

## I.1. INTRODUCTION

L'isolateur haute tension constitue une partie essentielle des systèmes de transmission d'énergie électrique haute tension. La pollution qui recouvre la surface du système d'isolation peut engendrer son contournement par un arc électrique dans le cas où il est soumis à une humidification. Ceci peut endommager l'isolateur ou engendrer la mise hors service de la ligne.

Afin de déterminer le comportement de contournement des isolateurs hautes tensions polluées, plusieurs travaux et recherches ont été effectués.

## I.2. Etude Expérimentale d'un Isolateur Haute Tension non Uniformément Pollué sous Tension Impulsionnelle

La pollution représente un facteur important dans la détérioration des performances de l'isolatrice haute tension. Pour examiner leur comportement dans des conditions fortement polluées et sous tension impulsionnelle [2][3]. Les chercheurs T. Guia et Al [4] ont effectué une étude sur un modèle non uniformément pollué. Ils ont étudié et surveillé le comportement d'un modèle expérimental, sous tension de choc. Ce modèle est soumis au même état de surface critique d'isolateur capot et tige 1512L. Ce dernier est largement utilisé dans les lignes de transmission à haute tension installées dans la région de Hassi-R'mel [5][6].

Le comportement du modèle de laboratoire est examiné par l'analyse du processus de contournement, le  $U_{50\%}$  de la tension de contournement, le courant de fuite et le rapport tension/courant. Différentes contraintes électro-géométriques sont appliquées sur le modèle de laboratoire, tels que la largeur de la bande polluée, la polarité de l'électrode haute tension, la tension appliquée et le temps entre deux impulsions successives.

### I.2.1. Dispositif Expérimental

La source d'alimentation est constituée d'un générateur d'impulsions de Marx (8 étages, 640kV et 4 kJ). Le modèle de laboratoire utilisé est constitué par une plaque de verre (500x500x6 mm) ayant la propriété de résister à la chaleur due aux décharges électriques. Deux électrodes utilisées sont composées d'un film d'aluminium ayant une épaisseur de 2 micromètres. La première circulaire (25 mm de rayon) reliée à la haute tension. La seconde est rectangulaire (400x50 mm) reliée à la terre. La répartition de la pollution de l'isolateur 1512 L est reproduite sur le modèle de laboratoire (**Figure.1**). La distance entre les électrodes de ce

modèle expérimental est maintenue constante ( $d = 292 \text{ mm}$ ). Elle correspond à la ligne de fuite d'isolateur réel. Les dimensions longitudinales des bandes propres et polluées sont présentées dans le tableau 1. Pour simuler des couches parfaitement conductrices, la pollution est réalisée par du papier aluminium.

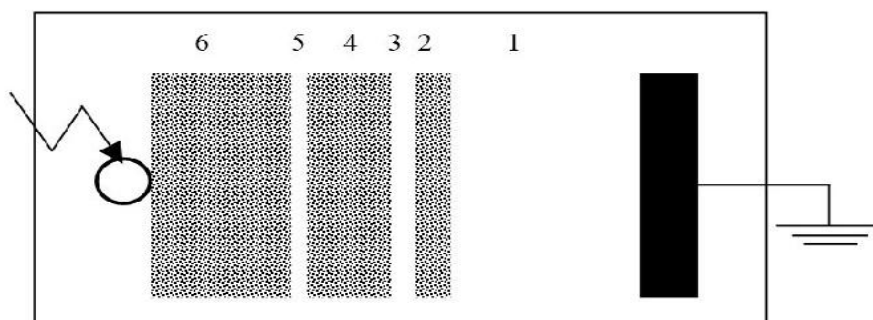


Figure I.1. Modèle expérimental

Tableau I.1. Dimension des bandes propres et polluées

	Bande i	Longueur (mm)	Pourcentage par rapport a la ligne de fuite(%)	
Bande équivalente propre	1	106	36.30	42.12
	3	13	4.45	
	5	04	1.37	
Bande équivalente polluée	2	30	10.27	57.88
	4	52	17.81	
	6	87	29.80	

La tension de contournement est mesurée pour les deux polarités positive et négative de l'électrode haute tension et pour des différentes largeurs de pollution (1, 2, 4, 6, 8, 16, 24, 32 et 40 cm). Le courant de fuite est mesuré en utilisant le circuit électrique constitué par deux résistances et un amplificateur opérationnel (UA74) [7]. Pour enregistrer tout signal de courant, GUIA et AL ont utilisé un adaptateur à l'entrée de l'oscilloscope (Tektronix DTS 340A 100MHz). Pour une largeur donnée de la pollution et de la polarité de l'électrode haute tension, le courant de fuite est enregistrée pour les niveaux de tension suivants:  $0.5U_{0\%}$ ,  $0.6U_{0\%}$ ,  $0.7U_{0\%}$  et  $0.8U_{0\%}$ ,  $U_{0\%}$  est la tension avec une probabilité de décharge nulle, ils ont été déterminées en utilisant la méthode « des tests multiples de niveau » basé sur la CEI 60060-1 [8][9].

