

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Electrique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Génie électrique

Spécialité : Matériaux électrotechniques

Présenté par :

MEBAOUDJ Seif El Islam

MEZAOUR Hichem

Thème:

Prédiction de la tension de contournement d'un
isolateur de haute tension en utilisant la logique
floue

Soutenu publiquement

Le : 08/06/2015

Devant le jury :

M^{me} Kh.BOUALI

MA (A)

Président

UKM Ouargla

M^{me} N.M'ZIOU

MC (A)

Encadreur/rapporteur

UMK Biskra

M Y.BOUREK

MA(A)

Co-encadreur

UKM Ouargla

M^{elle} A.BELKEBIR

MA (A)

Examineur

UKM Ouargla

Année universitaire 2014/2015

Remerciements

Notre remerciement Avant tout, louange à « ALLAH» qui nous a donnés la force, le courage et la patience de mettre ce modeste travail.

Nous tenons, avant tout, à exprimer notre profonde gratitude à nos promoteurs Madame N .M'ZIOU qu'elle a été à l'origine de ce travail, et Monsieur Y.BOUREK pour sa disponibilité, pour sa confiance qu'il nous a témoignée, ainsi que ses conseils précieux et ses encouragements qui nous ont beaucoup aidés à mener à bien la réalisation de ce travail. Qu'ils trouvent ici notre profonde reconnaissance.

Nous remercions les membres de jury, chacun par son nom, qui nous ont honorés en acceptant d'examiner ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Dédicace

A ma très chère mère, qui représente pour moi l'exemple du sacrifice du dévouement, et de l'honnêteté.

A mon père, symbole de patience et du courage

A mon oncle adorable que j'aime beaucoup.

A toute la Famille

A mon frère et mes sœurs

A toute ma famille de QNET et KNIGHTS

A mes chers Amis Haroun et Youcef

A mon binôme

A Touts mes Amis, chez lesquels j'ai trouvé réconfort

Et soutien dans les moments les plus pénibles

Que je dédie ce travail

Et à toi aussi OUI !! TOI !

S.MEBAOUDJ

Dédicace

*A ceux qui me sont les plus chers au monde, et à qui je dois
ma réussite et mon éducation, mes précieux parents.*

A toute ma famille qui m'a beaucoup soutenu et orienté.

A mon cher oncle Amirouche.

A ma très chère nièce Ania que j'aime beaucoup.

A toute la famille MEBAOUDJ que je respecte beaucoup.

*Je dédie aussi ce modeste travail, à mes amis Mr Abdel
basset, Bilal HAMILA et Mr AMRANE Mohamed qui mon
beaucoup aidé et encouragé.*

A toute la promotion Master 2, génie électrique.

A tous qui m'aime.

Et à toi aussi OUI !! TOI !

Hicham

Liste des figures

Liste des figures :

Chapitre I :

- Figure I.1. Isolateur de haute tension (capot et tige).....05
- Figure I.2. Isolateur à capot et tige.....10

Chapitre II:

- Figure II.1. Comparaison d'un ensemble classique et un ensemble flou.....20
- Figure II.2. Fonction caractéristique.....21
- Figure II.3. Fonction d'appartenance.....21
- Figure II.4. Fonction d'appartenance, variables et terme linguistique.....21
- Figure II.5. Fonctions d'appartenance linéaires par morceaux.....22
- Figure II.6. Fonction d'appartenance singleton.....23
- Figure II.7. Différents formes de fonctions d'appartenance.....23
- Figure II.8. Support des différents ensembles flous (couleur rouge).....25
- Figure II.9. Noyaux des différents ensembles flous (couleur rouge).25
- Figure II.10. Opérateurs ET et OU.27
- Figure II. 11. Principe de mécanisme d'un SIF.28
- Figure II.12. Fuzzification.29
- Figure II.13. Activation.29
- Figure II.14. Implication.30
- Figure II.15. Agrégation des règles.31
- Figure II.16. Defuzzification par centre de gravité.31

Chapitre III :

- FigureIII.1. Système d'inférence flou (SIF).38
- FigureIII.2. Fenêtre de l'éditeur du SIF sous MATLAB.39
- Figure III.3Entrées et sortie du SIF proposés.40
- Figure III.4. Fonction d'appartenance de la conductivité de pollution.42
- Figure III.5.Fonction d'appartenance de la tension d'alimentation.42
- Figure III.6. Fonction d'appartenance de la quantité de pollution dans la zone 1.43
- Figure III.7. Fonction d'appartenance de la quantité de pollution dans la zone 2.43
- Figure III.8 Fonction d'appartenance de pourcentage de décharge.44
- Figure III.9. Fonction d'appartenance de pourcentage de l'avancement de la décharge.44
- Figure III.10. Editeur des règles floues47

Liste des photos

Liste des photos :

Chapitre I:

- Photo I.1. Vue en coupe d'un isolateur rigide en verre.....07
- Photo I.2. Isolateur à capot et tige.....08
- Photo I.3. Chaîne d'isolateurs à capot et tige.09
- Photo I.4. Isolateur à long fût.11

Chapitre III :

- Photo III.1 Isolateur 1508B.....34
- Photo III.2 Isolateur réel 15 08Bs.....34
- Photo III.3 Evolution des étincelles.....35
- Photo III.4 Evolution des arcs.....36
- Photo III.5 Evolution du contournement.....36

Liste des tableaux

Liste des tableaux :

Chapitre I.:

- Tableau I.1. Classement de degré de pollution.....15

Chapitre III:

- Tableau III.1 Partition des zones polluées sur les niveaux.34
- Tableau III.2 Tension de contournement en fonction des différentes conductivités et niveaux de la pollution.....37
- Tableau III.3 Nombre d'intervalles flous, nombre et types de fonctions d'appartenances des entrées.41
- Tableau III.4 Nombre d'intervalles flous, nombre et types de fonctions d'appartenances de la sortie.41
- Tableau III.5 l'ensemble des règles floue.45
- Tableau III.6 Résultats des tests réalisés au laboratoire on utilisant le SIF.....48

Liste des symboles

Liste des symboles

- HT : haute Tension.
- Lc : ligne de contournement.
- LF : logique floue.
- EPDM : Ethylène Propylène Diène Monomère.
- exp: Exponentiel.
- μ : Degré d'appartenance.
- U : univers de discours.
- $S(A)$: Support d'un ensemble flou de A.
- $hgt(A)$: Hauteur d'un ensemble flou A.
- $c(A)$: Le noyau d'un ensemble flou A.
- IA : Intelligence artificielle.
- SIF : système d'inférence flou.

Sommaire

Sommaire

Liste des figures.

Liste des photos.

Liste des tableaux.

Liste des symboles

| | |
|--|----|
| • Introduction générale | 1 |
| • <u>Chapitre I: Généralités sur les isolateurs HT</u> | |
| I.1.Introduction..... | 3 |
| I.2.Isolateurs | 4 |
| I.2.1. Isolateur de haute tension (HT)..... | 4 |
| I.2.2.Constitution de l’isolateur et son fonctionnement..... | 4 |
| I.2.3.Quelques définitions concernant les isolateurs..... | 5 |
| I.2.4.Types d’isolateurs | 6 |
| I.2.4.1.Isolateurs de type rigide | 6 |
| I.2.4.2.Isolateurs supports | 6 |
| I.2.4.3.Isolateurs de traversées..... | 6 |
| I.2.4.3.Isolateurs de lignes aériennes | 7 |
| I.2.4.4.Isolateurs rigides | 7 |
| I.2.4.5.Isolateurs suspendus (éléments de chaîne) | 8 |
| I.2.4.6.Isolateurs à capot et tige | 8 |
| I.2.4.7.Isolateur à long fût | 10 |
| I.2.5.Choix des isolateurs | 11 |
| I.2.6.Pollution des isolateurs | 11 |
| I.2.6.1.Types de pollution | 11 |
| I.2.6.1.2.Pollution naturelle | 11 |
| I.2.6.1.2.Pollution marine | 12 |
| I.2.6.1.3. Pollution désertique | 12 |
| I.2.6.1.4. Pollution industrielle | 12 |
| I.2.6.1.5. Pollution mixte | 12 |
| 1.2.6.2. Formation et répartition des couches polluantes | 12 |
| 1.2.6.3. Conséquences de la pollution | 13 |
| 1.2.6.4. Classifications de types de pollution | 14 |
| 1.3. Conclusion | 16 |

- **CHAPITRE II : Logique floue et ses applications.**

| | |
|---|----|
| II.1. Introduction à la théorie de la logique floue | 17 |
| II.2. Historique de la logique floue | 18 |
| II.3. Domaines d'application | 19 |
| II.4. Théorie et propriétés des ensembles flous | 19 |
| II.4.1. Notion d'appartenance partielle | 19 |
| II.4.2. Fonction d'appartenance..... | 20 |
| II.4.3. Univers de discours et degré d'appartenance | 25 |
| II.4.4. Les variables floues (variables linguistiques) | 26 |
| II.4.5. Les opérateurs en logique floue..... | 26 |
| II.4.6. Règles floues | 28 |
| II.4.6.1. Principes et étape de mise en œuvre d'un mécanisme d'inférence flou | 28 |
| II.4.6.1.1. Fuzzification..... | 29 |
| II.4.6.1.2. Degré d'activation | 29 |
| II.4.6.1.3. Implication | 30 |
| II.4.6.1.4 Agrégation | 30 |
| II.4.6.1.5. Défuzzification | 31 |
| II.5. Conclusion..... | 32 |

- **Chapitre III : techniques Expérimentales et Résultats obtenus.**

| | |
|--|----|
| III.1 Introduction..... | 33 |
| III.2. Objet d'essai..... | 33 |
| II.2.1. Application de la couche de pollution..... | 34 |
| III.2.1.1 Préparation de l'isolateur..... | 34 |
| III.3. Mesure de la tension de contournement pour différentes conductivités..... | 35 |
| III.4 Observations | 35 |
| III.4.1 Evolution de tension de contournement..... | 35 |
| III.4.2 Tension de contournement | 36 |
| III.5 Les résultats obtenus | 36 |
| III.5.1 Influence de la conductivité | 37 |
| III.6 Prédiction de la tension de contournement par logique flou..... | 37 |
| III.7. Système d'inférence floue (SIF) | 38 |
| III.7.1. System d'inférence flou utilisé..... | 38 |
| III.7.2 Les entrées et la sortie choisies | 39 |

| | |
|--|----|
| III.7.3 Les fonctions d'appartenance | 40 |
| III.7.4.Table d'inférence | 45 |
| III.7.5.Résultats obtenus | 46 |
| III.8.Conclusion | 48 |
| • Conclusion générale | 49 |
| • Bibliographie | 51 |

Introduction générale

Introduction Générale

Les besoins économiques et le bien être des populations font partie aujourd'hui des raisons d'un développement croissant des installations de production de transport et de transformation d'énergie électrique [1]. L'approvisionnement de cette énergie électrique provenant des centrales exige l'installation des lignes aériennes et souterraines permettant l'alimentation des consommateurs. Les lignes aériennes qui sont conçues, réalisées, entretenues sont exploitées conformément aux normes, prescription et directives de sécurité, de même qu'aux règles de l'art, sont exposées à diverses contraintes. Parmi celles-ci la pollution des isolateurs [1].

Les isolateurs sont parmi les composants les plus importants des réseaux aériens de transport et de distribution de l'énergie électrique puisqu'ils assurent à la fois le support mécanique des parties portées à la haute tension et l'isolation électrique de ces dernières avec les parties mises à la terre ou énergisées [2]. Premièrement conçus en verre et en céramique, la fabrication des isolateurs a connu, à travers des années, une évolution notable, et ceci dans le but d'accroître leurs performances quelle que soient les conditions météorologiques et environnementales auxquelles ils sont exposés [2].

En effet, une perturbation de l'isolation électrique assurée par l'isolateur peut entraîner, dans certaines circonstances, son contournement et donc un risque majeur sur la fiabilité et le fonctionnement du système de transmission de l'énergie électrique par voies aériennes. Plusieurs cause sont à l'origine de contournement électrique comme les surtensions transitoires sur les réseaux électriques (foudres, enclenchement et ouvertures des lignes, les dépôts de pollution atmosphérique ou encore dans les régions froides, les précipitations atmosphériques givrantes) [2].

Les contournements électriques des isolateurs entraînent des répercussions graves sur les réseaux aériens de distribution de l'énergie électrique, car ils sont la cause de coupures électriques de durée plus ou moins longues [2].

Depuis une cinquantaines d'années, plusieurs travaux ont été menés pour comprendre les mécanismes conduisant au contournement des isolateurs pollués et se prémunir d'outils permettant la prédiction de ce phénomène [2].

Introduction Générale

Le présent travail porte sur la prédiction de la tension de contournement d'un isolateur de haute tension par la logique floue.

Afin de bien mener notre étude, nous avons subdivisé notre travail en trois chapitres.

Dans le premier chapitre, nous allons parler des différents types d'isolateurs de haute tension utilisés dans le transport aérien d'énergie électrique en commençant par la citation des types des isolateurs de haute tension, leurs utilisations et applications et on terminerons ce chapitre par la définition de la pollution de l'isolateur de haute tension et ces effet sur son rôle envisagé.

Dans le deuxième chapitre nous parlerons de la théorie de logique floue pour se familiariser avec ces astuces et principes de raisonnement.

Le troisième chapitre est l'essentielle de ce mémoire, où nous appliquerons le système d'inférences floues (SIF) pour la prédiction de la tension de contournement d'un isolateur de haute tension de type 1508 B artificiellement pollué. La pollution artificielle (solution saline) peut donner une information importante sur le comportement de l'isolateur cité précédemment sous l'effet de la conductivité et la quantité cette pollution dans ces nervures en lui appliquant des différentes tensions alternatives avec des valeurs efficaces progressivement augmentées jusqu'au contournement de l'isolateur. La valeur efficace de la tension obtenue dans ce cas sera considéré celle de contournement de l'isolateur à étudier.

Il est très important de mentionner que les résultats pratiques qui seront présentés dans ce dernier chapitre sont réalisés au niveau du laboratoire de haute tension à l'université de Biskra par d'autres personnes. Leur travail mentionné par la référence [3] sera utilisé pour collecter la base de données qu'on utilisera pour la création de la table d'inférence impliquée dans le SIF qu'on proposera pour la prédiction de la tension de contournement qu'on étudiera. Les équipements et les appareillages de ce laboratoire, avec les montages utilisés dans les essais sont tous détaillés dans cette même référence [3].

Notre mémoire sera clôturé par une conclusion générale.

Chapitre I

I.1.Introduction

Afin de minimiser les pertes d'énergie et de répondre aux demandes électro-énergétiques de plus en plus importantes, entre les points de production et les utilisateurs, l'énergie électrique est transportée principalement par des lignes aériennes en hautes tension [4]. Ces lignes peuvent parcourir des centaines de kilomètre et donc traverser des régions très différentes par leur nature, leur climat, leur industrialisation ... etc. [4].

De ce fait, les éléments constituant les systèmes de transport d'énergie électrique sont exposés aux diverses contraintes. Parmi celles-ci, la pollution des isolateurs constitue l'un des facteurs de première importance dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie [4].

Dans les réseaux de transport d'énergie électrique, l'isolement pylône-conducteur qui représente les deux parties conductrices, est assuré par une chaîne d'isolateurs. Chaque chaîne est caractérisée principalement par sa longueur de fuite (nombre d'éléments) [5].

Dans les lignes de haute tension, le dimensionnement des isolateurs est déterminé par la surtension de manœuvres. Dans ce cas, la tenue à la tension nominale à 50 Hz des isolateurs propres et secs est excellente. Cependant, en l'absence de surtension de foudre ou de manœuvres, de nombreux défauts sont enregistrés sur les lignes aériennes (contournement électrique, défaillance d'isolateurs, ...), particulièrement par temps humide (rosée, brouillard, pluie fine, ... etc.) [5].

En effet par temps de pluie ou de brouillard, les dépôts polluants se fixant sur les surfaces isolantes réduisent considérablement la résistivité superficielle et le contournement peut alors survenir [6].

L'humidification des couches polluantes facilite en fait, la circulation d'un courant de fuite sur les surfaces isolantes provoquant des échauffements locaux et par la suite l'assèchement de la couche de pollution [6].

Les conséquences du contournement vont de la détérioration de la surface de l'isolateur à la mise hors service de la ligne haute tension. Ainsi, une des caractéristiques principale d'un isolateur de haute tension sera donc sa tenue au contournement en fonction de l'environnement dans lequel il est utilisé [4]. L'utilisation de la haute tension a fait apparaitre plusieurs problème tel que: claquage, effet couronne, contournement des isolateurs, pertes diélectriques [7].

Ce premier chapitre vise sur l'importance des isolateurs, leur utilité et leurs principaux types, profils et matériaux.

