

III.1. Introduction

L'étude du contournement des isolateurs peut être effectuée par des essais pratiques ou par des études de modélisation mathématique du comportement de l'isolateur sous l'effet de différentes contraintes qu'on lui a appliqué. Les techniques de l'intelligence artificielle peuvent être utilisées dans l'étude du comportement des isolateurs sous l'effet de différentes contraintes en particulier dans la prédiction de la tension de contournement de l'isolateur.

Dans notre étude nous utilisons l'une des techniques d'IA qui est le système d'inférence flou à base de réseaux de neurones adaptatifs (ANFIS) pour la prédiction de la tension critique de contournement des isolateurs pollués des lignes haute tension. L'application de cette technique exige la définition des différents paramètres nécessaires pour son implémentation tel que les entrées, les sorties, moteur d'inférence, ... etc.

Dans ce chapitre nous présentons les résultats expérimentaux de A. Rahouani [42](essais réalisés au niveau de laboratoire de haute tension d'Université IBN Khaldoun-Tiaret) utilisés dans la création de notre ANFIS pour la prédiction de la tension de contournement et de courant de fuite d'isolateur F160D-146DC. Ce dernier est utilisé par la SONELGAZ -Algérienne pour les lignes de haute tension (400 kV) entre Bechar et Naama.

III.2. Résultats Expérimentaux

III.2.1. Mesure de la Tension de Contournement pour Différentes Largeurs des Bandes Propres

Le tableau **III.1.** Montre les résultats de la tension de contournement mesuré pour différentes largeurs des bandes propres et une conductivité de 1mS/cm. [43]

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)	1 cm x 3	124	112	110	115.33
	3cm x 3	128	124	132	128
	5cm x 3	114	108	116	112.66

III.2.2. Mesure de la Tension de Contournement Pour Différents Types de Pollution

Le tableau **III.2.** Montre les résultats de la tension de contournement mesurée pour différentes types de pollution et une largeur des bandes propre de 1cm.[42]

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 de mer $\sigma = 598 \mu\text{S/cm}$	61	55	60	58.66

III.2.3. 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. [42]

III.2.3.1. Mesure de Courant de Fuite pour la 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) [42].

U_{App} KV	1	2	3	4	$I_{moyenne}(\mu\text{A})$
10	48	38	45.1	64.2	48.825
20	100	129	108	121	114.5
30	235	174	214	207	207.5
40	382	359	383	357	370.25
50	1190	1150	1150	1220	117.75

III.2.3.2. Mesure de Courant de Fuite pour la 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_{App} (kV)	1	2	3	4	$I_{f\text{ moyenne}}(\mu A)$
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.2.3.3. Mesure de Courant de Fuite pour la 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.3. Prédiction de la Tension de Contournement par l'Approche ANFIS

III.3.1. Processus d'ANFIS

Plusieurs paramètres peuvent influer sur la tension de contournement telle que la conductivité et la largeur des bandes propres. La structure générale de l'approche ANFIS prend la forme représentée sur la figure **III.6**.

La première simulation de l'approche neuro-floue a comme entrées (input) la conductivité et la largeur des bandes propres et comme sortie (output) les tensions de contournement.

La deuxième simulation de l'approche neuro-floue a comme entrées (input) les tensions appliquées et la largeur des bandes propres et comme sortie (output) les courantes de fuites.