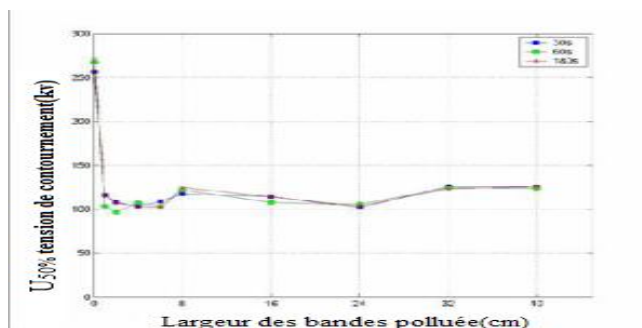
## I.2.2. Résultats Expérimentaux

### I.2.2.1. $U_{50\%}$ Tension de Claquage

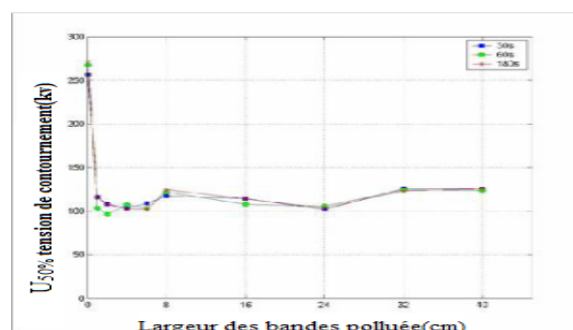
Les observations en laboratoire montrent que le contournement se produit directement, sans apparition d'arcs partiels préliminaires. Avec l'augmentation de la tension appliquée, et à partir d'un seuil représentatif de la tension critique, un court-circuit de décharge électrique rapide de la distance entre les électrodes, ce qui conduit à l'embrasement de la surface isolante. Ce phénomène, caractérisé par l'absence de décharges partielles, est due à la nature du dépôt de la pollution utilisé et aussi au fait que la longueur de bande propre équivalente est supérieure à la valeur critique à partir de laquelle aucune propagation d'arc partiel d'équilibre [10][11]. Cette longueur critique a été estimée dans une étude antérieure [12][13] pour ( $\approx 33\%$ ) de la distance entre les électrodes. Dans notre cas, la dimension longitudinale de la bande propre équivalente représente 42,12% du trajet de fuite totale.

#### I.2.2.1.1 Effet de la Largeur des Bandes Polluées sur la tension de contournement

La **Figure 2 (a)** et **(b)** montrent la variation du  $U_{50\%}$  Tension de décharge en fonction de la largeur des bandes polluées, pour différents temps entre deux chocs et pour les deux polarités. Avec l'augmentation de la largeur des bandes polluées,  $U_{50\%}$  tension de contournement diminue rapidement pour les largeurs comprises entre 0 et 4 cm, augmenter légèrement entre 4 et 8 cm et ailleurs sont pratiquement invariants. La diminution brutale de  $U_{50\%}$  de contournement est expliquée par le fait que ces couches de pollution de papier d'aluminium sont considérées comme des électrodes de flotteurs de largeurs faibles. Dans ces conditions, le champ électrique devient intense engendrant une réduction de la rigidité diélectrique du système.



(a) pour la polarité positive

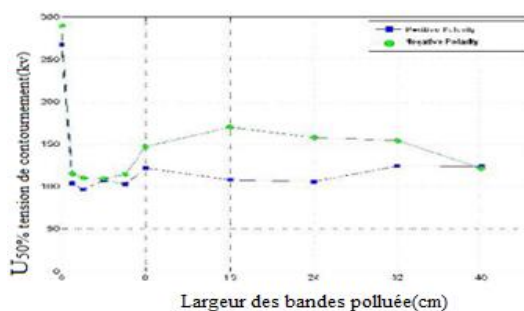


(b) pour la polarité négative

**Figure I. 2 :**  $U_{50\%}$  Tension de claquage en fonction de la largeur des bandes polluées pour différentes durée entre deux chocs

### I.2.2.1.2 Effet de Polarité de l'Electrode Haute Tension sur la Tension de Contournement

La polarité de l'électrode haute tension a un rôle non négligeable dans le comportement des isolants. Certains chercheurs [14] ont montré que la rigidité diélectrique de polarité positive constitue la contrainte sévère pour les réseaux électriques haute tension. Cependant, d'autres auteurs ont obtenu le contraire [15]. Le même résultat a été obtenu dans le cas d'isolateurs couverts par la glace [14]. Pour les mêmes largeurs des bandes polluées inférieure à 40 cm et quel que soit le temps écoulé entre deux chocs, la figure.3 montre que le  $U_{50\%}$  tension de contournement obtenue dans le cas de polarité négative est plus élevée. Cependant, pour la plus grande largeur (40 cm) des couches de pollution, les tensions obtenues dans le cas des deux polarités sont, en général, tout près.



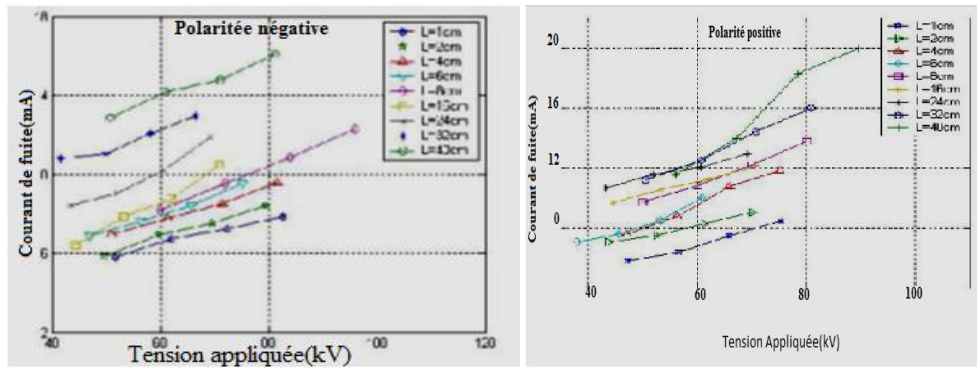
**Figure I. 3:**  $U_{50\%}$  Tension de claquage en fonction de la largeur des bandes polluées pour les deux polarités

### I.2.2.2 Courant de Fuite

Ce qui concerne le courant de fuite, ils ont été intéressés à la valeur de crête obtenue pour le niveau de tension appliqué suivant: 0,5, 0,6, 0,7 et 0,8  $U_{0\%}$ .

#### I.2.2.2.1 Effet de Tension Appliquée

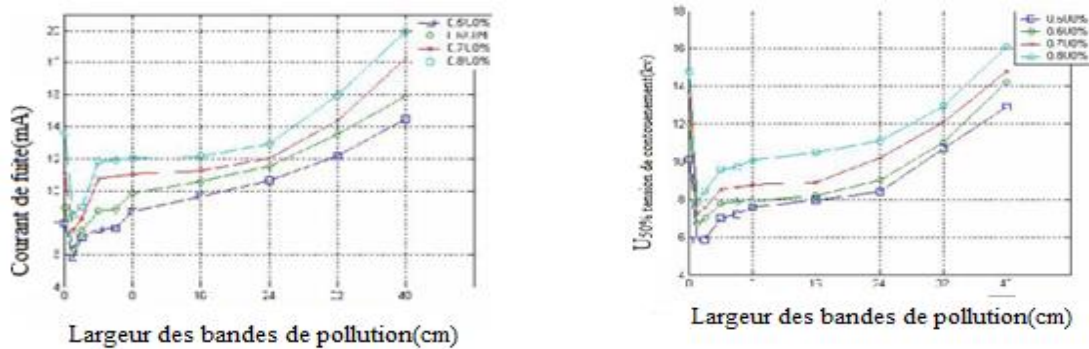
Les caractéristiques donnant le courant de fuite en fonction de la tension appliquée sont présentées dans les **Figures 4 (a) et (b)**. Pour les deux polarités et quelle que soit la largeur des bandes polluées, le courant de fuite augmente avec la tension appliquée.



