

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

**UNIVERSITE M'HAMED BOUGHARA-BOUMERDES**



**Faculté des Sciences de L'Ingénieur**  
**Département Ingénierie des Systèmes Electriques**

**Mémoire de Master**

Présenté par

**BAIZID Boualem**

**BOUSSALAH Djahid**

Filière : ELECTROTECHNIQUE

Spécialité : MACHINES ELECTRIQUES

---

**Prédiction du Contournement d'un Isolateur de  
Haute Tension Pollué par la Logique Floue**

---

Soutenu le 15 juin 2019 devant le jury :

Hamel	Meziane	MCB	Université de Boumerdes	Président
Benguesmia	Hani	MCB	Université de Msila	Examineur
Khalfi	Kamel	MAA	Université de Boumerdes	Examineur
M'ziou	Nassima	Professeur	Université de Boumerdes	Rapporteur

Année universitaire : 2018/2019

# Dédicaces

On dédie ce travail,

**A** nos parents

**A** nos frères et sœurs

**A** tous les membres de notre grande famille maternelle et paternelle,

**A** tous nos amis, présents de loin ou de près, respectueusement, à tous  
ceux qui nous connaissent.

*Djahid & Boualem*

*Le 30/06/2019*

# Remerciements

*On remercie Dieu de nous avoir  
donné tout le courage pour mener  
notre projet a terme.*

*On tient à remercier tous ceux qui  
ont contribué de près ou de loin à la  
réalisation de ce modeste travail en  
Particulier Pr.Mziou Nassima pour  
avoir diriger ce travail et dont les  
critiques et les conseils nous ont  
été très précieux.*

*Nos sincères remerciements  
S'adressent ainsi aux membres  
jury d'avoir accepté de juger  
ce modeste travail .*

*On remercie aussi tous les  
enseignants ,sans exception,  
car c'est grâce a eux que on  
est arrivé á faire ce  
Sans oublie tous nos amis .*

# Résumé

*L'objectif de notre étude est la prédiction par la logique floue de la tension de contournement d'un isolateur de haute tension pollué sous une tension à fréquence industrielle 50HZ. Il est soumis sous plusieurs contraintes à savoir la tension appliquée, la pollution ainsi que la conductivité de cette pollution. La conception de l'algorithme de la logique floue est basée sur des résultats expérimentaux réalisés au sein du laboratoire de haute tension. Ces résultats noté pour montrer l'influence des contraintes mentionnés.*

**Mots clés :** *Isolateur de haute tension, contournement, pollution, logique floue, prédiction, tension appliquée, niveau de la pollution, conductivité de la pollution.*

# Abstract

*The objective of this study is the prediction of flashover voltage of a high voltage insulator artificially polluted using fuzzy logic technique approach named adaptive fuzzy-logic inference systems (FIS). It is under different constraints which are the applied voltage, pollution level and pollution conductivity. The conception of fuzzy logic algorithm is based on experimental results which are realised on high voltage laboratory. Those results noticed for exhibiting the influence of the mentioned constraints.*

**Keywords:** *High voltage insulator, flashover, pollution, Fuzzy logic, prediction, applied voltage, pollution level, pollution conductivity.*

# ملخص

إن الهدف الرئيسي لهذه المذكرة هو التنبؤ بالإحاطة لعازل التوتر المتناوب ملوث باستعمال الخوارزمية الضبابية تحت تأثير توتر بتردد متناوب، عازل التوتر العالي يخضع لعدة عوامل على غرار التوتر المطبق و مستوى التلوث بما في ذلك ناقلية التلوث، بالنسبة لتصميم اللوغرتمية للخوارزمية الضبابية فإنه يعتمد على النتائج التجريبية المنجزة على مستوى مخبر التوتر العالي لجامعة بسكرة، هذه النتائج هي قياسات لتوتر الإحاطة لعازل التوتر العالي، تحت تأثير العوامل المذكورة سابقاً.

**الكلمات المفتاحية:** التوتر العالي، تلوث العوازل، المنطق الضبابي، التنبؤ، التوتر المطبق، ناقلية التلوث.

# Liste des figures

## Chapitre I : Isolateur de haute tension

Fig. I.1 Isolateur de haute tension (capôt et tige).....	04
Fig. I.2 Les caractéristiques d'un isolateur.....	07
Fig. I.3 Isolateur à capôt et tige.....	09

## Chapitre II : Pollution des isolateurs

Fig. II.1 Dépôt et évolution des agents polluants.....	17
Fig. II .2 Humidification du dépôt polluant et création d'un courant de fuite .....	18
Fig. II.3 Arc et bande sèche.....	18
Fig. II.4 Régime d'arcs sous pollution.....	19

## Chapitre III : La logique floue

Fig. III.1 Variable linguistique.....	23
Fig. III.2 Formes usuelles des fonctions d'appartenance.....	25
Fig. III.3 Structure générale d'un système basé sur la logique floue.....	28
Fig. III.4 Exemple d'inférence Max-Produit.....	31
Fig. III.5 Méthodes de raisonnement dans les systèmes flous.....	32
Fig. III.6 Méthode d'inférence somme-prod.....	33
Fig. III.7 Structure générale de la partie floue du système.....	34

Fig. III.8 Defuzzification par la méthode de centre de gravité.....	36
Fig. III.9 Defuzzification par la méthode moyenne de maximum.....	36

## Chapitre IV Résultats & Interprétations

Fig. IV.1 Isolateur 175 CTV.....	39
Fig. IV.2 Système d'inférence flou (SIF).....	43
Fig. IV.3 Système d'inférence flou (SIF) utilisé.....	44
Fig. IV.4 Fenêtre de l'éditeur du SIF sous MATLAB.....	48
Fig. IV.5 Entrées et sortie du SIF proposé.....	49
Fig. IV.6 Fonction d'appartenance de la conductivité de pollution.....	50
Fig. IV.7 Fonction d'appartenance de la tension d'alimentation.....	51
Fig. IV.8 Fonction d'appartenance de la pollution dans la zone 1.....	52
Fig. IV.9 Fonction d'appartenance de la pollution dans la zone 2.....	53
Fig. IV.10 Fonction d'appartenance de la pollution dans la zone 3.....	53
Fig. IV.11. Fonction d'appartenance de la tension de contournement.....	54
Fig. IV.12 Règles d'inférences dans le système des règles floues (Mamdani).....	55
Fig. IV.13 Éditeur des règles floues.....	57
Fig. IV.14 Diagramme en 3d de l'évolution de tension de contournement.....	58

# Liste des tableaux

## Chapitre IV Résultats & Interprétations

Tab. IV.1 Désignation de l'isolateur 175 CTV.....	39
Tab. IV.2 Partition des zones polluées sur les niveaux.....	40
Tab. IV.3 Tension de contournement en fonction des différentes conductivités et niveau des pollutions.....	42
Tab. IV.4 Nombre d'intervalles flous, nombre et types de fonctions d'appartenances des entrées.....	45
Tab. IV.5 Nombre d'intervalles flous, nombre et types de fonctions d'appartenances de la sortie.....	46
Tab. IV.6 L'ensemble des règles floues.....	47
Tab. IV.7 Comparaison entre les résultats expérimentaux et la prédiction de la logique floue (un élément).....	59

# Liste des Photos

## Chapitre I : Isolateur de haute tension

Photo I.1 Isolateur rigide.....	08
Photo I.2 Isolateur long fût.....	09
Photo I.3 Isolateur a profil standard.....	10
Photo I.4 Isolateur antibrouillard (forme A).....	11
Photo. I.5 Isolateur profil antibrouillard (forme B).....	11
Photo I.6 Isolateur a profil sphérique.....	12
Photo I.7 Isolateur à profil plat.....	12

## Chapitre IV Résultats & Interprétations

Photo IV.1 Isolateur de haute tension de type 175 CTV.....	38
Photo IV.2 Répartition des zones de l'isolateur étudié.....	40
Photo IV.3 Evolution des étincelles.....	41
Photo IV.4 Evolution des arcs.....	41
Photo IV.5 Evolution de contournement.....	41

# Liste des abréviations

HT : haute Tension

SF6 : hexafluorure de soufre

Lc : ligne de contournement

Lf : ligne de fuite

R : résistance

$\mu$  : Degré d'appartenance

H(A) : Hauteur d'un ensemble flou A

Noy (A) : Le noyau d'un ensemble flou A

Supp (A) : Support d'un ensemble flou de A

U : univers de discours

N : Niveau de pollution (ml)

$\sigma$ : (g/l) Conductivités

SIF : système d'inférence flou

U : Tension Appliquée(Kv)

Uc : Tension de contournement (%)

R : Rien

CR : Coucoune

C : Contournent

TP : Très petit

P : Petit

M : Moyen

G : Grand

# Table des Matiers

Remerciements.....	ii
Résumé.....	iii
Abstract.....	iii
ملخص.....	iii
Liste des figures.....	iv
Liste des tableaux .....	v
Liste des photos.....	vii
Liste des abréviations.....	viii
Introduction générale.....	1
Chapitre I     Isolateur de haute tension .....	3
I.1 Introduction.....	3
I.2 Isolateur.....	3
I.2.1 Isolateur de haute tension.....	3
I.2.2 Constitution de l’isolateur et son fonctionnement.....	3
I.2.3 Quelques définitions concernant les isolateurs.....	4
a. Contournement.....	4
b. Ligne de contournement.....	4
c. Tension de contournement.....	5
d. Contraintes de contournement .....	5
e. Tension de tenue.....	5
f. Ligne de fuite.....	5
g. Courant de fuite.....	5
h. Courant de fuite critique.....	5
i. Rigidité diélectrique.....	6

j. Résistivité diélectrique.....	6
k. Conductivité électriques.....	6
I.3 Caractéristiques d'un isolateur.....	6
a. Le pas P.....	6
b. La ligne de fuite Lf.....	6
c. La ligne de contournement Lc.....	6
I.4 Types d'isolateurs.....	7
I.4.1 Isolateur rigide.....	7
I.4.2 Isolateurs suspendu sous éléments de chaîne.....	8
a. Isolateur long fût.....	8
b. Isolateur capôt et tige.....	8
I.4.2.1 Isolateur long fût.....	8
I.4.2.2 Isolateurs à capôt et tige.....	9
a. Profil standard.....	10
b. Profil antibrouillard (forme A).....	10
c. Profil antibrouillard (forme B).....	11
d. Profil sphérique.....	11
e. Profil plat.....	12
I.5 Conclusion.....	13
Chapitre II     Pollution des isolateurs.....	14
II.1 Introduction.....	14
II.2 Source de pollution.....	14
a. Pollution naturelle.....	14
b. Pollution marine.....	14
c. Pollution désertique.....	15
d. Pollution industrielle.....	15
e. Pollution mixte.....	15
II.3 Influence des facteurs climatiques sur les isolateurs pollués.....	15
a. Le Vent .....	15
b. La Pluie .....	16

c. L'humidité.....	16
d. La température .....	16
II.4 Conséquence de la pollution.....	16
a. Arc non localisé .....	16
b. Arc permanent .....	16
c. Contournement des isolateurs pollués.....	17
II.5 Classification des sites pollués .....	19
a. Classe 1 .....	19
b. Classe 2.....	19
c. Classe 3.....	19
d. Classe 4.....	20
II.6 Techniques de lutte contre la pollution de l'isolateur .....	20
II.6.1 Allongement de la ligne de fuite.....	20
II.6.2 Isolateurs plats.....	20
II.6.3 Graissage périodique.....	20
II.6.4 Revêtement silicone.....	20
II.6.5 Les isolateurs composites .....	21
II.6.6 Nettoyage des isolateurs.....	21
II.7 Conclusion.....	21
Chapitre III      La logique floue.....	22
III.1 Introduction.....	22
III.2 L'utilisation de la logique floue.....	22
III.3 Théorie des ensembles flous.....	22
III.3.1 Variables linguistiques.....	22
III.3.2 Notion d'appartenance partielle.....	23
III.3.3 caractéristiques des ensembles floue.....	24
III.3.4 Fonctions d'appartenance.....	24
III.3.5 Opérations sur les ensembles flous.....	26
III.3.6 Règles linguistiques.....	26
III.3.7 Mécanismes d'inférence floue.....	27

III.3.8 Structure générale d'un système flou.....	27
a. Fuzzificateur.....	28
a.1 Fuzzification singleton.....	28
a.2 Fuzzification non – singleton.....	29
b. Inférence floue.....	29
c. Type d'inférences floues.....	30
c.1 Max-prod méthode.....	30
c.2 Min-max méthode.....	31
c.3 Méthode de Tsukamoto.....	32
c.4 Méthode de Takagi et sugeno.....	32
c.5 Méthode somme –prod.....	33
d. Activation de règles linguistiques.....	34
III.3.9 Defuzzification.....	35
a. Méthode du centre de gravité.....	35
b. Méthode de moyenne de maximum.....	35
c. Méthode de Tsukamoto.....	36
d. Méthode de moyenne pondérée.....	36
III.4 Avantages et inconvénients de réglage par logique floue.....	37
a. Avantages.....	37
b. Inconvénients.....	37
III .5 Conclusion.....	37
Chapitre IV Résultats & Interprétations.....	38
IV.1 Introduction.....	38
IV.2 Isolateur de haute tension de type 175 CTV.....	38
IV.2.1 Information sur le dispositif étudié.....	38
IV.2.2 Répartition de la pollution dans l'isolateur.....	40
IV.3 évolution de la tension de contournement.....	40
IV.4 Influence de la conductivité.....	42
IV.5 Système d'inférence floue (SIF).....	43
IV.5.1 System d'inférence flou utilisé.....	44

IV.6 Répartition des intervalles des entrées.....	44
IV.7 Table d'inférences.....	46
IV.8 Prédiction de contournement par la logique floue.....	48
IV.8.1 La fuzzification.....	48
IV.8.1.1 Définition des entrées.....	49
a. la conductivité.....	50
b. La tension appliquée (U).....	51
c. Les niveaux de pollution (N).....	52
IV.8.1.2 Définition de la sortie.....	54
IV.8.1.3 Les règles d'inférences.....	55
IV.9 Agrégation et déffuzzification.....	56
IV.10 comparaison des résultats.....	58
IV.11 Conclusion.....	59
Conclusion générale.....	61
Bibliographie.....	62

# Introduction générale

---

## Introduction générale

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 constitue l'un des facteurs de première importance dans la qualité et la fiabilité de transport d'énergie. En effet, par temps de pluie et de brouillard, les dépôts polluants se fixant sur les surfaces isolantes réduisent considérablement la résistivité superficielle d'un isolateur et le contournement peut alors survenir. Les conséquences de contournement vont de la détérioration de la surface de l'isolateur à la mise hors service de la ligne haute tension, une des caractéristiques principales d'un isolateur de haute tension sera donc sa tenue au contournement en fonction de l'environnement dans lequel il est placé[1].

Les isolateurs sont des éléments essentiels dans la conception d'une ligne aérienne. Leur rôle est de relier les conducteurs sous tension aux supports et d'assurer l'isolement électrique entre ces deux parties constitutives de la ligne. En effet, le choix du type d'isolateur, les contrôles de réception, la surveillance en exploitation doivent être faite avec un maximum de soin, pour assurer le bon fonctionnement de la ligne.

Le phénomène de pollution des isolateurs peut être considéré comme un déversement continu ou intermittent d'impuretés d'origines diverses. Ces impuretés peuvent provenir des flots de fumée qui s'échappent des appareils d'évacuation (pollution industrielle ou urbaine), ou alors de fines particules salines dans les régions situées au bord de la mer (pollution marine), et même de particules de sable plus ou moins fines dans les régions désertiques (pollution désertique)[2].

L'objectif de notre travail est de déterminer un algorithme de prédiction de contournement d'un isolateur réel de Haute Tension soumis à l'influence de la tension appliquée, la conductivité et les niveaux de pollution. La technique d'intelligence artificielle utilisée est celle de la Logique Floue.

Le manuscrit de ce mémoire comporte quatre chapitres qui sont organisés comme suit :

Nous entamons le premier chapitre par une présentation d'une synthèse bibliographique sur les isolateurs de haute tension ainsi que ses propriétés et son fonctionnement.

Pour le chapitre deux nous allons étudier des phénomènes de pollution, leurs origines et leurs conséquences sur les isolateurs. Ainsi que les techniques de lutte contre ce phénomène.

# Introduction générale

---

Dans le troisième chapitre nous trouvons une bref présentation de la logique floue.

Dans le quatrième chapitre nous parlons sur l'utilisation de MATLAB avec l'instruction toolbox pour pouvoir utiliser la logique floue celle que nous allons utiliser pour prédire la tension de contournement dans un isolateur de haut tension sous l'application de différents degré de pollution.

Nous clôturons ce travail par une conclusion générale permettant de synthétiser les résultats obtenus et d'envisager quelques perspectives.

# **CHAPITRE I**

## **Isolateur de haute tension**

## I.1 Introduction

L'isolateur est un élément très essentiel dans les réseaux électriques qui fait la liaison entre le conducteur avec le support en assurant leur isolation électrique.

En générale, le bon choix de dimensionnement favorise la fiabilité et la qualité de l'isolement de haute tension, la pollution de son isolateur considéré comme un problème majeur pour leur bon fonctionnement.

La tension de tenue des isolateurs peut diminuer considérablement à cause des dépôts polluants recouvrant leurs surfaces. Ils peuvent même conduire au contournement des isolateurs dans certains cas critiques [3].

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 problèmes tel que : claquage, effet couronne, contournement des isolateurs, pertes diélectriques.

## I.2 Isolateur

### 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. [5].

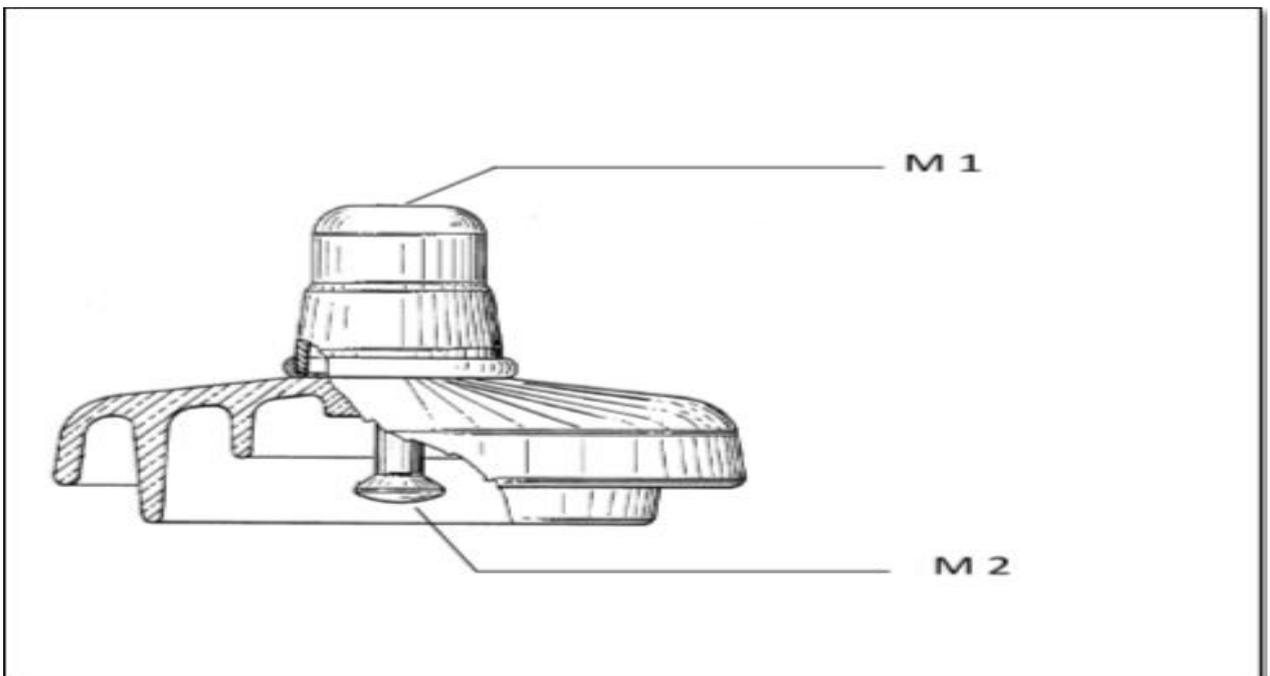
### I.2.2 Constitution de l'isolateur et son fonctionnement

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 :

- 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) [6].