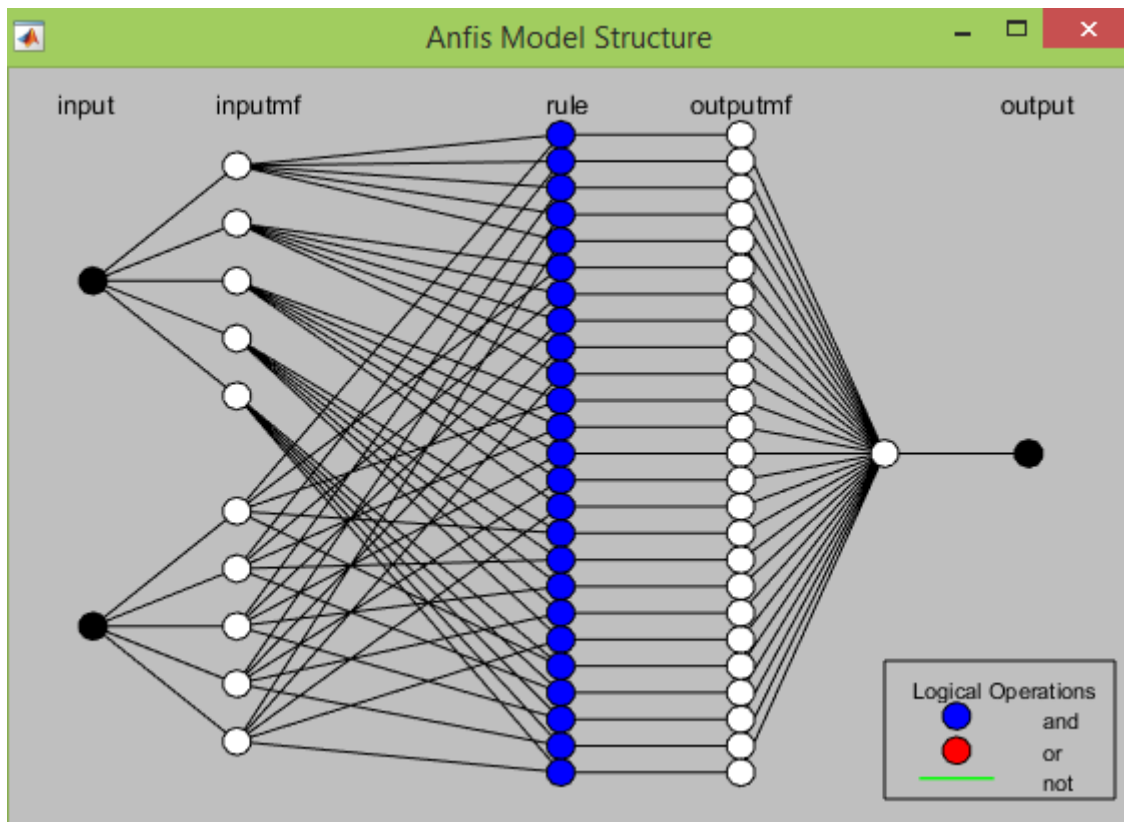


Figure III.6. Structure du réseau ANFIS utilisée

III.3.2. Implémentation du modèle ANFIS

L'instruction utilisée pour la simulation d'ANFIS est «anfisedit» disponible au sein du logiciel Matlab.

Les figures III.7 jusqu'au III.9 illustrent les étapes de traitement de l'approche neuro-floue. Ces résultats ont été réalisés pour différents types des fonctions d'appartenance (membership fuction) MFs, le mode d'apprentissage est hybride, la fonction de sortie est linéaire.