I.2. Isolateurs

I.2.1. Isolateur de haute tension (HT)

L'isolateur est utilisé comme son nom l'indique pour l'isolement entre deux corps ou deux pièces sous différentes tensions pour empêcher les courts circuits, les pertes de courant et les charges d'électrocution. L'isolateur est un matériau solide, liquide ou gaz qui a une très grande résistance au passage du courant et dont la conductibilité est pratiquement nulle [5].

Les isolateurs des lignes aériennes ont deux fonctions principales. D'une part, ils permettent d'isoler électriquement les lignes de transport d'énergie électrique des pylônes mis à la terre, et d'autre part, ils ont un rôle mécanique qui consiste à soutenir ces mêmes lignes et donc résister aux différentes contraintes mécaniques dû surtout au poids de la ligne, son mouvement en présence de vent,... etc. [5].

I.2.2. Constitution de l'isolateur et son fonctionnement

Les isolateurs sont des composants indispensables dans le transport et à la distribution de l'énergie électrique. Leur importance est reliée directement au fait de [8]:

- Réaliser une liaison mécanique entre des conducteurs portés à des potentiels différents accrochés aux pylônes des lignes aériennes.
- Maintenir les conducteurs dans la position spécifiée (isolateurs d'alignement et d'ancrage).
- Assurer la transition entre l'isolation interne (huile, SF6) et l'isolation externe (air atmosphérique).
- Raccorder les matériels électriques au réseau (traversées de transformateur, extrémités de câbles).
- Jouer le rôle d'une enveloppe de certains appareils (disjoncteurs, parafoudres, réducteurs de mesure).

Les isolateurs sont conçus et dimensionnés pour résister aux contraintes prévisibles introduites par l'environnement [8]. Du point de vue électrique, l'isolateur est considéré comme deux électrodes dont l'intervalle comporte trois zones formant ainsi trois isolants en parallèle ayant des comportements différents. Ces trois zones sont les suivantes :

- L'intervalle d'air.
- Le matériau diélectrique.
- L'interface air - matériau diélectrique (la longueur de l'interface constitue la ligne de fuite ligne le long de laquelle circulerait le courant de fuite) [9].

L'isolateur de haute tension est formé par un isolant auquel sont fixés deux pièces métalliques M1 et M2 tel que **M1** se fixe au pylône et **M2** porte le conducteur. Il possède un double rôle:

- Un rôle mécanique : porte le conducteur.
- Un rôle électrique : isole le conducteur par rapport au pylône.

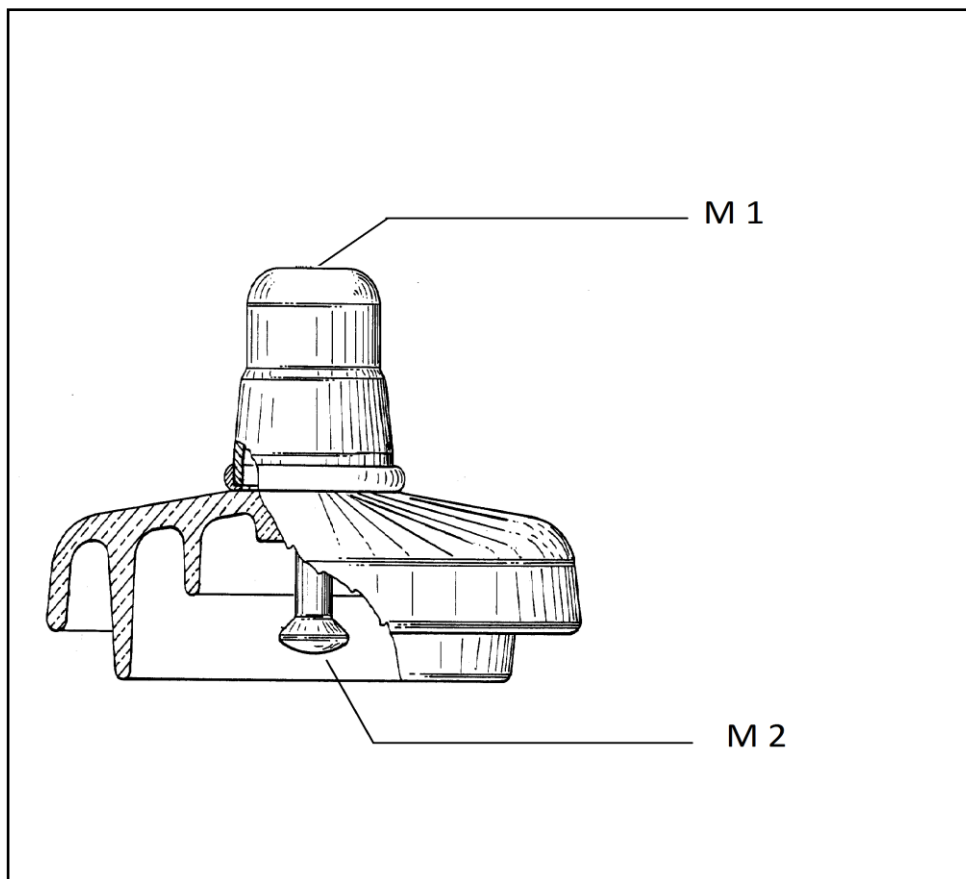


Figure I.1. Isolateur de haute tension (capot et tige).

I.2.3. Quelques définitions concernant les isolateurs

A. Contournement

C'est une décharge disruptive accompagnée d'étincelles se déplaçant sur l'interface d'un isolateur d'une électrode vers une autre [6]

B. Ligne de contournement

La ligne de contournement (L_c) est la distance la plus courte dans un gaz entre deux parties conductrices [6].

C. Tension de contournement

La tension de contournement est le niveau de tension le plus bas à partir duquel tous les arcs joignent les deux électrodes [6]. La tension de contournement dépend [6] :

- de la résistivité volumique moyenne de la pollution.
- de la répartition de la couche de pollution.
- de la longueur de l'isolateur.
- du profil de l'isolateur.

D. Tension de tenue

C'est le niveau de tension le plus important, que peut supporter une isolation sans provoquer de décharge disruptive [10].

E. Ligne de fuite

La ligne de fuite est la distance la plus courte le long de la surface d'un isolant entre deux parties conductrices [11].

F. Courant de fuite

C'est un courant de faible amplitude, circulant à travers la couche polluante le long de la surface de l'isolateur, son intensité devient importante lorsqu'on s'approche de la tension de contournement. Il dépend de plusieurs facteurs tels que la nature de la couche polluante et de la longueur de la ligne de fuite [6].

I.2.4.Types d'isolateurs

I.2.4.1. Isolateurs de type rigide

Un isolateur rigide est relié au support par une ferrure fixe. Tous les isolateurs rigides normalisés sont livrés avec une douille scellée de telle façon qu'ils puissent être vissés directement sur les ferrures correspondantes [5].

I.2.4.2. Isolateurs supports

On appelle isolateurs supports, des pièces isolantes destinées à supporter, les éléments conducteurs autres que les lignes [5].

I.2.4.3. Isolateurs de traversées

Les isolateurs de traversées sont des pièces isolantes servant à faciliter le passage d'un câble ou d'un conducteur sous tension à travers un obstacle plus ou moins conducteur : mur, paroi, couvercle d'un bac (transformateur) [5].

I.2.4.4. Isolateurs de lignes aériennes

L'utilisation des diélectriques solides est très répandue dans les lignes aériennes et les postes [5], On peut distinguer deux principaux types d'isolateurs : les isolateurs rigides et les éléments de chaîne [6].

Les conducteurs des lignes aériennes sont fixés aux supports par l'intermédiaire d'isolateurs. Ils sont, dans la majorité des cas, en porcelaine ou en verre.

Les isolateurs doivent présenter deux qualités [5]:

- Une qualité électrique: posséder une rigidité diélectrique suffisante pour supporter la tension de service.
- Une qualité mécanique: avoir des propriétés mécaniques pour résister aux sollicitations exercées sur eux.

En pratique, on distingue deux types d'isolateurs de lignes aériennes :

I.2.4.5. Isolateurs rigides

La céramique et le verre sont les deux matériaux utilisés pour ce type d'isolateurs. Ces derniers sont utilisés en basse tension en comportant une cloche double ou même triple, cela a pour but d'allonger la ligne de fuite, et de se protéger contre l'influence du brouillard qui peut être salin sur les surfaces intérieures. En haute tension, les isolateurs rigides sont modifiés vis-à-vis de leur forme permettant ainsi la bonne tenue aux sollicitations électriques et l'allongement de la ligne de fuite en évasant d'avantage le corps de l'isolateur [12].

Ce type d'isolateurs est utilisé pour les lignes aériennes qui ne dépassent pas le niveau de tension de 60 kV [6].



Photo I.1. Vue en coupe d'un isolateur rigide en verre[6].

I.2.4.6. Isolateurs suspendus (éléments de chaîne)

Ils sont utilisés pour des tensions très élevées et sont composés de plusieurs éléments. Le type principal des isolateurs suspendus est celui à capot et tige, dont le nombre utilisé dans une chaîne dépend principalement de la tension de service de la ligne, mais il y a aussi les isolateurs à long fut [6]. Ils sont constitués par le matériau isolant et d'une pièce métallique qui sert à réaliser la liaison entre deux isolateurs et à donner une certaine flexibilité à la chaîne d'isolateurs.

La chaîne d'isolateurs est montée sur le pylône en suspension soit verticalement (chaîne d'alignement), soit d'une façon horizontale (chaîne d'ancrage) [5].

Il existe deux types principaux d'éléments de chaîne :

- les isolateurs à capot et tige;
- les isolateurs à long fût.

I.2.4.7. Isolateurs à capot et tige

Chaque élément est constitué d'un capot, d'une partie isolante en forme de jupe et d'une tige. La coupe d'un tel isolateur est schématisée sur la (Figure 1.2) [5]. La forme de la tête est dessinée de sorte que les efforts de traction appliqués à l'isolateur se transforment, autant que possible, en compression des diélectriques sur les quels apparaissent, toutefois, inévitablement certaines contraintes de cisaillement [5].



Photo I.2. Isolateur à capot et tige [6].



Photo I.3.Chaine d'isolateurs à capot et tige.

L'isolateur capot et tige est constitué de trois parties [5] :

1. Bloc isolant ayant à l'intérieur une tige en acier, avec cannelures.
2. Partie supérieure sous forme d'un capot scellé en fonte malléable dans le verre (ou la porcelaine).
3. L'extrémité inférieure de la tige est arrondie formant ainsi la partie inférieure qui a les dimensions adaptées pour pénétrer dans le capot de l'élément suivant, ainsi qu'y rester maintenue par une goupille.

L'assemblage consiste à effectuer un scellement du capot et du diélectrique par du ciment, puis celui de la tige et du diélectrique [5].

La coupe de l'isolateur capot-tige est schématisée dans la figure I.2.

- C: Capot (fonte malléable, galvanisée à chaud).
- D: Diélectrique (verre trempé ou céramique).
- M: Mortier de ciment alumineux ou portland.
- T : Tige (acier, galvanisé à chaud).

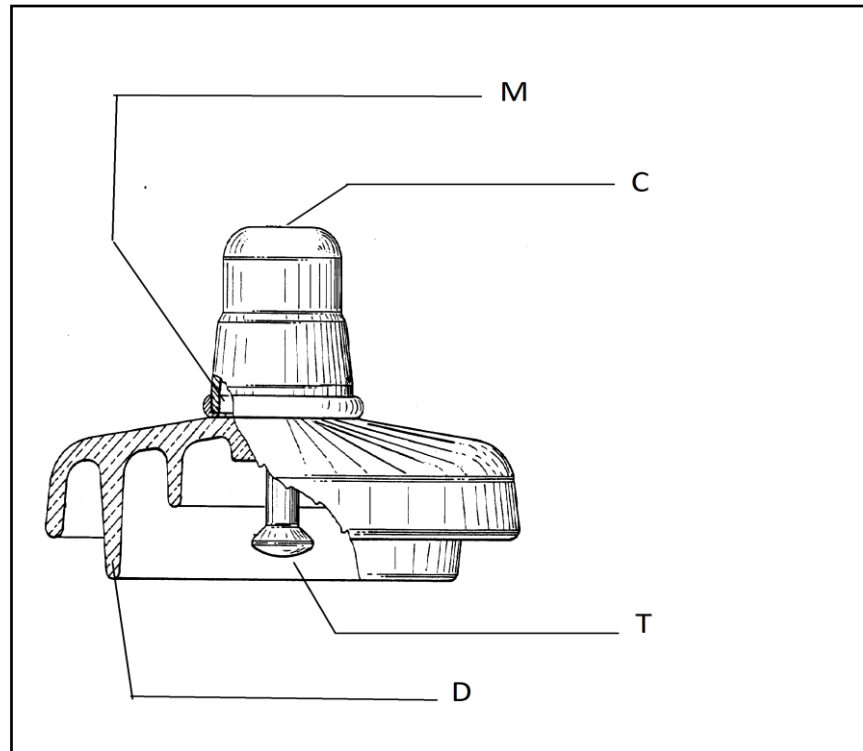


Figure I.2.Isolateur à capot et tige [14].

I.2.4.8. Isolateur à long fût

Ce type peut être soit:

1. Constitué d'un cylindre plein en céramique, ou en porcelaine, muni d'ailettes (Photo I.4), avec une pièce métallique de liaison à chaque extrémité. Celle-ci peut être enveloppante en forme de capot scellé autour des extrémités tronconiques prévues sur le cylindre, ou bien en forme de tige scellée dans une cavité prévue à cet effet. De tels isolateurs peuvent être utilisés unitairement ou en série de plusieurs éléments en fonction de leur longueur et du niveau d'isolement requis [5].

2. Constitué d'un matériau synthétique dont la caractéristique principal est la bonne tenue à la pollution, le faible encombrement, la résistance au vandalisme et la légèreté, en particulier lorsqu'on les compare aux chaînes d'isolateurs pour les lignes de tension électrique élevée [5]

Ce type d'isolateurs est appelé composite, il est constitué de trois parties selon le rôle [5] :

- Un noyau en fibre de verre, imprégnées de résine, capable d'assurer l'isolement et de supporter les efforts mécaniques générés par les conducteurs.
- Un revêtement en élastomère en EPDM (Ethylène Propylène Diène Monomère), vulcanisés à chaud qui donne le profil et précise la ligne de fuite tout en protégeant le noyau contre toute attaque des agents extérieurs en assurant l'étanchéité au

raccordement avec les pièces métalliques d'extrémités. Son profil à ailettes alternées permet d'accroître la tenue sous pollution.

Des pièces métalliques, en fonte malléable ou acier forgé galvanisé à chaud, elles sont nécessaires au montage de l'isolateur et à la transmission des efforts mécaniques [5].



Photo I.4. Isolateur à long fût.

I.2.5.Choix des isolateurs

Les isolateurs entrent pour un pourcentage très modeste de l'ordre de 7%, dans le prix d'une ligne aérienne moyenne tension. Cependant, ils forment une partie essentielle de laquelle dépendent la sécurité d'exploitation, la qualité et la continuité de service [13].

Les isolateurs les mieux adaptés à un environnement donné sont ceux qui retiennent le taux de dépôts polluants le moins élevé, c'est-à-dire ceux qui possèdent les meilleures propriétés d'auto – nettoyage [5].

I.2.5.Pollution des isolateurs

I.2.6.1.Types de pollution

I.2.6.1.2.Pollution naturelle

La pollution naturelle provient [6]:

- Des sels marins dans les régions côtières.
- Des poussières du sol (notamment lors de chantiers importants).
- Des sables véhiculés par le vent en régions désertiques.

I.2.6.1.2. Pollution marine

Les installations situées au bord de la mer sont exposées aux embruns portés par le vent et qui se déposent progressivement sur les isolateurs, formant une couche de pollution de sel qui devient conductrice lorsqu'elle est humidifiée par le brouillard ou simplement par condensation. Un courant de fuite s'établit alors à travers la couche superficielle et des arcs électriques peuvent prendre naissance [6].

I.2.6.1.3. Pollution désertique

La pollution désertique est caractérisée surtout par les dépôts de sable se formant à la surface des isolateurs après les vents de sable. Une fois humidifiés, ces dépôts deviennent plus ou moins conducteurs (en fonction des concentrations en sels solubles qu'ils contiennent) et engendrent la circulation d'un courant de fuite qui apparaît brusquement et qui est suivi par l'apparition d'arcs partiels qui peuvent conduire au contournement total de l'isolateur[6].

I.2.6.1.4. Pollution industrielle

Au voisinage de certaines zones industrielles, la pollution est engendrée par l'évacuation des fumées des usines (raffinerie, cimenterie, minerais etc.). La présence d'éléments conducteurs dans les couches, et/ou la dissolution des sels qu'elles contiennent engendrent la circulation d'un courant de fuite plus ou moins fort selon les concentrations des agents polluants [6].