**Figure I. 4:** Courant de fuite en fonction de la tension appliquée  
 (a) pour la Polarité positive  
 (b) pour la Polarité négative

**I.2.2.2.2 Effet de la Largeur des bandes polluées**

Pour les niveaux de tension appliquée adoptées et les deux polarités, la variation du courant de fuite en fonction de la largeur des bandes polluées est présentée dans les **Figures 5 (a) et (b)**. Avec l'augmentation de la largeur des bandes polluées, le courant de fuite diminue brusquement pour des largeurs variant de 0 à 1 cm, atteint un minimum à 1 cm et augmente par la suite. A partir de 24 cm, l'augmentation du courant de fuite est accentuée notamment pour des tensions plus élevées. Cette augmentation brutale du courant de fuite est expliquée par la diminution de l'impédance totale équivalente entre les électrodes.



(a) Pour la polarité positive  
 (b) pour la polarité négative

**Figure I. 5 :** Courant de fuite en fonction de largeur de la pollution

### I.2.2.2.3 Effet de Polarité de l'Electrode Haute Tension sur le Courant de Fuite

Les Figures I.6 - I.7 présentent respectivement les variations du courant de fuite en fonction de la largeur des bandes polluées et en fonction de la tension appliquée. Ces caractéristiques montrent que le courant de fuite est plus important dans la polarité positive.

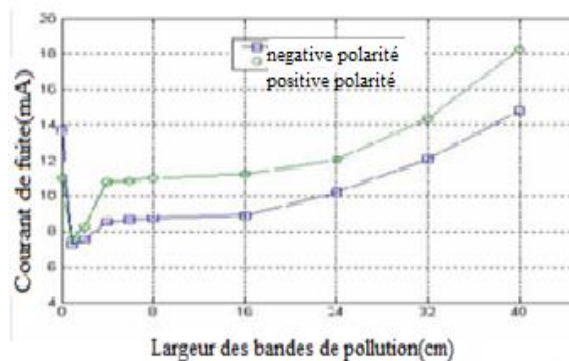


Figure I. 6. Courant de fuite en fonction de la largeur de la pollution pour les deux polarités et une tension de  $0.8U_{0\%}$

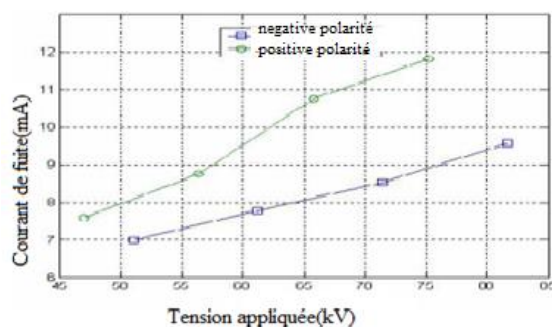
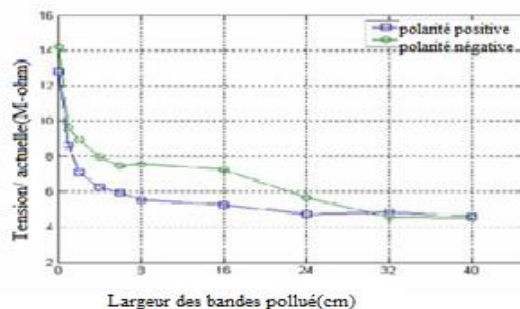


Figure I. 7. Courant de fuite en fonction de la tension appliquée pendant deux polarités et à une largeur de pollution 4 cm

### I.2.3. Rapport Tension /Courant

L'amplitude du courant de fuite augmente pratiquement linéairement avec la tension appliquée, La Figure I.8 montre le rapport tension/courant en fonction de la largeur des bandes polluées.



**Figure I. 8.** Rapport tension / courant en fonction de la largeur des bandes polluées, pour deux polarités

Pour une polarité donnée, lorsque la largeur des bandes polluées augmente, le rapport tension / courant diminue rapidement pour des largeurs comprises entre 0 et 8 cm et lentement ailleurs. Par contre et pour les largeurs inférieure à 32 cm, le rapport tension / courant obtenu dans le cas de polarité négative est supérieur à celui obtenu dans le cas de polarité positive. De plus, cette figure montre que la polarité n'a pratiquement aucun effet sur le rapport tension / courant, pour des largeurs supérieures à 32 cm.

D'après ces différentes analyses, les auteurs ont pu affirmer que:

- le contournement se produit directement sans apparition de décharge partielle.
- L'augmentation de la largeur des bandes polluées conduit à la diminution de  $U_{50\%}$  de tension de contournement quel que soit la variation du temps entre deux chocs.
- le système est plus rigide dans le cas de polarité négative.
- L'amplitude du courant de fuite augmente avec la tension appliquée.
- Lorsque la Largeur des bandes polluées augmente, le courant de fuite diminue dans un premier temps, atteint un minimum puis augmente après.
- les courants de fuite enregistrés dans le cas de polarité positive sont plus importants que ceux obtenus dans la polarité négative.
- L'augmentation de la largeur de pollution conduit à une diminution du rapport tension / courant. Ce dernier est plus important dans le cas de polarité négative.

### I.3. Prédiction de la Tension de Contournement par l'Approche ANFIS

Dans ce travail l'auteur Sid Ahmed Bessedik [16] a appliqué le système adaptative neuro-floue (ANFIS) pour estimer la tension critique de contournement pour les isolateurs

pollués en utilisant des mesures effectuées dans une station d'essai d'isolateur selon la norme CEI et un modèle mathématique en fonction des caractéristiques d'isolateur.

### I.3.1. Mesures Expérimentales et Collecte de Données

Les données concernant les isolateurs à capot et tige étaient utilisées pour la formation et les tests de l'ANFIS. Plus précisément, les caractéristiques géométriques ont été utilisées comme variables d'entrée: le diamètre maximal  $D_m$  (cm) de l'isolateur, sa hauteur  $H$  (cm), la ligne de fuite  $L$  (cm), son facteur de forme  $F$  et la conductivité de couche  $\sigma_s$  ( $\mu S$ ) tandis que la sortie est la tension critique de contournement  $U_c$  (kV).