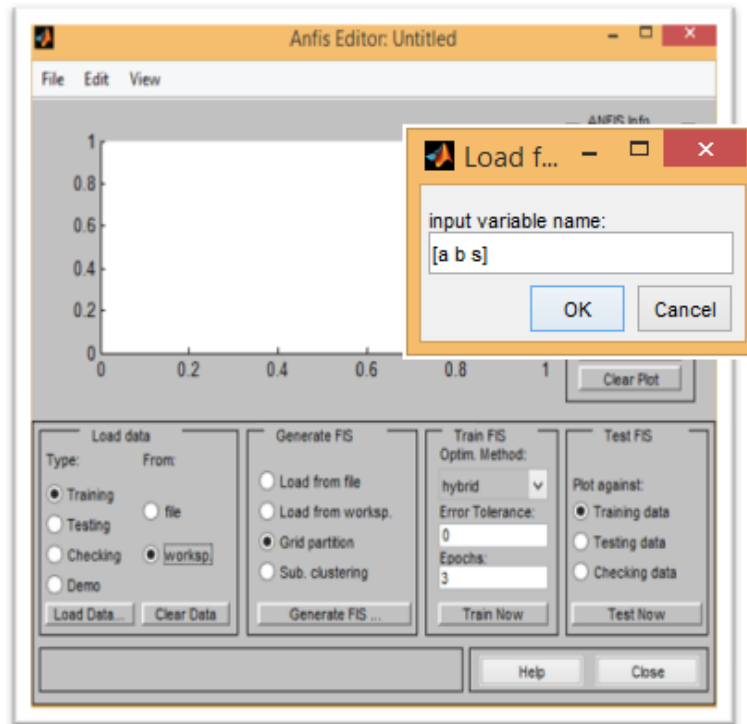


Figure III.7. Importation des données d'espace de travail (workspace).

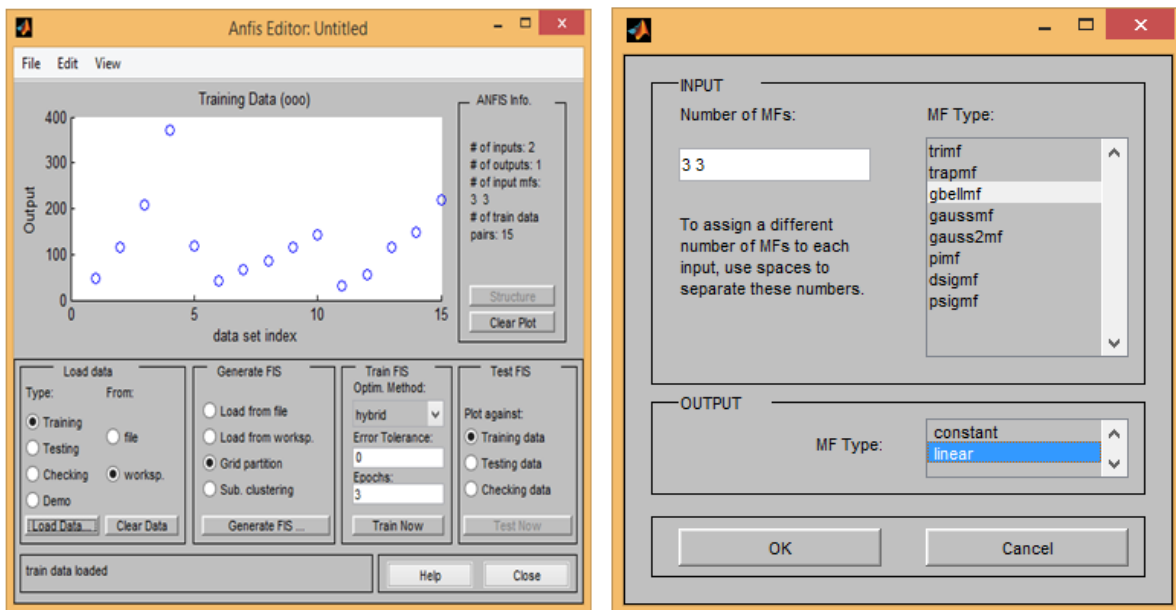


Figure III.8. Création du système d'inférence floue (Generate Fis)

