

## Introduction

Afin de diagnostiquer l'état de surface de l'isolateur **F160D/146DC** pollué sous tension alternative des essais ont été effectuée au laboratoire de Haute Tension de l'Université de Tiaret par A. Rahouani et A. SMAIL [28]. Ce type d'isolateur a été choisi car il est utilisé en Algérie par la SONELGAZ pour les lignes de haute tension (400 kV) entre Bechar et Naama.

Dans ce chapitre , nous présentons au premier lieu les résultats expérimentaux de tension de contournement et de courant de fuite en fonction de largeur des bandes propres et en fonction de type de pollution[28] ensuite nous utiliserons l'une des techniques d'intelligence artificielle, qui est la logique floue pour la prédiction de contournement d'un isolateur de haute tension et la méthode RP (recurrent plot) pour analyser le courant de fuite.

### III.1. Résultats expérimentaux

#### III.1.1. Mesure de la tension de contournement pour différentes largeurs des bandes propres

Le tableau III.1. montre les résultats de la tension de contournement mesurée pour différentes largeurs des bandes propres et une conductivité de 1mS/cm.

**Tableau III.1.** Mesures de la tension de contournement pour différentes largeurs des bandes propres

N° d'essai		Essaie N°1	Essaie N°2	Essaie N°3	Moyenne
Uc (KV)	1cm x 3	124	112	110	115.33
	3cm x 3	128	124	132	128
	5cm x 3	114	108	116	112.66

#### III.1.2. Mesure de la tension de contournement pour différentes conductivités

Le tableau III.2. montre les résultats de la tension de contournement mesurée pour différentes conductivités et une largeur des bandes propre de 1cm.

**Tableau III.2.** Mesure de la tension de contournement pour différents types de pollution.

N° d'essai		Essaie N°1	Essaie N°2	Essaie N°3	Moyenne
Uc (KV)	Sable des dunes $\sigma = 17.84 \mu\text{S/cm}$	126	134	140	133.3
	Sable de sol $\sigma = 18.86 \mu\text{S/cm}$	124	130	126	126.66
	Sable des dunes $\sigma = 598 \mu\text{S/cm}$	61	55	60	58.66

### III.1.3. Mesure de courant de fuite en fonction de la largeur des bandes propres

Les tableaux III.3, III.4 et III.5, montrent les courants de fuites mesurés pour différentes tensions appliquées et une conductivité de 1mS/cm.

#### III.1.3.1. Largeur des trois bandes propres 1cm

**Tableau III.3.** Evolution du courant de fuite en fonction de la tension appliquée (3 bandes propres de 1cm).

$U_{\text{App}}$	1	2	3	4	$I_{\text{moyenne}}(\mu\text{A})$
10	48	38	45.1	64.2	48.825
	82	88	89.9	85.6	86.375
15	100	129	108	121	114.5
	235	174	214	207	207.5
30	382	359	383	357	370.25
	1190	1150	1150	1220	117.75
50					

#### III.1.3.2. Largeur des bandes propres 3cm

**Tableau III.4.** Evolution du courant de fuite en fonction de la tension appliquée (3 bandes propres de 3cm).

$U_{\text{App}} \text{ (kV)}$	1	2	3	4	$I_{\text{f moyenne}}(\mu\text{A})$
10	45.3	43.2	41.1	41.7	42.825
20	64.6	64.6	72.8	64.2	66.55
30	82	89	84	89.7	86.175
40	112	118	118	115	115.75
50	145	144	142	142	143.25

### III.1.3.3. Largeur des bandes propres 5 cm

Tableau III.5. Evolution du courant de fuite en fonction de la tension appliquée (3 bandes propres de 5cm)

$U_{App}$ (kV)	1	2	3	4	$I_{f\text{ moyenne}}(\mu A)$
10	28	33.5	29	33.6	31.025
20	56.1	51.3	53.9	62	55.825
30	115	119	108	119	115.25
40	147	148	155	140	147.5
50	221	226	221	208	219

## III.2. Prédiction de contournement par logique floue

Dans cette partie de notre étude nous utilisons le SIF (System d'inférence flou) pour prédire le contournement d'un isolateur de haute tension soumis sous les contraintes de la conductivité des différents type de pollutions et la variation de la largeur des bandes propres.

### III.2.1. Système d'inférence floue (SIF)

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

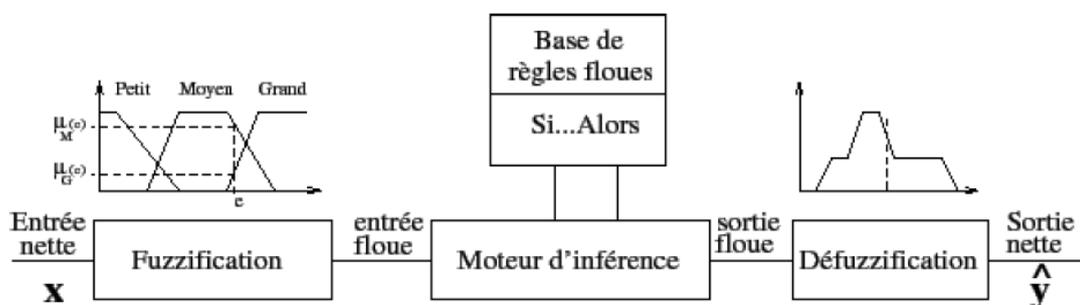


Figure III.1. Système d'inférence flou (SIF) [29].

### III.2.2. System d'inférence flou utilisé

Le type d'analyse le plus utilisé dans la prédiction au niveau du SIF est l'analyse de type MAMDANI, caractérisé par (MIN pour l'opérateur ET, MAX pour l'opérateur OU, MAX pour l'agrégation, defuzification centroid (centre de gravité)).