Les usines ne sont pas les seules responsables de ce genre de pollution; les gaz d'échappement des véhicules et les engrais utilisés en agriculture contribuent aussi aux dépôts observés à la surface des isolateurs [6].

I.2.6.1.5. Pollution mixte

Ce type de pollution est en fait le plus fréquent et le plus sévère pour l'exploitation des ouvrages électriques. La pollution mixte résulte de la combinaison entre les différents types de pollution, comme par exemple les pollutions marine et industrielle lorsque des installations industrielles situées au bord de mer [6].

1.2.6.2. Formation et répartition des couches polluantes

Suite à l'écoulement d'un air transportant des poussières diverses, une couche de pollution se forme à la surface des isolateurs. La répartition non-uniforme et non-homogène de cette couche dépend du profil de l'isolateur, de la position de la chaîne par rapport au sol (verticale, horizontale, inclinée), du niveau de tension ainsi que du degré de pollution du site où est situé l'isolateur [5].

1.2.6.3. Conséquences de la pollution

Lorsque l'isolateur est propre ou recouvert d'une couche de pollution sèche, un très faible courant capacitif circule à sa surface. Ceci est dû aux très faibles valeurs des conductivités volumiques de l'air, de l'isolant solide et de la couche de pollution. On obtient ainsi une répartition électrostatique du potentiel électrique. Par contre, lorsque la couche de pollution est humidifiée, elle devient le siège d'un courant de conduction de valeur relativement importante et la répartition du potentiel électrique diffère de la répartition électrostatique [5].

La rupture diélectrique de l'air peut être atteinte entre deux points de la surface isolante entraînant l'amorçage d'un arc électrique qui court-circuite une partie de la ligne de fuite. Trois cas peuvent se présenter selon les contraintes auxquelles est soumis l'isolateur [5].

- **Arc non localisé**

L'arc électrique s'éteint rapidement, puis se réamorçait aléatoirement à un autre endroit et ainsi de suite. Il y a apparition d'un courant de fuite intermittent entraînant une perte d'énergie relativement faible et généralement supportable par l'installation [5].

- **Arc permanent**

L'arc électrique se fixe à la surface, soit en s'y maintenant (courant continu), soit en se réamorçant au même endroit (courant alternatif). Cet arc peut entraîner, par effet thermique, une dégradation du support isolant nécessitant le remplacement de l'élément défaillant [5].

- **Contournement des isolateurs**

Le contournement d'une surface polluée et humidifiée est le résultat d'une évolution qui comprend quatre phases principales.

Dans une première phase, les particules du dépôt sont apportées par le vent et se concentrent entre les nervures ou autour du capot. Les facteurs d'accumulation sont les suivants [5].

- La nature, le poids et la taille des particules polluantes.
- La distance de l'isolateur par rapport à la source de pollution et par rapport au sol d'où peuvent provenir les poussières.
- La vitesse du vent.
- L'orientation de la chaîne.
- Le brouillard et la condensation de la petite pluie modifient graduellement et pratiquement sans délavage la surface de l'isolateur pollué. Ces conditions sont dites

critiques. Les sels contenus dans le dépôt se dissolvent et créent un électrolyte conducteur sur la surface de l'isolateur. Un courant de fuite prend alors naissance[5].

Pendant le cycle d'humidification, le courant de fuite augmente jusqu'à une valeur maximale, mais diminue s'il y a séchage. Le niveau de courant de fuite dépend du temps, de la nature et de la quantité des sels solubles et insolubles [5].

La densité du courant de fuite est beaucoup plus importante près des ferrures de l'isolateur. Par effet Joule, la température s'élève, l'eau s'évapore et le dépôt devient moins conducteur. Le courant est alors très réduit en amplitude par la présence d'une «bande sèche». La répartition de potentiel sur l'isolateur est modifiée par cette bande sèche, car la plus grande portion du potentiel électrique se trouve reportée à ses bornes. Si la largeur de cette bande sèche est insuffisante pour supporter la différence de potentiel correspondante, un arc est créé [5].

La résistance du dépôt humidifié non court-circuité par l'arc limite le courant et la longueur de l'arc. Si le courant est trop faible, l'arc s'éteindra, la bande sèche s'humidifiera à nouveau et le mécanisme se répétera encore. Tant que le courant de fuite n'excède pas ce que l'on appelle le «courant critique » correspondant à une «longueur critique » de l'arc, cette situation reste stable [5].

1.2.6.4. Classifications de types de pollution

Par pollution, on entend les particules solides qui se trouvent dans l'atmosphère et qui se déposent sur la surface de l'isolateur. Cette pollution constitue l'origine du problème. A ce titre, des efforts considérables ont été menés afin de la classer quantitativement et qualitativement [6].

La composition de cette pollution est variable suivant les sources de contamination et les conditions auxquels sont soumis les isolateurs. La norme CET 815 donne le classement de la pollution suivant son origine (Tableau 1.1). Essentiellement, les types de pollution qui existent sont: la pollution naturelle, la pollution industrielle et la pollution mixte [6].

| | |
|------------------------------|---|
| Faible (2.5 g/l) | <ul style="list-style-type: none"> • Zones sans industries et avec faible densité d'habitations équipées d'installation de chauffage • Zones avec faible densité d'industries ou d'habitations mais soumise fréquemment aux vents et/ou pluies. • Régions agricoles. • Régions montagneuses. |
| Moyenne (10 g/l) | <ul style="list-style-type: none"> • Zones avec industries ne produisant pas de fumées particulièrement polluantes et/ou avec une densité moyenne d'habitation équipée d'installation de chauffage. • Zones à forte densité d'habitation et/ou d'industries mais soumises fréquemment à des chutes de pluies. • Zones exposées aux vents de mer, mais trop proches de la cote. |
| Forte (80 g/l). | <ul style="list-style-type: none"> • Zones avec forte densité d'industries et banlieues de grandes villes avec forte densité d'installation de chauffage polluantes. • Zones situées près de la mer, ou en tout cas exposées à des vents relativement forts venant de la mer. |
| Très forte (160 g/l). | <ul style="list-style-type: none"> • Zones généralement peu étendues, soumises à des fumées industrielles produisant des poussières conductrices. • Zones généralement peu étendues, très proches de la cote et exposées aux embruns ou au vent fort et polluant venant de la mer. • Zones désertiques caractérisées par de longues périodes sans pluie, exposées aux vents forts transportant de sable et du sel soumis à une condensation régulière. |

Tableau I.1. Classement de degré de pollution.

Le phénomène de pollution des isolateurs des lignes aériennes constitue un sujet d'étude d'une importance essentielle. Cela provient du fait que la pollution des isolateurs constitue un sérieux problème pour l'exploitation des réseaux de haute tension. En effet, et suite à l'interaction entre, l'air transportant des grains de poussières et l'isolateur, une couche étrangère se dépose sur les surfaces de celui-ci. Une fois cette couche humidifiée, la tension de tenue peut diminuer considérablement, provoquant des incidents très graves [14].

1.3. Conclusion

Les lignes aériennes et les postes des réseaux de transport d'énergie électrique sont exposés à diverses contraintes. Parmi celles-ci, la pollution des isolateurs qui constitue l'un des facteurs de première importance dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie. En effet par temps de pluie ou de brouillard, les dépôts polluants se fixant sur les surfaces isolantes réduisent considérablement la résistivité superficielle et le contournement peut alors survenir. L'humidification des couches polluantes facilite en fait, la circulation d'un courant de fuite sur les surfaces isolantes provoquant des échauffements locaux et par la suite l'assèchement de la couche de pollution. Ainsi, la répartition du potentiel est modifiée d'une façon significative et des arcs partiels peuvent apparaître. Ces derniers peuvent évoluer jusqu'au contournement total de l'isolateur. Les conséquences du contournement vont de la détérioration de la surface de l'isolateur à la mise hors service de la ligne haute tension. Ainsi, une des caractéristiques principale d'un isolateur haute tension sera donc sa tenue au contournement en fonction de l'environnement dans lequel il est utilisé.

La connaissance et la prédiction de la tension d'un isolateur de haute tension influé par sa pollution a une importance essentielle. Comme notre travail proposé pour la prédiction de cette tension de contournement est basé sur la technique de la logique floue, le chapitre suivant donne l'essentielle de sa théorie pour permettre la compréhension de ces principes fondamentaux.

Chapitre II

II.1. Introduction à la théorie de la logique floue

La conception et la mise en œuvre des systèmes d'informations avancés, de logiciels d'aide à la décision, de postes de supervisions de procédés industriels (avec les problèmes de communications homme machine qui les accompagnent) se caractérisent par la constante manipulation d'informations dont beaucoup sont subjectives, imprécises, vagues, incertaines. Mener à bien cette intégration de l'homme dans son environnement informatique, exploiter correctement les savoirs, automatiser certaines tâches, tout cela requiert la formalisation et la mécanisation de méthodes humaines pour de raisonnement empiriques ou naturel, la rationalisation de procédures de choix [15].

De façon générale, on est confronté à la nécessité de modéliser la connaissance problématique qui se trouve en rupture avec la tradition des sciences dites objectives, les quelles se préoccupent essentiellement de la modélisation de l'univers physique [15].

Les problèmes de représentation et d'utilisation des connaissances sont au centre d'une discipline scientifique relativement nouvelle et en tout cas controversée, qu'on appelle l'intelligence artificielle. Cette discipline a eu un impact limité jusqu'à une date récente, sur les applications industrielles, parce qu'elle a mis l'accent, de façon exclusive, sur le traitement symbolique de la connaissance, par opposition à la modélisation numérique utilisée traditionnellement dans les sciences de l'ingénieur. Plus récemment, on a assisté à un retour du numérique dans ces problèmes d'intelligence artificielle, avec les réseaux neurones et la logique floue. Alors que les réseaux de neurones proposent une approche implicite de type (boite noir) de la représentation des connaissances, très analogue à la démarche de l'identification des systèmes en automatique, la logique floue est plus conforme à l'intelligence artificielle symbolique, qui met en avant la notion de raisonnement, et où les connaissances sont codées explicitement[22].

Néanmoins, la logique floue permet de faire le lien entre modélisation numérique et modélisation symbolique, ce qui a permis des développements industriels spectaculaires à partir d'algorithmes très simple de traduction de connaissances symboliques en entité numérique et inversement. La théorie des ensembles flous a également donné naissance à un traitement original de l'incertitude, fondée sur l'idée d'ordre, et qui permet de formaliser le traitement de l'ignorance partielle et de l'inconsistance dans les systèmes d'informations avancés. Les ensembles flous ont également eu un impact sur les techniques de classification automatique, et ont contribué à un certains renouvellement des approches existantes de l'aide

à la décision. On conçoit l'intérêt de faire entrer l'approche floue dans la régulation ou l'asservissement des processus industriels, pour lesquels les informations disponibles sont souvent imprécises, incertaines et parfois qualitatives, dans des boucles de régulation parfois incomplètes. Le savoir-faire de l'opérateur, constitué entre autres souvent des règles simples, lui permet de conduire chaque machine plus correctement parfois qu'un algorithme classique [15].

La logique floue est une 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 un certain degré. Ce qui caractérise le raisonnement humain qui est basé sur des données imprécises ou incomplètes. Bien que dans l'esprit de tout le monde le mot (flou) soit de connotation négative, il n'en est rien en réalité [15].

Venant à l'origine du mot (duvet) (en anglais (fuzzy), c'est-à-dire le duvet qui couvre le corps des poussins), le terme (fuzzy) signifie (indistinct, brouillé, mal défini ou mal focalisé), qui se traduit par (flou) en français. Dans le monde universitaire et technologique, le mot (flou) est un terme technique représentant l'ambiguïté ou le caractère vague des intuitions humaines plutôt que la probabilité [15].

II.2. 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 [15].

Les bases théoriques de la logique floue ont été établies en 1965 par le professeur *Lofti Zadeh*. A cette époque, la théorie de la logique floue n'a pas été prise au sérieux. En effet, les ordinateurs, avec leur fonctionnement exact par tout ou rien (1 ou 0), ont commencé à se répandre sur une grande échelle. Par contre, la logique floue permettait de traiter des variables non exactes dont la valeur peut varier entre 1 et 0. Initialement, cette théorie a été appliquée dans des domaines non techniques, comme le commerce, la jurisprudence ou la médecine, dans le but de compléter les systèmes experts et afin de leur donner l'aptitude de prise de décision [15].

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' [15].

II.3. Domaines d'application

Les principaux domaines de recherche et d'application de la logique floue sont les suivants [15]:

- 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.4. Théorie des ensembles flous

II.4.1. Notion d'appartenance partielle

Dans la théorie des ensembles classique, 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. Par ex : 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 [16].

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. Les contours de chaque ensemble flou (Figure II.1-b) ne sont pas « nets », mais « flous » ou « graduels » [20].

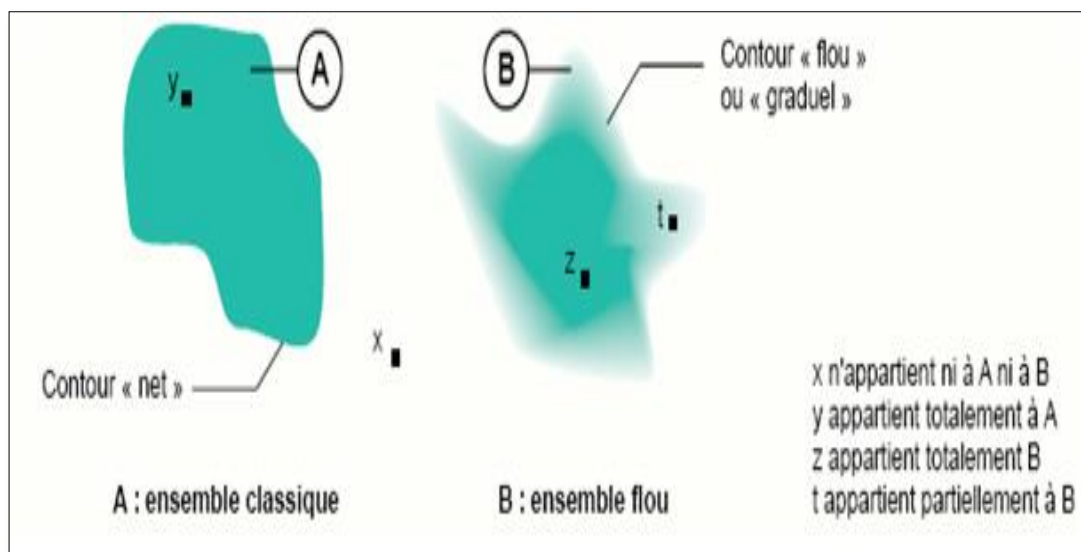


Figure II.1. Comparaison d'un ensemble classique et un ensemble flou [20].

II.4.2. 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 [16].

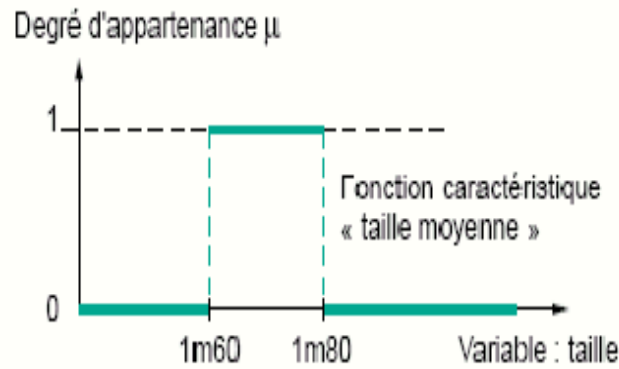


Figure II.2. Fonction caractéristique.

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 [25].

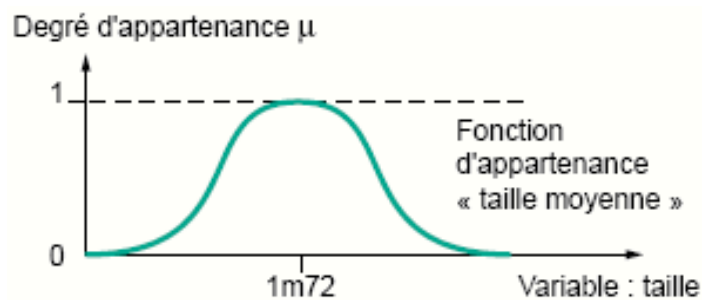


Figure II.3. Fonction d'appartenance.

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) [25].

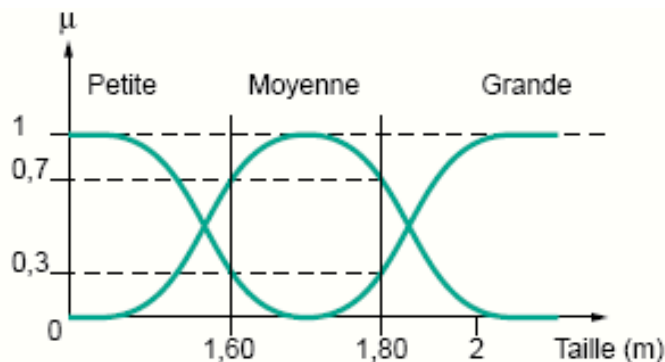


Figure II.4. Fonction d'appartenance, variables et termes linguistiques.