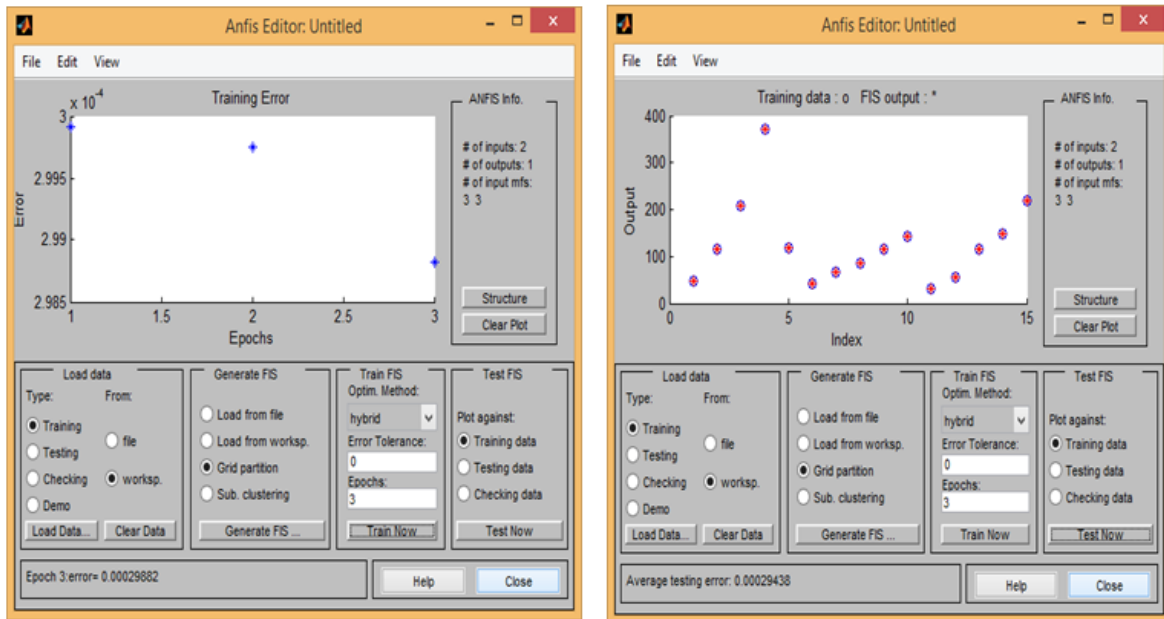


Figure III.9. L'apprentissage du système et calcul d'erreur (train and test)