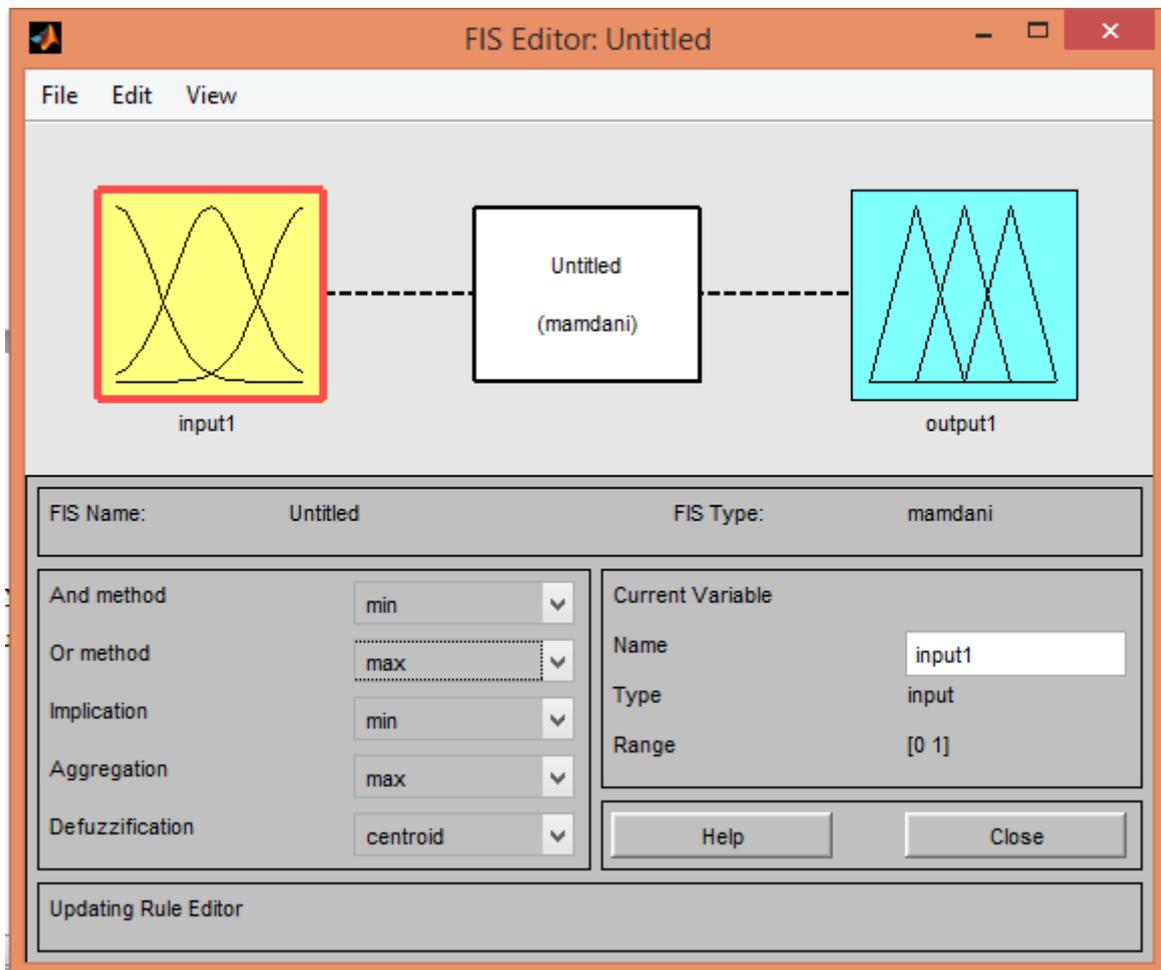


Figure III.2. Fenêtre de l'éditeur du SIF sous MATLAB

### III.2.3. Entrées et sorties choisie

Le choix de notre entrée et sortie dépend des résultats expérimentaux de [28] qui sont:

- la largeur des bandes propres et la tension appliquée (pour la 1<sup>ère</sup> simulation)
- Conductivité de la pollution et la tension applique (pour la 2<sup>ème</sup> simulation) et la sortie sera le pourcentage de contournement.

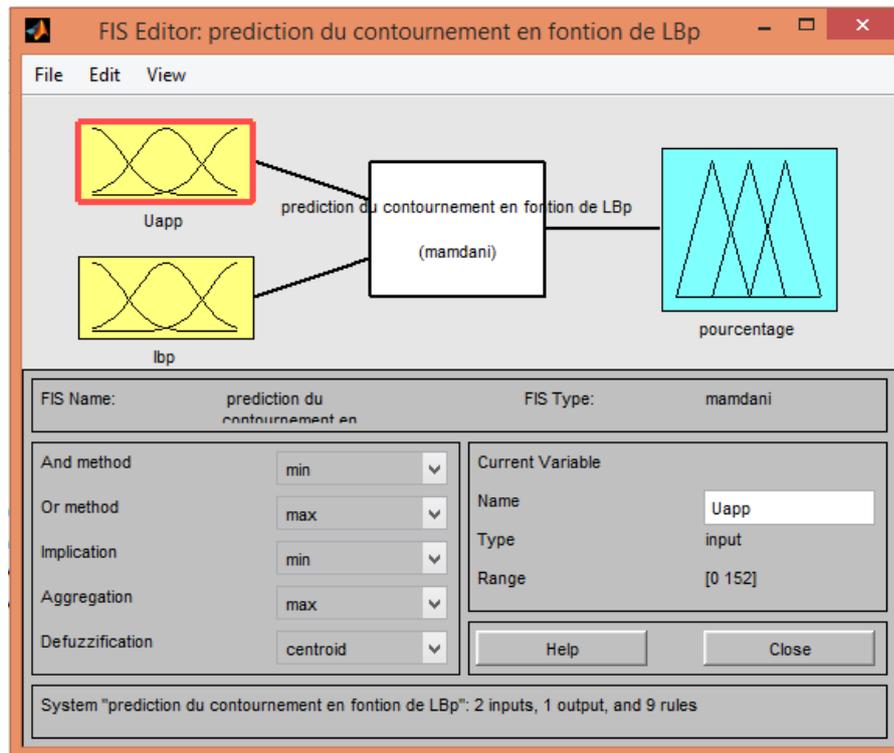


Figure III.3. Entrées et sortie du SIF sous Matlab (1<sup>ère</sup> simulation)

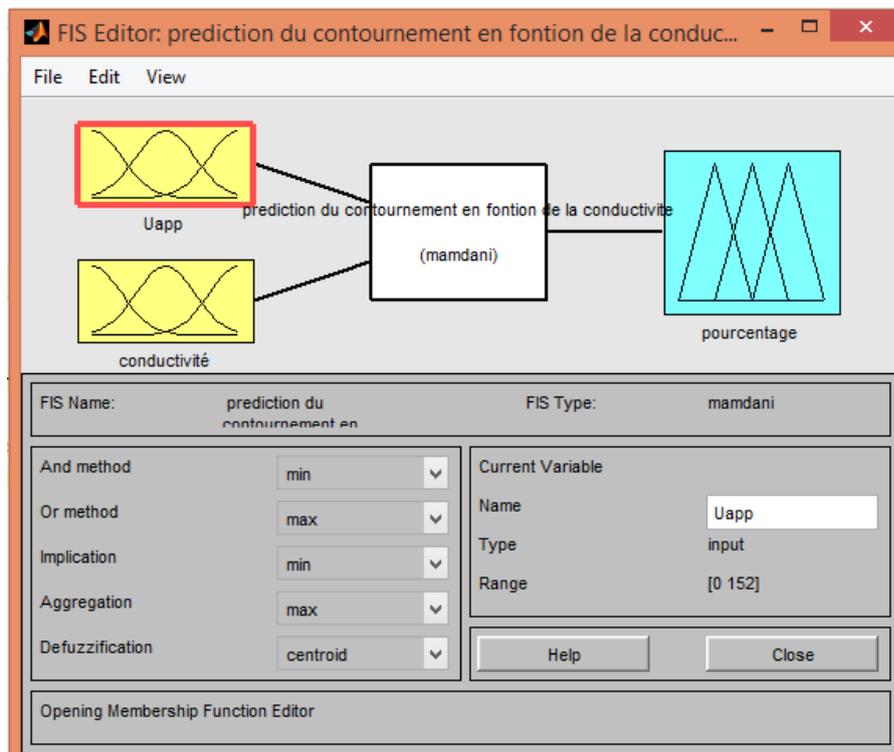


Figure III.4. Entrées et sortie du SIF sous Matlab (2<sup>ème</sup> simulation)

### III.2.4. Fonctions d'appartenance

A noter que le choix a été effectué selon nos analyses de la table des résultats (Tableau.III.1) pour la première simulation, et la table des résultats (Tableau.III.2) pour la deuxième simulation. Mais avant l'introduction du type de fonction d'appartenance il est primordial de définir les intervalles et variables floues ainsi que l'univers de discours.