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 [17].

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 [16].

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 » (figure II.5) [13].

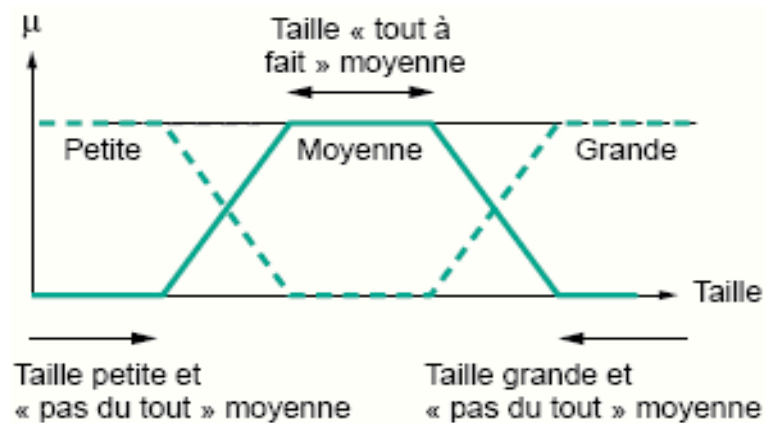


Figure II.5. Fonctions d'appartenance linéaires par morceaux.

Les fonctions d'appartenance « linéaires par morceaux » sont très utilisées car [16]:

- Elles sont simples.
- Elles comportent des points permettant de définir les zones où la notion est vraie, les zones où elle est fausse, 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 d'une valeur particulière (taille d'une personne x) de cette variable [25, 16].

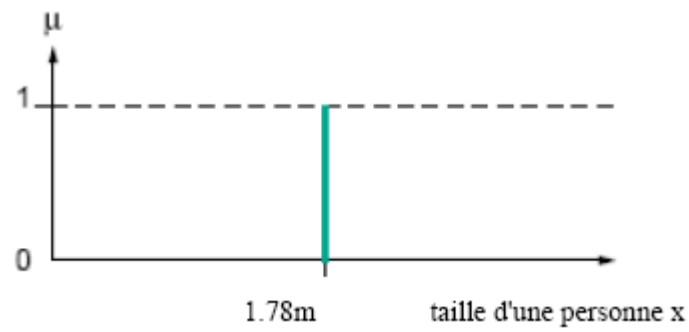


Figure II.6. Fonction d'appartenance singleton.

Parmi les fonctions d'appartenance les plus utilisées aussi, on cite : les fonctions triangulaires ; trapézoïdale ; gaussiennes...etc. [16]

La figure II.7 montre l'allure de ces fonctions [16].

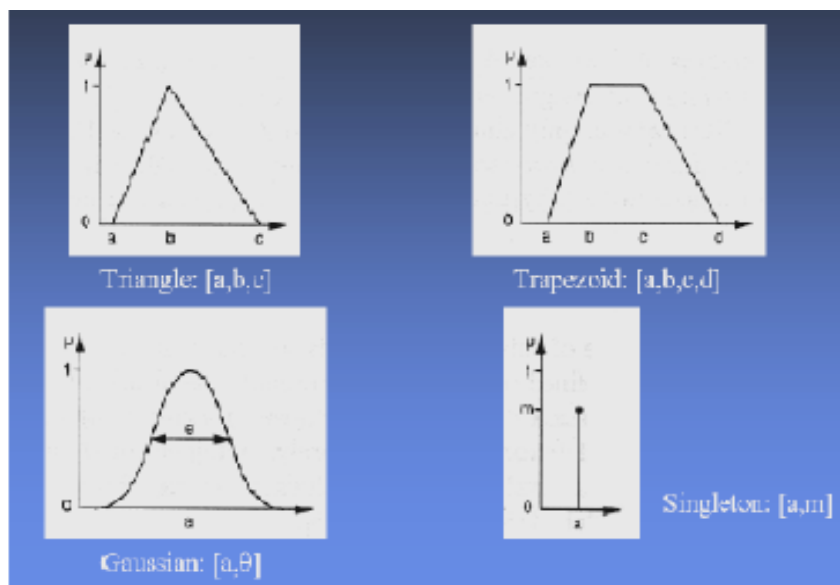


Figure II.7. Différents formes de fonctions d'appartenance [16].

Les fonctions d'appartenance présentées ci-dessus peuvent être exprimées par les expressions suivantes [16]:

- **Triangulaire :**

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{a-x}{a-b} & \text{si } x \in [a, b] \\ \frac{x-c}{b-c} & \text{si } x \in [b, c] \end{cases} \quad (2.1)$$

- **Trapèze**

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & \text{si } x \in [a, b] \\ 1 & \text{si } x \in [b, c] \\ \frac{x-d}{c-d} & \text{si } x \in [c, d] \end{cases} \quad (2.2)$$

- **Gaussienne**

$$\mu_A(x) = \exp\left(-\left(\frac{x-a}{\theta}\right)^2\right) \quad (2.3)$$

- **Singleton**

$$\mu_A(x) = \begin{cases} m & \text{pour } x = a \\ 0 & \text{pour } x \neq a \end{cases} \quad (2.4)$$

II.4.3. Propriétés des ensembles flous

- **Support**

On appelle « support » d'un ensemble flou A dans X l'ensemble ordinaire de point X dans X tel que $\mu_A(x) > 0$. Il est noté par $S(A)$, et défini par [16]:

$$S(A) = \{x \in X / \mu_A(x) > 0\} \quad (2.5)$$

L'ensemble flou dont le support est un ensemble singleton est appelé « Singleton flou » [16]

- **Hauteur**

La « hauteur » d'un ensemble flou A est la plus grande valeur du degré d'appartenance $\mu_A(x)$. Elle est noté par $hgt(A)$ est définie par [16] :

$$hgt(A) = \max_{x \in X} \mu_A(x) \quad (2.6)$$

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

- **Noyau**

Le noyau d'un ensemble flou A, noté $c(A)$ est l'ensemble ordinaire qui contient tous les éléments totalement possibles x dans X de A. il est noté par $c(A)$ et défini comme suit [16]:

$$c(A) = \{x \in X / \mu_A(x) = 1\} \quad (2.7)$$

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 [16].

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

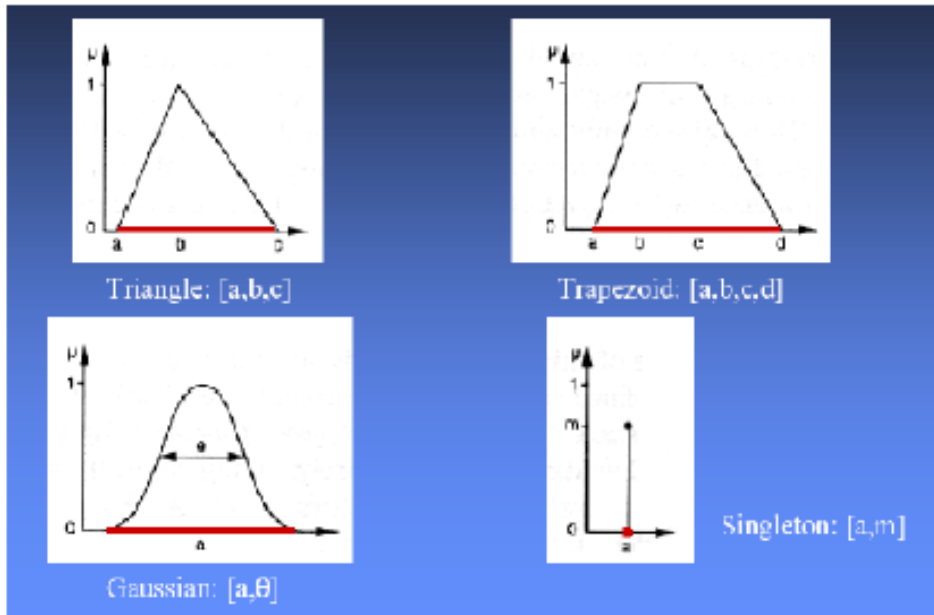


Figure II.8. Support des différents ensembles flous (couleur rouge).

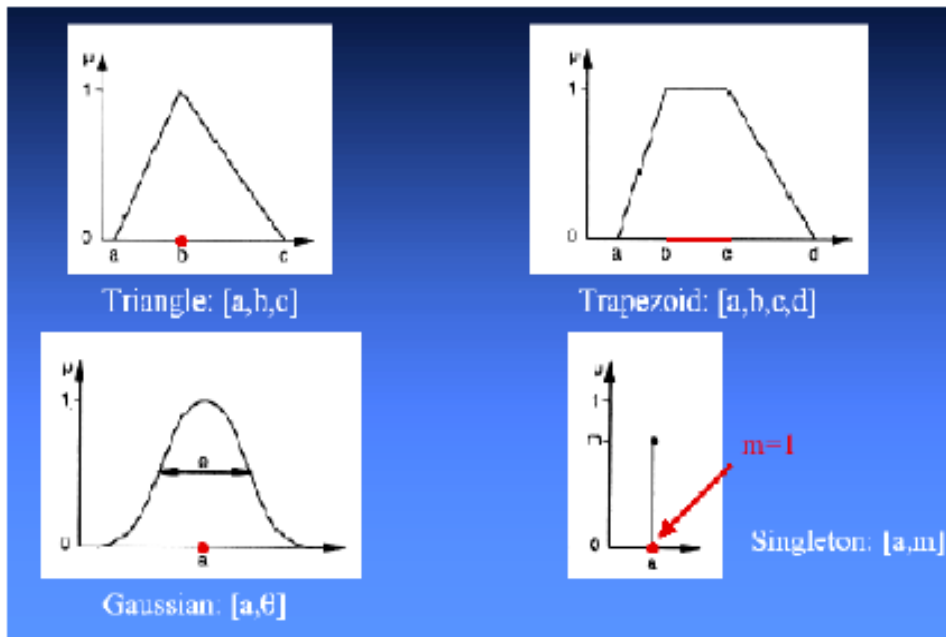


Figure II.9. Noyaux des différents ensembles flous (couleur rouge).

II.4.4. 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 [18]:

$$\begin{aligned}\mu_A: U &\rightarrow [0, 1] \\ x &\rightarrow \mu_A(x)\end{aligned}$$

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 [18].

II.4.5. Les 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 expression floues comme « quelque, beaucoup, souvent, chaud, froid, rapide, lent, grand, petit...etc. » [19].

Ce genre d'expressions forme ce qu'on appelle des variables linguistique de la logique flou. [19]

II.4.6. Les opérateurs en logique floue

Les mathématiques élaborées à partir des ensembles flous ressemblent beaucoup à celles reliées à la théorie des ensembles conventionnels. Les opérateurs d'union, d'intersection et dénégation existent pour les deux types d'ensemble. Les opérateurs habituels, soit l'addition, la soustraction, la division et la multiplication de deux ou plusieurs ensembles flous existent aussi [20].

- **Opérateur NON**

$$c = \bar{a} = NON(a) \quad (2.8)$$

$$\mu_{c(x)} = 1 - \mu_{a(x)} \quad (2.9)$$

- **Opérateur ET**

L'opérateur ET correspond à l'intersection de deux ensembles a et b et on écrit :

$$c = a \cap b \quad (2.10)$$

Dans le cas de la logique floue, l'opérateur ET est réalisé dans la plupart des cas par la formation du minimum, qui est appliquée aux fonctions d'appartenance $\mu_a(x)$ et $\mu_b(x)$ des ensembles a et b, à savoir [18]:

$$\mu_c = \min \{ \mu_a, \mu_b \} \quad (2.11)$$

Où μ_a, μ_b, μ_c , signifient respectivement le degré d'appartenance à l'ensemble a, b et c. On parle alors d'opérateur minimum.

- **Opérateur OU**

L'opérateur OU correspond à l'union de deux ensembles a et b et on écrit :

$$c = a \cup b \quad (2.12)$$

Il faut maintenant calculer le degré d'appartenance à l'ensemble c selon les degrés des ensembles a et b. Cela se réalise par la formation du maximum. On a donc l'opérateur maximum [20].

$$\mu_c = \max \{ \mu_a, \mu_b \} \quad (2.13)$$

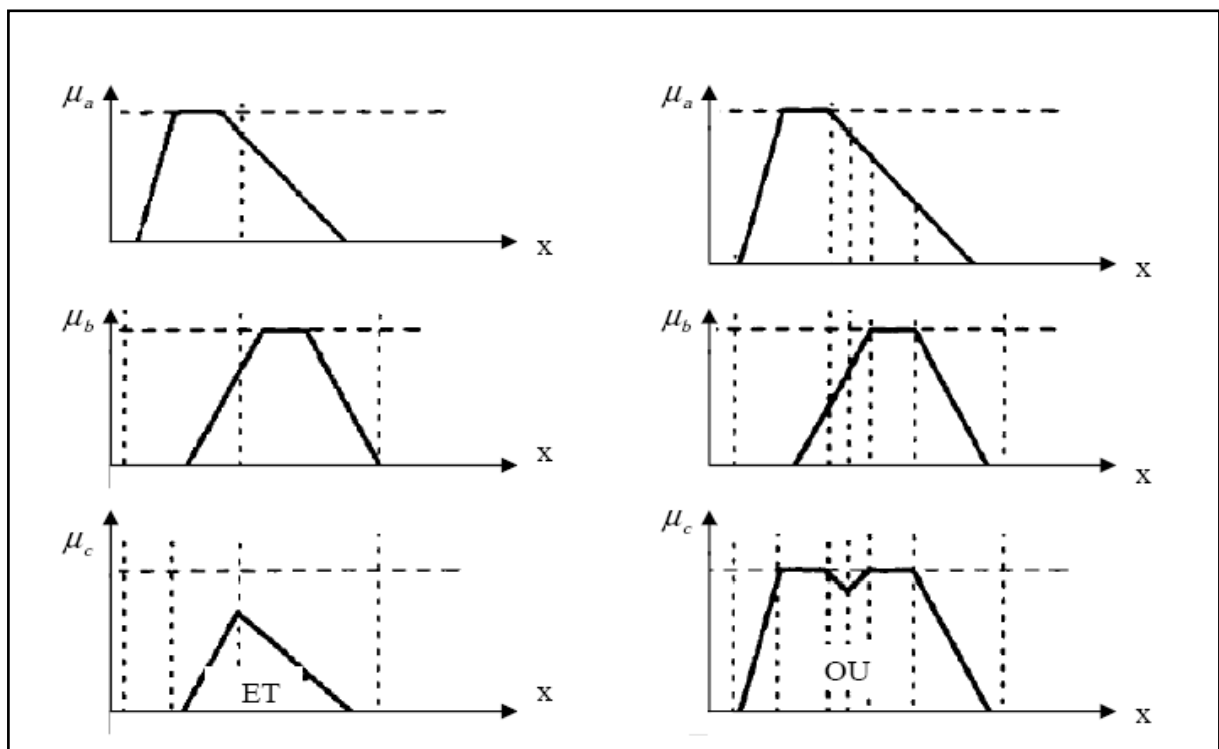


Figure II.10. Opérateurs ET et OU.

II.4.7. 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 L linguistique élevée. La plage de valeurs linguistiques possible d'une règle représente l'univers de cette variable. Un exemple de règle floue est [21,24]:

SI vitesse est lente ALORS arret est court

La variable *vitesse* peut avoir une plage de valeurs entre 0 et 220km /h . On peut inclure des sous ensembles flous(très lent, lent, moyenne, rapide, très rapide) pour modifier cette règle . Chaque sous-ensemble flou représente une valeur linguistique pour la variable .

La logique classique (SI-ALORS) utilise la logique binaire .la logique floue permet d'associer une plage de valeur(unensemble flou) à des variables linguistiques. On peut réduire le nombre de règle jusqu'à 90% en utilisant la logique floue [21, 24]

II.4.7.1. 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**) [16, 24].