L'ensemble de données a été construit en utilisant des données acquises de l'expérience et l'application d'un modèle mathématique. En particulier, les expériences ont été réalisées dans une station d'essai installée dans le laboratoire des essais de haute tension de la Société d'énergie publique, Centre de recherche et de normalisation d'Athènes selon la CEI 507:1991.

### I. 3. 2. Modèle Mathématique du Processus du Contournement

Un isolateur pollué est décrit par des équations analytiques publiées par divers chercheurs scientifiques tel que Boeme, Obenaus, Alston et Zoledziowski. Ces procédures ont été utilisées pour la formulation d'un modèle mathématique permettant de déterminer des paramètres du contournement des isolateurs pollués. Le modèle le plus connue [17] [18] est constitué d'un arc partiel recouvrant une zone sèche en série avec la résistance de la couche polluée. Par conséquent, la tension aux bornes d'isolateur sera:

$$U = xAI^{-n} + (L - x)r_p I \quad (I.1)$$

Où:

- $xAI^{-n}$  est la tension de l'arc.
- $(L - x).r_p.I$  est la tension de la couche polluée.
- $x$  est la longueur de l'arc,  $L$  est la ligne de fuite de l'isolateur en cm
- $r_p$  est la résistance par unité de longueur de la couche de pollution,  $I$  est le courant de

fuite et  $A$  et  $n$  sont les constantes d'arc, Leurs valeurs  $A = 124,8$ ;  $n = 0,409$  ont été déterminés en utilisant une méthode d'optimisation complexe [19].

La résistance  $r_p$  peut être calculée par la formule:



$$\sigma_s = \frac{1}{r_p} f \quad (I.2)$$

Où f est le facteur de forme de l'isolateur donné l'équation suivante :

$$f = \int_0^L \frac{1}{\pi D(L)} dl \quad (I.3)$$

D(l) est le diamètre de l'isolateur.

$$\sigma_s = (369.05.C + 0.42). 10^{-6} \quad (I.4)$$

C: est l'équivalent de densité de dépôt du sel.

La condition critique de la propagation de décharge le long de la surface d'isolateur jusqu'au contournement [20]

$$\frac{dl}{dx} > 0 \quad (I.5)$$

La tension sous cette condition critique de rendement est donnée par :

$$U = xA I^{-n} + (L - X) K r_p I \quad (I.6)$$

$$k = 1 + \frac{L}{2\pi F(L-x_c)} \ln \left[ \frac{L}{2\pi f \sqrt{\frac{\pi D_m \sigma_s A^{N+1}}{1.45\pi}}} \right] \quad (I.7)$$

$$x_c = \frac{1}{n+1} L \quad (I.8)$$

$$I_c = (\pi D_m \sigma_s A)^{\frac{1}{n+1}} \quad (I.9)$$

$$U_c = \frac{A}{n+1} (1 + \pi D_m F K n) (\pi D_m \sigma_s A x)^{\frac{-n}{n+1}} \quad (I.10)$$

### I. 3. 3. Système d'Inférence Neuro-Floue Adaptatif

La combinaison de la logique floue avec la conception architecturale du réseau de neurones conduit à la création de systèmes neuro-flous qui bénéficient de calcul avancé de la sortie et de capacité de rétro propagation d'apprentissage des réseaux neuronaux, tout en gardant l'inter-prétabilité d'un système flou. Le Takagi-Sugeno-Kang (TSK) est un système flou avec des fonctions nettes par conséquent qui est perçu comme approprié pour des application complexes.

### I.3.4. Algorithme d'Apprentissage

Les paramètres des fonctions d'appartenance de l'ANFIS ont été ajustés en combinant l'algorithme d'apprentissage retro propagation avec l'algorithme de moindre carré support vecteur machine qui est illustré par le tableau suivant

**Tableau I. 2.** Procédure d'apprentissage hybride en deux passages de l'ANFIS [19]

	Passage vers l'avant	Passage en arrière
Paramètre de fonction d'appartenance	Fixe	Retro propagation
Paramètre de coefficient	Moindre carrés	Fixe

### I.3.5. Estimation de la Tension Critique de Contournement à l'aide d'ANFIS

L'ANFIS développé est appliqué pour l'estimation de la tension de contournement des isolateurs pollués. Les données du modèle mathématique et un ensemble de données expérimentales utilisées pour former le modèle de l'ANFIS, tandis que le reste des données expérimentales a été utilisé pour tester sa performance. L'ensemble d'entraînement comprend 144 modèles / vecteurs (dont 140 vecteurs sont dérivés du modèle et 4 vecteurs sont des valeurs réelles), et le modèle ANFIS est testé en utilisant 24 modèles (données expérimentales).

### I.3.6. Résultats et discussion

Les résultats obtenus par l'approche ANFIS pour la prédiction de la tension critique de contournement ont été résumés dans le **Tableau I.3.** Selon ce dernier, la fonction

d'appartenance de type triangulaire (trimf) représente la fonction appropriée qu'on peut adopter pour estimer la tension de contournement, car elle donne la plus faible valeur d'erreur MAPE (3,9789 %) est la plus haute valeur du coefficient de détermination R<sup>2</sup> (0,9843) pendant le processus de test.