Un autre tableau donne le nombre des fonctions choisies pour les entrées et la sortie, nombre d'intervalles flous choisies pour les entrées et la sortie, variables d'entrées et sortie ainsi que le type de la fonction d'appartenance choisie.

**Tableau III.6.** Nombre d'intervalles flous, nombre et types de fonctions d'appartenances des entrées.

Les entrées	Nombre d'intervalles	Nombre de fonctions	Types de fonctions
Conductivité de la pollution	3	3	Trapézoïdale et triangulaire
Largeur des bandes propres	3	3	Trapézoïdale et triangulaire
Tension appliqué pour les deux cas	3	3	Trapézoïdale et triangulaire

**Tableau III.7.** Nombre d'intervalles flous, nombre et types de fonctions d'appartenances de la sortie.

La sortie	Nombre d'intervalles	Nombre de fonctions	Types de fonctions
Pourcentage pour les deux cas	2	2	Trapézoïdales

L'univers de discours, ainsi que les intervalles flous de chaque variable sont montrés dans les **figures III.5, III.6, III.7, III.8, III.9 et III.10** qui représentent les paramètres du SIF qui ont donnés des bons résultats de prédiction de la tension de contournement de l'isolateur qu'on a choisi pour cette étude. à noter ici qu'il n'y a pas de règles à suivre pour bien choisir le nombre de variable ou nombre d'intervalles ou même la forme de la fonction d'appartenance. Seuls les résultats obtenus pour chaque choix qui peuvent juger la fiabilité d'un choix.

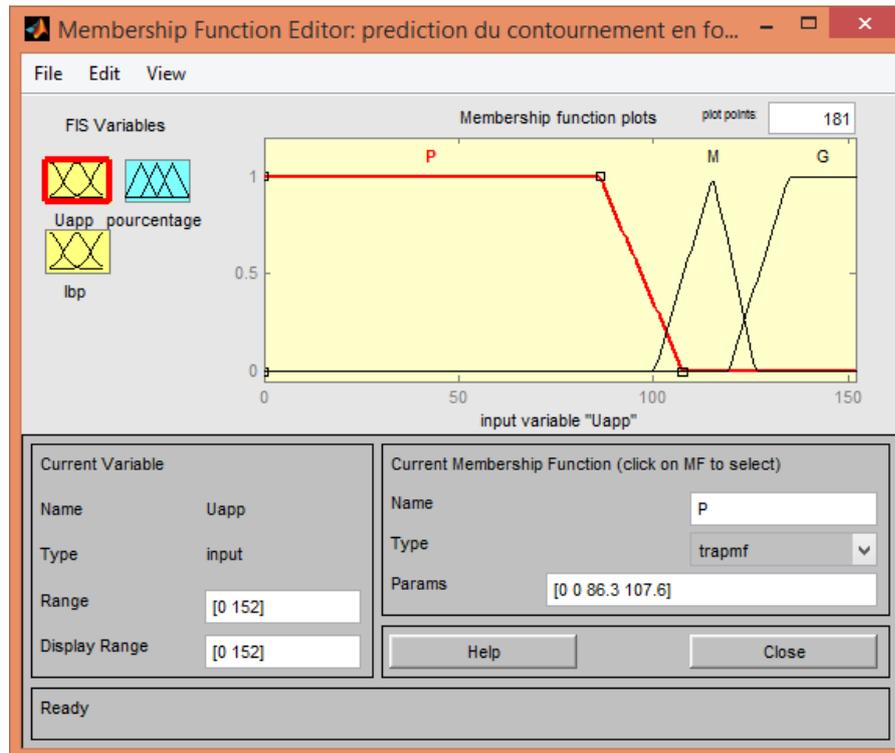


Figure III.5. Fonction d'appartenance de la tension appliquée (1<sup>ère</sup> simulation).

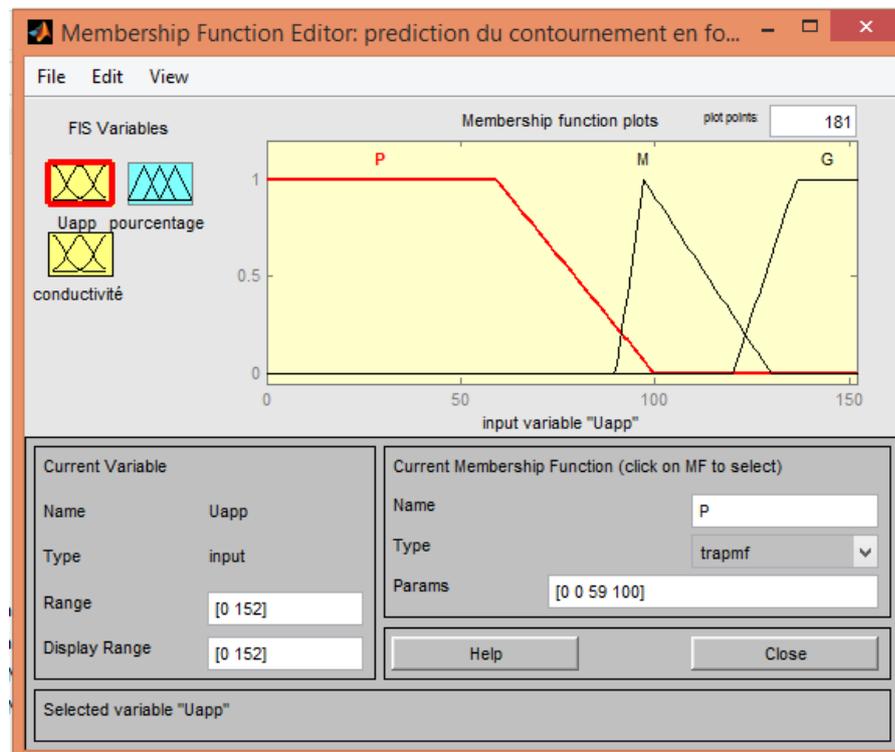


Figure III.6. Fonction d'appartenance de la Tension appliquée (2<sup>ème</sup> simulation).