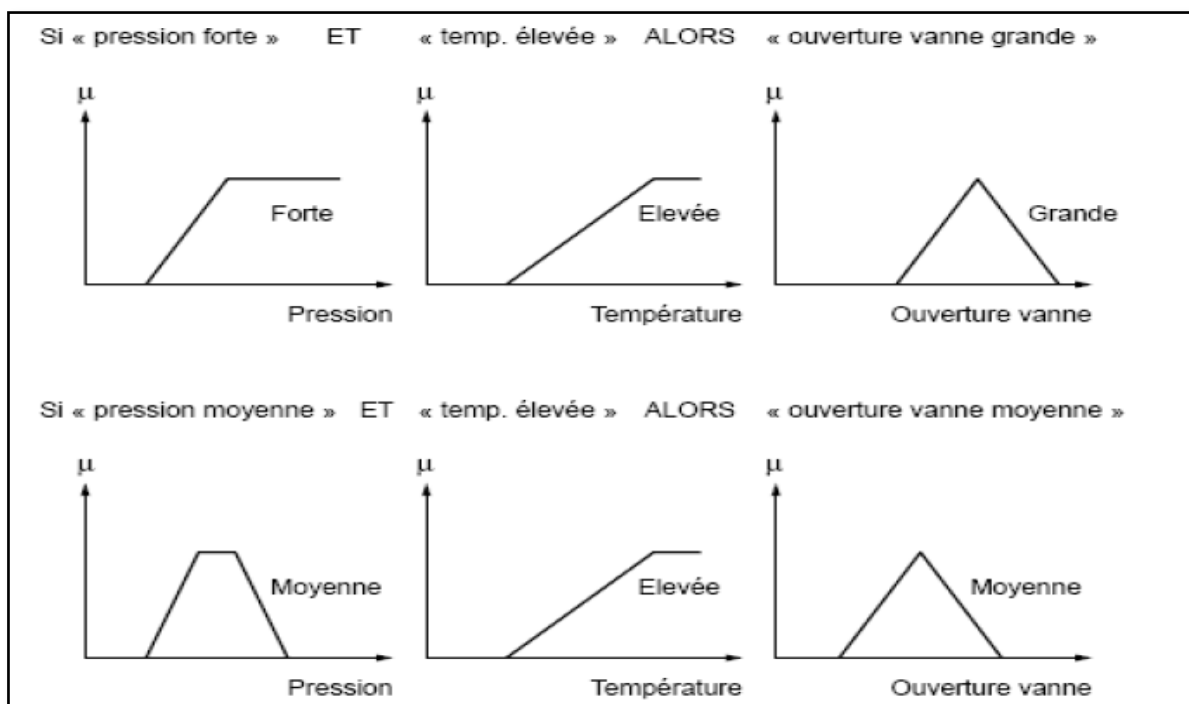


Figure II.11. Principe de mécanisme d'un SIF.

Le mécanisme d'inférence de type Mamdani comprend les étapes suivantes [16, 24] :

II.4.7.1.1. Fuzzification

La fuzzification consiste à évaluer les fonctions d'appartenance utilisées dans les prédicats des règles, comme illustré par la (figure II.12)[16]

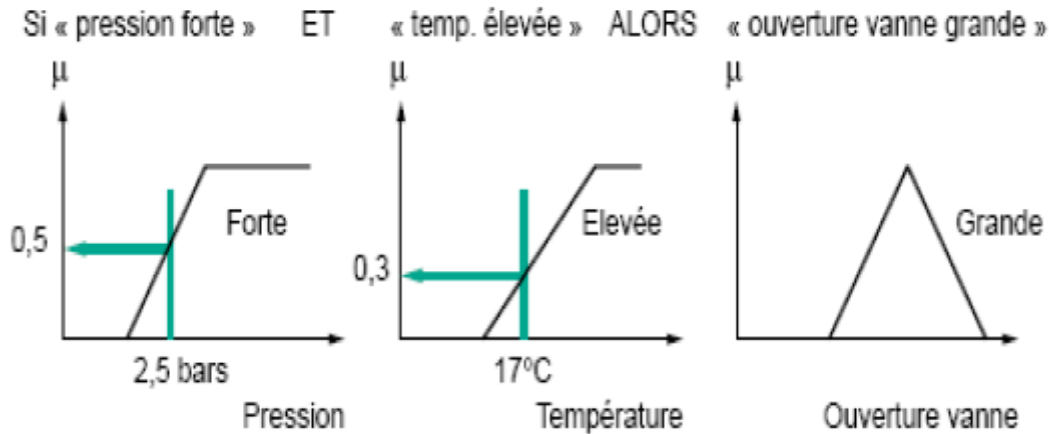


Figure II.12. Fuzzification.

II.4.7.1.2. 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 [16].

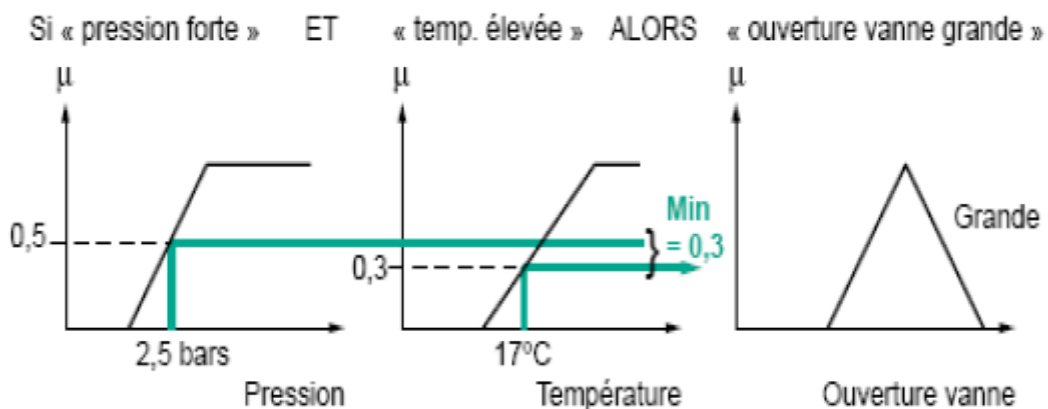


Figure II.13. Activation.

II.4.7.1.3. 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**) [16].

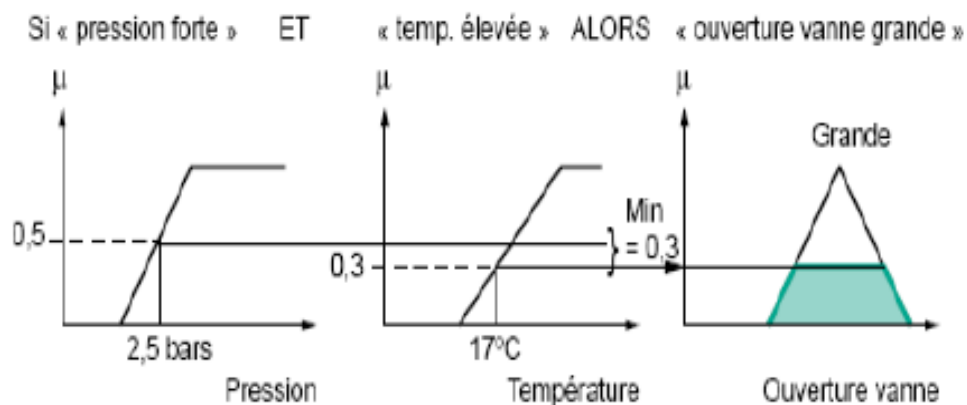


Figure II.14. Implication [16].

II.4.7.1.4 Agrégation

L'ensemble flou global de sortie est construit par agrégation des ensembles flous obtenus par chacune des règles concernant cette sortie [16].

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)

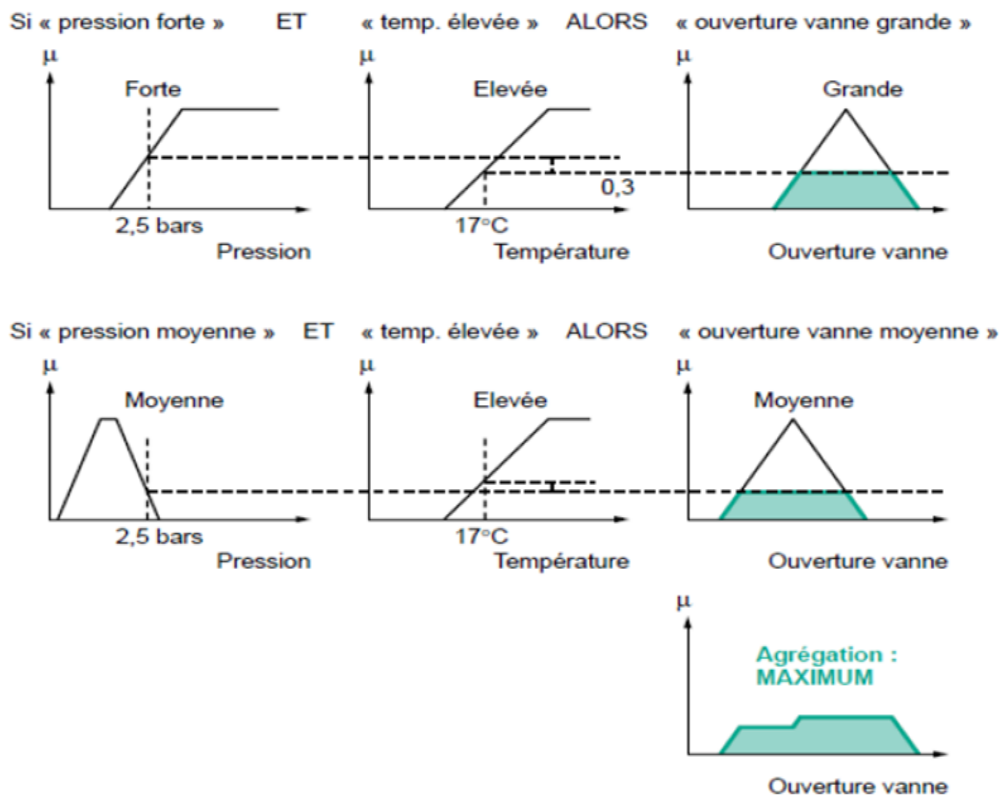


Figure II.15. Agrégation des règles [16].

II.4.7.1.5. Défuzzification

A la fin de l'inférence, l'ensemble flou de sortie est déterminé mais il n'est pas directement utilisable pour donner une information précise. Il est nécessaire de passer du « monde flou » au « monde réel », c'est la défuzzification. Il existe plusieurs méthodes de défuzzification : centre de gravité de la surface, bissecteur de la surface, moyenne des maximas, plus petit des maximas en valeur absolue. La plus souvent rencontrée étant la méthode de calcul du « centre de gravité » de l'ensemble flou (Figure II.16) [16].

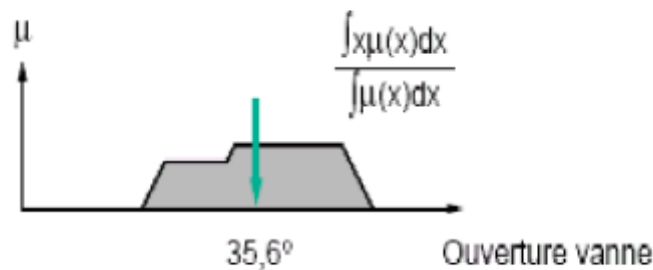


Figure II.16. Defuzzification par centre de gravité [16].

II.5. 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 ensembles ; nous avons cité les principaux opérateurs de la logique floue.

D'autre part, et afin de fournir une présentation plus claire, nous avons parlé du mécanisme d'inférence le plus couramment utilisé, qui est celui dit « Mamdani » ; il représente une simplification du mécanisme plus générale basé sur « l'implication floue ».

Dans le chapitre suivant nous détaillerons l'utilisation de la logique floue pour la prédiction de la tension de contournement d'un isolateur de haute tension, ce qui prouvera l'utilité de cette nouvelle technique d'intelligence artificielle dans le domaine de la haute tension.

Chapitre III

III.1. Introduction

Les tests pratiques peuvent nous aider à déterminer la tension de contournement d'un isolateur de haute tension. Ces tests sont réalisés sous des conditions bien précises de, température, pression, humidité, type de la tension appliquée sur l'isolateur ...etc.

L'étude du contournement des isolateurs peut être effectuée par des essais pratiques ou par des études de modélisation mathématique du comportement de l'isolateur sous l'effet des différentes contraintes qu'on lui applique.

Les techniques de l'intelligence artificielle peuvent aussi utilisées dans l'étude du comportement des isolateurs sous l'effet de différentes contraintes en particulier dans la prédiction de la tension de contournement de l'isolateur. Dans notre étude nous utiliserons l'une des techniques d'IA, qui est la logique floue pour la prédiction de la tension de contournement d'un isolateur de haute tension. L'application de cette technique dans telle étude exige la définition de ces différents paramètres nécessaires pour son implémentation, tel que, les entrées sorties, moteur d'inférence, ...etc.

L'objectif de ce chapitre est d'arriver à déterminer la table d'inférence, qui est un élément essentiel dans notre étude par logique floue. Les essais pratiques peuvent nous aider à collecter une base de données qui nous permettra de créer cette table d'inférence. Durant ce chapitre on va présenter les tests pratiques réalisés et leurs résultats obtenus et qui sont utilisés dans la création de notre SIF proposé pour la prédiction de la tension de contournement de l'isolateur à étudier. Ces tests sont réalisés au niveau de laboratoire de haute tension de Biskra (Université de Biskra).

Il est à noter que les tests pratiques présentés durant ce chapitre sont réalisés par d'autres personnes dans un travail mentionné par la référence [3] et nous avons utilisés les résultats qu'ils ont obtenus pour la création de notre SIF. Le système d'inférence flou (SIF) qu'on proposera a pour objectif de prédire la tension de contournement de l'isolateur **1508 B** qui est l'un des isolateurs utilisé dans la technique de haute tension au niveau national.

III.2. Objet d'essai

L'objet d'essai utilisé par [3] est un isolateur de haute tension de type 1508 B utilisé dans le Sahara algérienne.

La photo suivante montre sa composition et surtout ces nervures qui seront par la suite remplissent par une pollution artificielle comme sera détaillée.



A- Vue latérale

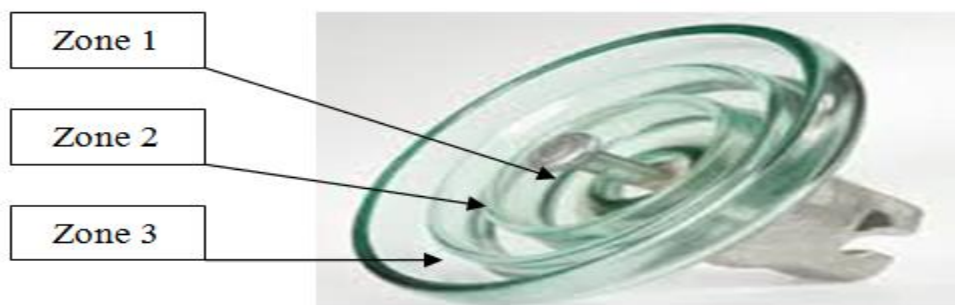
B- Vue supérieure

Photo III.1. Isolateur 1508B.

III.2.1. Application de la couche de pollution

La méthode de l'introduction de la pollution artificielle dans les nervures de l'isolateur expliquée dans cette partie du chapitre est la même que celle proposée par la référence [3] dans l'analyse du comportement de l'isolateur de type 1508 B artificiellement pollué pour des différentes tensions alternatives appliquées à l'électrode de haute tension.

III.2.1.1. Préparation de l'isolateur

**Photo III.2** Isolateur réel 15 08Bs.

La pollution a été introduite comme suit :

| Les zones Les niveaux(ml) | Zone 1 | Zone 2 | Zone 3 |
|------------------------------|--------|--------|--------|
| N1 | 11.66 | 13.33 | 23.33 |
| N2 | 23.32 | 26.66 | 46.66 |
| N3 | 34.98 | 39.99 | 69.99 |

Tableau III.1 Partition des zones polluées sur les niveaux.

III.3. Mesure de la tension de contournement pour différentes conductivités

D'après [3] l'essai de contournement est effectué juste après avoir humidifié l'isolateur par la solution saline. L'isolateur a été rendu propre et sec, et l'essai de contournement a été répété cinq fois pour chaque solution saline. La valeur de la tension de contournement sera la valeur moyenne des cinq valeurs obtenues. Les essais sont sous tension alternative.

III.4. Observations

III.4.1. Evolution de tension de contournement

Le but de cet essai d'après [3] a été de déterminer la tension de contournement de l'isolateur 1508B en fonction du niveau et de sévérité de la pollution. Pour atteindre cet objectif une tension a été appliquée et progressivement a été augmentée (en valeur efficace bien sûr) jusqu'à l'obtention du contournement de l'isolateur.

En premier lieu, la tension de contournement à l'état propre a été déterminée et par la suite la pollution a été introduite par sévérité et par niveau comme l'explique la référence [3]. Au cours de l'expérience, la référence [3] a mentionné l'évolution de la tension de contournement comme suit.

- 1- Apparition de l'effet couronne dans les environs de $16.8 \div 21.48$ kV, quelque soit la conductivité.
- 2- Observation des étincelles voir (photo III.3), qui varie avec la variation de la conductivité.
- 3- Apparition des arcs voir (photo III.4), qui varie avec la variation de la conductivité.
- 4- Contournement de l'isolateur voir (photo e III.5).