**Tableau I.3.** Indices statistiques pour l'évaluation de la performance de l'approche ANFIS [19].

Type of mf	No of MF	Step-size	Data normalized	No Epoch	RMSE <sub>tr</sub>	RMSE <sub>Test</sub>	R <sup>2</sup> <sub>tr</sub>	R <sup>2</sup> <sub>test</sub>	MAPE <sub>tr</sub>	MAPE <sub>test</sub>
gbellmf	2	0.05/0.6/1.6	No	300	0.0319	0.7429	1.0000	0.9727	0.2023	4.8474
	2	0.001/0.2/1.6	Yas	300	0.0045	0.0258	0.9996	0.9792	1.1716	21.2116
	3	0.05/0.6/1.6	No	30	0.0340	3.8157	1.0000	0.3656	0.2072	16.9346
	3	0.05/0.6/1.6	Yas	30	0.0297	0.0988	0.9836	0.7131	6.6400	42.9010
Gaussmf	2	0.05/0.6/1.6	No	300	0.1339	0.8566	0.9995	0.9638	0.8296	5.8731
	2	0.001/0.9/1.1	Yas	300	0.0115	0.0295	0.9975	0.9729	5.1022	29.2391
	3	0.05/0.6/1.6	No	30	0.1002	4.0142	0.9997	0.3223	0.5748	15.4005
	3	0.01/0.9/1.1	Yas	30	0.0115	0.0875	0.9975	0.7722	3.6811	39.3295
<b>trimf</b>	<b>2</b>	<b>0.05/0.6/1.6</b>	<b>No</b>	<b>300</b>	<b>0.2426</b>	<b>0.5641</b>	<b>0.9983</b>	<b>0.9843</b>	<b>1.6915</b>	<b>3.9789</b>
	2	0.001/0.9/1.1	Yas	300	0.0214	0.0522	0.9914	0.9153	6.8294	28.3971
	3	0.05/0.6/1.6	No	30	0.0655	1.4512	0.9999	0.8982	0.3775	7.3165
	3	0.001/0.9/1.1	Yas	30	0.0125	0.0426	0.9971	0.9437	4.9279	58.7402
trapmf	2	0.05/0.6/1.6	No	63	0.5447	1.0781	0.9912	0.9439	3.5478	7.3286
	2	0.0009/0.9/1.1	Yas	300	0.0106	0.0394	0.9979	0.9524	5.0512	27.2888
	3	0.001/0.6/1.6	No	30	0.4000	4.5075	0.9953	0.2163	2.0979	21.3876
	3	0.001/0.9/1.1	Yas	30	0.0097	0.0439	0.9983	0.9415	2.7408	23.0487

Le résultat du processus d'apprentissage de l'approche ANFIS est présenté sur la **figure I.9**, ainsi que la comparaison entre les valeurs prédites de la tension de contournement et celles de test pour évaluer la performance de l'approche est illustrée à la **figure I.10**. La **figure I.11** donne la corrélation entre les valeurs estimées et réelles de la tension critique de contournement pour l'ensemble de tests.

Ces résultats ont été réalisés dans les conditions suivantes: les données ne sont pas normalisées, le pas initiale égale à 0,05, le taux de décroissement et le taux d'accroissement sont respectivement 0,6 et 1,6, le nombre maximal d'itérations est 5851, le mode d'apprentissage est hybride, la fonction d'appartenance de sortie est linéaire.

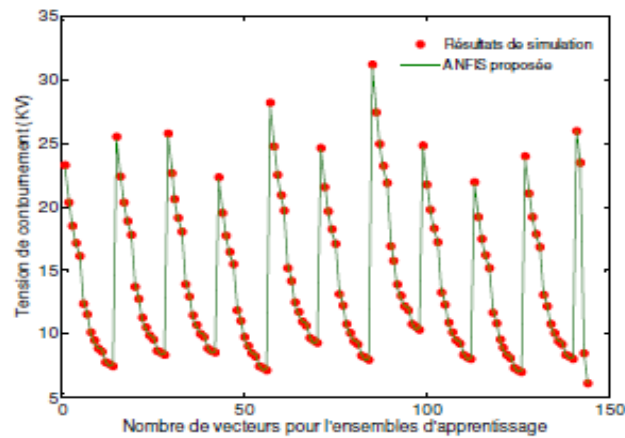


Figure I. 9. Performance de l'approche ANFIS proposée pour l'apprentissage [19]

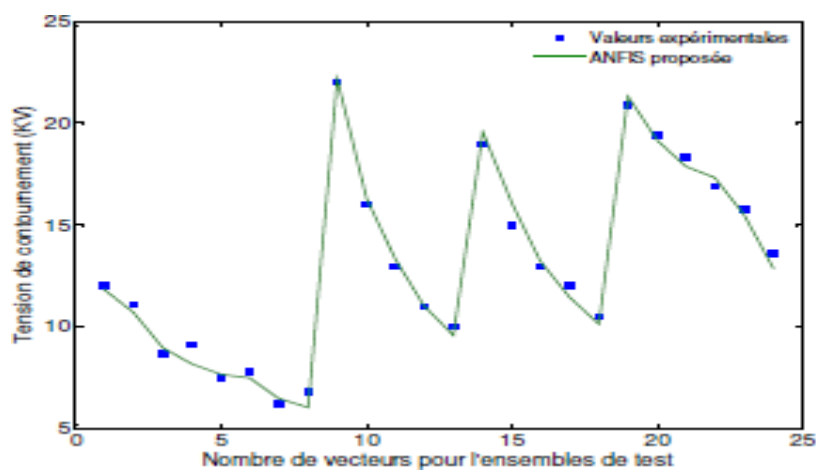


Figure I. 10. Performance de l'approche ANFIS proposée pour le test [15]

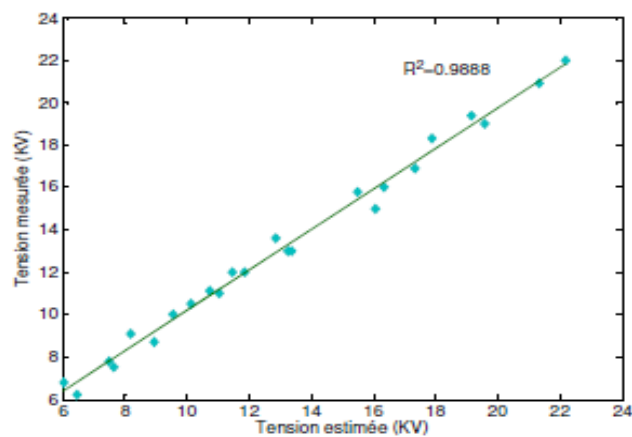


Figure I. 11. Corrélation entre les valeurs mesurées et estimées de la tension critique [19]

Afin d'obtenir une bonne performance pour l'ANFIS, tous les ensembles de données utilisés pour les étapes d'entraînement et de test étaient sélectionnés de manière aléatoire, le modèle ANFIS était construit dans logiciel MATLAB et a été formé avec plusieurs fonctions de formation MATLAB.