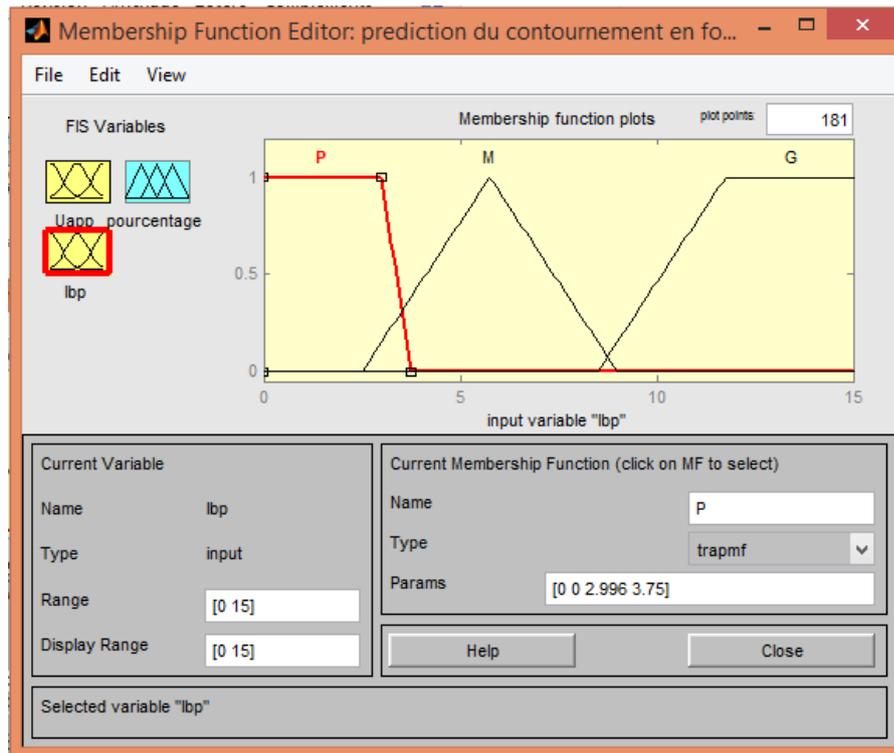


Figure III.7. Fonction d'appartenance de la largeur des bandes propres.

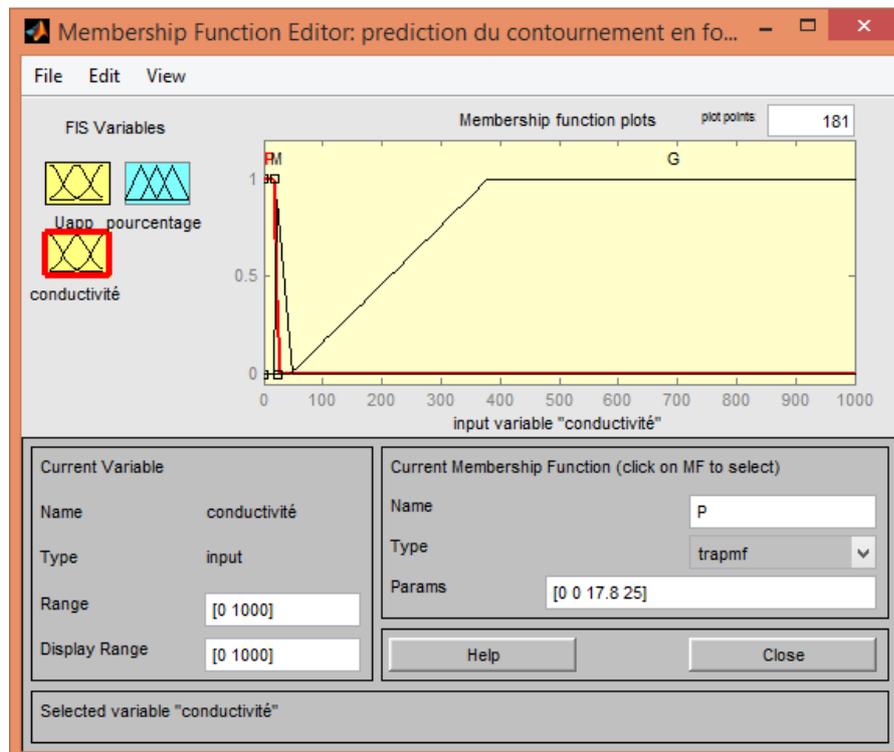


Figure III.8. Fonction d'appartenance de la conductivité.

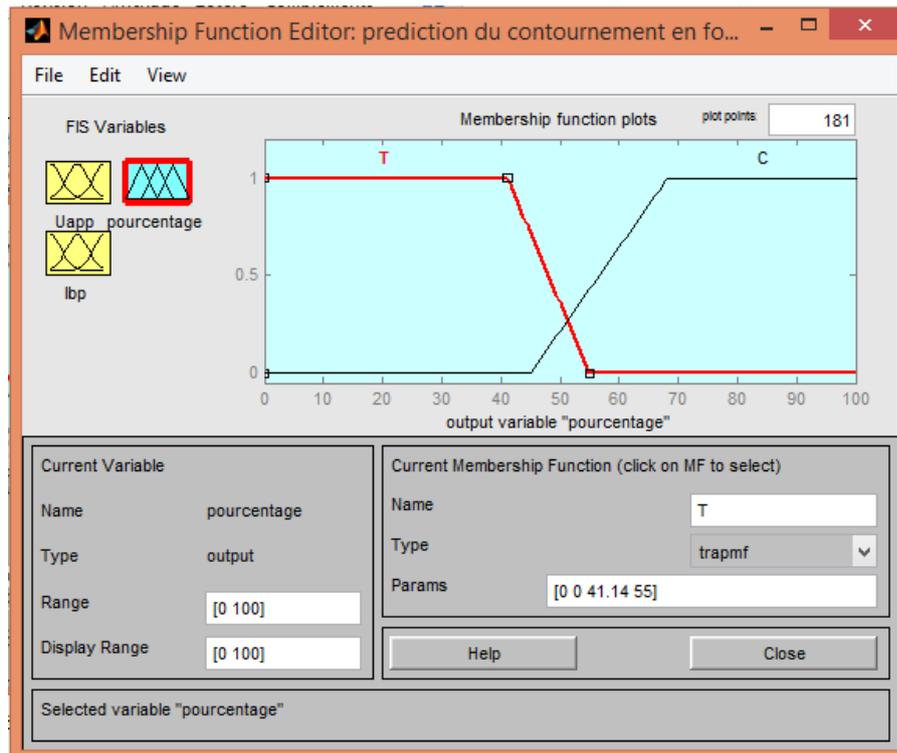


Figure III.9. Fonction d'appartenance de pourcentage de contournement (1<sup>ère</sup> simulation)