Photo III.4 Evolution des arcs.



Photo III.5 Evolution du contournement

III.4.2. Tension de contournement

La tension de contournement est la tension la plus basse au-delà duquel les arcs électrique joignent les deux électrodes.

III.5. Résultats obtenus

La table des résultats suivante montre les tensions de contournement mesurées pour différentes zones de l'isolateur avec différents niveaux de pollution (bien sûr cette pollution est artificiellement préparée par une solution saline).

| Zones Conductivité | Zone 1 | Zone 2 | Zone 3 | Tension de contournement Uc |
|-----------------------|--------|--------|--------|-----------------------------------|
| 7.5 | 11.66 | 13.33 | 23.33 | 45.842 |
| | 23.32 | 26.66 | 46.66 | 39.738 |
| | 34.98 | 39.99 | 69.99 | 34.832 |
| 80 | 11.66 | 13.33 | 23.33 | 39.592 |
| | 23.32 | 26.66 | 46.66 | 36.288 |
| | 34.98 | 39.99 | 69.99 | 33.712 |
| 120 | 11.66 | 13.33 | 23.33 | 38.584 |
| | 23.32 | 26.66 | 46.66 | 35.48 |
| | 34.98 | 39.99 | 69.99 | 33.6 |

Tableau III.2 Tension de contournement en fonction des différentes conductivités et niveaux de la pollution

III.5.1. Influence de la conductivité

Le tableau (III.2) présente la variation de la valeur efficace de la tension de contournement, en fonction de la conductivité et les niveaux de pollution donnés par la même référence [3]. D'après cette table, nous remarquons que la tension de contournement diminue de manière linéaire en fonction de la conductivité. Alors nous pouvons dire que l'impédance équivalente de l'isolateur a diminué et il devient une matière conductrice [3].

D'après ces résultats, nous remarquons que l'augmentation de la conductivité diminue la résistance du niveau de la pollution. Ce qui provoque le contournement de l'isolateur pour de faibles tensions, mais à partir d'une certaine valeur de la conductivité, la tension de contournement reste presque constante [3]. Cela est expliqué par le fait que le niveau de conductivité de la pollution est devenu très élevé à une certaine valeur qui, à partir du quelle l'augmentation de la conductivité n'influe plus sur sa résistance.

III.6. Prédiction de la tension de contournement par logique floue

Dans cette partie de notre étude nous utilisons le SIF (System d'inférence flou) pour la prédiction de la tension de contournement d'un isolateur de haute tension soumis sous différentes contraintes (de conductivité et de niveaux de pollutions). il est bien connu que, la logique floue fait intervenir dans la plupart des études l'avis d'un expert dans différents

domaines, surtout pour la création de la table d'inférence, qui est l'élément le plus difficile à déterminer dans l'analyse par logique floue. Comme nous n'avons pas réalisé des essais pratiques par nous-mêmes qui peuvent nous donner une idée sur la variation de la tension du contournement de l'isolateur à étudier, cela nous a conduits à utiliser la table de résultats mentionnée précédemment et qui est obtenue par l'étude faite dans la référence [3] comme déjà expliqué, (sachant que, nous n'avons pas effectuer des essais pratiques au laboratoire, afin de nous permettre d'observer réellement le phénomène de contournement, notre étude est basé sur les résultats obtenus par l'étude cité en référence [3]).

III.7. Système d'inférence floue (SIF)

Le système d'inférence flou est l'un des applications la plus courante de la logique floue. Il implémente un concept, sous la forme de variables linguistiques, ainsi qu'un raisonnement déductif, à l'aide de règles floues, il est formé de trois blocs comme indiqué sur la figure III.1. Le premier, l'étage de fuzzification transforme les valeurs numériques en degrés d'appartenance aux différents ensembles flous de la partition. Le second bloc est le moteur d'inférence, constitué de l'ensemble des règles. Enfin, un étage de défuzzification permet, si nécessaire, d'inférer une valeur nette, utilisable en commande par exemple, à partir du résultat de l'agrégation des règles.

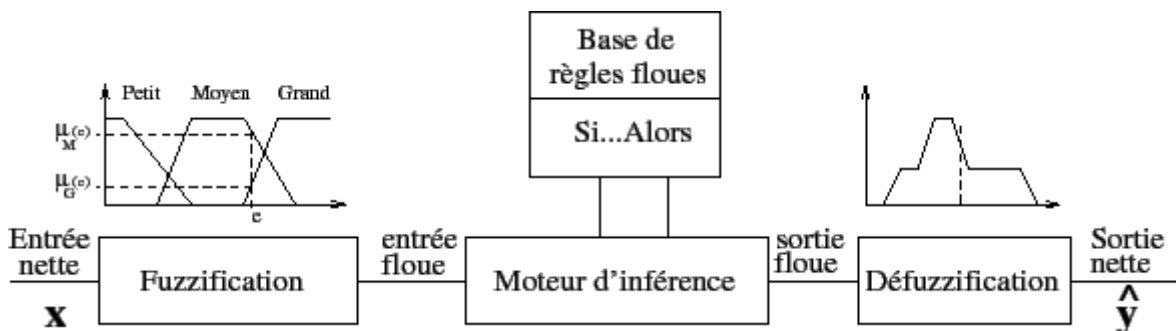
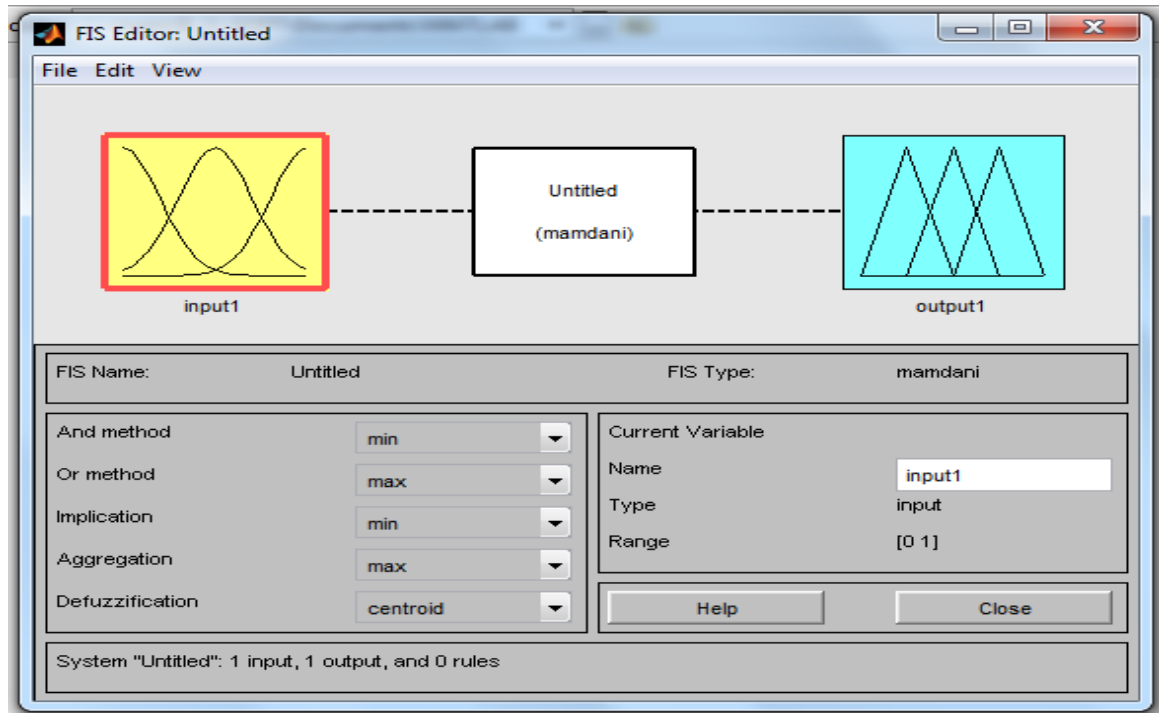


Figure III.1. Système d'inférence flou (SIF)

III.7.1. System d'inférence flou utilisé

Le SIF utilisé est basé sur l'analyse dite MAMDANI qui est le plus utilisé dans les études de prédiction. La figure suivante montre ces différentes caractéristiques (MIN pour l'opérateur ET, Max pour OU, MAX pour l'agrégation, défuzzification par centre de gravité).



FigureIII.2. Fenêtre de l'éditeur du SIF sous MATLAB

III.7.1 .1. Les entrées et la sortie choisies

On a choisi 5 entrées qui sont :

- quantité de pollution La conductivité.
- La tension d'alimentation.
- La quantité de pollution dans la zone 1.
- La quantité de pollution dans la zone 2.
- La dans la zone 3.

Et on a choisi une seule sortie qui est

- Le pourcentage de l'avancement de la décharge

A noter que ce choix a été effectué selon nos analyses de la table des résultats (III.2).D'autres analyses peuvent considérer d'autres entrées et sorties.

La figure suivante montre la création des entrées et de la sortie en utilisant SIF sous MATLAB.

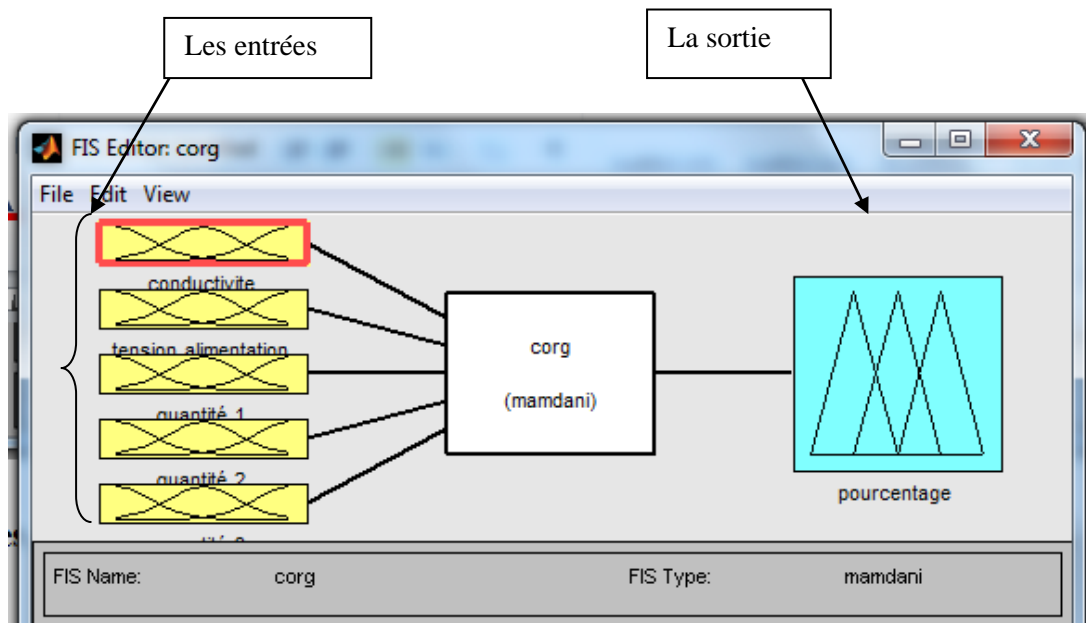


Figure III.3. Entrées et sortie du SIF proposés

III.7.1.2. Les fonctions d'appartenance

Les fonctions d'appartenances qu'on a choisi sont montrées dans les figures(III.3-III.7). A noter qu'il est important de rappeler que le choix du type de la fonction d'appartenance est basé sur nos analyses et, nous rappelons toujours que d'autres analyses peuvent conduire à d'autres formes des fonctions.

Avant l'introduction des types de fonctions d'appartenances qu'on a choisies, les intervalles et variables floues ainsi que l'univers de discours doivent être choisi dès le début. La table (III.3) donne le nombre des fonctions choisi pour les entrées et la sortie, nombre d'intervalles floues choisies pour les entrées et la sortie, variables d'entrées et sortie ainsi que le type de la fonction d'appartenance choisie.

L'univers de discours, ainsi que les intervalles flous de chaque variable sont montrés dans les figures (III.3-III.7) qui donnent les formes des fonctions d'appartenance de chaque variable.

On note ici qu'il n'y a pas de règles à suivre pour bien choisir le nombre de variable ou nombre d'intervalles ou même la forme de la fonction d'appartenance. Seuls les résultats obtenus pour chaque choix qui peuvent juger la fiabilité d'un choix.

Dans ce qui suit nous représentons les paramètres du SIF qui ont donnés des bons résultats de prédiction de la tension de contournement de l'isolateur qu'on a choisi pour cette étude.

| Les entrés | Nombre d'intervalles | Nombre de fonctions | Type de foncions |
|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Conductivité | 3 | 3 | Trapézoïdale et triangulaire |
| Tension d'alimentation | 4 | 4 | Trapézoïdale et triangulaire |
| Quantité de pollution dans la zone 1 | 3 | 3 | Trapézoïdale et triangulaire |
| Quantité de pollution dans la zone 2 | 2 | 2 | Trapézoïdale |
| Quantité de pollution dans la zone 2 | 2 | 2 | Trapézoïdale |

Tableau III.3. Nombre d'intervalles flous, nombre et types de fonctions d'appartenances des entrées.

| Les entrés | Nombre d'intervalles | Nombre de fonctions | Type de foncions |
|---|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Le pourcentage de l'avancement de la décharge | 3 | 3 | Trapézoïdale et triangulaire |

Tableau III.4. Nombre d'intervalles flous, nombre et types de fonctions d'appartenances de la sortie.

a. Fonctions d'appartenances des entrées

a.1. Conductivité

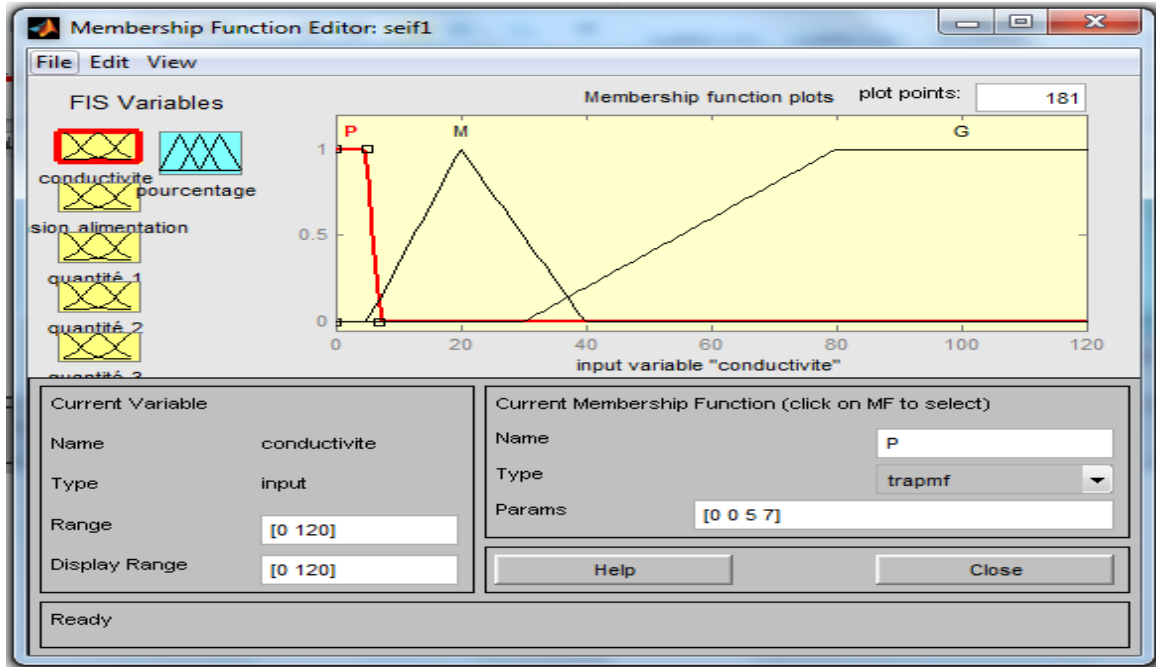


Figure III.4. Fonction d'appartenance de la conductivité de pollution.