Ainsi l'auteur a pu conclure que les résultats obtenus par l'approche ANFIS sont prometteurs et il assure que cette technique peut estimer la tension critique de contournement et constitue un modèle indispensable qui peut être utilisé dans des simulations de terrain de divers paramètres pour des isolateurs pollués. L'ANFIS pourrait également être appliquée dans différents types d'isolateurs avec une plus grande précision que le modèle mathématique en changeant l'ensemble des données.

#### I.4. Prédiction de la tension de contournement d'un isolateur haute tension en utilisant l'intelligence artificielle

Les auteurs Yacine Bourek, Nassima M'Ziou & Hani Benguesmia ont effectué des études sur la prédiction de la tension de contournement d'un isolateur en utilisant l'intelligence artificielle (IA). des tests pratiques ont été effectués sur un isolateur haute tension afin de collecter une base de données utilisée dans le système mise en œuvre du concept d'intelligence artificielle. Ces tests ont été réalisés pour différents niveaux de pollution artificielle (eau distillée saline). Chaque niveau de pollution présente une quantité de pollution artificielle, en millilitres, dans chaque jupon (zone) de l'isolateur[20].

##### I.4.1. Dispositif Expérimental

La station de test et l'objet d'essai utilisés sont illustrés par les **figures I.12 et I.13**.

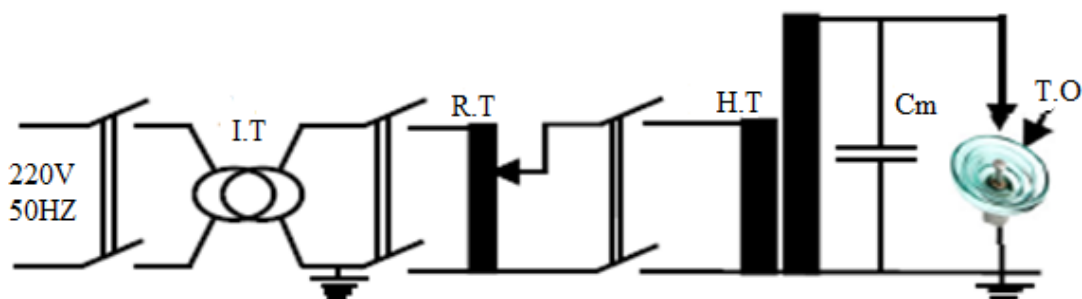


Figure I. 12. Montage expérimental

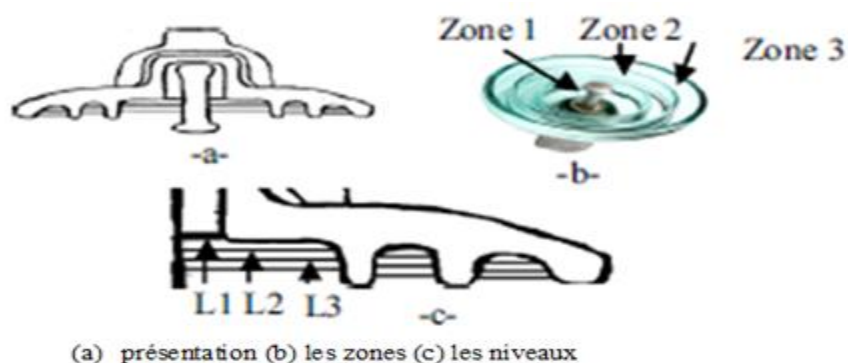


Figure I.13. Présentation polluées et niveaux de pollution artificielle

Tableau I.4: Zones polluées et niveaux de pollution artificielle

Niveaux de pollution	Zones		
	Zone 1	Zone 2	Zone 3
Niveau 1 (L1) (ml)	11.6	13.3	23.3
Niveau 1 (L2) (ml)	23.3	26.6	46.6
Niveau 1 (L3) (ml)	34.9	39.9	69.9

L'augmentation de la tension appliquée provoque la propagation d'arcs aléatoires dans la direction de l'électrode opposée. Si la tension est encore augmentée, les arcs continuent au hasard leur développement jusqu'à ce qu'ils occupent la surface totale de l'isolateur; donc, le contournement se produit. Après chaque test, la surface de l'isolateur est nettoyée par l'alcool isopropylique et rincé par l'eau distillée, afin d'éliminer toute trace de saleté ou de graisse. Les tests sont effectués cinq fois pour différentes valeurs de conductivité de la solution saline introduite dans chaque jupon. La valeur considérée de la tension de contournement est la valeur moyenne des cinq tensions de contournements mesurés.

#### I.4.2. Prédiction de la Tension de Contournement en Utilisant la Logique Floue

Yacine Bourek et Al ont remarquées au cours des tests que la décharge électrique (arcs aléatoires) se développe en augmentant la valeur de tension appliquée. Elle occupe un certain pourcentage de la surface de l'isolateur au début de son développement. Ce pourcentage augmente avec l'augmentation de la tension appliquée, jusqu'à 100%, un contournement de la

surface d'isolateur se produit. Pour cette raison, ils ont choisi une sortie de leur FIS, qui est le pourcentage d'occupation de la surface isolante par la décharge électrique. La conductivité artificielle de la pollution, la tension appliquée et les quantités de pollution artificielle dans chaque zone sont considérées en tant qu'entrées. Ces entrées ne présentent que les paramètres influençant sur le contournement d'isolateur.

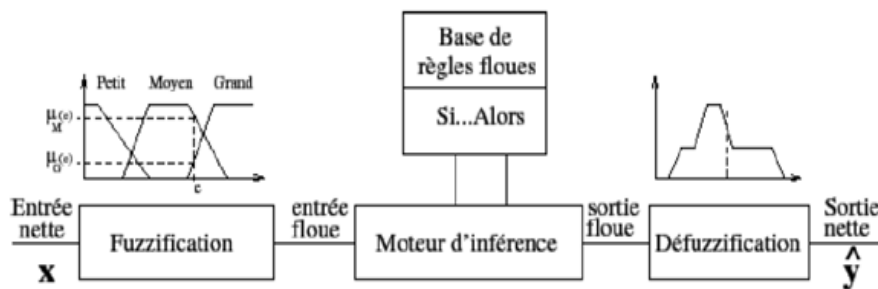


Figure I. 14. Système d'inférence floue ou SIF

Tous les variables d'entrées et de sorties de SIF utilisés et leur univers de discours sont montrés par les figure I.15 et I.16. système d'inférence flou