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 (Fig. I.1).



**Fig. I.1** Isolateur de haute tension (capôt 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.

#### b. Ligne de contournement :

La ligne de contournement ( $L_c$ ) est la distance la plus courte dans un gaz entre deux parties conductrices [7].

**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 [7]. La tension de contournement dépend :

- 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 [7].

**d. Contrainte de contournement**

La contrainte de contournement d'un isolateur est le rapport de tension contournement à la longueur totale de l'isolateur.

**e. Tension de tenue**

C'est le niveau de tension le plus important, que peut supporter une isolation sans provoquer de décharge disruptive (contournement dans le cas des isolateurs) [19].

La tension d'essai ou de tenue est fixée par les règles nationales ou internationales et permet une coordination correcte de l'isolement.

**f. 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.

**g. 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 [7].

**h. courant de fuite critique**

C'est le courant minimal nécessaire pour provoquer le contournement sous pollution d'un isolateur à tension donnée. Il est indépendant du procédé d'essai ainsi que de la forme de l'isolateur.

**i. Rigidité diélectrique**

C'est la propriété d'un diélectrique de s'opposer à la décharge disruptive [8].

**J. Résistivité diélectrique**

Sous l'action du champ électrique, toutes les charges se mettent en mouvement. Dans un diélectrique ce mouvement est un courant électrique, le mouvement des charges libres bien que leur quantité est, très faible constituent un courant de fuite. Ce dernier a deux chemins possibles : il passe à travers le diélectrique lui-même ou bien il s'écoule par la surface du diélectrique. On aura donc un courant de fuite surfacique et un autre volumique. Chacun d'eux développe une résistance surfacique (RS) et une autre volumique (RV) [28].

**k. Conductivité électrique**

La conductivité électrique est la capacité d'un matériau à laisser passer et conduire le courant électrique, comme la plupart des métaux et les solutions chargées en ions.

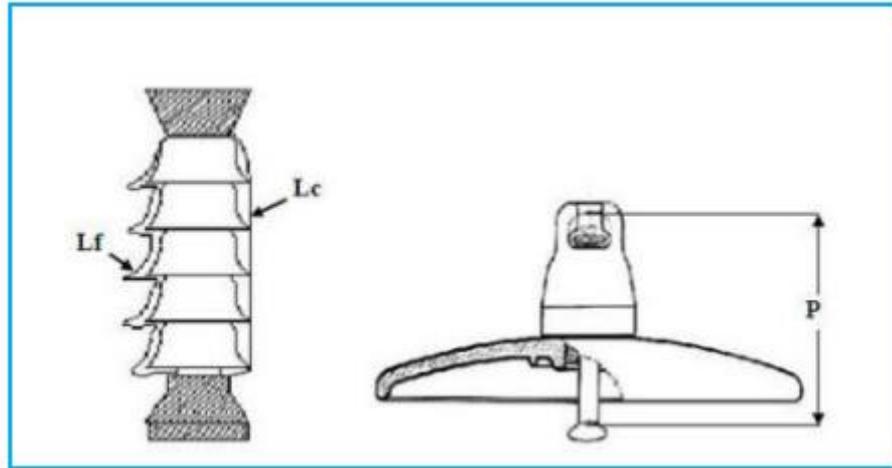
**I.3 Caractéristiques d'un isolateur**

Parmi les valeurs spécifiées dans les normes d'essais d'isolateurs, nous pouvons citer:

**a. Le pas P :** C'est la distance séparant deux parties homologues de deux isolateurs consécutifs dans une chaîne. La détermination de ce paramètre nous permet donc de connaître la longueur d'une chaîne ayant un nombre donné d'isolateurs.

**b. La ligne de fuite Lf :** C'est la plus courte distance, suivant les contours de la surface extérieure des parties isolantes, mesurée entre les parties métalliques.

**c. La ligne de contournement Lc :** C'est la distance la plus courte dans l'air entre deux parties conductrices [9] (Fig. I.2)



**Fig. I.2** Les caractéristiques d'un isolateur

#### **I.4 Types d'isolateurs**

Selon leurs diverses façons d'utilisation, nous distinguons plusieurs types de ce dernier :

##### **I.4.1 isolateur rigide** (voir photo I.1)

La céramique et le verre sont les deux matériaux utilisés pour ce type d'isolateurs. Ces derniers sont utilisés en haute 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.

Ce type d'isolateurs est utilisé pour les lignes aériennes qui ne dépassent pas le niveau de tension de 60 kV [7].



**Photo I.1** Isolateur rigide

#### **I.4.2 Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne**

Ils sont constitués d'un 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 [5,6].

La chaîne d'isolateurs est montée sur le pylône en suspension soit verticalement (chaîne d'alignement) soit d'une façon horizontale (chaîne d'ancrage). Il existe deux types principaux d'éléments de chaîne :

- a. Isolateur long fût.**
- b. Isolateur capot et tige.**

##### **I.4.2.1 Isolateur long fût** (voir photo I.2)

Il est constitué d'un bâton cylindrique plein en céramique, en porcelaine ou en matériaux synthétiques, muni d'ailettes. a chaque extrémité, il y a une pièce métallique pour les liaisons.

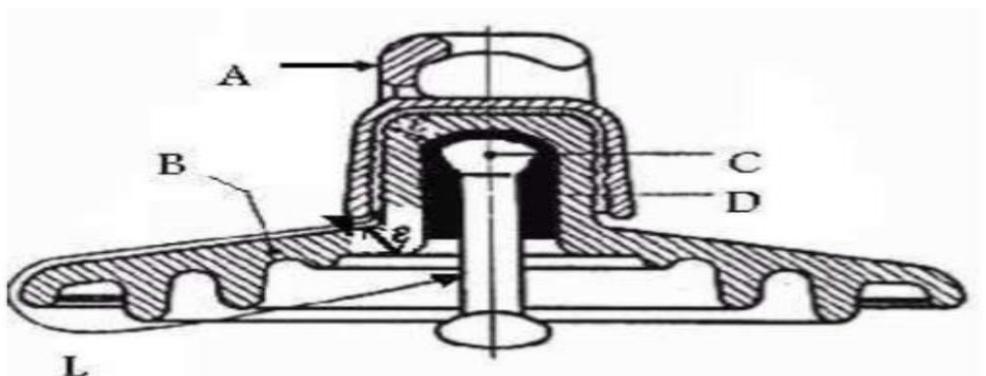
Cette extrémité métallique peut se présenter sous deux formes distinctes, soit elle, enveloppé les extrémités tronconiques sur le cylindre, soit en forme de tige scellée dans une cavité prévue à cet effet (Fig. I.4) [8].



**Photo I.2** Isolateur long fût [7]

#### I.4.2.2 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 (Fig. I.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 [7].



**Fig. I.3** Isolateur à capot et tige

A : le capot.

B : le diélectrique (verre trempé ou céramique).

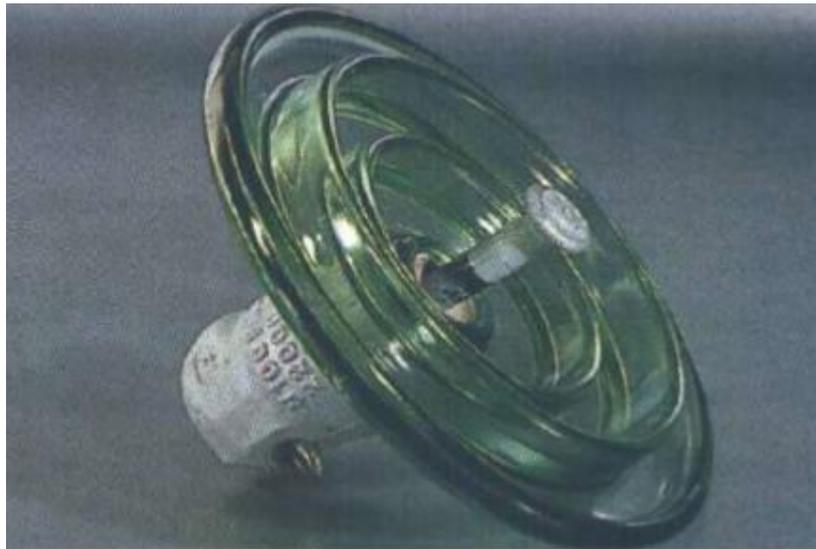
D : le ciment de fixation.

C : la tige.

L : Plus courte distance dans l'air entre le capot et la tige.  $\varepsilon$  : Longueur du canal de perforation,  $\varepsilon \ll L/2$ .

**a. Profil standard** (voir photo I.3)

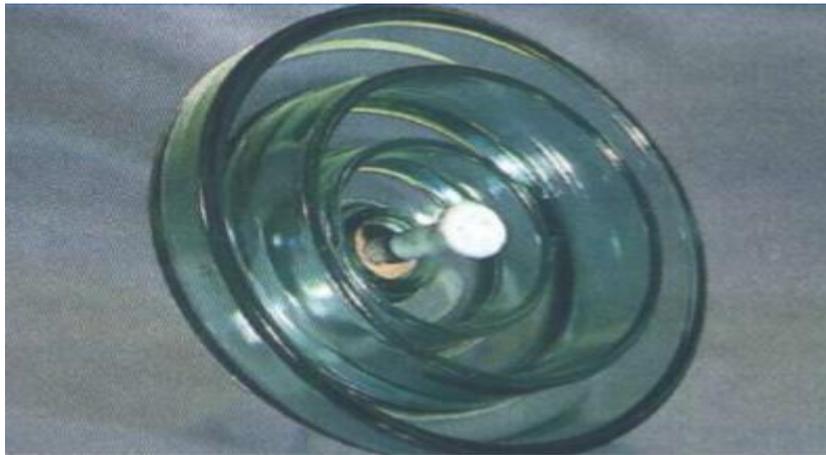
La forme et les dimensions sont en accord avec la normalisation internationale (CEI 305 1978), à cause de leur planéité, les rainures internes bien espacées et la longueur de la ligne de fuite supérieure à la demande standard. Ce type est très utilisé dans les endroits à pollution moyenne.



**Photo I.3** Isolateur à profil standard

**b. Profil antibrouillard (forme A)** (voir photo I.4)

Il est de conception avec un diamètre plus grand que le type de profil standard muni de deux ou trois rainures à grande profondeur.. Cette conception permet également un lavage manuel facile si c'est nécessaire et empêche le claquage entre rainures voisines quand il y a une pollution sévère et tout le profil intérieur simplifie la maintenance.



**Photo I.4** Isolateur antibrouillard (forme A)

**c. Profil antibrouillard (forme B)** (voir photo I.5)

Dans cette conception, l'épaisseur de la rainure extérieure agit comme une barrière contre l'action du brouillard et le dépôt des sels minéraux sur la surface de l'isolateur, empêchant alors la formation d'un électrolyte conducteur sur la surface. Ce type d'isolateur est efficace dans les zones côtières.



**Photo I.5** Isolateur profil antibrouillard (forme B)

**d. Profil sphérique** (voir photo I.6)

La forme sphérique permet une longueur de fuite équivalente à celle de profil standard, l'absence de rainures internes permet un lavage manuel facile et efficace.



**Photo I.6** isolateur a profil sphérique

**e. Profil plat** (voir photo I.7)

L'élimination complète des rainures internes réduit grandement l'accumulation de pollution sur la surface basse, grâce au courant d'air. Cette conception est particulièrement efficace dans les zones désertiques où l'auto lavage est peu fréquente par pluie.



**Photo I.7** isolateur à profil plat

**I.5 Conclusion**

A la fin de ce chapitre, nous avons appris au sujet sur l'isolateur avec les types de ce dernier, comme nous avons parlé de ses différentes caractéristiques.

Les principales conclusions que l'on tire de cette synthèse sont :

- A. Les isolateurs sont des éléments essentiels dont dépendent la sécurité d'exploitation, la qualité et la continuité de service.
  
- B. Les isolateurs les mieux adaptées à un environnement donné sont ceux qui possèdent les meilleures propriétés d'auto-nettoyage.

# **CHAPITRE II**

## **Pollution des isolateurs**

## II.1 Introduction

La pollution des isolateurs constitue un problème majeur dans la dégradation de l'isolement des ouvrages (postes et lignes) de haute tension, la pollution est un facteur essentiel dont il faut tenir compte dans la conception des lignes électriques de haute tension. Pour mieux dimensionner les chaînes d'isolateurs. La formation et la répartition de la couche de pollution sur la surface des isolateurs dépendent du profil des isolateurs, de la hauteur et de la disposition (verticale, horizontale ou inclinée) des chaînes d'isolateurs par rapport au sol et du niveau de tension qui leur est appliqué, réduisent considérablement la résistivité des isolateurs ce qui conduit à la diminution de leur tension de tenue, en général, la couche de pollution se concentre sur les éléments de la chaîne.

## II.2 Source de pollution

La nature de la pollution dépend de la situation géographique et climatique. Les diverses sources de pollution les plus fréquemment observées sur les isolateurs peuvent être regroupées selon leurs origines et classées comme suit :

### a. Pollution naturelle

Cette pollution peut être marine, désertique ou autre, provenant des dépôts de poussières véhiculés par les vents.

#### - Autres sources de pollution naturelle

La pluie est un phénomène naturel propice à l'humidification des isolateurs par excellence. Lorsqu'elle est intense, elle est susceptible de provoquer la désagrégation des dépôts solides. Cependant, cet auto-lavage, favorable à l'amélioration des qualités diélectriques des isolateurs, est contrarié par le phénomène de ruissellement [12].

En présence d'une pluie violente, un film continu d'eau peut s'établir d'une extrémité à l'autre de la chaîne ou de la colonne isolante. Comme l'eau n'est jamais parfaitement isolante, ce phénomène peut entraîner le contournement de la chaîne d'isolateur ; c'est le contournement sous pluie [12].

### b. Pollution marine

Dans les installations au bord de mer, les embruns portés par le vent déposent progressivement sur les isolateurs une couche de sel qui, à plus ou moins longue échéance, recouvre toute la surface de l'isolateur y compris les parties les mieux protégées. Cette

couche de sel, humidifiée par les embruns eux mêmes, ou par un brouillard ou simplement par condensation, devient conductrice. Un courant de fuite s'établit alors à travers la couche superficielle et des arcs électriques peuvent prendre naissance dans certaines conditions, et se développer jusqu'à provoquer le contournement total de l'isolateur [13].

#### **c. Pollution désertique**

Parmi les phénomènes qui caractérisent la nature désertique, les vents de sable. Malheureusement, après ces vents, des dépôts de sable se déposent sur les surfaces des isolateurs. Lorsque ces dépôts seront humidifiés, les couches de sable deviennent plus ou moins conductrices à cause de l'existence de sels dans le sable [12]. Engendrant ainsi une diminution de la résistance superficielle des isolateurs.

#### **d. 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. 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 [12].

#### **e. 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 [13].

### **II.3 Influence des facteurs climatiques sur les isolateurs pollués**

La tenue électrique d'isolateurs dépend de plusieurs facteurs météorologiques et parmi eux on distingue:

#### **a. Le Vent**

Le vent joue un double rôle. Il assure d'une part le transport et la distribution des dépôts polluants formés sur les surfaces des isolateurs électriques, d'autre part il peut se comporter comme agent d'auto-nettoyage lorsque sa vitesse est élevée.

**b. la Pluie**

Les fortes pluies permettent en général le nettoyage des surfaces polluées des isolateurs, ce pendant, les fines pluies peuvent mouiller les surfaces polluées, ce qui augmente le risque de contournement [11].

**c. l'Humidité**

L'humidification est considérée comme un obstacle car elle influe négativement sur la tenue électrique des isolateurs puisqu'elle accroît la conductivité électrique des agents polluants déposés à leur surface et entraîne par conséquent la diminution de leur tenue [11].

**d. la Température**

Contrairement à l'humidité, l'élévation de la température favorise l'assèchement des dépôts polluants, ce qui fait augmenter leur résistivité et par conséquent la tenue des isolateurs contaminés devient plus important. Cependant, la différence de température entre le jour et la nuit peut provoquer le phénomène de condensation et l'humidification de la couche de pollution.

**II.4 Conséquences de la pollution**

Les couches polluantes qui s'accumulent à la surface des isolateurs provoquent une conductivité électrique superficielle. Celle-ci modifie la répartition du potentiel le long de la ligne de fuite. Suivant les conditions atmosphériques (pluie fine, brouillard,...), la tension de 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 [14].

- **Arc non localisé**

L'arc électrique s'éteint rapidement, puis se réamorçe 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 [15].

- **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 [16].

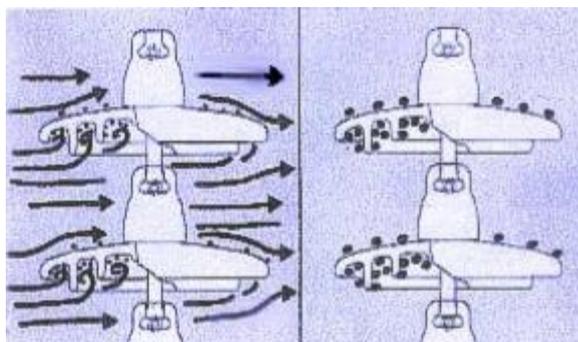
- **Contournement des isolateurs pollués**

L'accumulation du dépôt est continue et n'est modifiée que par la pluie et le vent. En position verticale, le nettoyage est plus efficace sur le dessus de l'isolateur que sur le dessous, d'où un dépôt plus important sur la surface inférieure des ailettes. Le comportement des isolateurs sous pollution peut être décomposé en quatre étapes distinctes. Chacune de ces étapes a une importance sur le résultat final, donc sur la tenue ou le contournement de la chaîne isolante sous tension de service du réseau. [16]

**Etape 1 : Dépôt de la pollution**

Les particules du dépôt sont apportées par le vent (l'isolateur, par sa présence, modifie le régime laminaire du vent) et se concentrent entre les nervures ou autour du capot

(Fig. II.1)

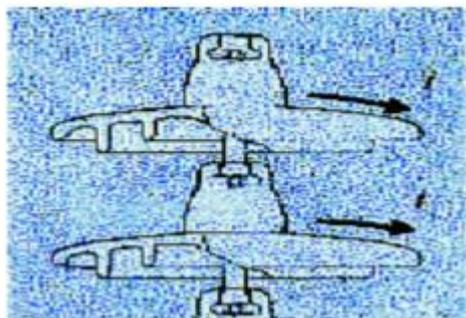


**Fig. II.1** Dépôt et évolution des agents polluants

**Etape 2 : Humidification de la pollution**

Le brouillard, la condensation de la petite pluie modifient graduellement et pratiquement sans délavage la surface de l'isolateur pollué. Ces conditions correspondent à des conditions 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 dès qu'un film conducteur se forme sur la surface de l'isolateur (Fig. II.2). Pendant le cycle d'humidification, le courant de fuite augmente jusqu'à une valeur maximale, puis 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. Ces derniers maintiennent par

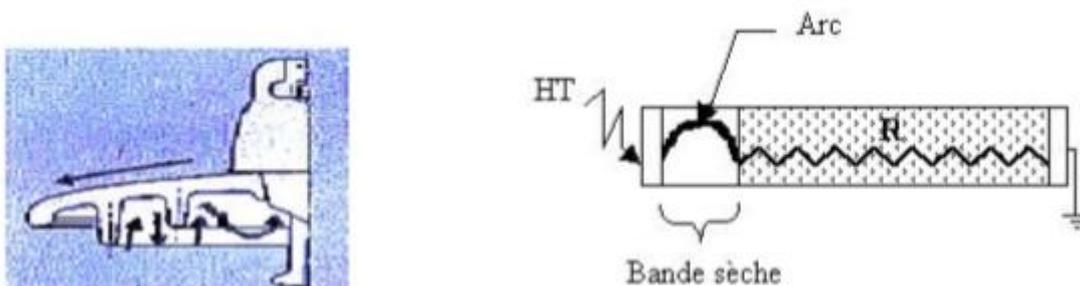
absorption une certaine quantité d'eau à la surface de l'isolateur, entretenant ainsi l'humidification du dépôt.