a.2. Tension d'alimentation

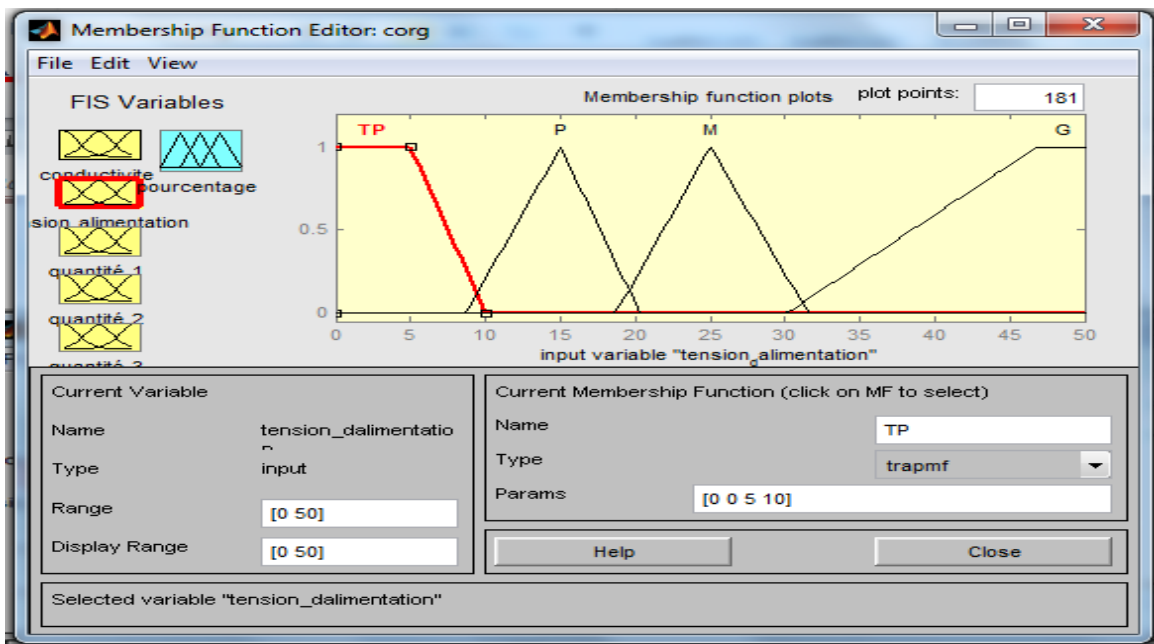


Figure III.5. Fonction d'appartenance de la tension d'alimentation.

a.3. Quantité de la pollution dans la zone 1 :

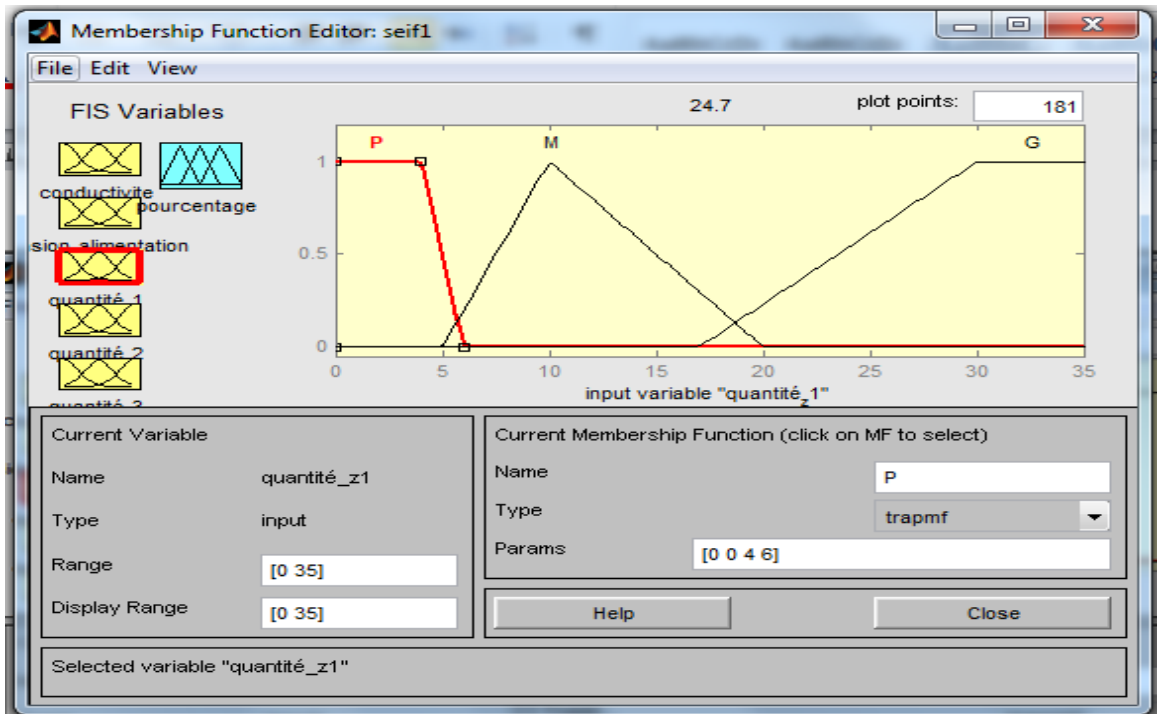


Figure III.6. Fonction d'appartenance de la quantité de pollution dans la zone 1.

a.4. Quantité de pollution dans la zone 2

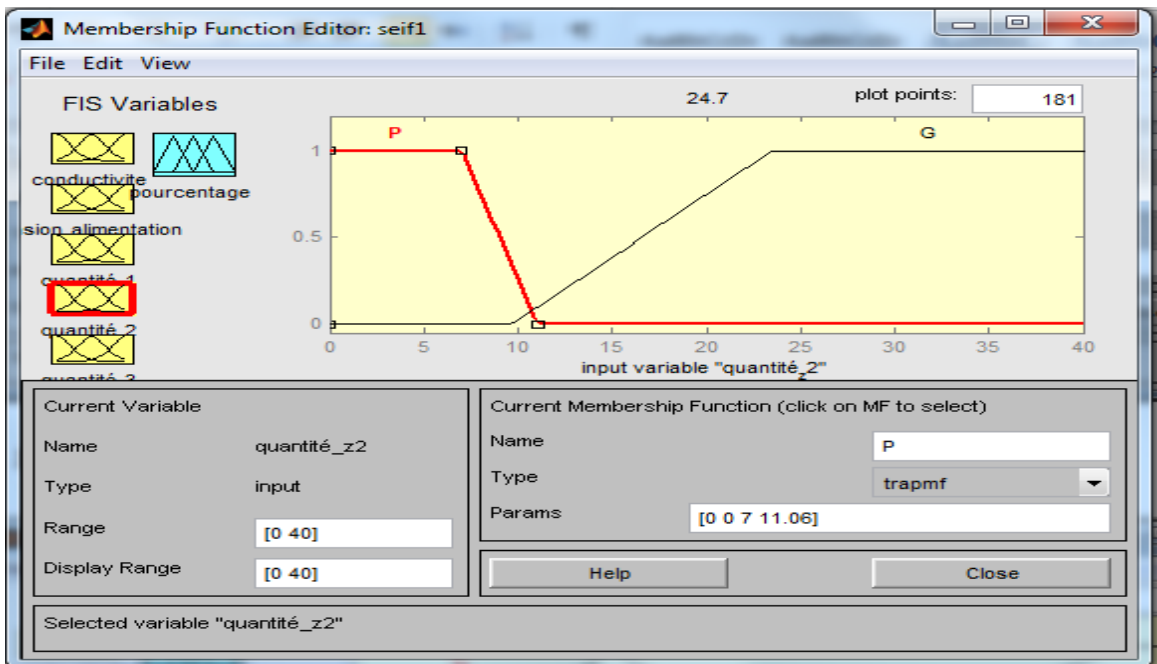


Figure III.7. Fonction d'appartenance de la quantité de pollution dans la zone 2.

a.5. Quantité de pollution dans la zone 3

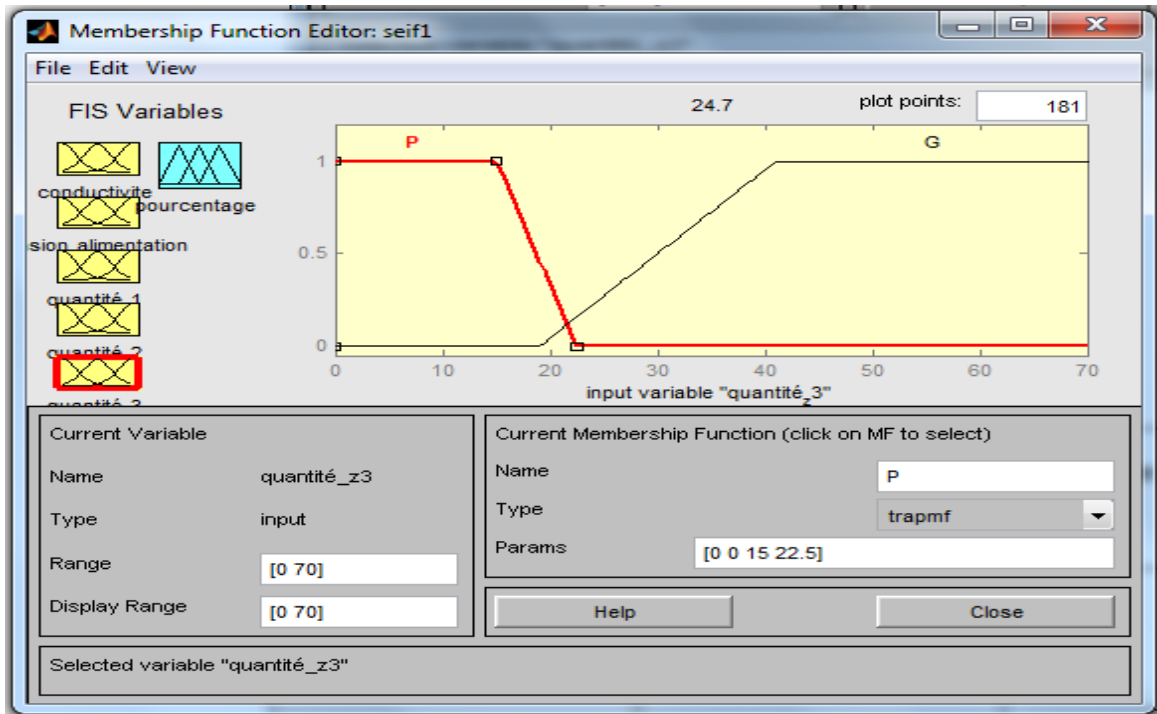


Figure III.8. Fonction d'appartenance de la quantité de pollution dans la zone 3.

b. Fonctions d'appartenances de la sortie

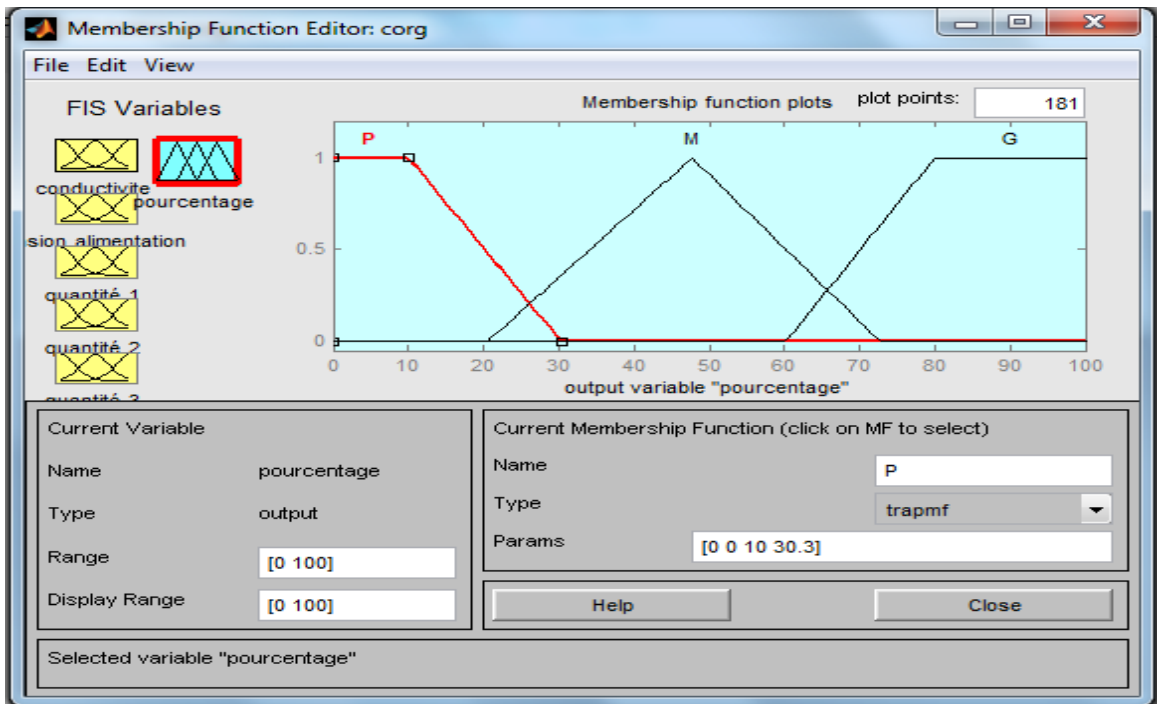


Figure III.9. Fonction d'appartenance de pourcentage de l'avancement de la décharge.

III.7.1.3. Table d'inférence

La table d'inférence (tableau III.5) contient l'ensemble des règles floues qui relie les entrées à la sortie qu'on a proposé pour notre SIF utilisé pour la prédiction de la tension de contournement de l'isolateur étudié

| Les entrées | | | P | | G | |
|-------------|----|---|----|----|----|----|
| | | | P | G | P | G |
| P | TP | P | R | R | R | R |
| | | M | R | R | R | R |
| | | G | R | R | R | R |
| | P | P | R | R | R | R |
| | | M | R | CR | CR | CR |
| | | G | R | CR | CR | C |
| | M | P | R | CR | CR | C |
| | | M | R | CR | CR | C |
| | | G | R | CR | CR | C |
| | G | P | R | CR | C | C |
| | | M | R | CR | C | C |
| | | G | CR | C | C | C |
| M | TP | P | R | R | R | R |
| | | M | R | R | R | R |
| | | G | R | R | R | R |
| | P | P | R | R | R | CR |
| | | M | R | R | R | CR |
| | | G | R | R | R | CR |
| | M | P | R | R | CR | CR |
| | | M | R | CR | CR | C |
| | | G | R | CR | CR | C |
| | G | P | CR | CR | CR | C |
| | | M | CR | CR | CR | C |
| | | G | CR | C | C | C |
| G | TP | P | R | R | R | R |
| | | M | R | R | R | R |
| | | G | R | R | R | R |
| | P | P | R | R | R | CR |
| | | M | R | R | R | CR |
| | | G | R | CR | CR | C |
| | M | P | R | CR | CR | C |
| | | M | R | CR | CR | C |
| | | G | CR | C | C | C |
| | G | P | CR | C | C | C |
| | | M | CR | C | C | C |
| | | G | C | C | C | C |

Tableau III.5. L'ensemble des règles floue.

Les variables linguistiques utilisés dans la table précédente sont :

Variables d'entrées :

- P : Petit.
- TP : Très Petit.
- M : Moyen.
- G : Grand.

Variables de sortie :

- R : Rien.
- CR : Couronne.
- C : Contournement.

Les intervalles flous de chaque variable sont montrés dans les figures des fonctions d'appartenances de chaque variable données ci-dessus.

III.7.2.Résultats obtenus

Après l'implémentation de notre SIF en utilisant l'interface graphique « **fuzzy logic toolbox** » sous MATLAB, on a prédit des tensions de contournement de l'isolateur **1508B** pour différentes valeurs de conductivité et quantité de la pollution artificielle (solution saline) mit dans chaque zone (nervure).

Dans la figure (III.10), on a montré un exemple d'application de notre SIF pour les entrées suivantes : La conductivité = 80 g/l, tension d'alimentation= 36.28 kV, quantité de pollution dans la zone 1= 23.32 ml, quantité de la pollution dans la zone 2= 26.66 ml, quantité de la pollution dans la zone 3= 46.66 ml. La valeur de la sortie calculée après défuzzification présente le pourcentage de l'avancement de la décharge électrique, cette valeur (82.6%) appartient à l'intervalle flou [60-100] qui indique le contournement de l'isolateur comme déjà expliqué.

Il est important de rappeler que notre étude ne considère que le cas de l'isolateur cité précédemment où la deuxième nervure (zone 2) ne soit jamais remplie de plus de la capacité de la première zone (quantité de liquide que peut contenir dans cette première zone), puisque si la deuxième zone a été remplie par une quantité de liquide plus élevée que celle supportée par la première zone, alors elle devient totalement pleine ce qui élimine la première zone qui sera totalement pleine, donc il ne reste que les zones deux et trois, ce cas ne fait pas partie de notre étude.