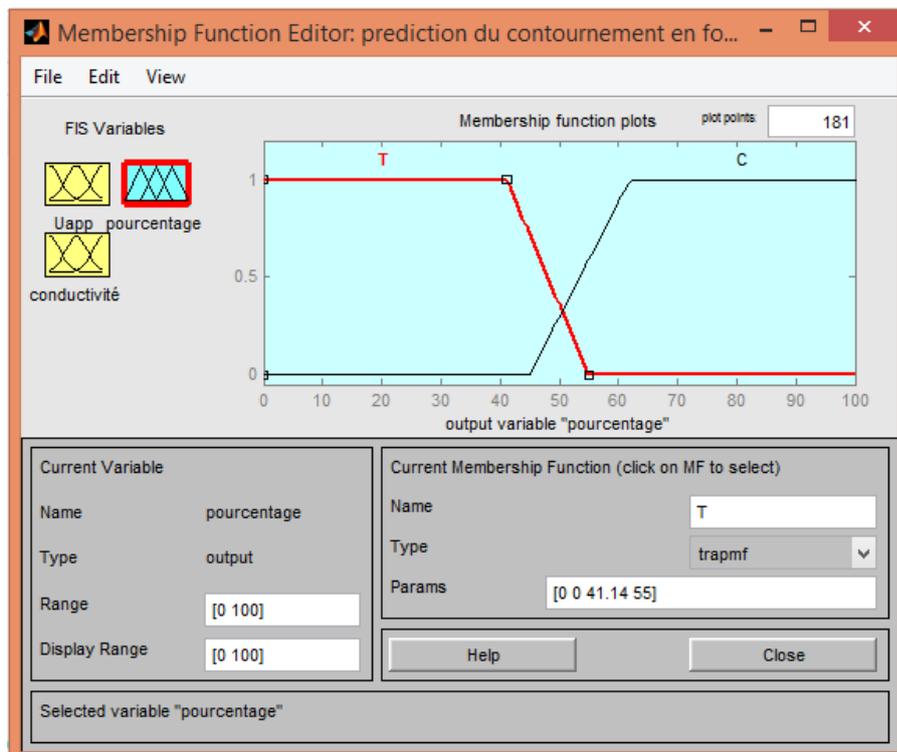


Figure III.10. Fonction d'appartenance de pourcentage de contournement (2<sup>ème</sup> simulation)

### III.2.5. Table d'inférence

La table d'inférence a été élaborée d'après le tableau III.8. et le tableau III.9. et contient l'ensemble des règles floues qui relie les différentes entrées aux différentes sorties qu'on a proposé pour nos SIF utilisés pour la prédiction de contournement de l'isolateur étudié

**Tableau III.8.** L'ensemble des règles floues pour différentes largeurs des bandes propres

Lbp (cm) Uapp (kv)	P 0-----3.75	M 2-----9	G 8.5-----15
P 0-----107	T	T	T
M 100-----126	C	T	C
G 119-----152	C	C	C

**Tableau III.9.** L'ensemble des règles floue pour la conductivité.

$\sigma$ ( $\mu\text{s/cm}$ ) Uapp (kv)	P 0-----25	M 18-----50	G 45-----1000
P 0-----100	T	T	C
M 90-----130	T	C	C
G 120-----152	C	C	C

### III.2.6. Variables d'entrées et de sortie linguistiques utilisés dans les tables précédentes

- P : Petit.
- M : Moyen.
- G : Grand.
- T : Tenue.
- C : Contournement.

### III.2.7. Résultats obtenus

Après l'implémentation de notre SIF en utilisant l'interface graphique «fuzzylogictoolbox» sous MATLAB, nous avons prédit le contournement de l'isolateur F160D/146DC pour différentes valeurs de la largeur des bandes propres (Lbp), de la conductivité et de la tension appliquée.

La figure III.11. montre un exemple d'application de notre SIF pour la largeur des bandes propres de  $5\text{ cm} \times 3$  et une tension appliquée de  $U_{app} = 112.7\text{ kV}$  pour une sortie en pourcentage après defuzification de  $77.2\%$  qui appartient à l'intervalle de contournement évident d'isolateur [68.12-100].

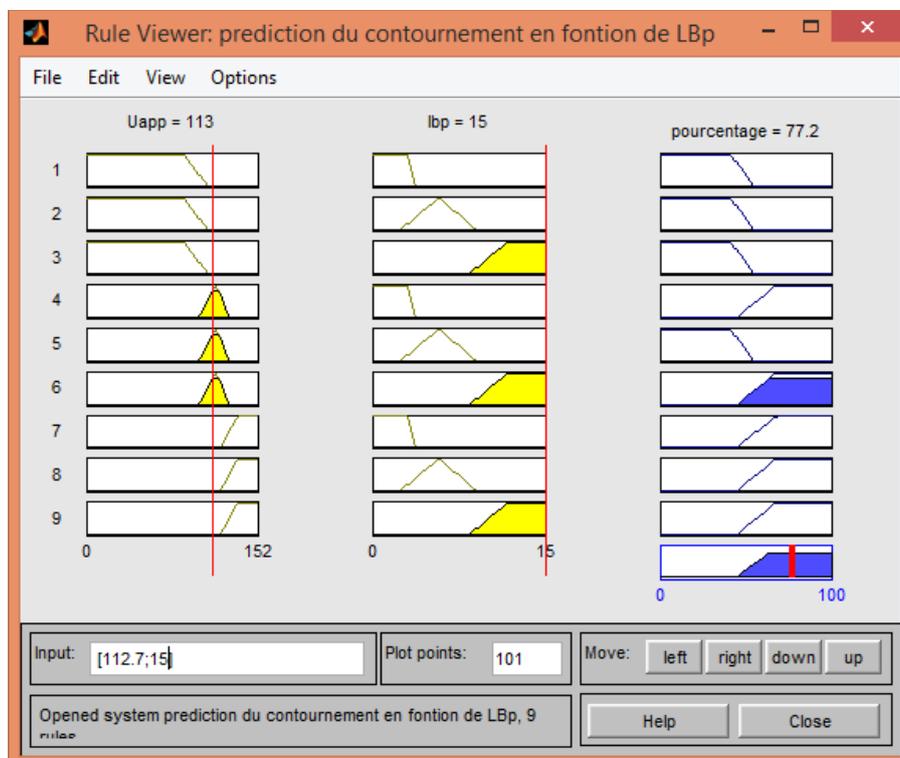


Figure III.11. Editeur des règles floues (1<sup>ère</sup> simulation)

La figure III.12. montre un exemple d'application de notre SIF pour la conductivité de  $\sigma = 598\ \mu\text{S}/\text{cm}$  (sable de mer) et une tension appliquée de  $U_{app} = 58.66\text{ kV}$  pour une sortie en pourcentage après defuzification de  $76.7\%$  qui appartient à l'intervalle de contournement évident d'isolateur [62-100].