**Fig. II.2** Humidification du dépôt polluant et création d'un courant de fuite.

### Etape 3 : Développement des zones sèches et apparition d'arcs

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 aux bornes de cette bande sèche. Si la largeur de cette dernière est insuffisante pour supporter le potentiel correspondant, un arc se crée (Fig. II.3).

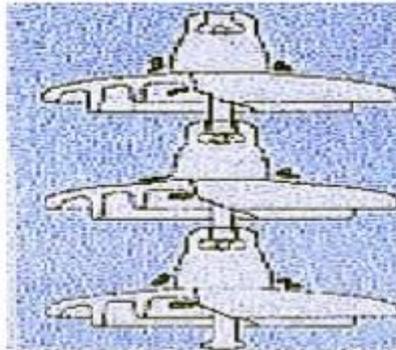


**Fig. II.3** arc et bande sèche

### Etape 4 : Comportement des arcs

La résistance du dépôt humidifié  $R$ , en série avec l'arc, limite le courant et la longueur de l'arc (Fig. II.4). 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 «courant critique » correspondant à une «longueur

critique » de l'arc, cette situation reste stable Dans le cas contraire, le contournement de l'isolateur peut survenir [11].



**Fig. II.4** Régime d'arcs sous pollution

### **II.5. Classification des sites pollués**

Afin d'évaluer l'isolement des lignes de transport et d'établir la corrélation entre la méthode de brouillard salin et les conditions de pollution naturelle, quatre classes de sévérité ont été proposées : [16].

- **Classe 1**

Cette classe correspond à une pollution faible. Cette pollution est généralement naturelle (sauf marine) ou légèrement industrielle. La salinité équivalente maximale retenue pour cette classe correspond à une pulvérisation d'une solution de chlorure de sodium à 2,5 g/l de concentration.

- **Classe 2**

Correspond à une pollution moyenne. En général, cette pollution est naturelle (sauf marine) ou faiblement industrielle. En classe 2, la sévérité équivalente maximale retenue est de 10 g/l

- **Classe 3**

Cette classe correspond à des zones très localisées où l'on trouve simultanément une forte pollution marine et industrielle. Il s'agit donc de zones à densité industrielle importante, de grandes villes ou de zones proches de la mer soumises à l'action directe des embruns. Ces sites nécessitent un isolement important. La salinité équivalente maximale, concernant cette classe, est de 80 g/l.

- **Classe 4**

Correspond aux zones où le niveau de pollution est exceptionnel. La pollution est éventuellement naturelle ou mixte. La salinité équivalente maximale pour la classe 4 est de 160 g/l.

## **II.6 Techniques de lutte contre la pollution des isolateurs**

L'augmentation du degré de pollution représente un risque immense pour les installations électriques. Pour cela plusieurs techniques de lutte contre la pollution sont utilisées.

### **II.6.1 Allongement de la ligne de fuite**

Cette méthode permet d'adapter le dimensionnement aux nouvelles conditions de pollution. Deux techniques sont utilisées :

- Le changement de type d'isolateur (pour rallonger la ligne de fuite) : c'est une technique très coûteuse et souvent impossible à réaliser en poste.
- L'utilisation de prolonger de ligne de fuite en matériaux polymères, qui sont collés sur la surface des isolateurs existants [14].

### **II.6.2 Isolateurs plats**

Les isolateurs sans nervures ont la propriété d'accumuler moins de pollution que les isolateurs traditionnels et s'autonettoient très bien sous l'effet de vent [13].

### **II.6.3 Graissage périodique**

Par mesure économique, seuls les isolateurs de postes sont concernés. On utilise des graisses silicones. Grâce à ses propriétés hydrophobes, la graisse protège temporairement les isolateurs [13].

### **II.6.4 Revêtement silicone**

Cette méthode consiste à appliquer, par pulvérisation ou au pinceau, un caoutchouc silicone qui se vulcanise à température ambiante à la surface des isolateurs. Ce revêtement protège les isolateurs et améliore leurs tenues sous pollution [14].

### II.6.5 Les isolateurs composites

Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères. Cependant, ces isolateurs, revêtus d'un polymère voient leurs caractéristiques changer au cours du temps ; ils peuvent vieillir sous l'effet des différentes contraintes (électriques et climatiques) auxquelles ils sont soumis en service.

[14]

### II.6.6 Nettoyage des isolateurs

Le nettoyage manuel et le lavage périodique hors tension sont fréquemment utilisés à travers le monde. Néanmoins, l'application de ces méthodes pose des problèmes majeurs à cause des interruptions de service, parfois assez longues. Pour éviter ces coupures, un lavage sous tension des isolateurs est réalisé à l'aide d'installations fixes ou mobiles. Dans les deux cas, il est effectué selon des règles strictes concernant la qualité de l'eau du lavage, le processus du lavage et les distances de sécurité, et ce afin d'éliminer tout risque de contournement pendant le lavage.

## II.7 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 les plus essentiels dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie électrique

Puis nous avons discuté l'influence du facteur « Pollution », Cela provient du fait que la pollution des isolateurs constitue un sérieux problème pour l'exploitation des réseaux de haute tension. Qu'elle a plusieurs sources (naturelle, industrielle, mixte), qu'elle peut diminuer « la tension de contournement » considérablement, provoquant des incidents très graves.

Afin d'être en mesure de fournir rapidement des renseignements concernant l'isolement nécessaire, il serait préférable de disposer d'une carte de sévérité des principaux sites pollués. On propose de les classer en quatre catégories de sévérité auxquelles correspondent des longueurs minimales de lignes de fuite à respecter pour les isolateurs en services dans ces sites.

# **CHAPITRE III**

## **La logique floue**

### III.1 Introduction

La logique floue s'affirme comme une technique opérationnelle. Utilisée à côté d'autres techniques de contrôle avancé, elle fait une entrée mais appréciée dans les automatismes de contrôle industriel. La logique floue ne remplace pas nécessairement les systèmes de régulation conventionnels. Elle est complémentaire. Ses avantages viennent notamment de ses capacités à :

- formaliser et simuler l'expertise d'un opérateur ou d'un concepteur dans le conduit et le réglage d'un procédé.
  - donner une réponse simple pour les procédés dont la modélisation est difficile. prendre en compte sans discontinuité ou exceptions de natures différentes, et les intégrer au fur et à mesure dans l'expertise.
  - prendre en compte plusieurs variables et effectuer de la « fusion pondérée » des grandeurs d'influences. [17]
- du raisonnement, tandis que la logique binaire ou booléenne n'en constitue qu'un cas particulier.

### III.2 L'utilisation de la logique floue

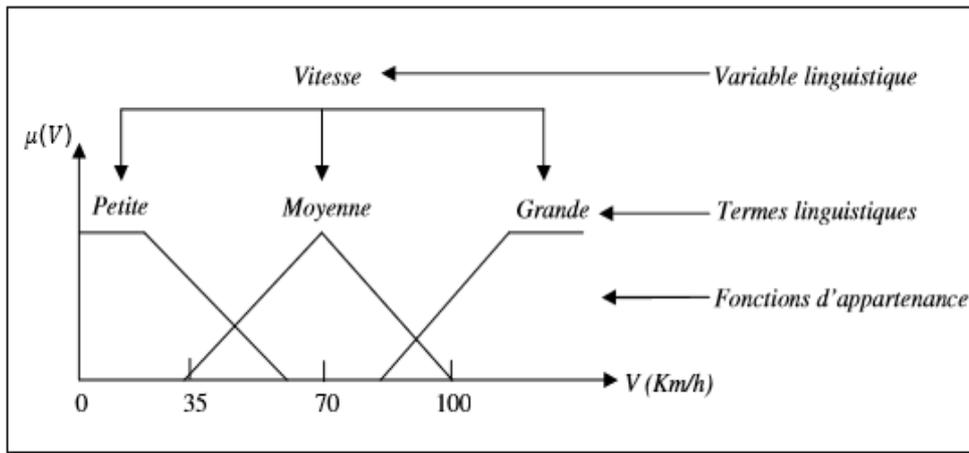
La logique floue est une technique de résolution de problèmes très puissants avec une large applicabilité dans le contrôle et la prise de décision. Elle est très utile lorsque le modèle mathématique du problème à traiter n'existe pas ou existe mais difficile à implémenter, ou il est trop complexe pour être évalué assez rapidement pour des opérations en temps réel.

Ou bien lorsque des experts humains sont disponibles pour fournir des descriptions subjectives du comportement du système avec des termes en langage naturel. La logique floue est aussi supposée de travailler dans les situations où il y a de large incertitude et des variations inconnues dans les paramètres et la structure du système.

### III.3 Théorie des ensembles flous

#### III.3.1 Variables linguistiques

L'ensemble de référence d'un mot du langage naturel s'appelle l'univers du discours. L'univers du discours d'un mot est un ensemble de termes qui évoquent le même concept mais à degrés différents. Il peut être fini ou non (Fig. III.1).



**Fig. III.1** Variable linguistique

Une variable linguistique représente un état dans le système à régler. Chaque variable linguistique est caractérisée par un ensemble tel que [18].

$\{x, T(x), U, G, M\}$

Où :

$x$  : est le nom de la variable,

$T(x)$  : est l'ensemble des valeurs linguistiques que peut prendre  $x$ ,

$U$  : est l'univers du discours associé avec la valeur de base,

$G$  : est la règle syntaxique pour générer les valeurs linguistiques de  $x$ ,

$M$  : est la règle sémantique pour associer un sens à chaque valeur linguistique

### III.3.2 Notion d'appartenance partielle

Dans la théorie des ensembles classiques, 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 [19]. 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 ne sont pas

« nets », mais « flous » ou « graduels » [20].

### III.3.3 caractéristiques des ensembles flous

- **Son support** : qui est l'ensemble des éléments de U qui appartiennent au moins un peu à A. Il est défini par :

$$\text{Supp}(A) = \{x \in U / \mu_A(x) > 0\} \quad (1.1)$$

Un ensemble flou dont le support est un singleton flou dans U avec  $\mu_A(x) = 1$  est appelé « singleton flou ».

- **Sa hauteur** : qui est sa plus grande valeur prise par sa fonction d'appartenance. Elle est défini par :

$$H(A) = \sup \{ \mu_A(x) / x \in U \} \quad (1.2)$$

- **Son noyau** : qui est l'ensemble des éléments de U pour lesquels la fonction d'appartenance de A vaut 1. Il est défini par :

$$\text{Noy}(A) = \{x \in U / \mu_A(x) = 1\} \quad (1.3)$$

Lorsque le noyau est réduit à un point, celui-ci est appelé « valeur modale ». Pour le triangle, elle correspond à la valeur du sommet. [21 ,22].

### III.3.4 Fonctions d'appartenance

Chaque sous-ensemble flou peut être représenté par sa fonction d'appartenance. En général la forme de fonctions d'appartenance dépend de l'application, et peut être triangulaire, trapézoïdale ou en forme de cloche comme le montre la (Fig. III.2).

- **Fonction triangulaire**

Elle est définie par trois paramètres {a, b, c}, qui déterminent les coordonnées des trois sommets (Fig. III.2-a)

$$\mu(x) = \max(\min((x-a)/(b-a), (c-x)/(c-b)), 0) \quad (1.4)$$

- **Fonction trapezoidale**

Elle est définie par quatre paramètres  $\{a, b, c, d\}$ , (Fig. III.2-b)

$$\mu(x) = \max(\min((x-a)/(b-a), 1, (d-x)/(d-c)), 0) \quad (1.5)$$

- **Fonction gaussienne**

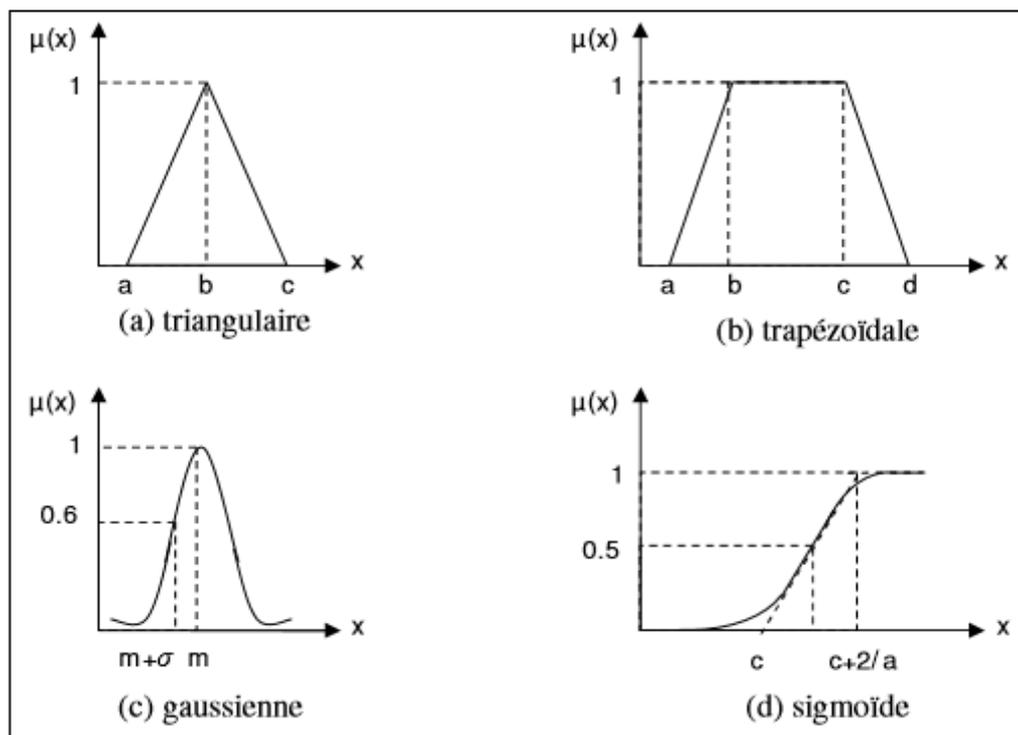
Elle est définie par deux paramètres  $\{\sigma, m\}$ , (Fig. III.2-c)

$$\mu(x) = \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1.6)$$

- **Fonction sigmoïde**

Elle est définie par deux paramètres  $\{a, c\}$ , (Fig. III.2-d)

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \exp(-a(x-c))} \quad (1.7)$$



**Fig. III.2** Formes usuelles des fonctions d'appartenance

### III.3.5 Opérations sur les ensembles flous

Soient A et B deux ensembles flous dans U ayant respectivement  $\mu_A$ ,  $\mu_B$  comme fonctions d'appartenance. L'union, l'intersection et la complémentation des ensembles flous sont définis à l'aide de leur fonction d'appartenance [25].

- **Union** : L'union de deux sous-ensembles flous A et B de E est un sous-ensemble flou

$A \cup B$  qui est définie par le plus grand sous-ensemble flou qui contient A et qui contient B. Sa fonction d'appartenance est donnée par :

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max [\mu_A(x), \mu_B(x)], \forall x \in E \quad (1.8)$$

- **Intersection** : L'intersection de deux sous-ensembles flous A et B de E est un sous-ensemble flou  $A \cap B$  qui est défini par le plus petit sous-ensemble contenu à la fois dans A et dans B. Sa fonction d'appartenance est donnée par :

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min [\mu_A(x), \mu_B(x)], \forall x \in E \quad (1.9)$$

- **Complément** : Le complément d'un sous-ensemble flou A de E est un ensemble flou dénoté par  $\bar{A}$  dont la fonction d'appartenance est donné par :

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (1.10)$$

- **Inclusion** : Soit les deux sous-ensembles flous A et B de l'ensemble E, on dira que A est inclu dans B si :

$$\forall x \in E : \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad (1.11)$$

Et on notera alors :  $A \subset B$

### III.3.6 Règles linguistiques

L'idée principale des systèmes basés sur la logique floue, est d'exprimer la connaissance humaine sous la forme de règles linguistiques de forme **Si...alors ...**. Chaque règle a deux parties :

- partie antécédente (prémisse ou condition), exprimée par **Si...**,
- partie conséquente (conclusion) exprimée par **alors**.

La partie antécédente est la description de l'état du système. La partie conséquente exprime l'action que l'opérateur qui contrôle le système doit exécuter. Chaque règle floue est basée sur l'implication floue.

Il y a plusieurs formes de **Si...alors ...** la forme générale est :

**Si** (un ensemble de conditions est satisfait) **alors** (un ensemble de conséquences peut être exécuté).

Zadeh a été le premier à introduire la notion de règle floue sous la forme [14]:

Règle : Si x est A, alors y est B. Exemple :

### III.3.7 Mécanisme d'inférence floue

Le principe de base de l'inférence dans la logique classique est le **modus ponens**, selon lequel on peut inférer la vérité d'une proposition B à partir de la vérité de la proposition A et de l'implication  $A \rightarrow B$ . Par exemple, si la proposition est identifiée par 'Jone est dans l'hôpital' et B par 'Jone est malade' alors si 'Jone est dans l'hôpital' est vraie 'Jone est malade' est aussi vraie. Alors que, dans la logique floue, l'inférence est basée sur le **modus ponens généralisé** (generalised modus ponens ou GMP) qui est défini dans ce qui suit :

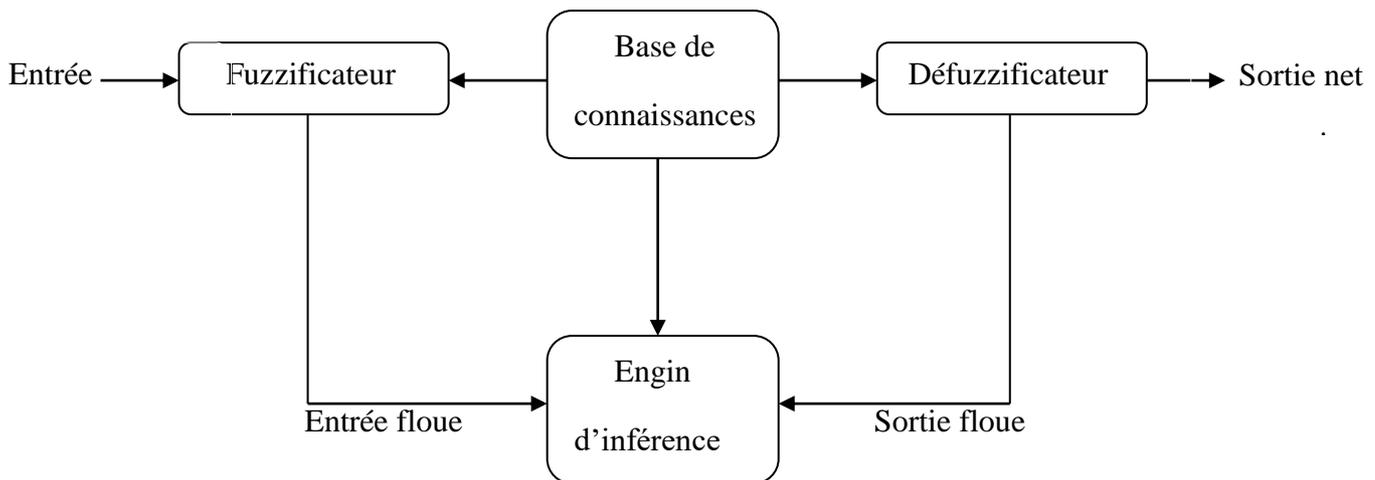
- Prémisse : x est A`
- Implication : si x est A, alors y est B
- Conséquence : y est B`

Où x et y sont des variables linguistiques ; A, A', B, B' sont les valeurs linguistiques définies dans les univers du discours de x et y. Si  $A' = A$  et  $B' = B$ , le **GMP** est réduit au **modus ponens**.