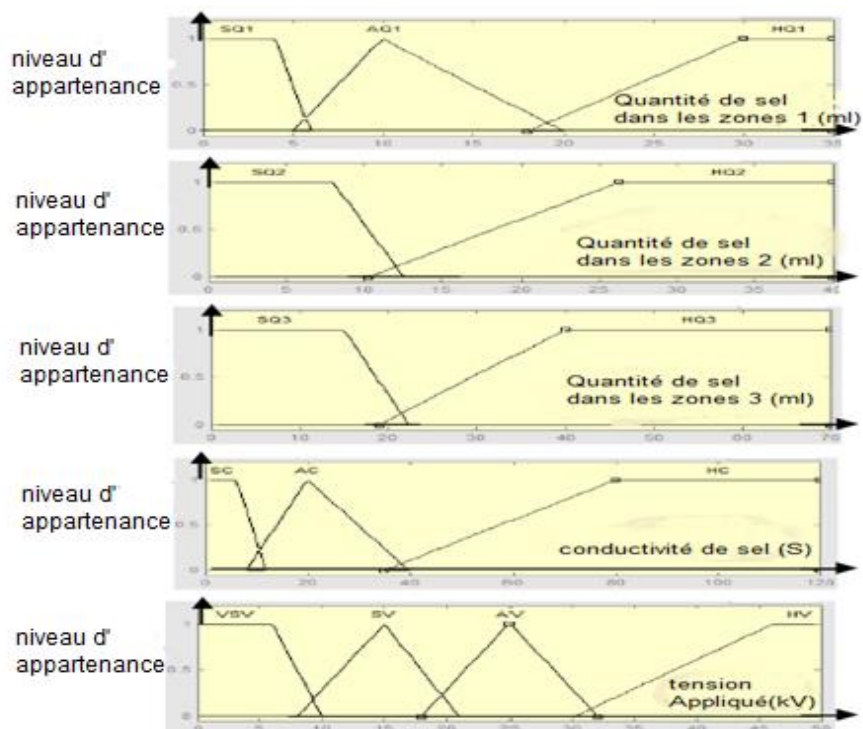


Figure I. 15. Entrées su SIF

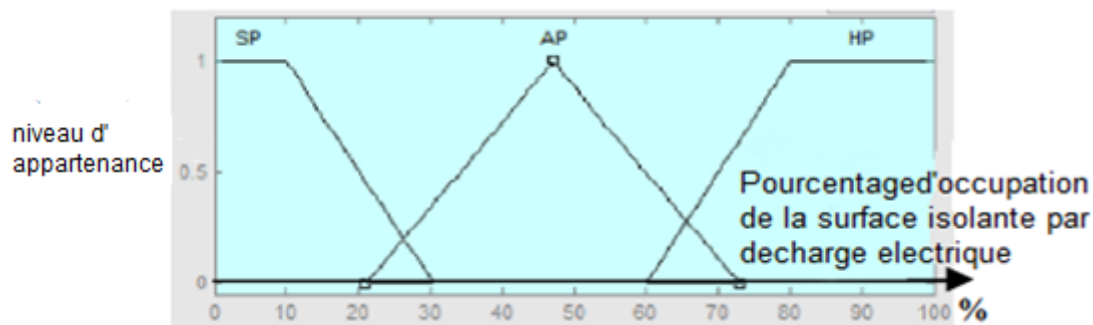


Figure I. 16. Sortie du SIF.

**I.4.2.1. Établissement de Règles Floues (règles linguistiques)**

Il n'existe pas de méthode systématique pour établir les règles de système flou (règles d'inférence). L'expertise humaine est nécessaire pour déterminer les paramètres principaux du système flou. [21]

Il est important de noter que les variables linguistiques données dans le tableau I.5 sont choisis pour simplifier la représentation linguistique de chaque variable d'entrée ou de sortie. Pour la sortie, ils ont changé les variables linguistiques dans le tableau pour fournir une explication pratique du résultat obtenu. Comme le concept logique Floue calcule, à sa sortie, le pourcentage d'occupation de la surface isolante des arcs aléatoires.

Tableau I. 5: Règles d'inférence (règles linguistiques)

		SC			AC			HC					
		SV	AV	HV	VSV	SV	AV	HV	VSV	SV	AV	HV	
		SQ1	AQ1	HQ1	SQ1	AQ1	HQ1	SQ1	AQ1	HQ1	SQ1	AQ1	HQ1
HQ3	HQ2	N	CR	CR	CR	CR	CR	CR	CR	CR	N	N	N
	SQ2	N	CR	CR	CR	CR	CR	CR	CR	CR	N	N	N
HQ2	HQ2	N	CR	CR	CR	CR	CR	CR	CR	CR	N	N	N
	SQ2	N	CR	CR	CR	CR	CR	CR	CR	CR	N	N	N



Yacine Bourek et Al ont utilisée des règles linguistiques (inférence) suivantes:

SP: faible pourcentage d'occupation de la surface isolante, AP: pourcentage d'occupation moyen de la surface isolante, HP: pourcentage d'occupation élevé de surface isolante.

-Tension appliquée VSV: Très petite tension, SV: Petite tension, AV: tension moyenne, HV: haute Tension.

-Quantité de solution saline (pollution artificielle) SQ: Petite quantité de solution saline, AQ: quantité moyenne de solution saline, HQ: grande quantité de solution saline

-Conductivité de la solution saline (pollution artificielle) SC: faible conductivité de la solution saline, AV: moyenne conductivité de la solution saline, HC: conductivité élevée de solution saline. Il convient de noter que les premiers résultats obtenus pour le règles linguistiques et adhésion proposées initialement choisies les formulaires entraînent un pourcentage plus élevé de prédictions incorrectes que ceux corrects par rapport aux résultats pratiques. ils ont ajusté les règles linguistiques et la fonction d'appartenance formulaires pour améliorer les résultats.

Le **tableau I.5** contient les meilleurs règles linguistiques, qui ont donné le nombre maximal de corriger les résultats de prédiction. Ce même tableau montre les variables linguistiques utilisées pour les cinq entrées mentionnées (In1, In2, In3, In4 et In5) et ceux de la sortie mentionnés au milieu de tableau. In1 indique la conductivité de la pollution artificielle, In2 indique la tension appliquée, et In3, In4 et In5 indiquent, respectivement, la quantité de solution saline dans la zone 1, zone 2 et zone 3. Le tableau 2 simplifie les règles d'inférence. le les règles peuvent être exprimées sous la forme suivante:

- Si In1 est SC et In2 est AV et In3 est AQ1 et In5 est SQ3 et In4 sont HQ2 alors la sortie est CR .