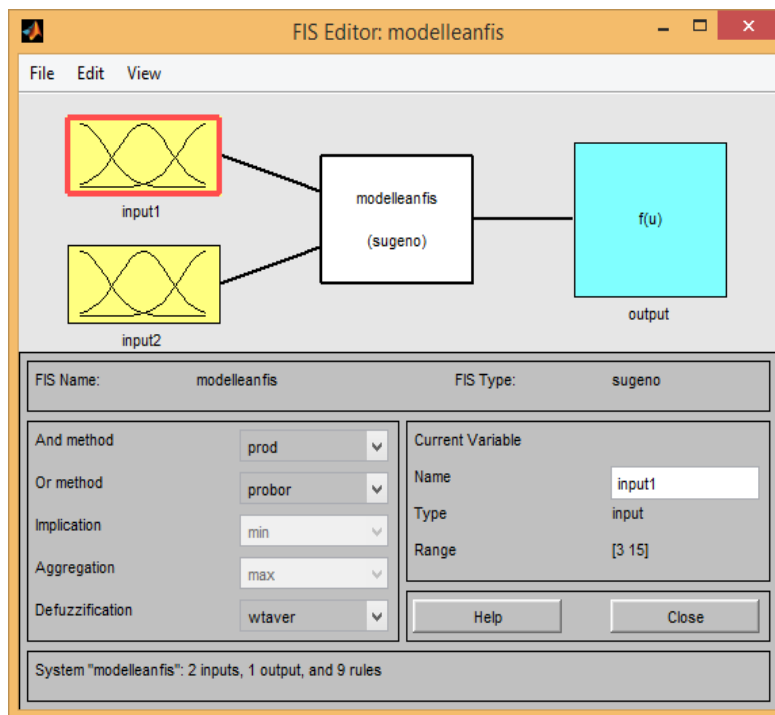


Figure III.10. système Floue utilisé

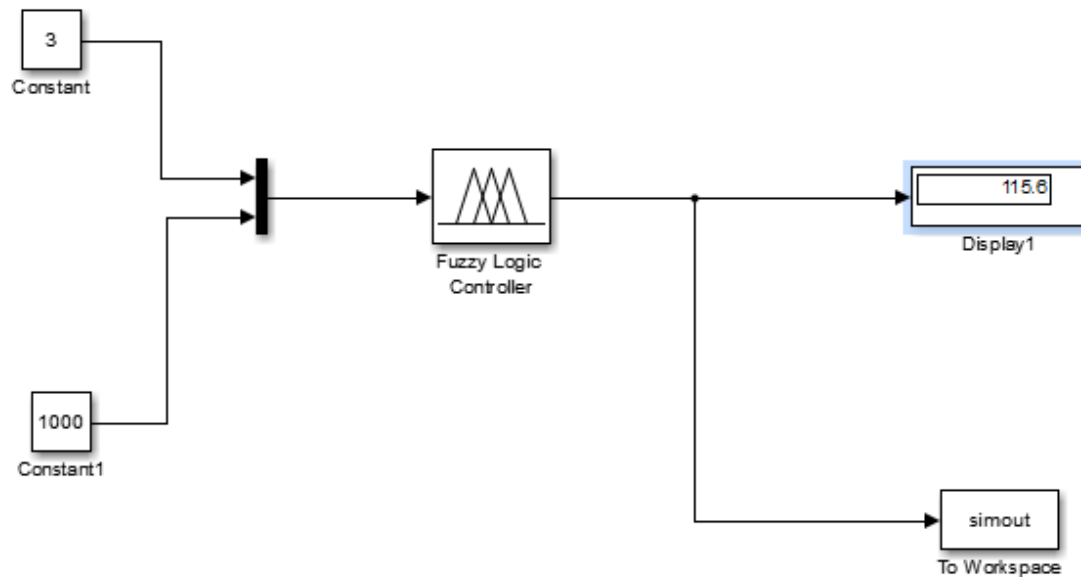


Figure III.11. Fichier simulink utilisé

III.3.3. Résultats obtenus

III.3.3.1. Résultats de la première Simulation

Le **tableau III.6** contient les tensions de contournement des isolateurs désirées (résultats expérimentaux) et ceux calculées (prédites) par ANFIS pour différentes valeurs de conductivités et largeur des bandes propres.

Selon le **tableau III.7**, la fonction d'appartenance de type trapézoïdale (*trapmf*) représente la fonction appropriée qu'on peut adopter pour estimer la tension de contournement, car elle donne la plus faible valeur de l'erreur **0.0026478** pendant le processus de test.

tableau III.6. Tensions de contournement

Conductivité	Largeur des bandes propres	Tension de Contournement calculée par ANFIS (kV)	Tension de contournement désirée (kV) Pratique [42]	Validé
1mS/cm	3*1cm	115.6	115.33	✓
1mS/cm	3*3cm	128	128	✓
1mS/cm	3*5cm	112.7	112.66	✓
Sable de mer	3*1cm	58.66	58.66	✓
Sable se sol	3*1cm	126.7	126.66	✓
Sable des dunes	3*1cm	133.3	133.33	✓

Tableau III.7. L'erreur de la première simulation

Type MFS	NB MFS	NB D'itération	Erreur
Gbellmf	3 3	3	0.019581
	5 5	3	0.021247
	7 7	3	0.028579
Gaussmf	3 3	3	0.041039
	5 5	3	0.0059508
	7 7	3	0.01083
Trapmf	3 3	3	0.0026482
	5 5	3	0.0026543
	7 7	3	0.0026478
Trimf	3 3	3	0.10975
	5 5	3	0.0026953
	7 7	3	0.0026888
Gauss2mf	3 3	3	0.0054786
	5 5	3	0.0077289
	7 7	3	0.0036046
Pimf	3 3	3	0.0026482
	5 5	3	0.0026662
	7 7	3	0.0027483
Dsigmf	3 3	3	0.012517
	5 5	3	0.009827
	7 7	3	0.0051094
Psigmf	3 3	3	0.0054349
	5 5	3	0.012623
	7 7	3	0.0015124

III.3.3.2. Résultats de la deuxième Simulation

Le **tableau III.8** contient les courant de fuite désirées (pratique) et celles calculées (prédites) par ANFIS pour différentes valeurs des tensions appliquées et largeur des bandes propres.

Selon le **tableau III.9**, la fonction d'appartenance en forme de Pi (Pimf) représente la fonction appropriée qu'on peut adopter pour estimer la tension de contournement, car elle donne la plus faible valeur de l'erreur **1.0679e-05** pendant le processus de test.