Si  $B' = \text{not } B$  et  $A' = \text{not } A$ , on peut le réduire au **modus tollens classique**.

### III.3.8 Structure générale d'un système flou [27, 29,30]

Le système à base de la logique floue est composé de quatre blocs principaux (Fig. III.3).



**Fig. III.3** Structure générale d'un système basé sur la logique floue

- Fuzzificateur
- Base de connaissances floues,
- Engin d'inférence floue,
- Défuzzificateur.

Chacun de ces blocs fera l'objet d'un développement détaillé.

#### a. Fuzzificateur

Le fuzzificateur effectue la conversion de l'entrée numérique observée

$(U_o = U_{o1}, U_{o2}, U_{o1}, \dots, U_{on})$   $U$  en un ensemble flou

$F_x = F_{x0} \times f_{x1} \times \dots \times f_{xn}$  Définie dans  $U$ .

Cette opération est nécessaire, car dans les applications de la logique floue, les données observées sont souvent numériques, mais dans le système flou la manipulation des données sont basée sur la théorie des ensembles flous [27].

Il y'a au minimum deux choix pour cette conversion :

##### a.1 Fuzzification singleton

Où l'opérateur de fuzzification converti l'entrée numérique  $u_o \in U$  en un singleton

flou  $F_x$  dans tel que :

$$\mu_{F_x}(u) = 1 \quad \text{Si } U = U_o \quad (1.12)$$

$$\mu_{F_x}(u) = 0 \quad \text{Si } U \neq U_o \quad (1.13)$$

Cette stratégie est largement utilisée dans les applications de contrôle flou, car elle est facile à implémenter.

### a.2 Fuzzification non – singleton

Est une fuzzification pour laquelle  $\mu_{F_x}(u)$  est égal à l'unité si  $u = u_0$  et décroît quand on s'éloigne de  $u_0$ . Par exemple :

$F_x(u) = \exp(- (u - u_0) T \cdot (u - u_0) / \sigma^2)$ , où  $\sigma$  est un paramètre caractérisant la forme de  $\mu_{F_x}$ .

### b. Inférence floue

Il est mentionné que les inférences floues sont basées sur l'implication floue de type **modus ponens** généralisé. Les inférences lient les grandeurs mesurées et les variables de sorties par des règles linguistiques. Ces règles sont combinées en utilisant les connections **et** et **ou**. Supposons que le système flou a deux entrées  $x$ ,  $y$  et une sortie  $z$  et que l'on a défini  $n$  règles linguistiques comme suit :

$$\text{Si } x=A_1 \text{ et } y=B_1 \text{ alors } z=C_1 \quad (1.14)$$

$$\text{Si } x=A_2 \text{ et } y=B_2 \text{ alors } z=C_2 \quad (1.15)$$

...

$$\text{Si } x = A_n \text{ et } y = B_n \text{ alors } z = C_n$$

Où  $x$ ,  $y$  et  $z$  sont des variables linguistiques qui représentent les variables d'état de

Processus et variables de contrôle ;  $A_i$ ,  $B_i$  et  $C_i$  ( $i=1, n$ ) sont les sous-ensembles flous

définis dans les ensembles de référence pour  $x$ ,  $y$  et  $z$  respectivement. en toute généralité, n'importe quelle combinaison des opérateurs **ou**, **et** et **non** peut apparaître dans la condition d'une règle, suivant les conditions imposées par le système à régler.

Où  $x$ ,  $y$  et  $z$  sont des variables linguistiques qui représentent les variables d'état de processus et variables de contrôle ;  $A_i$ ,  $B_i$  et  $C_i$  ( $i=1, n$ ) sont les sous-ensembles flous définis dans les ensembles de référence pour  $x$ ,  $y$  et  $z$  respectivement. en toute généralité, n'importe quelle combinaison des opérateurs **ou**, **et** et **non** peut apparaître dans la condition d'une règle, suivant les conditions imposées par le système à régler [29].

### c. Type d'inférences floues

Il y a plusieurs sortes d'inférences floues parmi lesquels :

#### c.1 méthode Max-prod

La méthode d'inférences max-prod réalise en générale, au niveau de la condition, l'opérateur OU par la formation du maximum et l'opérateur ET par la fonction du minimum.

Par contre, la conclusion dans chaque règle, introduite par ALORS, qui lie le facteur d'appartenance de la condition avec la fonction d'appartenance de la variable de sortie par l'opérateur ET est réalisée cette fois-ci par la formation du produit. L'opérateur OU qui lie les différentes règles est réalisé de nouveau par la formation du maximum. Comme on le voit, le OU, liant les règles est réalisé par la formation du maximum et la ALORS est réalisé par la formation du produit, d'où la désignation de cette méthode d'inférence par max-prod. Pour chaque règle, la fonction d'appartenance partielle  $\mu_{Ri}(x_R)$  est donnée par la relation [29]:

$$\mu_{Ri}(x_R) = \mu_{ci} \times \mu_{oi}(x_R) ; i = 0, 1, 2, \dots, m. \quad (1.16)$$

Pour la fonction d'appartenance résultante, on obtient :

$$\mu_{Res}(x_R) = \max [\mu_{R1}(x_R), \mu_{R2}(x_R), \dots, \mu_{Rm}(x_R)] \quad (1.17)$$

Elle est graphiquement expliquée sur la (Fig. III.8-a). (Fig. III.4)

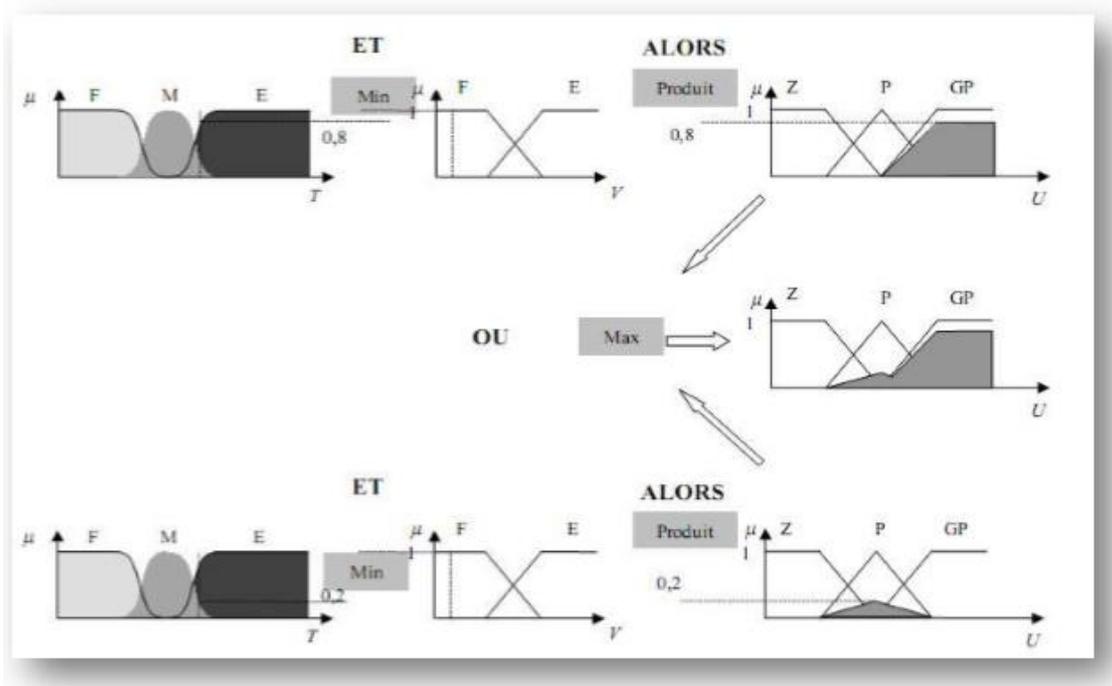


Fig. III.4 Exemple d'inférence Max-Produit

**c.2 méthode Min-max**

La méthode d'inférences max-min réalise, au niveau de la condition l'opérateur OU par la formation du maximum et l'opérateur ET par la formation du minimum. La conclusion dans chaque règle, introduite par ALORS, lit le facteur d'appartenance de la condition avec la fonction d'appartenance de la variable de sortie par l'opérateur ET, réalisé dans le cas présent par la formation du minimum. Enfin l'opérateur OU qui lie les différentes règles est réalisé par la formation du maximum. (Fig. III.5.b)

A noter que désignation de la méthode d'inférence (min-max dans le cas présent) se rapporte à la réalisation de OU liant les règles (max) et la réalisation de ALORS (min). Pour chaque règle, on obtient la fonction d'appartenance partielle par la relation :

$$\mu_{Ri}(x_R) = \min [\mu_{ci}, \mu_{oi}(x_R) \dots \dots \dots i = 0,1,2, \dots, m] \tag{1.18}$$

Où  $\mu_{oi}(x_R)$  est la fonction d'appartenance liée à l'opération imposée par la règle  $R_i$ ,  $\mu_{ci}$  est le facteur d'appartenance. La fonction d'appartenance résultante est alors donnée par :

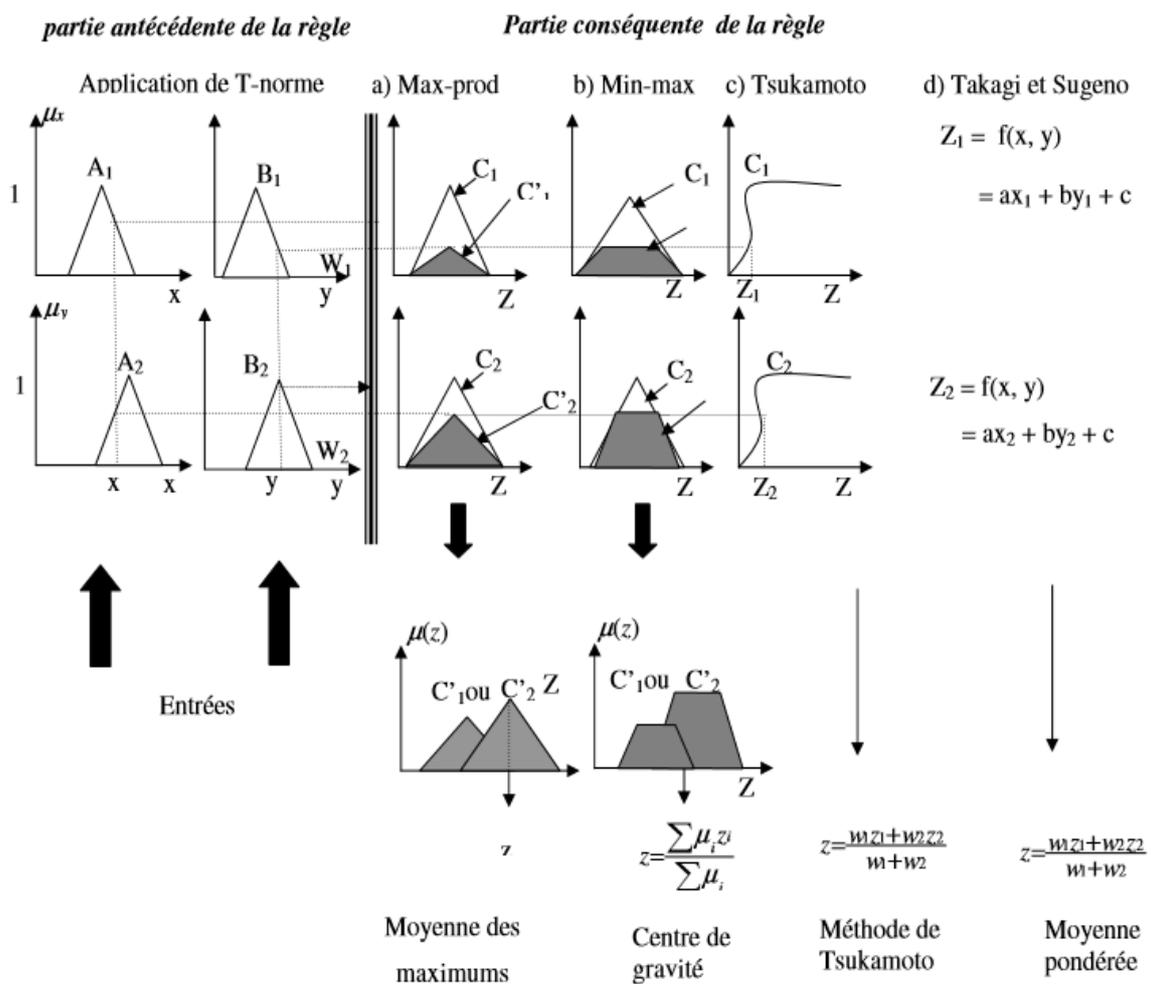
$$\mu_{Res}(x_R) = \max [\mu_{R1}(x_R), \mu_{R2}(x_R), \dots \dots \dots, \mu_{Rm}(x_R)] \tag{1.19}$$

**c.3 Méthode de Tsukamoto**

Les fonctions d'appartenances des sorti doivent être monotons et non décroissantes. La sortie de chaque règle est une valeur de la fonction de poids d'activation. La valeur de commande est la moyenne pondérée des poids d'activation et de sorties de fonctions d'appartenances. (Fig. III.5.c)

**c.4 Méthode de Takagi et sugeno**

Chaque fonction d'appartenance de la sortie est une combinaison linéaire de valeurs d'entrée (Fig. III.5.d). La sortie précise est la moyenne pondérée des poids d'activation et des sorties de fonctions d'appartenance. La méthode de **Sugeno**, où les fonctions d'appartenance sont des valeurs précises, constitue un cas particulier de cette méthode.



**Fig. III.5** Méthodes de raisonnement dans les systèmes flous

**c.5 Méthode somme –prod**

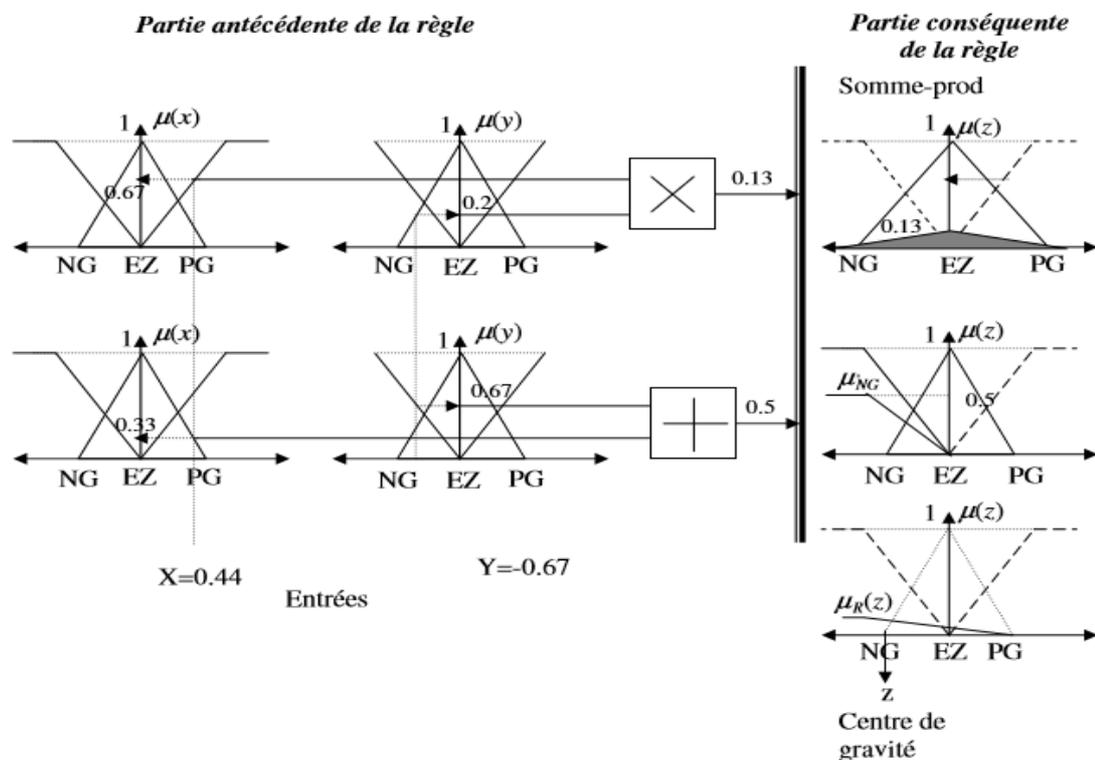
Par opposition aux méthodes d'inférence précédentes, la méthode d'inférence somme prod réalise, au niveau de la condition, l'opérateur OU par la formation de la somme, plus précisément par la valeur moyenne, tandis que l'opérateur ET est réalisé par la formation du produit. La conclusion de chaque règle, précédée par ALORS, liant le facteur d'appartenance de la condition avec la fonction d'appartenance de la variable de sortie par l'opérateur ET, est réalisée par la formation du produit. L'opérateur OU qui lie les différentes règles est réalisé par la formation de la somme, donc de la valeur moyenne. En toute généralité, on obtient la fonction d'appartenance partielle  $\mu_{Ri}(x_R)$  de chaque règle par la relation :

$$\mu_{Ri}(x_R) = \mu_{ci} \times \mu_{oi}(x_R); i = 0, 1, 2, \dots, m. \tag{1.20}$$

La fonction d'appartenance résultante est donnée par :

$$\mu_{Res}(x_R) = \Sigma [\mu_{R1}(x_R), \mu_{R2}(x_R), \dots, \mu_{Rm}(x_R)] / m. \tag{1.21}$$

où m est le nombre de règle intervenant dans l'interface. La méthode d'inférence **somme-prod** est représentée graphiquement à la (Fig. III.6).