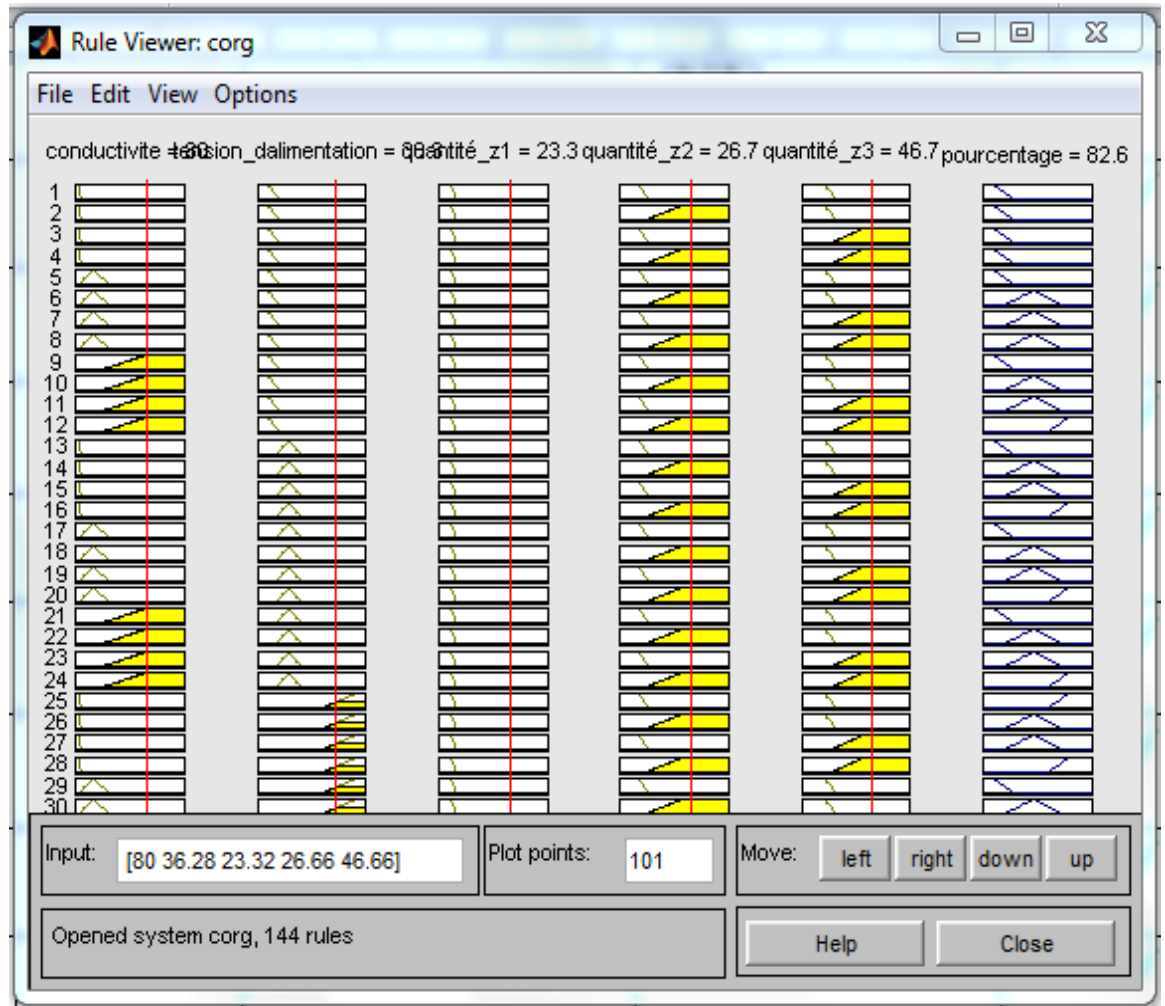


Figure III.10. Editeur des règles floues

La table (III.6) contient des résultats de simulation (prédiction) de la tension de contournement de l'isolateur étudié obtenus par la logique floue et ceux pratiques donnés dans la référence [3]

Selon le tableau suivant, on ne trouve pas d'erreurs parmi 18 tests effectués, ce qui représente 0% d'erreur. Ces résultats nous ont permis de juger que le système flou est valable pour prédire les tensions de contournement de l'isolateur de HT étudié. Les résultats des tests pratiques donnés par la référence [3] confirment ce jugement. Cela nous a conduits à proposer d'utiliser le système d'inférences floues que nous avons conçu pour la prédiction des tensions de contournement du même isolateur de HT pour les mêmes paramètres qui influent son comportement (Quantité et conductivité de la pollution). L'avantage du SIF proposé durant notre travail est qu'il peut prédire des tensions de contournement de l'isolateur pour des valeurs de paramètres difficilement réalisés au laboratoire.

| Zones Conductivité | Zone1 | Zone2 | Zone3 | Tension appliquée | tests | | Evalu -tion |
|-----------------------|-------|-------|-------|----------------------|---------------|-------------------------|----------------|
| | | | | | Pratiques | Simulation par (SIF) | |
| 7.5 | 11.66 | 13.33 | 23.33 | 45.842 | Contournement | Contournement | ✓ |
| | 23.32 | 26.66 | 46.66 | 39.738 | Contournement | Contournement | ✓ |
| | 34.98 | 39.99 | 69.99 | 34.832 | Contournement | Contournement | ✓ |
| 80 | 11.66 | 13.33 | 23.33 | 39.592 | Contournement | Contournement | ✓ |
| | 23.32 | 26.66 | 46.66 | 36.288 | Contournement | Contournement | ✓ |
| | 34.98 | 39.99 | 69.99 | 33.712 | Contournement | Contournement | ✓ |
| 120 | 11.66 | 13.33 | 23.33 | 38.584 | Contournement | Contournement | ✓ |
| | 23.32 | 26.66 | 46.66 | 35.48 | Contournement | Contournement | ✓ |
| | 34.98 | 39.99 | 69.99 | 33.6 | Contournement | Contournement | ✓ |

Tableau III.6. Résultats des tests réalisés au laboratoire on utilisant le SIF.

III.8. Conclusion

Le travail que nous avons réalisé consiste à la présentation de l'évolution de certaines caractéristiques décrivant le comportement d'un isolateur mis à une pollution artificielle en utilisant la logique floue. Nous avons remarqué que le système d'inférence floue (SIF) a pu prédire les tensions de contournement en fonction de la conductivité pour différent niveaux de pollution même pour les valeurs qui ne sont pas utilisées pour la création du (SIF) pour l'isolateur étudié. D'après les résultats qu'on a obtenus, nous remarquons que l'augmentation de la conductivité provoque le contournement de l'isolateur pour de faibles tensions.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail nous a permis de prédire la tension de contournement de l'isolateur de haute tension (HT) de type 1508B utilisé dans le sud algérien et de mieux comprendre les conséquences de la pollution d'un isolateur de HT utilisé dans lignes aériennes de transport de l'énergie électrique et d'analyser des différents paramètres pouvant influencer la tension de son contournement. Notre travail a été consacré à la caractérisation électrique des décharges qui se propagent sur la surface de l'isolateur pollué en tenant compte de la valeur efficace de la tension appliquée, conductivité et quantité de la pollution de l'isolateur.

Dans un premier temps, on a approfondi la définition des différents isolateurs HT et les phénomènes de décharge électrique sur des surfaces des isolateurs pollués. En second on a présenté la théorie de la logique floue qui a été utilisé dans la prédiction de la tension de contournement de l'isolateur de HT (1508B) et qui a donné des bons résultats en les comparant avec les résultats pratiques donnés par la référence [3]. Ces résultats sont obtenus par la réalisation des essais pratiques au niveau de laboratoire de haute tension à l'université de Biskra, par les auteurs de cette même référence ont montrés que la variation des trois paramètres (tension appliquée, conductivité et la quantité du la pollution dans les trois zones de l'isolateur (nervures)) influe sur le contournement de l'isolateur de HT.

La prédiction de la tension de contournement d'un isolateur de HT peut aider à améliorer les conditions de transport de l'énergie électrique par ligne aériennes (éviter les pertes de l'énergie, ...etc.). La logique floue connue comme une nouvelle technique d'intelligence artificielle, nous a permet de proposer un algorithme de prédiction basé sur cette technique et implémenté sous MATLAB en utilisant l'un de ces utilitaire qui est 'Fuzzylogictoolbox'. L'utilisation du système d'inférence floue (SIF) créer avec ce même utilitaire en vue de prédire des tensions de contournement de l'isolateur du type **1508 B** artificiellement pollué nous a donné des résultats plus proche de ceux obtenus par des essais pratiques donnée par la référence [3] avec une grande précision.

La logique floue a montré comme l'une des techniques de l'intelligence artificielle une grande aptitude et efficacité dans la prédiction de la tension de contournement de l'isolateur de haute tension étudié durant notre travail.

Nous avons vu que la conception d'un système flou nécessite un nombre important des essais pratiques, surtout dans la définition des fonctions d'appartenance et la matrice des

décisions (table d'inférence). Cela rend l'expérimentation pratique en considérant les différents paramètres et conditions électriques et mécaniques qui peuvent influencer le contournement des isolateurs de haute tension a une importance inévitable et elle reste la seule suggestion dans notre travail, que ce soit dans la création du SIF ou pour sa validation pour rendre le concept de prédiction basé sur LF proposé plus sûr et efficace dans telle étude.

En effet, les essais pratiques sont non seulement très coûteux mais aussi très difficile à réaliser. La méthode de logique floue (SIF) qu'on a proposée pour la prédiction de la tension de contournement de l'isolateur étudié peut permettre de diminuer le travail expérimental en gagnant du temps considérable et en minimisant le coût des essais pratiques surtout lorsque on se réfère aux connaissances des experts dans le domaine de haute tension en particulier dans l'étude des isolateurs de différents types.

Bibliographie

Bibliographie

▪ **Thèses**

[1] S. D. Kimbakala, "Modélisation dynamique des décharges se propagent sur des surfaces isolantes polluées avec des dépôts discontinus sous différentes formes de tension", Thèse doctorat, Ecole doctorale électrotechnique- électronique automatique de Lyon, France, 2007.

[2] N. Mhaguen, "Développement de modèle dynamique de prédiction de la tension critique de contournement des isolateurs recouverts de glace basés sur la méthode des éléments finis ", Mémoire présenté à l'université du Québec a Chicoutimi comme exigence Partille de la maitrise en ingénierie, 2011.

[3] B. Dehmane, M. Khennine, "Modélisation d'un isolateur de haute tension par les réseaux de neurones ", Mémoire master en génie électrique, option matériaux électrotechniques, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2014.

[4] N. Dhahbi, Megrich, "Modélisation dynamique des décharges sur les surfaces d'isolateurs pollues sous différentes formes de tension: élaboration d'un critère analytique de propagation".

[5] A. Kara, "Contribution à l'étude d'un modèle dynamique de contournement d'un isolateur pollué", mémoire magistère en électrotechnique, Université Ferhat Abbes Sétif, 2013.

[6] F. Aouabed, "Contribution à l'étude d'un circuit équivalent des isolateurs synthétiques sous pollution en utilisant l'EMTP", Mémoire magistère en électrotechnique, Université Ferhat Abbes Sétif.

[7] L. Bouchaoui, "Diagnostic des transformateurs de puissance par la méthode d'analyse des GAS DISSOUS : application des réseaux de neurones", mémoire magistère en électrotechnique, Université de Sétif, 2010.

[8] M.J. Dunlap, " Performances des isolateurs pollués pour les lignes de haut tension", *CIGRE, Rapport 33-05*, France, 1996.

[10] R. Bouzeroura "Etude du développement d'arcs électriques parallèles sur une surface Isolante non uniformément polluée sous tension continue", Mémoire magister, , Université de Bejaia, 2009.

- [12] M. Tegar, "Etude mathématique des mécanismes de développement", Ecole Nationale Polytechnique, Département de Génie Electrique, 1993.
- [13] K. Ouerdane, "Les effets de la pollution sur les ouvrages électriques à 30kV en régions littorales", Projet de fin d'études, département d'électrotechnique, université des sciences et technologies Houari Boumediene, Bab Ezzouar, 1998.
- [14] M. A. Boudjamaa, S. Redouane, "Modélisation des phénomènes de pollution des isolateurs de haut tension", Mémoire de Master en Génie Electrique, 2012.
- [12] M. T. Benchouia, "Commande de la machine a courant alternatif par différentes techniques de contrôle avancées", Thèse de doctorat en électrotechnique.
- [13] F. Harrouche, "Application de la logique floue aux machines tournantes", Mémoire magistère en mécanique appliquée, Université Ferhat Abbas, Sétif.
- [14] H. Zerfa, "Conception, réalisation et commande floue d'un robot mobile", Mémoire magistère en Automatique Robotique Productique, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 2013.
- [15] M. Diab, "Contrôle flou des processus biotechnologiques a base d'algorithmes génétiques", Thèse de Doctorat En Sciences, option Electronique, Université Ferhat Abbas, Sétif, 2010.
- [16] H. E Bouzid, S. Benmeriem, "Application de la technique de la logique floue pour la prédiction de l'amorçage des intervalles d'air pointes-plans", mémoire de master en matériaux électrotechnique, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2013.
- [17] A. Chikhi, "Conception d'une commande floue directe du couple (FDTC) de la machine synchrone basée sur la SVM", Thèse de doctorat, Université de Batna, 2013.
- [18] T. Claude, "Elaboration d'un logiciel d'enseignement et d'application de la logique floue dans un contexte d'automate programmable", Mémoire pour obtention de maîtrise en génie de production et automate-université de Quebec, 2009.
- [24] S. Guillaume, B. Charnomordic, "Systèmes d'inférence floue : collaboration expertise et données dans un environnement de modélisation intégrée à l'aide de FisPro", Revue d'intelligence artificielle, N° 1/2013, pp 1-26.

▪ **Livre**

- [9]. S. Genberg, " Isolateur en céramique et en synthétique" EDF-EPURE, avril 1998.
- [11]. R. Coello, B. Aladenize "Les diélectriques", Edition Hermès, Paris, 1986.

[19] D.Diankov, H.Hellendoorn, M.Reinfrank, "An introduction to fuzzy control", Edition Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1993.

[20] B. B. Meunier, C. Marsala, "Logique floue : principes, aide à la décision", Hermès, 2003.

[21] B. B. Meunier, "La logique floue, Que Sais-Je ? ", Presses Universitaires de France, Paris, 1993, 2ème édition en 1994, 3ème édition en 1999, 4ème édition (14ème mille) en 2007, ISBN 978-13-056260-3.

[22] F. Chevie, F. Guely, Titres Cahier Technique Schneider n°191 ‘

▪ **Sites web**

<http://openclassrooms.com/courses/introduction-a-la-logique-floue>

<http://franck-dernoncourt.developpez.com/tutoriels/algo/introduction-logique-floue/>

<http://produ.chez.com/akhi/>

<http://www.ferdinandpiette.com/blog/2011/08/la-logique-floue-interets-et-limites/>

<http://www7.inra.fr/mia/M/fispro/fisprodocfr/debuter/node12.html>

<http://ebrois.free.fr/logique/logique.htm>

<http://logiquefloue.free.fr/main.php?paged=6>

Résumé

L'objectif de notre étude est de prédire la tension de contournement d'un isolateur de haute tension artificiellement pollué soumis sous l'influence de l'amplitude de la tension appliquée, la quantité et la conductivité de la pollution en utilisant la technique de la logique floue.

La base de données utilisée pour réaliser le concept de la logique floue est obtenue expérimentalement par des essais réalisés par la référence [3] au niveau du laboratoire de haute tension à l'université de Biskra.

Les résultats obtenus sont très satisfaisants et montrent une grande efficacité du SIF proposé dans la prédiction des tensions de contournement de l'isolateur de haute tension étudié par rapport à ceux obtenus par les essais pratique.

Mots clés : Isolateur HT, contournement, pollution, logique floue, prédiction, tension de contournement, conductivité de la pollution.

Abstract

The objective of our study is to predict the flashover voltage of a high voltage insulator artificially polluted under the influence of the applied voltage amplitude, quantity and conductivity of pollution using the fuzzy logic technique.

The data base used to create the fuzzy logic concept is experimentally obtained by tests and realized by the reference [3] in the high voltage laboratory at the University of Biskra.

The obtained results are very satisfactory and show a high efficiency of proposed FIS to predict the flashover voltage of the studied high voltage insulator compared to those obtained from practice tests.

Keywords: HT insulator, flashover, Fuzzy logic, Pollution level, applied voltage, pollution conductivity, flashover voltage

ملخص:

الهدف من دراستنا هو تنبؤ توتر إلتفافية عازل التوتر العالي الملوث اصطناعيا تحت تأثير كل من الضغط المطبق عليه و مستوى و ناقلية التلوث باستعمال تقنية المنطق الضبابي.

و قاعدة البيانات المستعملة لتحقيق المنطق الضبابي مأخوذة تطبيقيا من تجارب أنجزت من طرف المرجع [3] على مستوى مخبر التوتر العالي في جامعة بسكرة.

و قد توصلت الدراسة الى تجارب ناجحة جدا بحيث تبين مدى فعالية المنطق الضبابي المقترح لتنبأ توتر التفافية عازل التوتر العالي المدروس.

الكلمات المفتاح : عازل التوتر العالي، التفافية، تلوث، المنطق الضبابي، التنبؤ، توتر الالتهافية، ناقلية التلوث