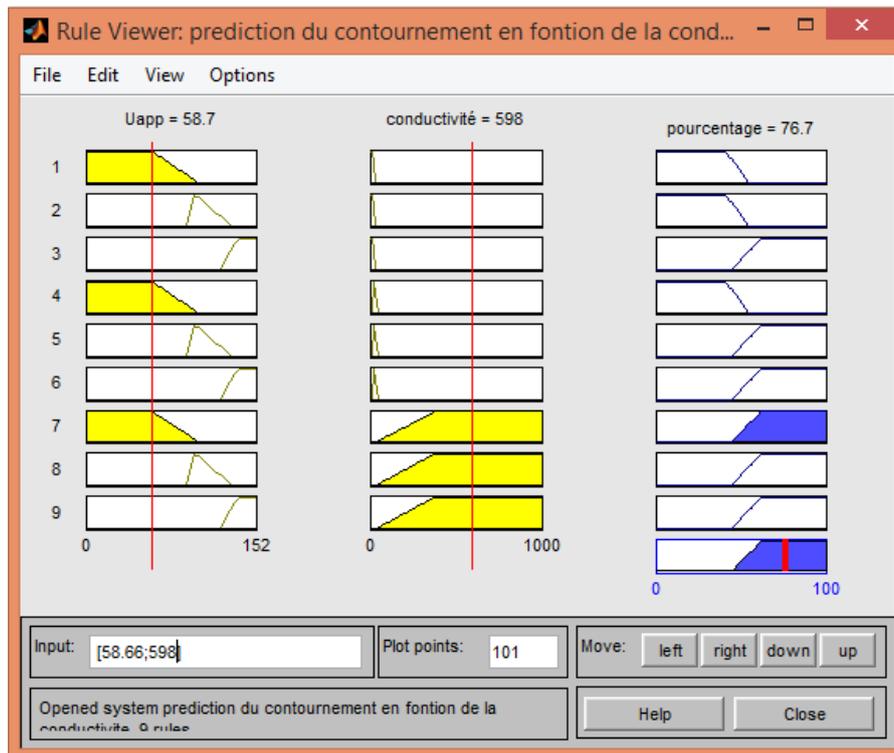


Figure III.12. Editeur des règles floues (2<sup>ème</sup> simulation).

D’après le tableau III.10. nos résultats par le SIF sont en parfaite concordance avec le test pratique donné par la référence [28] ce qui signifie que le système floue est valable pour prédire le contournement d’isolateur HT étudié.

Tableau III.10. Comparaison entre les résultats expérimentaux et ceux trouvés par SIF.

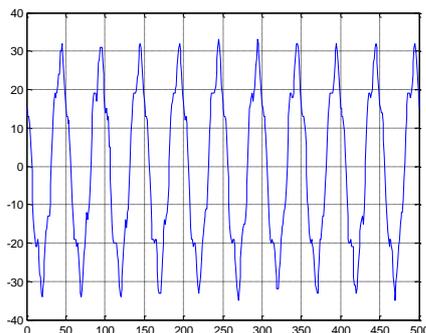
N° d’essai	Tension App	Résultats pratiques	Résultats par SIF	Validation
Lbp 1 cm x3	115.33	contournement	contournement	✓
Lbp 3 cm x3	128	contournement	contournement	✓
Lbp 5 cm x3	112.66	contournement	contournement	✓
Sable des dunes $\sigma$ = 17.84	133.3	contournement	contournement	✓
Sable de sol $\sigma$ = 18.86	126.66	contournement	contournement	✓
Sable de mer $\sigma$ = 598	58.66	contournement	contournement	✓

### III.3. Analyse du courant de fuite par la RP

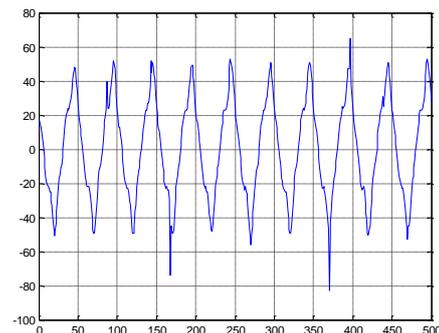
Connaissant la caractéristique non-linéaire du courant de fuite durant le processus du contournement, deux choix s'offrent à nous quand il s'agit d'utiliser la RP pour l'étude de ce phénomène. On applique la technique de RP soit directement aux signaux du courant de fuite, soit à leurs décompositions fréquentielles (Détail D1).

#### III.3.1. Technique RP appliquée directement au signal du courant de fuite

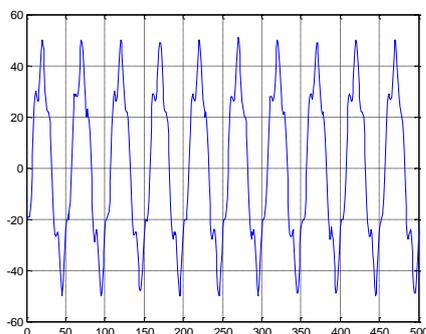
La figure III.13 montre un exemple de la technique RP appliquée directement à un signal du courant de fuite typique lors du processus de contournement ; ce courant de fuite est obtenu grâce à la récupération du signal de la tension au borne de la résistance  $1\text{ K}\Omega$  insérée en série avec l'objet d'essais et le retour de la terre, le signal ainsi récupéré est à l'image du courant de fuite (tous les signaux ont été enregistré sous forme de vecteur de 500 éléments. Les figures (a) et (b) montrent les signaux originaux des courants de fuite correspondant respectivement à un contournement lointain et proche de largeur de bande propre=1cm. Les figures (c) et (d) correspondent aux signaux du courant de fuite pour le sable de mer.



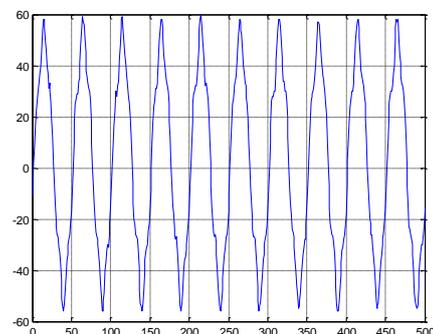
(a) Signal du courant de fuite pour un contournement lointain (10 kV)



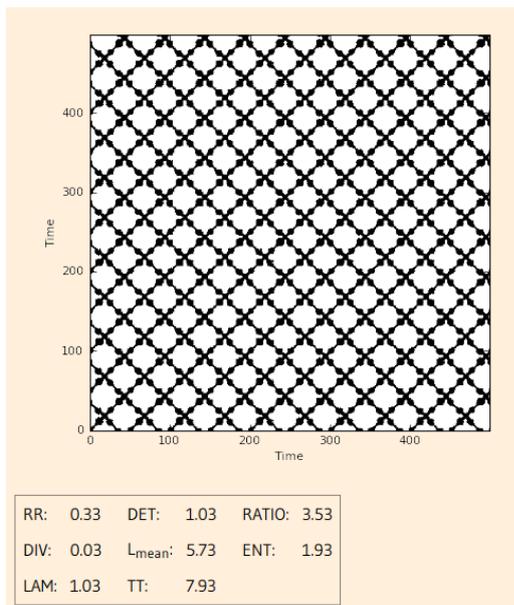
(b) Signal du courant de fuite pour un contournement proche (50 kV)