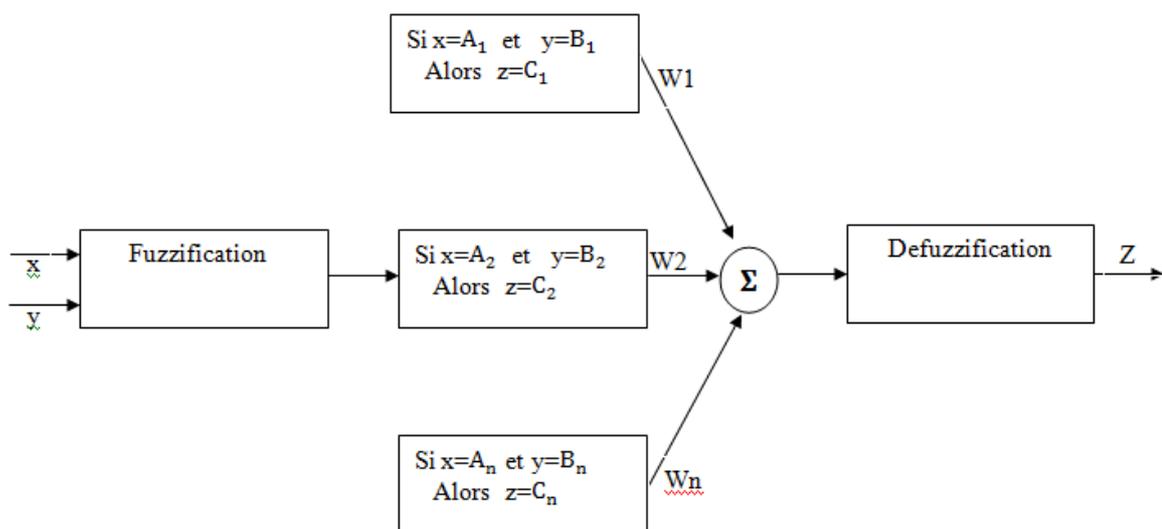
**Fig. III.6** Méthode d'inférence somme-prod

#### d. Activation de règles linguistiques

On considère un système flou avec  $n$  règles linguistiques :

- Si  $x=A_1$  et  $y=B_1$  alors  $z=C_1$
- Si  $x=A_2$  et  $y=B_2$  alors  $z=C_2$
- ...
- Si  $x=A_n$  et  $y=B_n$  alors  $z=C_n$

Où  $x$ ,  $y$  et  $z$  sont des variables linguistiques qui représente les variables d'état du processus et la variable de contrôle ;  $A_i$ ,  $B_i$  et  $C_i$  ( $i=1, n$ ) sont les sous-ensembles flous définis dans les ensembles de référence pour  $x$ ,  $y$  et  $z$  respectivement. Le schéma de ce système est représenté sur (Fig. III.7) [30].



**Fig. III.7** Structure générale de la partie floue du système

Dans le sens mathématique, l'activation de règles est l'application de **T-normes** pour obtenir le poids d'activation de chaque règle. D'habitude, cela veut dire que l'on applique l'opérateur **min** ou le **produit** sur les valeurs d'appartenance.

Dans le cas du système de la (Fig. III.10), le poids  $W_i$  obtenu de la  $i$ -ème règle est :

$$w_i = \mu_{A_i}(x) \text{ et } \mu_{B_i}(y) \quad (1.22)$$

où  $\mu_{A_i}(x)$  et  $\mu_{B_i}(y)$  sont des valeurs d'appartenance de  $x$  et  $y$  respectivement aux sous-ensembles  $A_i$  et  $B_i$ . Cela veut dire que la partie conséquente de la  $i$ -ème règle ( $z=C_i$ ) doit être activée avec un niveau de vérité  $W_i$  (poids d'activation, niveau d'activation).

### III.3.9 Defuzzification

Le résultat d'une inférence floue est une fonction d'appartenance. C'est un sous-ensemble flou. Un organe de commande nécessite un signal de commande précis. la transformation floue en une information signal et la conversion digitale/analogique. Il y a plusieurs méthodes de defuzzification déterminée est la defuzzification (concrétisation). De plus, on doit souvent prévoir un traitement du proposée dans la littérature. Il n'y a pas de stratégie systématique pour choisir parmi l'une de ces méthodes.

#### a. Méthode du centre de gravité

L'abscisse du centre de gravité peut être déterminée en utilisant la formule générale

$$x = \frac{\int_{x_0}^{x_1} xu(x)dx}{\int_{x_0}^{x_1} u(x)dx} \quad (1.23)$$

L'intégrale au dénominateur donne la surface, tandis que L'intégrale au numérateur correspond au moment de la surface.

Lorsque la fonction  $\mu(z)$  est discrétisée (Fig. III.8), le centre de gravité est donné par :

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n u_i z_i}{\sum_{i=1}^n u_i} \quad (1.24)$$

où  $n$  est le nombre le niveaux de candisation,  $z_i$  la valeur de sortie pour le niveau  $i$  et  $\mu_i$  d'appartenance.

#### b. Méthode de moyenne de maximum

Cette méthode génère une commande précise en calculant la moyenne des valeurs pour Lesquelles l'appartenance est maximale(Fig.III.9).

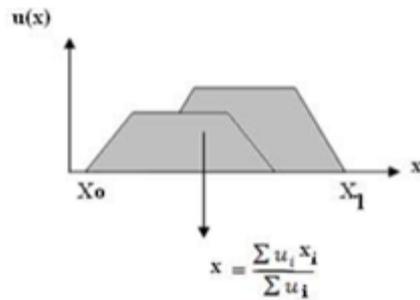


Fig. III.8 defuzzification par

La méthode de centre de gravité.

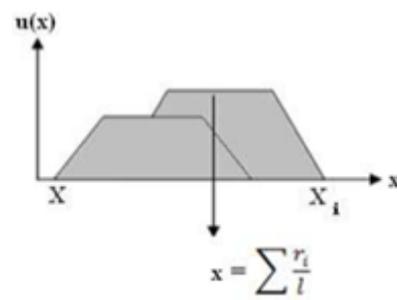


Fig. III.9 defuzzification par la

Méthode moyenne de maximum.

Si la fonction est discrétisée, comme montré à la (Fig. I.12), la valeur défuzzifiée est donnée par :

$$z = \sum_{i=1}^l \frac{r_i}{l} \quad (1.25)$$

Où l est le nombre de valeurs quantifiées r pour lesquelles l'appartenance est maximale.

### c. Méthode de tsukamoto

Si l'on utilise les fonctions d'appartenances monotones et non décroissantes pour la sortie, (Fig. III.5.c), la valeur précise de la commande est calculée comme :

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n w_i z_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1.26)$$

Où n est le nombre de règles activées avec le poids  $\mathbf{W}_i > 0$  et  $Z_i$  la valeur de la fonction de sortie pour la règle i.

### d. Méthode de moyenne pondérée

Cette méthode est utilisée lorsque les sorties sont définies comme fonctions linéairement dépendantes d'entrées, comme montré sur la (Fig.III.5.d). En général, la partie conséquente de la règle est :

$$Z=f(x, y)$$

Si  $\mathbf{W}_i$  est le poids d'activation de la règle i, la valeur précise de la commande est :

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n w_i f(x_i, y_i)}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1.27)$$

Où  $n$  est le nombre de règles activées. [29]

### III.4 Avantages et inconvénients de réglage par logique floue

#### a. Avantages

Les avantages principaux des régulateurs flous sont les suivants :

- L'incorporation directe des informations floues et linguistiques, provenant d'un expert humain, dans le système flou.
- Il n'y a pas nécessaire de faire un modèle mathématique du système à régler.
- Le système flou est une approximation universelle, c'est-à-dire, il est suffisamment général pour générer n'importe quelle action.
- La logique floue est facile à comprendre par ceux qui ne sont pas des spécialistes, car elle imite la stratégie du raisonnement humain.
- On peut maîtriser les systèmes non linéaires et difficiles à modéliser.

#### b. Inconvénients

- Manque de directives précises pour la conception d'un régulateur,
- Précision de réglage en général peu élevée.

### III .5 conclusion

Dans ce partie on procède tout d'abord à la partition en sous-ensembles flous des différents univers de discours que le système impose. Ensuite on détermine la base de règles qui va caractériser le fonctionnement désiré du système. Puis il faut transformer les variables réelles, c'est à dire celles qui ont une réalité physique, en variables floues. On appelle cette étape la Fuzzification On utilise ensuite ces variables floues dans un mécanisme d'inférence qui crée et détermine les variables floues de sortie en utilisant les opérations sur les fonctions d'appartenance. Enfin, on opère à la défuzzification qui consiste à extraire une valeur réelle de sortie à partir de la fonction d'appartenance du sous-ensemble flou de la sortie établi par le mécanisme d'inférence.

# **CHAPITRE IV**

## **Résultats & Interprétations**

## IV.1 Introduction

Dans notre étude nous utilisons la logique floue pour prédiction de l'état de surface d'un isolateur. Il est soumis sous l'influence de la tension appliquée, la conductivité, la pollution dans les zones. L'application de cette technique dans telle étude exige la définition de ces différents paramètres nécessaires pour son implémentation, la tension applique et la conductivité de la couche polluante et la pollution des zones.

L'étape primordiale pour l'implémentation de la logique floue est de déterminer la table d'inférence, la base des données utilisées pour concevoir la table d'inférence et des essais expérimentaux qui ont été réalisé au laboratoire de haute tension par la référence [32].

## IV.2 Isolateur de haute tension de type 175 CTV

Un isolateur de haute tension de type 175 CTV est utilisé dans les lignes de haute tension La photo suivante montre sa composition et surtout ces nervures qui seront par la suite remplisse par une pollution artificielle comme sera détaillée.



**Photo IV.1** isolateur de haute tension de type 175 CTV

### IV.2.1 Information sur le dispositif étudié

- Isolateur 175 CTV

**Utilisation :** Isolement des lignes 20et 30 kV,

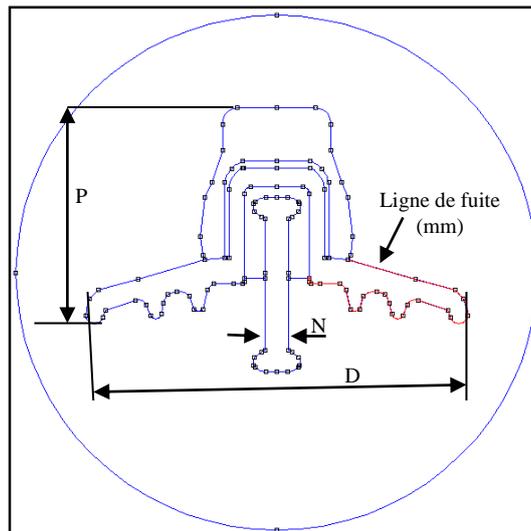
**Montage :** Par logement de rotule et rotule,

**Matière Diélectrique :** verre trempé,

**Capot :** Alliage Métallique,

**Tige :** Acier galvanisé,

**Goupille :** Alliage métallique.



**Fig. IV.1** Isolateur175CTV

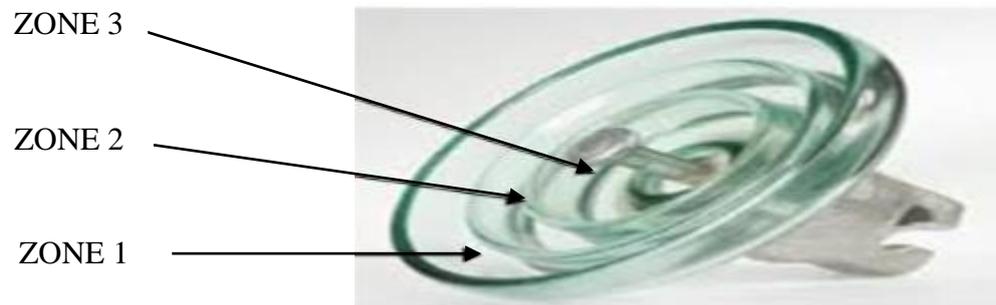
Le tableau (IV.1) représente des dimensions de l'isolateur 175 CTV utilise durant les essais de laboratoire HT.

**Tab. IV.1** désignation de l'isolateur 175 CTV

Désignation	D (mm)	P (mm)	N (mm)	Longueur de fuite (mm)	Pds (kg)
CTV	175	110	11	185	1.5

1. **Le poids pds** : poids d'une seule pièce d'isolateur 175 CTV
2. **Le diamètre D** : c'est la distance qui représente l'espace entre les deux extrémités de l'isolateur.
3. **Le pas P** : c'est la distance séparant deux parties homologues de deux isolateurs consécutifs dans une chaîne. La détermination de ce paramètre nous permet donc de connaître la longueur d'une chaîne ayant un nombre donné d'isolateurs.
4. **La largeur N** : c'est l'épaisseur de la tige
5. **Longueur de fuite Lf** : C'est la plus courte distance, suivant les contours de la surface extérieure des parties isolantes, mesurée entre les parties métalliques.

### IV.2.2 Répartition de la pollution dans l'isolateur



**Photo IV.2** Répartition des zones de l'isolateur étudié

**Remarque :** nous voyons que l'isolateur se compose de trois zones différentes, chaque zone sera polluée artificiellement par un certain niveau de pollution.

Les zones sont remplies comme suit :

**Tab. IV.2** Partition des zones polluées sur les niveaux [32]

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

Ce tableau représente les niveaux de pollution dans les différentes zones d'un isolateur de haute tension 175 CTV, en divisant chaque zone en trois niveaux.

### IV.3 L'augmentation de la tension de contournement

- 1- Apparition de l'effet couronne.
- 2- Apparition des étincelles voir (photo IV.3), qui varie avec la variation de la conductivité.
- 3- Apparition des arcs voir (photo IV.4), qui varie avec la variation de la conductivité.
- 4- Contournement de l'isolateur voir (photo e IV.5).



**Photo IV.3** Apparition des étincelles



**Photo IV.4** Evolution des arcs



**Photo IV.5** Evolution de contournement

**Tab. IV.3** Tension de contournement en fonction des différentes conductivités et niveau des pollutions

Les zones S Salinité (g/l)	Zone1 (ml)	Zone2 (ml)	Zone3 (ml)	Tension de Contournement Uc (kv)
<b>7.5</b>	N1 11.66	13.33	23.33	<b>45.842</b>
	N2 23.32	26.66	46.66	<b>39.738</b>
	N3 34.98	39.99	69.99	<b>34.832</b>
<b>80</b>	N1 11.66	13.33	23.33	<b>39.598</b>
	N2 23.32	26.66	46.66	<b>36.288</b>
	N3 34.98	39.99	69.99	<b>33.712</b>
<b>120</b>	N1 11.66	13.33	23.33	<b>38.584</b>
	N2 23.32	26.66	46.66	<b>35.48</b>
	N3 34.98	39.99	69.99	<b>33.6</b>

D'après les résultats présents nous constatons que la tension de contournement diminue en tant que la conductivité augmente ce qui explique la diminution de la rigidité diélectrique de l'isolateur.

Base de données : la base de données utilisé pour concevoir l'algorithme de la logique floue est issu des résultats expérimentaux [32].

Les résultats sont résumés dans le tableau (IV.3)

#### **IV.4 Influence de la conductivité**

Nous constatons que plus la conductivité est élevée plus la tension de contournement mesurée diminue, ceci est valable quel que soit le niveau de pollution dans les 3 zones donc lorsque la conductivité augmente la tension de contournement décroît. En effet, il est tout à fait évident que la tension de contournement prélevée dans le cas où la pollution est plus faible (conductivité  $\approx 0$ ) est plus importante. Nous pouvons déduire que le système isolant est plus rigide lorsque la conductivité est faible. Par voie de conséquence le cas le plus défavorable, correspondant à une tension de contournement la plus faible en pleine pollution.

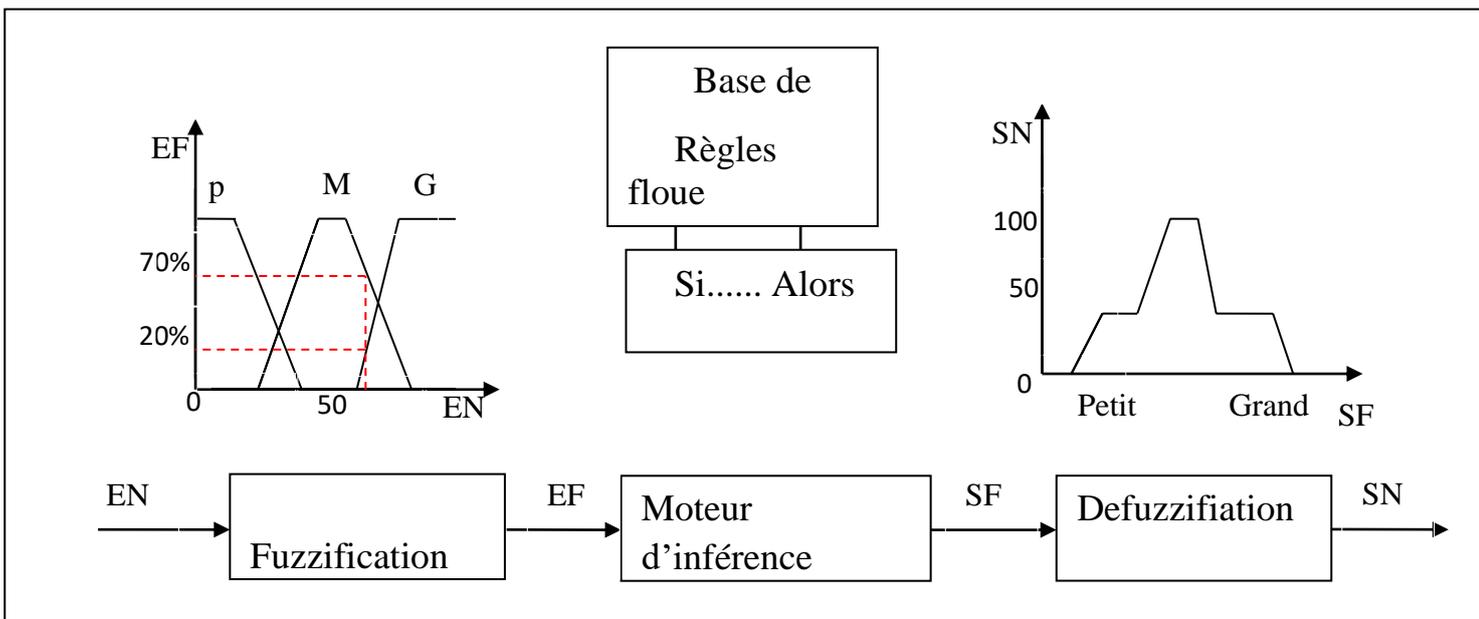
Alors nous pouvons dire que l'impédance équivalente de l'isolateur est proportionnelle avec la conductivité, lorsque la conductivité devient grande lorsque l'impédance déminie et le systeme devient une matière conductrice.

#### IV.5 Système d'inférence floue (SIF)

Le système d'inférence flou est formé de trois blocs comme indiqué sur la (fig. IV.2): La fuzzification : elle transforme les valeurs numériques en degrés d'appartenance aux différents ensembles flous de la partition.

Le moteur d'inférence: il est constitué d'un ensemble de règles qui relient les entrées avec la sortie.

La déffuzzification



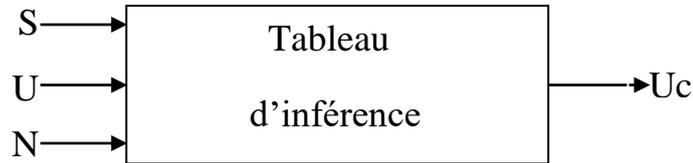
**Fig. IV.2** Système d'inférence flou (SIF)

Les entrées et les sorties utilisées dans le système d'inférence flou sont :

- EN : entrée nette.
- EF : entrée floue.
- SF : sortie floue.
- SN : sortie nette.

### IV.5.1 Système d'inférence flou utilisé

Le SIF utilisé est une méthode d'analyse dite MAMDANI qui est la plus utilisée dans les études de prédiction (Fig. IV.3). La figure suivante montre un exemple de notre système avec les intervalles d'entrée et de sortie.



