles techniques dans le domaine de la Haute Tension.