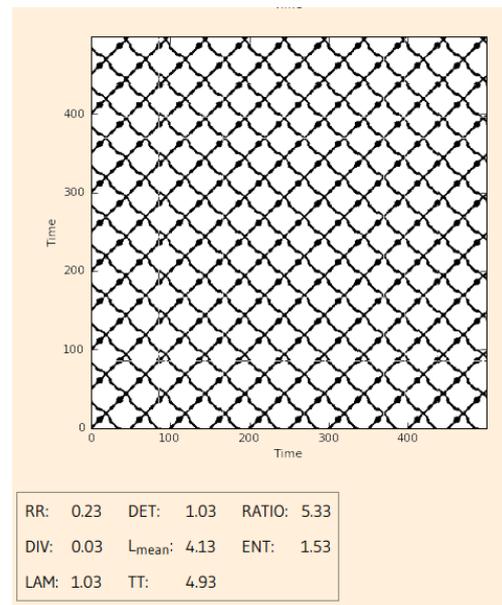
(c) Signal du courant de fuite pour un contournement lointain (sable dune 20 kV)



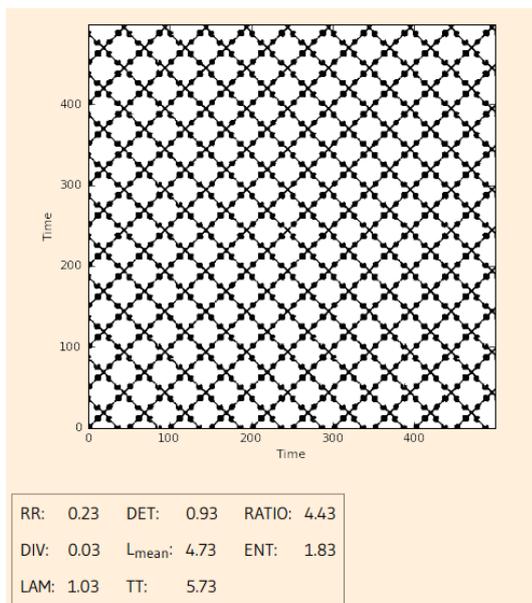
(d) Signal du courant de fuite pour un contournement proche (sable mer 20 kV)



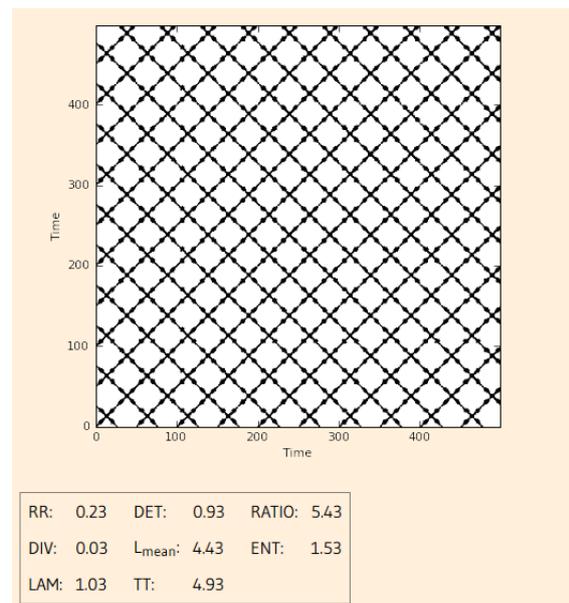
(e) RP du signal du courant de fuite pour un Contournement lointain (10 kV)



(f) RP du signal du courant de fuite pour un contournement proche (50 kV)



(g) RP du signal du courant de fuite pour un contournement lointain (sable dune 20 kV)



(h) RP du signal du courant de fuite pour un contournement proche (sable mer 20 kV)

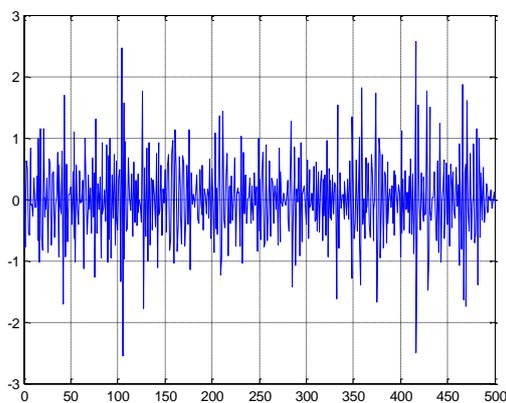
**Figure III.13.** Exemple de la technique RP appliquée directement sur le signal du courant de fuite

D'après la figure III.13, le caractère commun entre les deux figures ((e) et (f)), ((g) et (h)) est la présence de lignes parallèles à la diagonale principale (LOI) ce qui indique que nous sommes en présence d'un phénomène périodique comme indiqué par la figure II.17. (b)

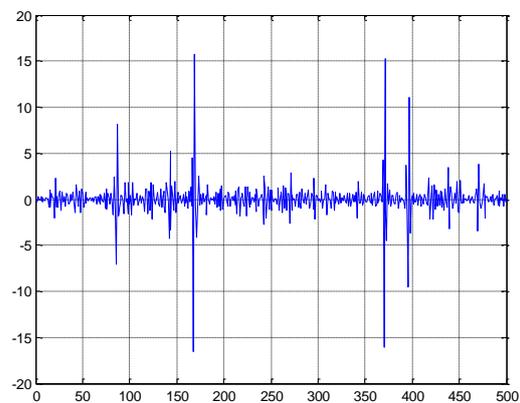
Pour un contournement lointain (faible tension appliqué) nous remarquons une coloration plus foncée que celui du contournement proche. Le Ratio du contournement lointain est inférieur à celui du contournement proche et inversement pour le TT.

### III.3.2. Technique RP appliquée au détail du signal du courant de fuite

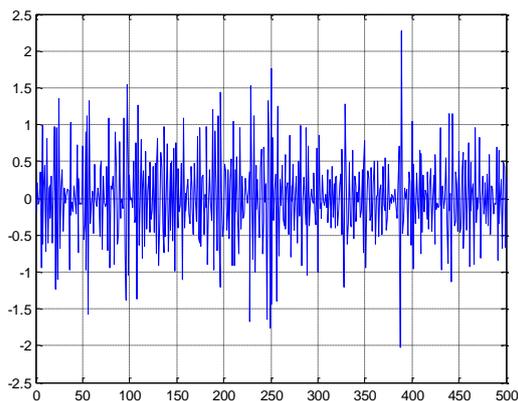
Nous avons appliqué la DWT (Discret wavelette Transform) en utilisant l'ondelette de Daubechies 4 pour décomposer le signal du courant de fuite afin d'identifier les transitions pour la pollution non-uniforme, la décomposition se fait à base d'un programme sous matlab pour nous permettre d'aboutir aux figures III.14. (a), (b), (c), (d). Ainsi nous avons appliqué la RP aux détails D1.