**Fig. IV.3** Système d'inférence flou (SIF) utilisé

Pour l'entrée floue nous avons choisi cinq entrées qui caractérisent des différents paramètres qui tirent partie dans la prédiction de tension, ils sont représentés comme ceci :

- S (g/l) : la conductivité de la surface de l'isolateur
- U (kv) : la tension appliquée
- N (ml) : la zone de pollution

Et nous avons une seule sortie :

Uc (%) : Le pourcentage de l'avancement de la décharge électrique

### IV.6 Répartition des intervalles des entrées

Les entrées et la sortie doivent être réparties par des intervalles numériques. Les termes linguistiques pour les entrées sont : (TP (très petit), P(petit), M(moyen), G(grand)) et pour la sortie sont (R (rien), CR (couronne), C (contournement)) pour la sortie. La répartition est comme suit :

- S : elle est répartie en trois intervalles : (petite, moyenne, grande) : P [0 – 7.5], M [5 – 40], G [36 – 120].
- U : elle est répartie en trois intervalles : (très petite, moyenne, grande) : T P [0 – 10], P [9 – 20], M [19 – 33], G [30 – 50].

Concernant la pollution elle est répartie réellement dans l'isolateur en trois zones

N1 : pollution dans la zone 1, elle est divisée sur 3 intervalles (petite, moyenne, grande)

P [0 – 6], M [5 – 20], G [17 – 35]

N2 : pollution dans la zone 2, elle est divisée sur 3 intervalles (petite, moyenne, grande) comme suit : P [0 – 6], M [4 – 10], G [9 – 40]

N3 : pollution dans la zone 3, elle est divisée sur trois intervalles (petite, moyenne, grande) : P [0 – 11], M [8 – 23], G [20 – 70].

Pour la sortie floue :

- Uc : elle est répartie en trois intervalles (R, CR, C) : R [0 – 30.3], M [25 – 70], C [60 – 100].

Le tableau IV.4 résume le nombre des intervalles pour l'entrée et le tableau IV.5 représente le nombre des intervalles pour la sortie.

**Tab. IV.4** Nombre d'intervalles flous, nombre et types de fonctions d'appartenances des entrées.

Les entrés	Nombre d'intervalles	Nombre de fonctions	Type de fonctions
Conductivité	3	3	Trapézoïdale et Triangulaire
Tension appliqué	4	4	Trapézoïdale et Triangulaire
Quantité de pollution dans la zone 1	3	3	Trapézoïdale et Triangulaire
Quantité de pollution dans la zone 2	3	3	Trapézoïdale et Triangulaire
Quantité de pollution dans la zone 3	3	3	Trapézoïdale et Triangulaire

**Tab. IV.5** Nombre d'intervalles flous, nombre et types de fonctions d'appartenances de la sortie.

Les sorties	Nombre d'intervalles	Nombre de fonctions	Type de fonctions
Le pourcentage de l'avancement de la décharge	3	3	Trapézoïdale et Triangulaire

#### IV.7 Table d'inférence

La table d'inférence (tab IV.6) 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. Ces résultats dépendent de l'essai expérimental [32]

En effet le tableau d'inférence contient 324 règle qui étai

Les variables linguistiques utilisés dans la table suivant 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-dessous.

En effet le nombre de règle qui existe dans le tableau est 324 règles.

Tableau. IV.6 L'ensemble des règles floue

Les entrées		P1									M1									G1								
		P2			M2			G2			P2			M2			G2			P2			M2			G2		
		P3	M3	G3																								
P	TPu	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
	Pu	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	CR	R	R	CR	CR	CR	CR	R	R	CR	R	R	CR	CR	CR	CR	C
	Mu	R	R	CR	R	R	CR	CR	CR	C	R	R	CR	R	R	CR	CR	CR	C	R	R	CR	R	R	CR	CR	CR	C
	Gu	R	R	CR	R	R	CR	C	C	C	R	R	CR	R	R	CR	C	C	C	CR	CR	C	CR	CR	C	C	C	C
M	TPu	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
	Pu	R	R	R	R	R	R	R	R	CR	R	R	R	R	R	R	R	CR	R	R	R	R	R	R	R	R	R	CR
	Mu	R	R	R	R	R	R	CR	CR	CR	R	R	CR	R	R	CR	CR	CR	C	R	R	CR	R	R	CR	CR	CR	C
	Gu	CR	C	CR	C	CR	CR	C	CR	CR	C	C	C	C														
G	TPu	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
	Pu	R	R	R	R	R	R	R	R	CR	R	R	R	R	R	R	R	CR	R	R	CR	R	R	CR	CR	CR	CR	C
	Mu	R	R	CR	R	R	CR	CR	CR	C	R	R	CR	R	R	CR	CR	CR	C	CR	CR	C	CR	CR	C	C	C	C
	Gu	CR	CR	C	CR	CR	C	C	C	C	CR	CR	C	CR	CR	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C

Le tableau (IV.6) représente 324 règles linguistiques qui nous avons proposé pour notre système d'inférence floue pour faire des relations entre les entrées et la sortie.

Ce nombre de règles était déterminée selon des divers facteurs qui sont représenté par des entrées floues et qui se caractérisent par (trois niveaux de conductivité et quatre niveaux de tension appliquée ainsi que trois niveaux de pollution pour chaque zone) donc le produit de tous ses entrées donneront ( $3*4*3*3*3=324$  règles linguistique).

## IV.8 Prédiction de contournement par la logique floue

Pour prédire le contournement de l'isolateur de haute tension. Nous devons suivre les instructions suivantes :

### IV.8.1 La fuzzification

Cette première étape consiste à transformer les variables (d'entrée et de sortie) en variables linguistiques. Dans notre cas les entrées sont : la tension appliquée, la conductivité et le niveau de pollution et la sortie est : l'état de contournement

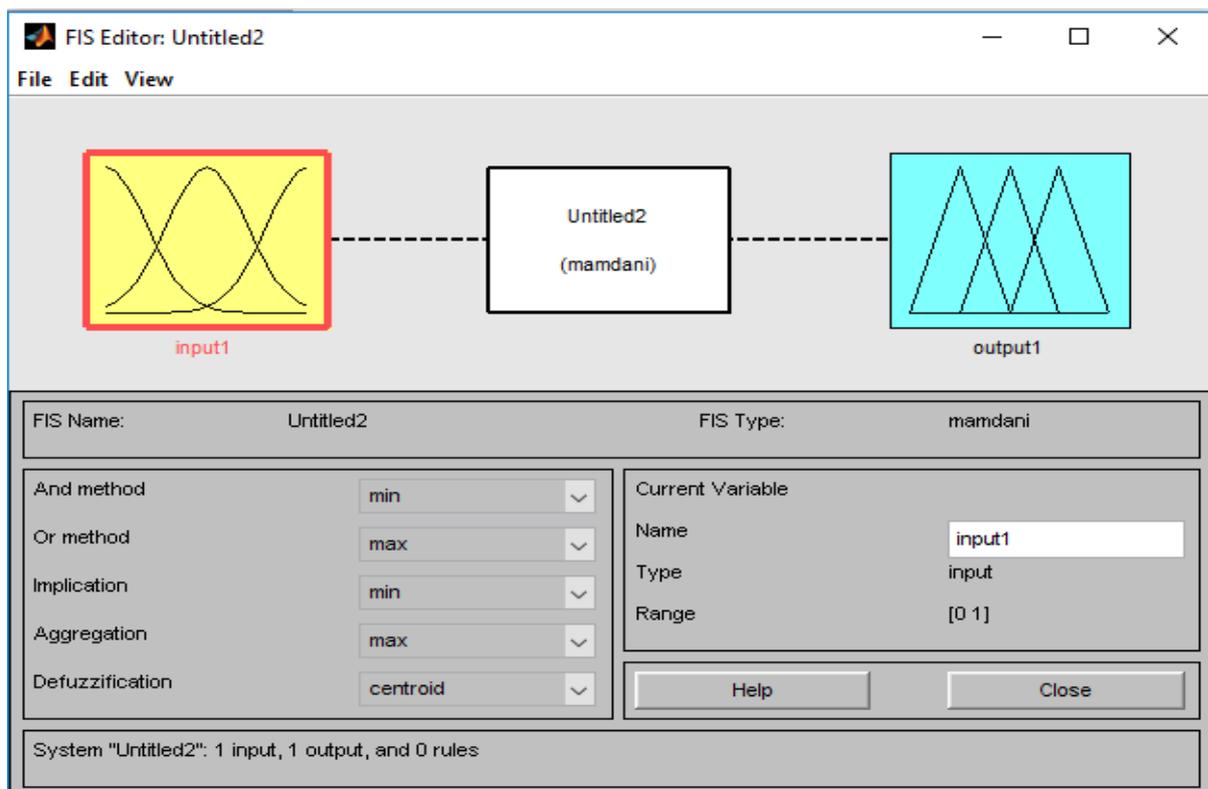
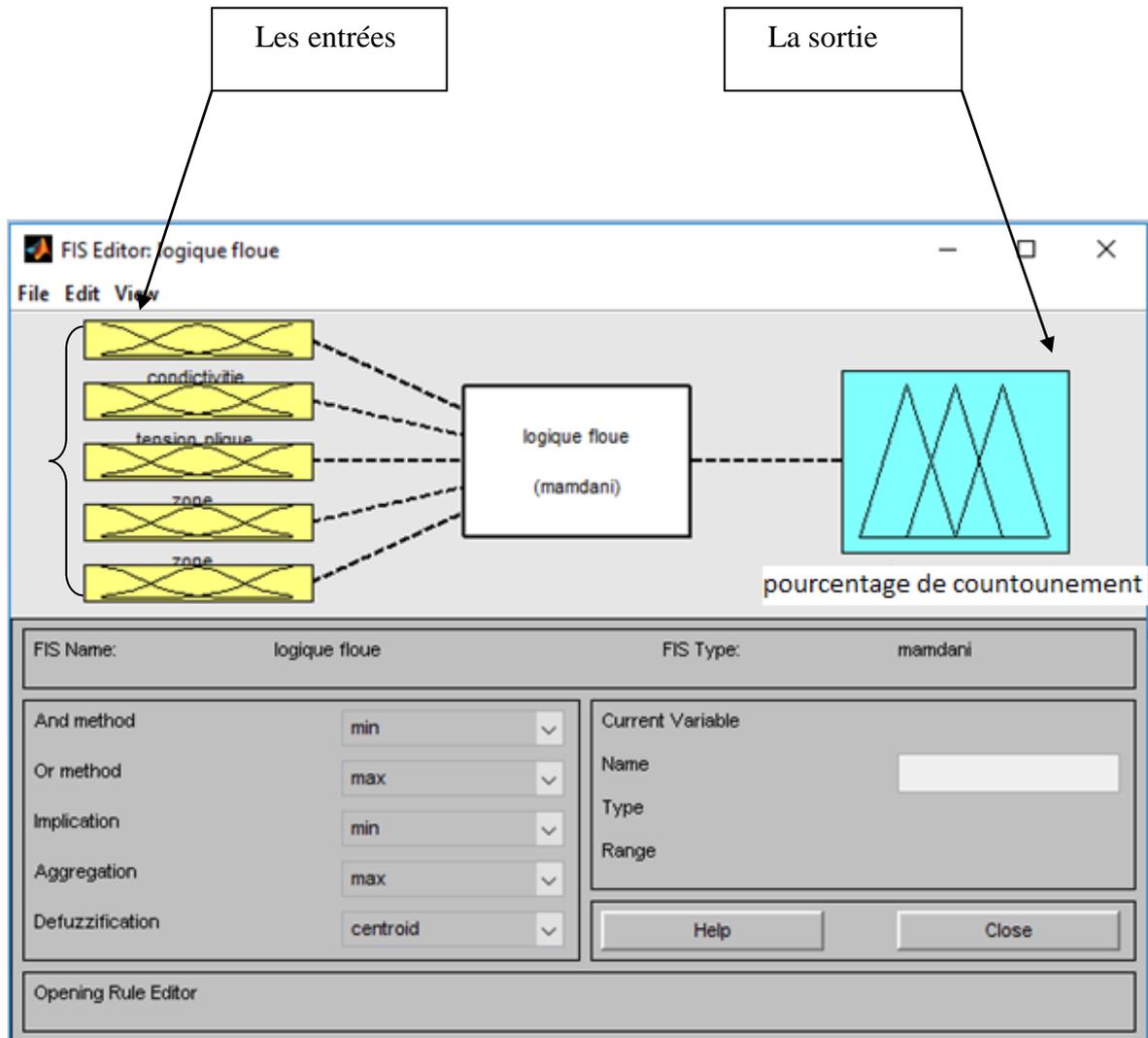


Fig. IV.4 Fenêtre de l'éditeur du SIF sous MATLAB

Cette interface représente le système d'inférence floue qui nous permet de saisir des entrées floues et acquérir des sorties réelles par une méthode de l'analyse d'inférence qui s'appelle MAMDANI .

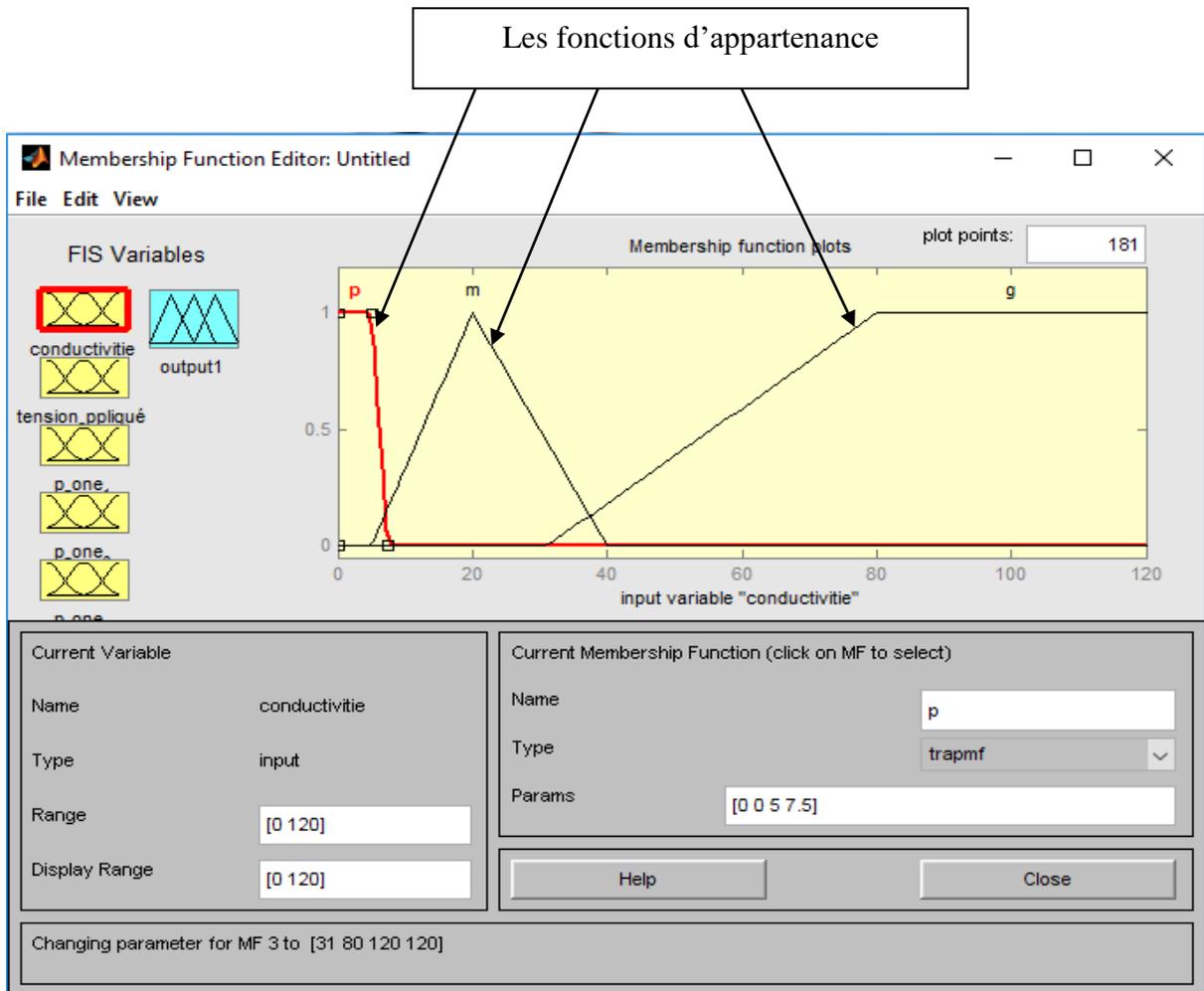
**IV.8.1.1 Définition des entrées**



**Fig. IV.5** Entrées et sortie du SIF proposé

### a. La conductivité (S)

Nous avons effectué trois intervalles flous. (Fig. IV.6 et tableau. IV.4):

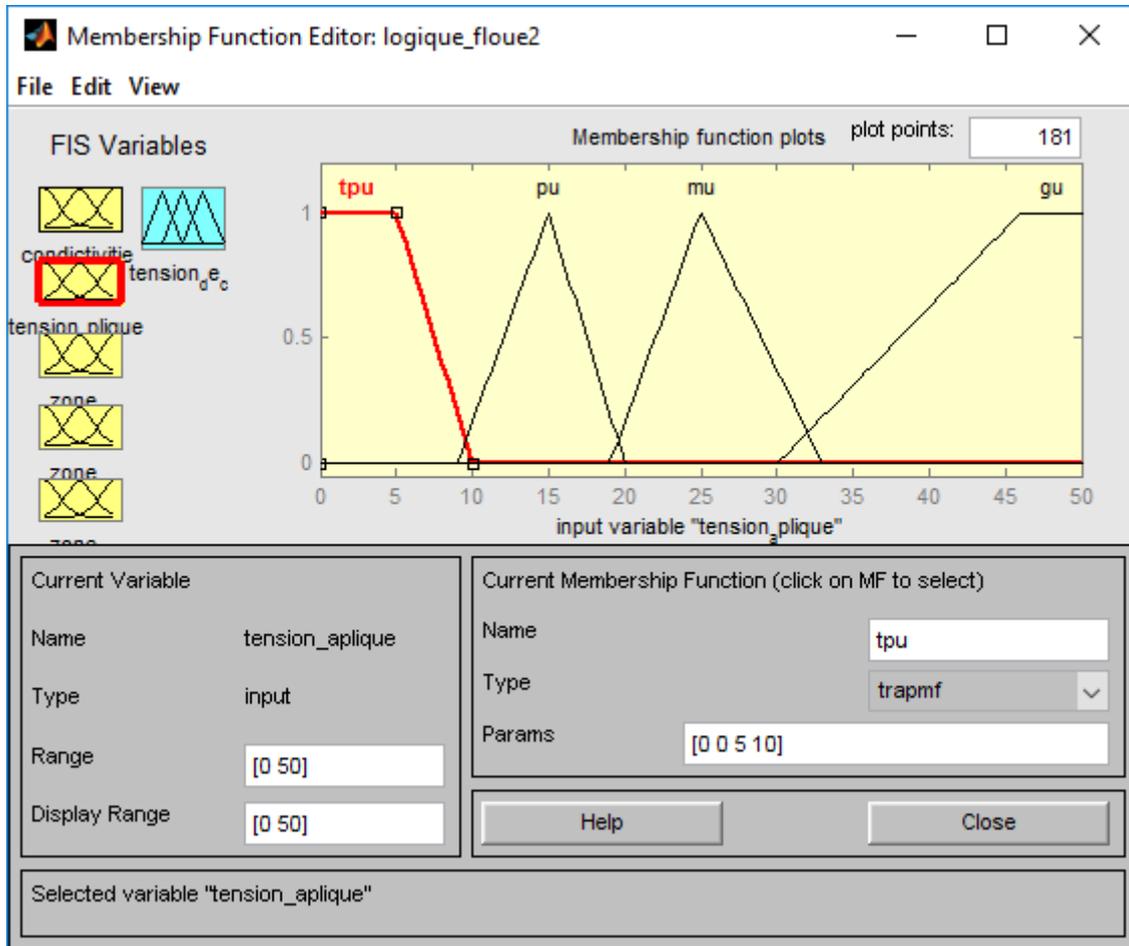


**Fig. IV.6** Fonction d'appartenance de la conductivité de pollution.

Le choix des intervalles a une relation avec les résultats issus de la pratique, le choix des fonctions d'appartenance est faite de façon arbitraire au fil des tests on choisit si c'est la forme sigmoïde, hyperbolique, tangente, triangulaire....