Tableau III.8 courant de fuite

Largeur des bandes propres	Tension Appliquée	Courant de fuite calculé par modèle simullink(ANFIS)	Courant de fuite désiré	Validé
3*1cm	10	48.3	48,825	✓
3*1cm	20	114.5	114,5	✓
3*1cm	30	207.5	207,5	✓
3*1cm	40	370.5	370,5	✓
3*1cm	50	117.8	117,75	✓
3*3cm	10	42.821	42,825	✓
3*3cm	20	66.5	66,55	✓
3*3cm	30	86.18	86,175	✓
3*3cm	40	115.8	115,75	✓
3*3cm	50	143.3	143,25	✓
3*5cm	10	31.03	31,025	✓
3*5cm	20	55.83	55,825	✓
3*5cm	30	115.2	115,25	✓
3*5cm	40	147.5	147,5	✓
3*5cm	50	219	219	✓

Tableau III.9. L'erreur de la deuxième simulation

Type MFS	Nbr MFs	Nbr d'itération.	Erreur
Gbellmf	3 3	3	0.00029882
	5 5	3	3.6559e-05
	7 7	3	4.0851e-05
Gaussmf	3 3	3	0.00034302
	5 5	3	3.5939e-05
	7 7	3	2.8022e-05
Trimf	3 3	3	0.00017965
	5 5	3	1.4946e-05
	7 7	3	1.3344e-05
Trapmf	3 3	3	0.00017643
	5 5	3	1.4946e-05
	7 7	3	1.1232e-05
Gauss2mf	3 3	3	0.00017877
	5 5	3	3.6504e-05
	7 7	3	2.8632e-05
Pimf	3 3	3	0.00017616
	5 5	3	1.4946e-05
	7 7	3	1.0679e-05
Dsigmf	3 3	3	0.0001764
	5 5	3	5.3592e-05
	7 7	3	4.0311e-05
Psigmf	3 3	3	0.00018137
	5 5	3	3.8216e-05
	7 7	3	2.1626e-05

III.3.3.3. Comparaison des Résultats

D'après le **tableau III.10.** Nous constatons qu'il existe une similitude suffisante entre les résultats obtenus par l'ANFIS, ceux trouvés par RNA, résultats trouvés par logique flou (LF) et les résultats pratiques [42].

Les résultats trouvés par l'ANFIS sont en parfaite concordance avec le test pratique donné par la référence [42] ce qui signifie que le système ANFIS est valable pour prédire le contournement d'isolateur HT étudié.

Tableau.III. 10. Montre la prédiction de la tension de contournement de l'isolateur trouvé par FL et RNA, et ANFIS comparés aux résultats pratiques

conductivité	largeur des bandes propres	tension de contournement pratique	Test pratique	Etat d'isolateur prédire par LF	Tension de contournement prédire		
					Tension calculée Neuronne	Tension calculé par ANFIS	Etat d isolateur
1mS/cm	3*1cm	115.33	Contournement	contournement	115.3431	115.6	contournement
1mS/cm	3*3cm	128	Contournement	contournement	128.0001	128.0	contournement
1mS/cm	3*5cm	112.66	Contournement	contournement	100.9898	112.7	contournement
Sable de mer	3*1cm	58.66	Contournement	contournement	58.5369	58.66	contournement
Sable de sol	3*1cm	126.66	Contournement	contournement	126.6680	126.7	contournement
Sable de dune	3*1cm	133.33	Contournement	contournement	132.9456	133.3	contournement

III.4. Conclusion

D'après les résultats obtenus, nous concluons que l'augmentation de la conductivité et la largeur des bandes polluée provoque le contournement de l'isolateur pollué.

Les techniques d'intelligence artificielle (l'approche neuro-floue, réseaux de neurones et logique floue) constituent des véritable techniques pour prédire la tension de contournement des isolateur pollués. Les résultats de la prédiction par L'approche ANFIS avec les résultats issus de l'expérimental sont en très bonne concordance.