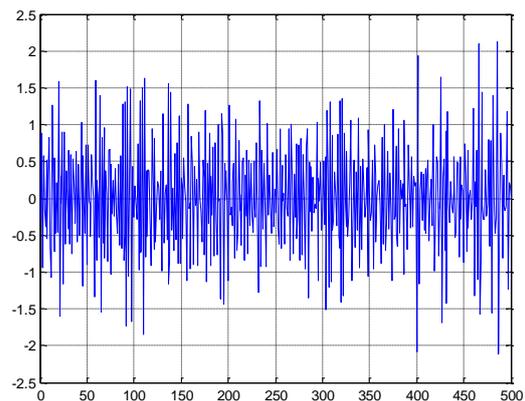
(a) D1 de la décomposition en ondelettes du signal du courant de fuite pour un contournement lointain (10kV)



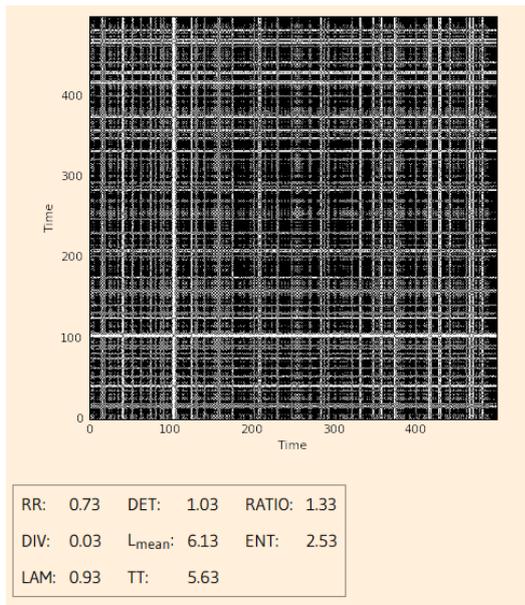
(b) D1 de la décomposition en ondelettes du signal du courant de fuite pour un contournement proche (50 kV)



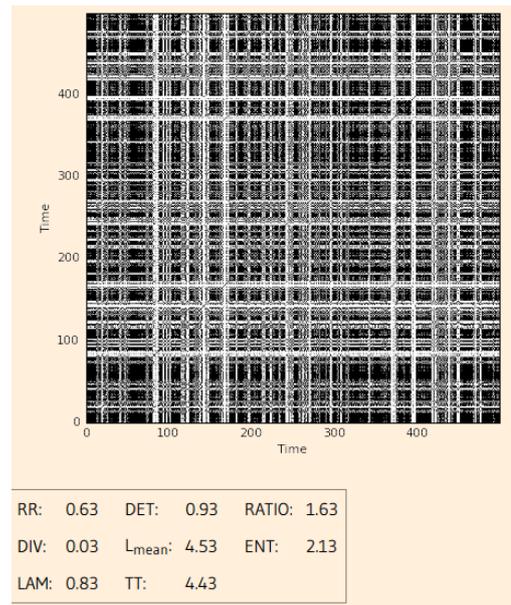
(c) D1 de la décomposition en ondelettes du signal du courant de fuite pour un contournement lointain (sable de dune 20 kV)



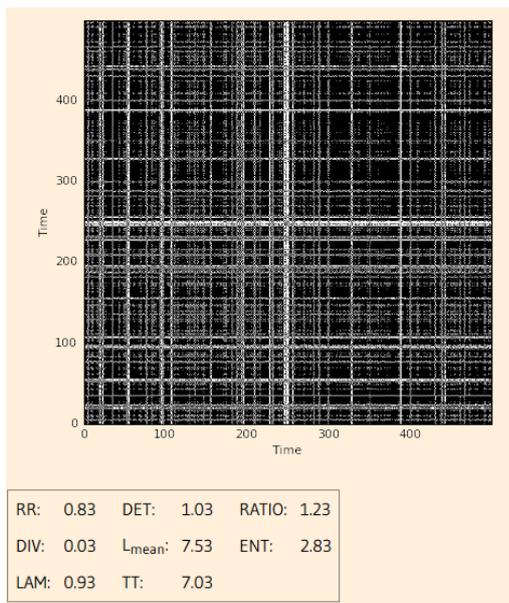
(d) D1 de la décomposition en ondelettes du signal du courant de fuite pour un contournement proche (sable de mer 20 kV)



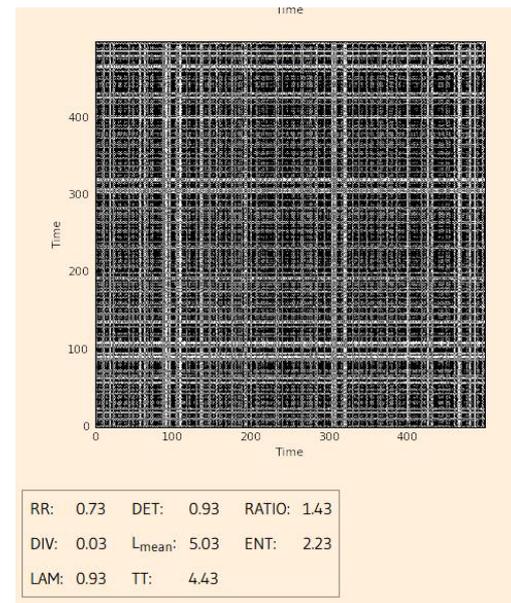
(e) RP du D1 de la décomposition en ondelettes pour un contournement lointain (10 kV)



(f) RP du D1 de la décomposition en ondelettes pour un contournement proche (50 kV)



(g) RP du D1 de la décomposition en ondelettes pour un contournement lointain (sable dune 20 kV)



(h) RP du D1 de la décomposition en ondelettes pour un contournement proche (sable mer 20 kV)

**Figure III.14.** Exemple de la technique RP appliquée au détail D1

D'après la figure III.14. Nous constatons qu'au niveau des RP appliqués aux détails D1 de courant de fuite pour un contournement lointain on a une coloration foncée par rapport à ceux du contournement proche. Pour une largeur de bande propre de 1 cm nous observons une nette coloration blanche marqué par des traits blancs qui sont plus conséquents en (f) qu'en (e) ceux qui indique que nous somme près du contournement, de même pour (h) et (g) car le

sable de mer a une plus grande conductivité que le sable de dune ce qui a été vérifié par les mesures [28] au Laboratoire de haute Tension. Aussi le Ratio du contournement lointain est inférieur au Ratio du contournement proche et inversement pour le TT.

### **Conclusion**

Le travail que nous avons réalisé consiste à la présentation de l'évolution de certaines caractéristiques décrivant l'état de surface d'un isolateur soumise à un certain degré de pollution en utilisant la logique floue pour le contournement et la RP pour le courant de fuite.

Nous avons remarqué que le système d'inférence floue (SIF) a pu prédire le 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 obtenus, nous concluons que l'augmentation de la conductivité, tension appliquée et largeur des bandes polluées provoque le contournement de l'isolateur pollué.

D'après ces tests nous pouvons conclure que :

- Les résultats de la prédiction avec les résultats issus de l'expérimental sont en très bonne concordance.
- La logique floue a montré comme technique de l'intelligence artificielle une grande aptitude et efficacité dans la prédiction de contournement de l'isolateur de Haute Tension étudié durant notre travail.