**b. La tension appliquée (U)**

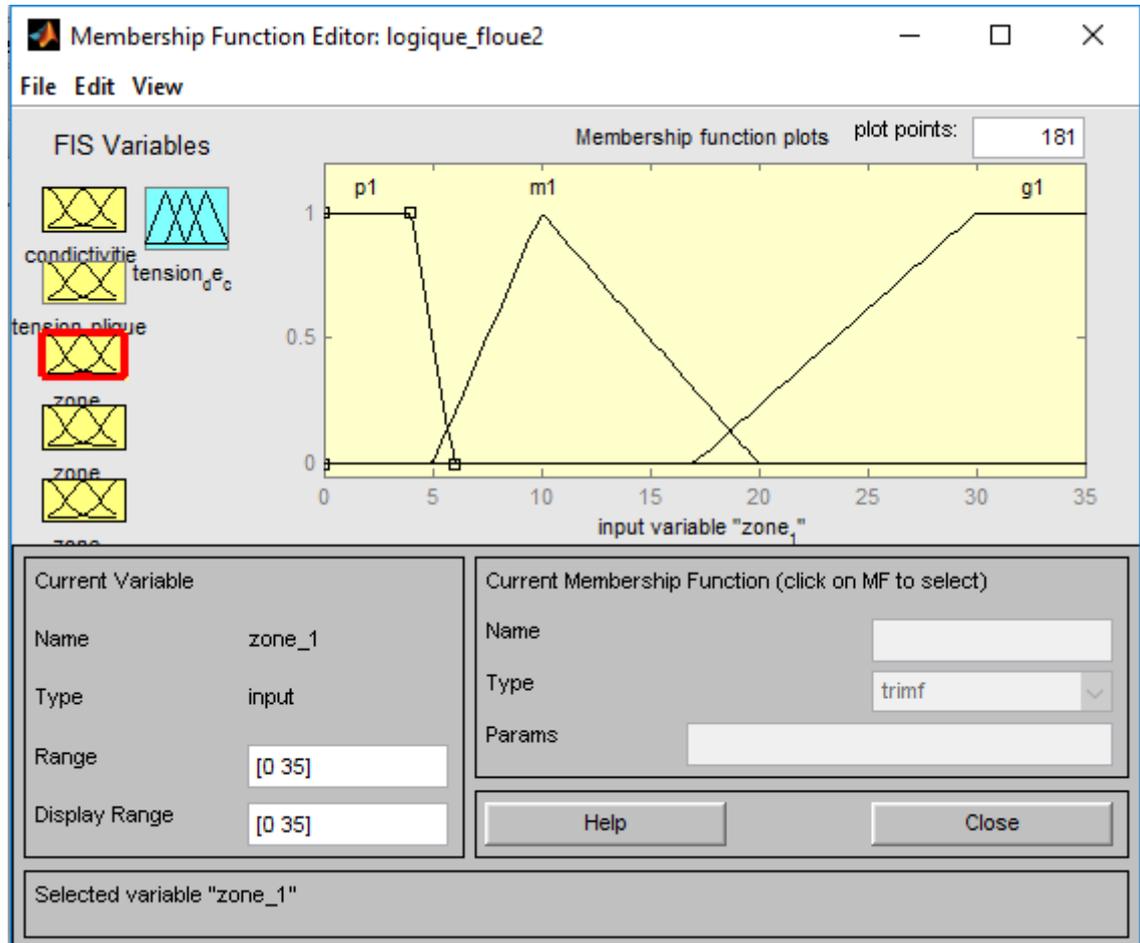
Les intervalles flous de la tension sont répartis en quatre intervalles de la tension totale appliquée (Tab. IV.4 et Fig. IV.7)



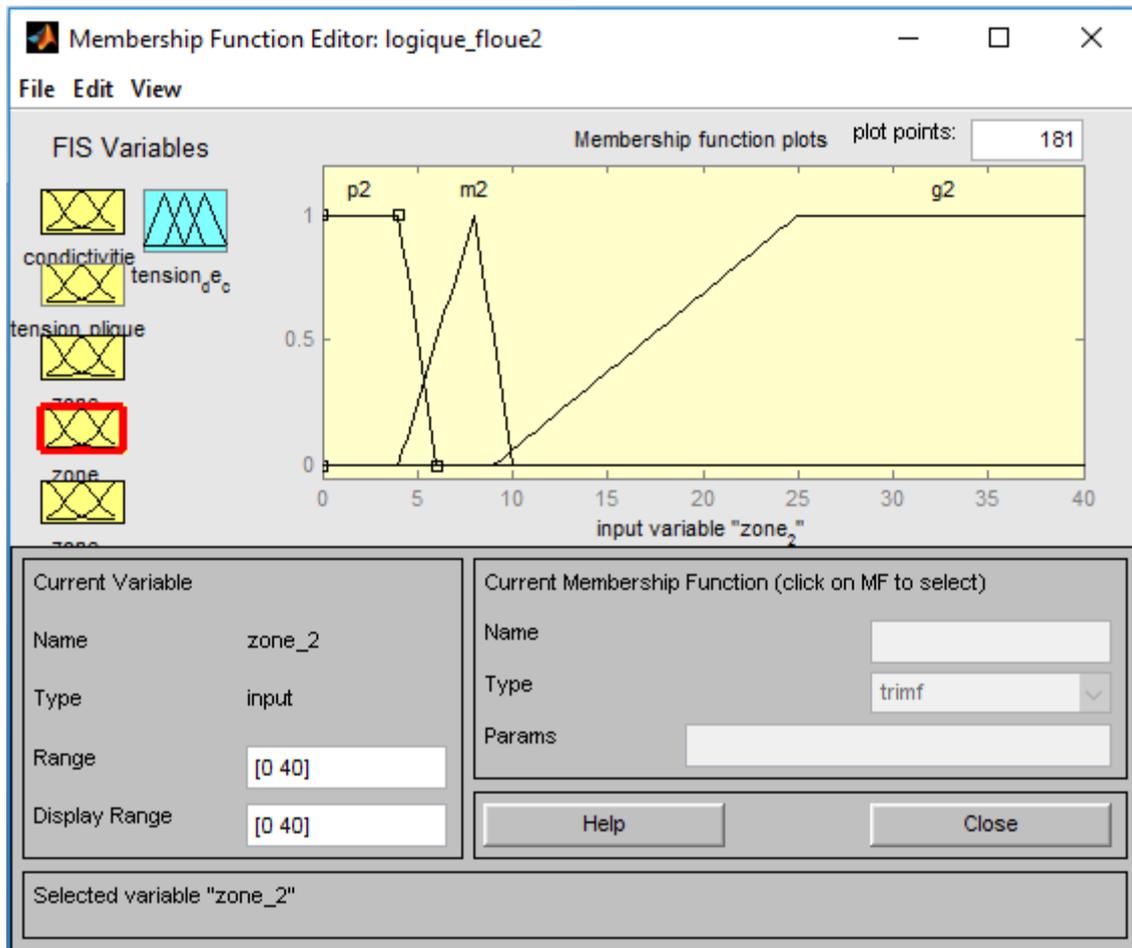
**Fig. IV.7** Fonction d'appartenance de la tension d'alimentation.

**c. Les niveaux de pollution (N)**

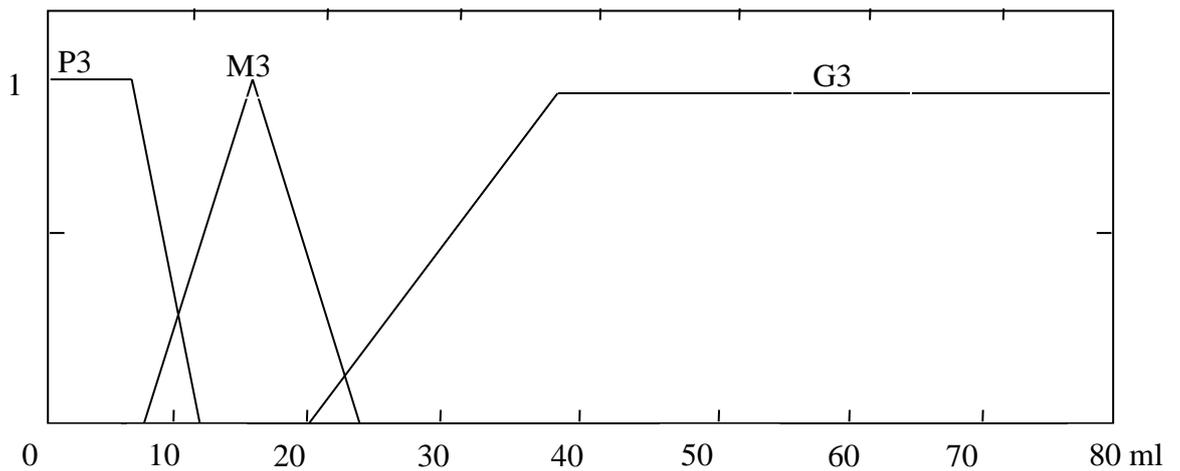
On divise l'isolateur en 3 zones et chaque zone représente 3 niveaux de pollution (P1 .M1 . G1) pour la zone 1 et (P2. M2. G2) pour la 2eme zone et (P3. M3. G3) pour la 3eme zone (Fig. IV.8, Fig. IV.9, Fig. IV.10)



**Fig. IV.8** Fonction d'appartenance de la pollution dans la zone 1



**Fig. IV.9** Fonction d'appartenance de la pollution dans la zone 2.

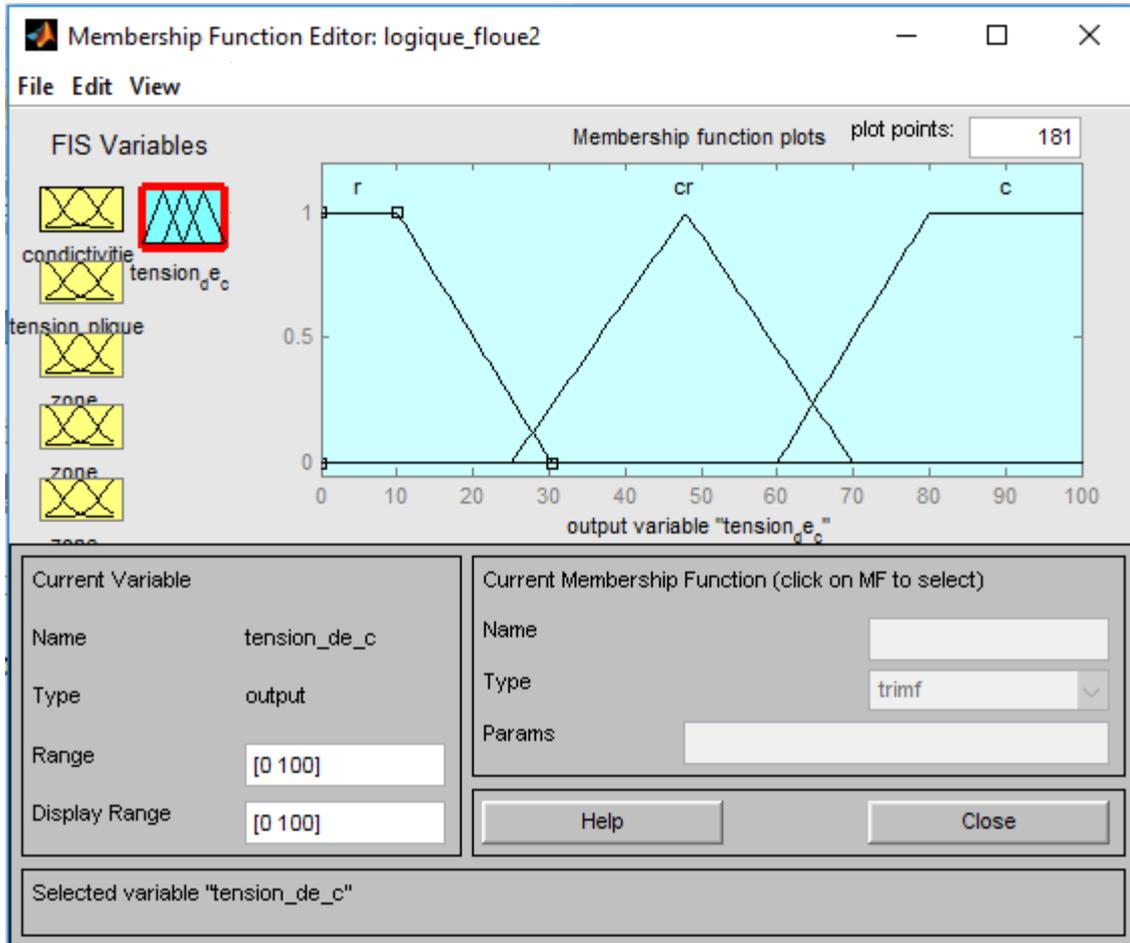


**Fig. IV.10** Fonction d'appartenance de la pollution dans la zone 3.

### IV.8.1.2 Définition de la sortie

La sortie est le résultat de la prédiction qui représente l'état de contournement

(Tab. IV.5 et Fig. IV.9)



**Fig. IV.11** Fonction d'appartenance de pourcentage de contournement

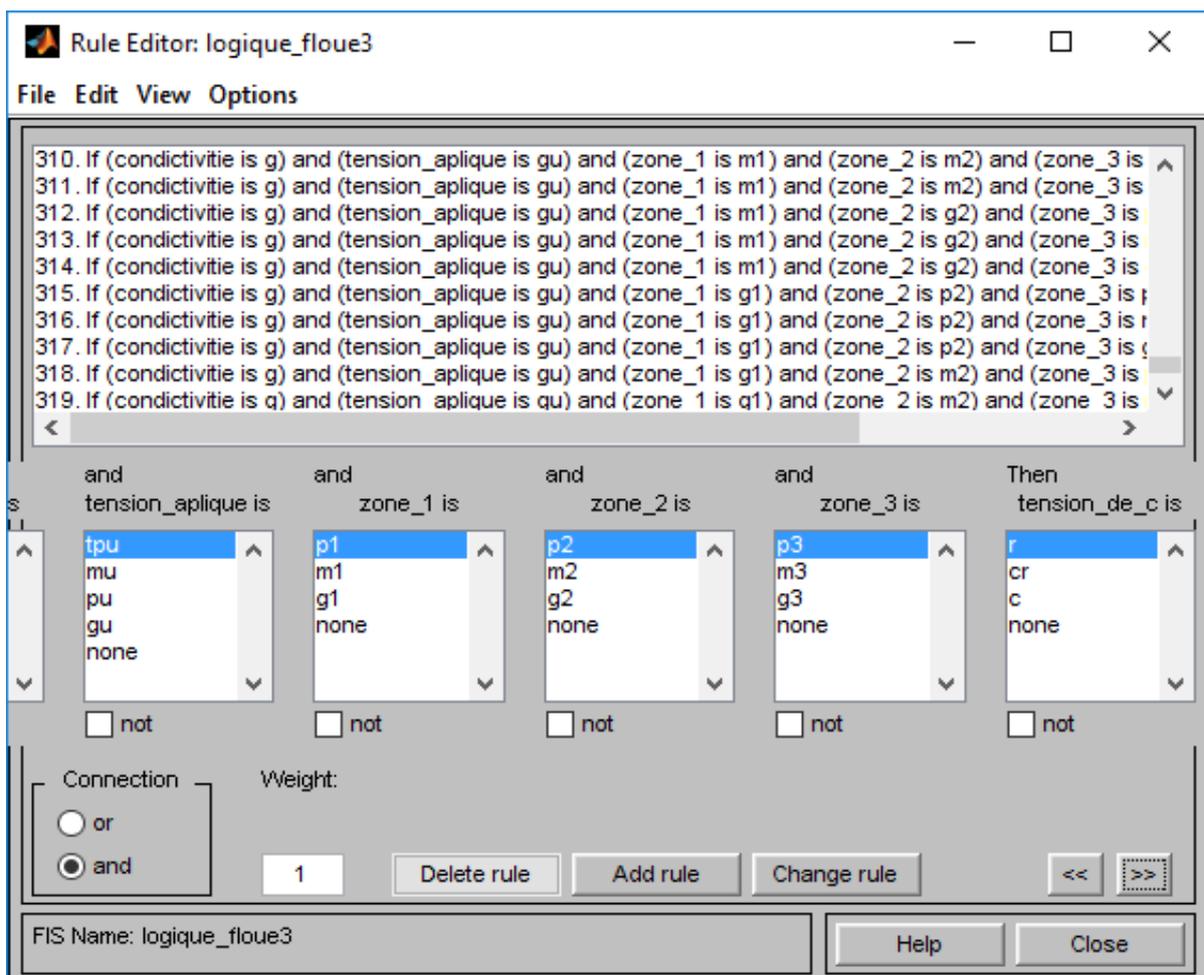
La sortie représente le pourcentage d'avancement de contournement nous dévisons l'intervalle sur 3 parties (R (rien) [0 – 30], CR (couronne) [25 – 70], C (contournement [60-100])).

### IV.8.1.3 Les règles d'inférences

C'est-à-dire faire la relation entre les entrées (U, S, N) et la sortie (UC) par des règles formées comme l'exemple suivant:

- Si la tension appliquée est très haute, la conductivité est forte ainsi que le niveau de pollution est grand nous obtenons l'état Contournement (C).
- Si la tension appliquée est moyenne, la conductivité est forte ainsi que le niveau de pollution est grande nous obtenons l'état tenu (CR).
- Si la tension appliquée est haut, la conductivité est forte ainsi que le niveau de pollution est grande nous obtenons l'état tenu (C).

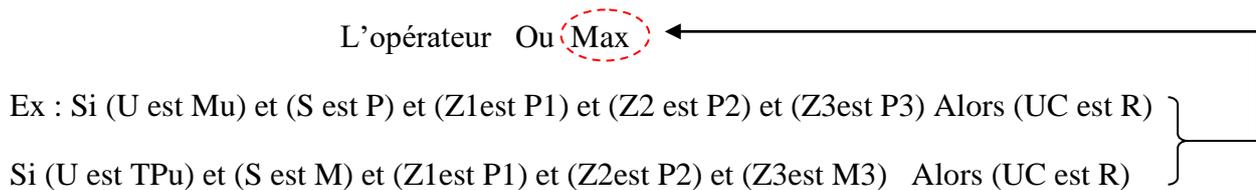
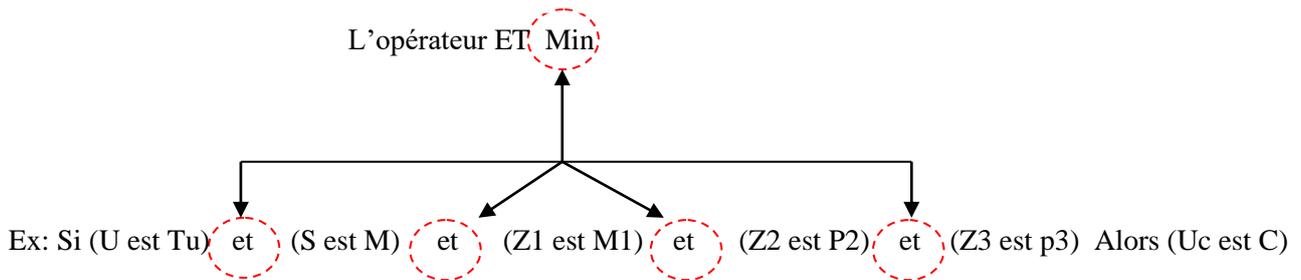
De la même manière, nous complétons toutes les règles d'inférences de chaque cas des cinq entrées et choisir le cas de sortie (C. CR. C). Le système des règles floues utilisé est l'Implication de Mamdani ». Voir (Fig. IV.12).



**Fig. IV.12** Règles d'inférences dans le système des règles floues (Mamdani).

**IV.9 Agrégation et défuzzification**

Cette étape de l'inférence consiste à regrouper toutes les règles. Ce regroupement est donc effectué à base de « et » logiques, ce qui se traduit (Tab.IV.6) par des « Max ». En reprenant le graphique. On utilise la méthode d'inférence (Max-Min) qui est dite « implication de Mamdani», C'est-a-dire :



Enfinement pour prédire l'état de contournement de l'isolateur étudié que nous recherchons, en utilisant l'interface graphique « fuzzy logic toolbox » sous MATLAB, pour différentes valeurs de la conductivité, de niveaux de la pollution artificielle (solution saline) mis dans chaque zone (nervure) et de la tension appliquée.

Dans la (Figure. IV.10), un exemple d'application de notre SIF pour les entrées suivantes : La conductivité = 60 g/l, tension d'alimentation= 25kV, quantité de pollution dans la zone 1= 5 ml, quantité de la pollution dans la zone 2= 5 ml, quantité de la pollution dans la zone 3 = 20 ml. La valeur de la sortie calculée après défuzzification présente le pourcentage de l'avancement de la décharge électrique, cette valeur est (10%) appartient à l'intervalle flou [0 -30] qui indique qu' il n y a pas de contournement de l'isolateur pour la règle 271 (S=G et U=Mu et Z1=P1 et Z2=P2 et Z3=M3) après l'agrégation des règles on prédit que le contournement (UC=R) n'a pas eu lieu.

Par contre pour la règle 276 on choisit la conductivité =60g/l, la tension appliqué =25Kv, et pour Z1=20 ml et Z2=20 ml et Z3=30 ml en prédit pour ces conditions l'apparition de contournement de l'isolateur.

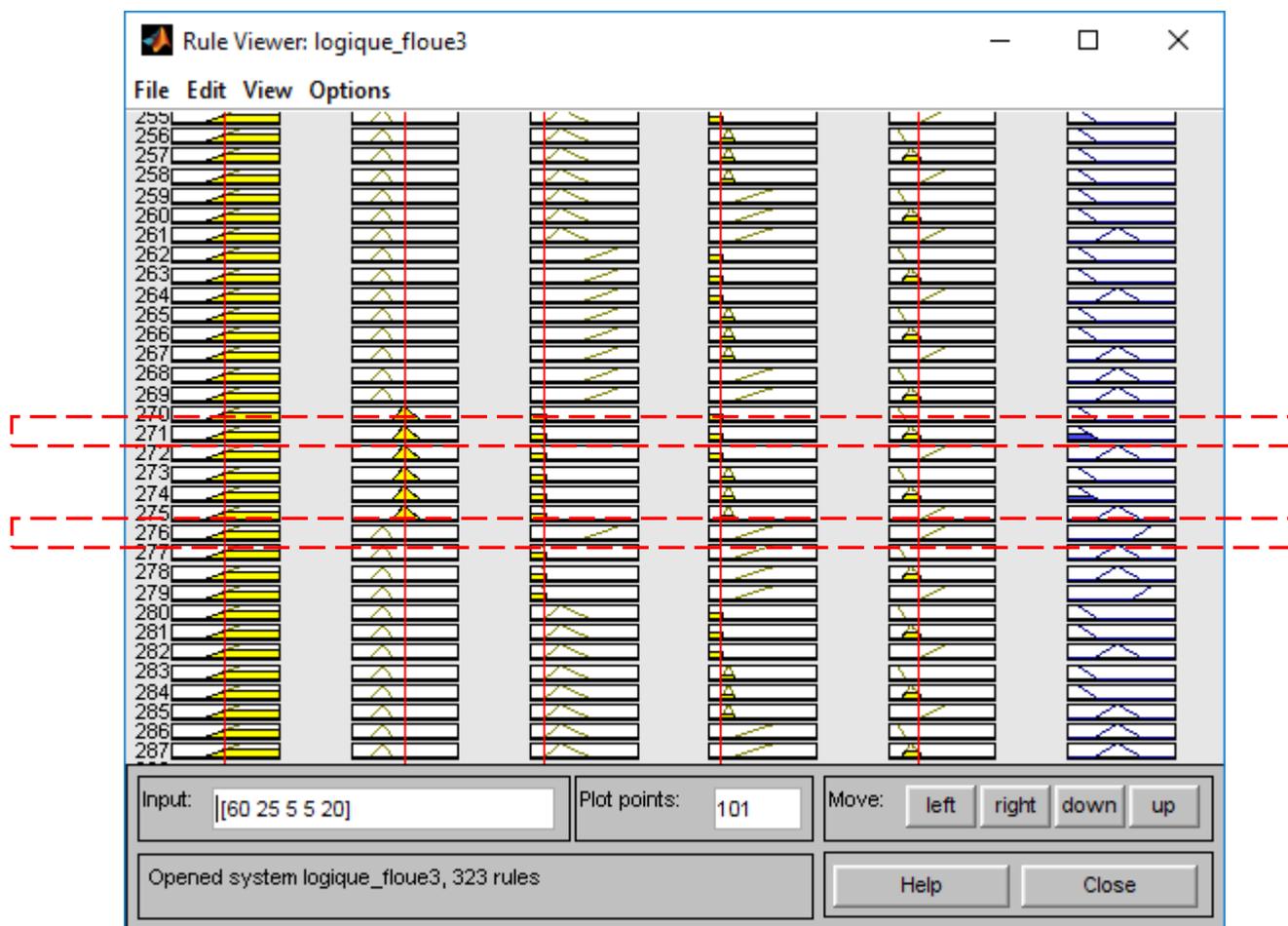
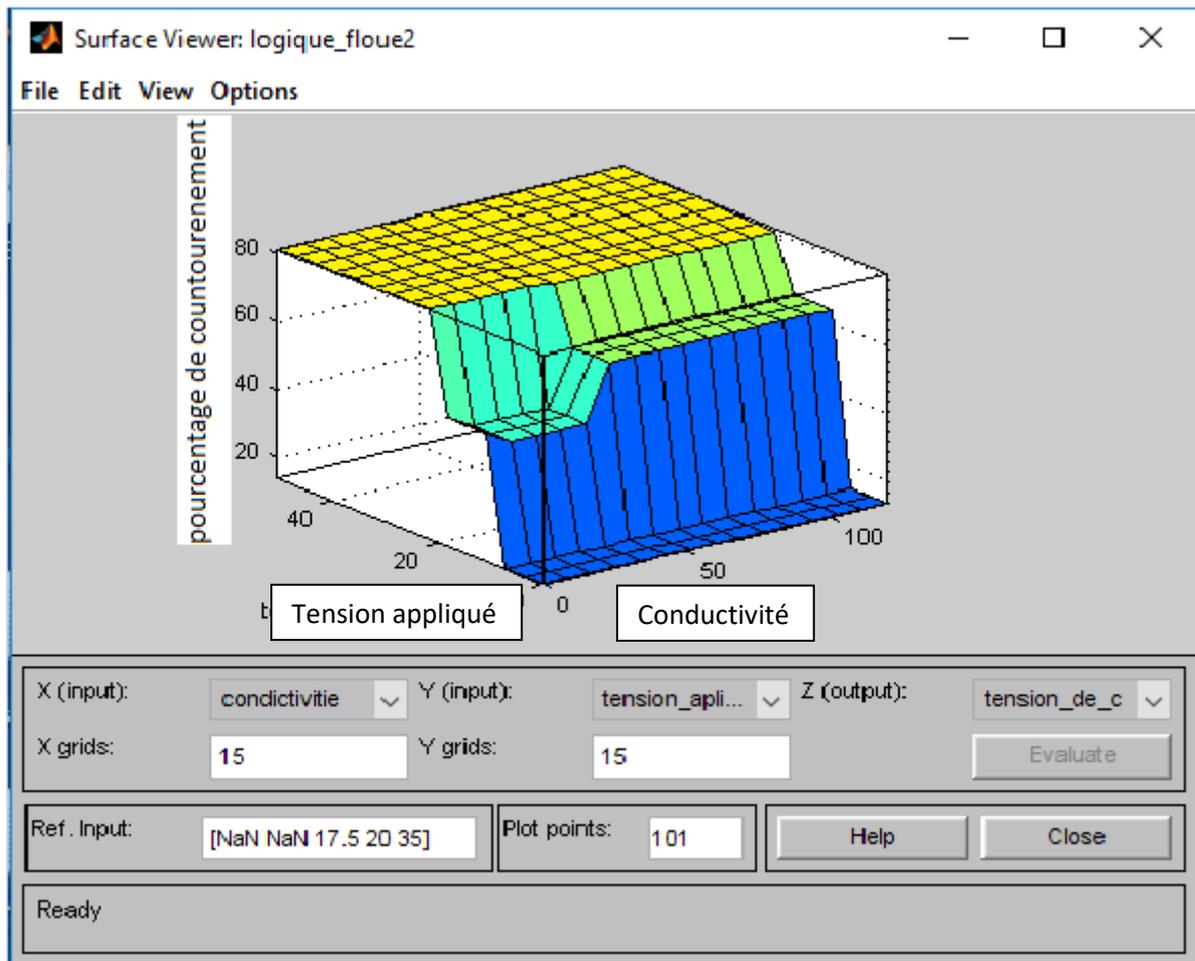


Fig. IV.13 Éditeur des règles floues



**Fig. IV.14** Diagramme en 3d de l'évolution de tension de contournement

Ce diagramme représente l'évolution de la tension de contournement en fonction de deux contraintes (conductivité et tension appliquée) en fixant les niveaux de pollution comme suit ( $N_1=17.5$ ,  $N_2=20$ ,  $N_3=35$ ) en remarque que lorsque la tension appliquée augmente le pourcentage de tension de contournement augmente ainsi que la conductivité influe sur la tension de contournement

Ex : si la tension =15 kv et la conductivité=50g/l par la projection en remarque que le pourcentage de UC=63% donc y a l'effet de couronne.

#### IV.10 comparaison des résultats

Le Tableau (IV.7) représente les résultats de la prédiction de la technique floue de l'état de contournement d'un isolateur de haute tension. Les résultats de la prédiction sont comparés par les résultats expérimentaux obtenus au Laboratoire de Haute Tension. Les tests sont faits du cas propre au cas plein pollution et pour les différents niveaux et conductivité de la pollution.

**Tableau. IV.7** Comparaison entre les résultats expérimentaux et les résultats de la prédiction par la logique floue.

Les zones Conductivité	Zone1 (ml)	Zone2 (ml)	Zone3 (ml)	Tension appliquée	Essai pratique	Résultats De SIF	Evaluation
<b>7.5 (g/l)</b>	(N1)11.6	13.33	23.33	<b>45.842</b>	C	C	✓
	(N2)23.3	26.66	46.66	<b>39.738</b>	C	C	✓
	(N3)34.9	39.99	69.99	<b>34.832</b>	C	C	✓
<b>80 (g/l)</b>	(N1)11.6	13.33	23.33	<b>39.598</b>	C	C	✓
	(N2)23.3	26.66	46.66	<b>36.288</b>	C	C	✓
	(N3)34.9	39.99	69.99	<b>33.712</b>	C	C	✓
<b>120 (g/l)</b>	(N1)11.6	13.33	23.33	<b>38.584</b>	C	C	✓
	(N2)23.3	26.66	46.66	<b>35.48</b>	C	C	✓
	(N3)34.9	39.99	69.99	<b>33.6</b>	C	C	✓

D'après le tableau précédent, on remarque que la technique de la logique floue nous a donné une très bonne prédiction de contournement d'un isolateur de haute tension soumis à différentes conditions (tension appliquée, la conductivité et le niveau de pollution). Parmi ces différents essais on trouve aucune erreur donc ces résultats nous ont permis de juger que le système flou est valable pour prédire le pourcentage de contournement de l'isolateur de HT étudié.

#### IV.11 Conclusion

L'objectif fondamental de ce chapitre était l'étude de la distribution de la tension de contournement le long d'isolateurs sous des conditions de pollution. Nous nous sommes intéressés essentiellement à 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) prédit la tensions de

contournement en fonction de la conductivité pour différents 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 appliquées. Ainsi que l'augmentation de la tension appliquée influe sur la tension de contournement de l'isolateur lorsque la pollution dans les zones est grande.

## Conclusion générale

La tension de contournement d'un isolateur pollué dépend essentiellement de la conductivité du dépôt polluant ainsi que de la répartition de la couche de pollution sur la surface isolante et l'influence de la tension appliquée. La connaissance de ce degré de pollution est par conséquent, une condition préalable et indispensable pour apprécier le niveau de l'isolement des ouvrages.

On a discuté l'influence du facteur « Pollution ». Cela provient du fait que la pollution des isolateurs constitue un sérieux problème pour l'exploitation des réseaux de haute tension. Le profil de l'isolateur aussi a une répercussion intéressante sur la valeur du courant de fuite. En particulier, si la longueur de fuite augmente, la valeur du courant de fuite diminue et vice versa.

Concernant la simulation qui a un but principal de la prédiction de la tension de contournement d'un isolateur de haute tension par la logique floue. Cette méthode utilisée dans cette mémoire connue comme une technique d'intelligence ; nous a permis d'obtenir des résultats probants sur la prédiction de l'étape de contournement d'un isolateur de haute Tension (175CTV). Nous avons pu développer un algorithme de prédiction basé sur cette technique opérationnelle et implémenté sous MATLAB, le tableau d'inférence flou proposé pour cette technique nécessite un nombre important d'essais pratiques, pour la détermination des fonctions d'appartenance et le nombre d'intervalles est précisé selon l'expertise, cependant l'isolateur était mis sous des différentes contraintes pour objectif de le polluer artificiellement pour construire notre SIF.

Les résultats obtenus par la logique floue a été représenté par l'interface des règles flou. Ces derniers sont les plus proches de ce qui était obtenu par les essais pratiques, avec une grande précision. Ça nous a donné une grande aptitude et efficacité dans la prédiction de la tension de contournement de l'isolateur de haute tension.

## Bibliographie

---

- [01] **M. Sid ahmed Bessedik** « contournement des isolateurs pollues », thèse de doctorat , génie électrique , université des sciences et de la technologie d'Oran MOHAMED BOUDIAF , 2015
- [02] **S. Moatez Bellah** «Prédiction du contournement d'une Chaîne d'isolateur MT 175 CTV-Sonelgaz Polluée Artificiellement par la Logique Floue. », mémoire de fin d'étude master, Université Mohamed Khider Biskra, juin 2014
- [03]. **B. HAMMOUM. A.KERBOUCHE** « Etude du Phénomène de Pollution des Isolateurs de Haute Tension dans la Région Electrique du Centre Algérien », Ecole Nationale polytechnique d'Alger. 2007.
- [04] **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.
- [05] **A. Kara**, « Contribution à l'étude d'un modèle dynamique de contournement d'un isolateur pollué », mémoire magistère en électrotechnique, Université Ferhat Abbas Sétif, 2013
- [06] **M.J. Dunlap** « Performances des isolateurs pollués pour les lignes de haut tension », CIGRE,
- [07] **F. Auoubed** « Contribution à l'étude d'un circuit équivalent des isolateurs synthétiques sous pollution en utilisant l'EMTP », Mémoire magistère en électrotechnique, Université Ferhat Abbas Sétif.Rapport 33-05, France, 1996
- [08] **M. TERKMANI, M.BABOUAMER** « Contournement des Isolateurs des Lignes de Haute Tension », Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, juin 2005.
- [09] **Hamza Slamet Amina**, «Contribution à l'étude du modèle développé d'un isolateur pollué », Mémoire de Magister en électrotechnique, université d'Oran, 2013.
- [10] **J.Y. Saison**, «Etude du phénomène d'humidification des dépôts naturels et artificiels »,thèse de doctorat, France 1994.
- de pollution sur des isolateurs électriques », Thèse de Doctorat Es Sciences, Université de Strasbourg, France, 1992.
- [11] **L.ARRABIY** « Visualisation et Traitement de Signal de Courant de Fuite sur une Surface Isolante Polluée » document,Ecole Nationale Polytechnique d'Alger. 1999.

## Bibliographie

---

- [12] **A. MEKHALDI** « Etude des phénomènes de conduction et de décharges électriques sur des surfaces isolantes polluées sous tension alternative 50 Hz », Thèses de Doctorat, ENP, Département de Génie Electrique, Laboratoire de haute tension, Septembre 1999.
- [13] **S. LOTFI, S. DJAFRI** « Contribution à l'Etude de la Pollution des Isolateurs des Lignes Ariennes de Haute Tension dans la Région de l'Arbaa », Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene d'Alger, Juin 1982.
- [14] **P. J. LAMBETH, H. AUXEL et M. P. VERMA** « Méthode de mesure de la sévérité de la pollution compte tenu de son influence sur le comportement des isolateurs à haute tension », Electra N°. 20, pp 95-100, Janvier 1972.
- [15] **A. Kara**, « Contribution à l'étude d'un modèle dynamique de contournement d'un isolateur pollué », mémoire magistère en électrotechnique, Université Ferhat Abbas Sétif, 2013
- [16] **M. TERKMANI, M.BABOUAMER** « Contournement des Isolateurs des Lignes de Haute Tension », mémoire, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, juin 2005.
- [17] **F.CHEVRIE F.GUELY** Cahier Technique n°191 «la logique floue», Groupe Schneider Mars, 1998.
- [18] **JELENA GODJEVAC** «Idées nettes sur la logique floue», Collection, Informatique, Presses Poly échues et Universitaires Romandes.
- [19] **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.
- [23] **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.
- [24] **F. Harrouche** «Application de la logique floue aux machines tournantes», Mémoire magistère en mécanique appliquée, Université Ferhat Abbas, Sétif.
- [25] **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.
- [26] **JELENA GODJEVAC** « Idées nettes sur la logique floue», Collection, Informatique, Presses Poly échues et Universitaires Romandes.

## Bibliographie

---

[27] **D. LOTFI BAGHLI** « contribution a la commande de la machine asynchrone, utilisation de la logique floue, réseaux de neurones et des algorithmes génétique », Thèse l'université Henri Poincaré, Nancy 14 janvier 1999.

[28] **C. C. Lee** «Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. Part2 », IEEE Transactions on systems Man and Cybernetics, Vol. 20, 1990, pp. 419-435.

[29] **K. M. Passino, S. Yurkovich** «Fuzzy control», Addison Wesley Longman, Inc, 1998.

[30] **SAKIL MOUADH** « Projets de fin d'études », génie électrique & automatique, Ecole Nationale d'ingénieurs de GABES-TUNISIE.

[31] **Y. Bourek, N. M'ziou, H. Benguesmia** « prediction of flashover voltage of High-Voltage Polluted Insulator Using Artificial Intelligence », Transactions On Electrical and Electronic Materials 19 (1),59-68, 2018.

### Livre

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

[21] **C. C. Lee** «Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. Part1», IEEE Transactions on systems Man and Cybernetics, Vol. 20, 1990, pp. 404-418.