- Si In1 est SC et In2 est AV et In3 est AQ1 et In5 est HQ3 et In4 est HQ2 alors la sortie est F

- «N» en tant que variable linguistique pour indiquer que rien se passe sur la surface de l'isolateur. Ceci est appliqué pour arcs aléatoires occupant moins de 30% du total surface isolante.

- «CR» en tant que variable linguistique pour indiquer que la décharge électrique occupent 30 à 80% de la surface isolante.

- «F» comme variable linguistique pour désigner le contournement d'isolateur. Ceci est pour des arcs aléatoires occupant 80 à 100% de la surface totale de l'isolant.

### I.4.3. Prédiction de la tension de contournement en utilisant réseau de neurones

Yacine Bourek et Al ont utilisé un réseau de neurones multicouches perceptron (MLP). Les neurones sont disposés en succession couches. Le premier est appelé la couche d'entrée et le dernier est appelé la couche de sortie. Toutes les autres couches entre ces couches sont appelées couches cachées. Plusieurs paramètres peuvent influencer sur le contournement de l'isolateur. le perceptron multicouche (MLP) est le plus utilisé dans les études de prédiction [22 ,23,24]. Dans cette étude, ils n'ont considéré que la conductivité de la pollution et la quantité de pollution dans chaque zone d'isolateur. La structure générale du réseau de neurones utilisé dans leur étude est illustrée par la **Figure. I.17**.

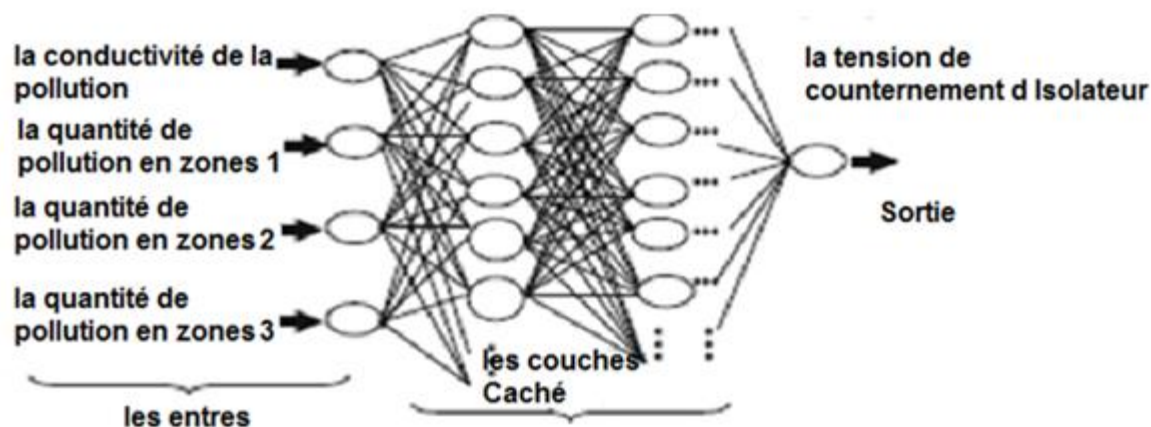


Figure I.17. Structure des réseaux de neurones.

#### I.4.3.1. Mise en œuvre du modèle RNA

La simulation de concept RNA est réalisée à l'aide de l'instruction NNTOOL, une interface graphique disponible dans le logiciel MATLAB. Cette interface nécessite la définition de l'architecture du réseau, les entrées, la sortie, nombre de couches cachées, nombre de neurones par couche, formation et fonction de performance.

(A) Architecture de réseau choisi par les auteurs est "Feed-Forward Backprop" de perceptron multicouche.

(B) Les entrées sont représentées par une matrice de quatre lignes contenant les valeurs de quatre paramètres considérés. La première ligne contient la conductivité de la pollution; les deuxième, troisième et quatrième lignes contiennent les quantités de pollution dans chaque

zone respectivement. La sortie est donnée par un vecteur contenant les valeurs de tension de contournement mesurées.

(C) NNTOOL propose trois fonctions d'activation, mais ils en ont utilisé deux: le transfert sigmoïde fonction (Logsig) pour les couches cachées et 'purelin' pour la couche de neurones de sortie.

(D) En théorie, il n'y a pas méthode exacte pour déterminer les couches cachées et nombre de neurones par couche nécessaire. Dans cette étude, les auteurs ont appliqué une méthode simple pour les déterminer, ce qui sera détaillé dans ce travail.

(E) dans ce travail, ils ont utilisé 'Trainlm' comme fonction de formation et 'learngdm' en tant qu'apprentissage fonction. L'erreur quadratique moyenne (MSE) est utilisée comme fonction de performance pour vérifier les performances du réseau pendant l'entraînement.

Pour déterminer le nombre de couches et de neurones cachés par couche, ils ont effectué une série de tests en faisant varier le nombre de couches cachées et de neurones par couche, et ils ont vérifié la valeur MSE comme indiqué dans le **tableau I.6**. La meilleure architecture est celle qui donne les meilleures performances. Le nombre maximum d'itérations considéré est égal à 1000, et le MSE est égal à  $10^{-4}$ . La variation du nombre de neurones dans le cas de deux couches montre que l'erreur diminue quand ils augmentent le nombre de neurones par couche cachée, mais il reste supérieur à la valeur fixée. Pour le cas de trois couches, ils ont constaté une diminution significative dans l'erreur de 6 neurones par couche, et il devient moins que la valeur souhaitée à 8 neurones par couche. Les paramètres finaux de leur RNA sont présentés dans le **tableau I.7**.

. Tableau I. 6 Détermination des couches et des neurones

Nombre de couches	Nombre de neurones	Erreur
2	2	0.017
	4	0.010
	6	0.0041
	8	0.004
	10	0.004
3	2	0.01
	4	0.003
	6	0.0002
	8	$9.99 \times 10^{-5}$
	10	$9.4 \times 10^{-5}$

Tableau I. 7. Paramètres de reseau de perceptron multicouches

Paramètres de réseau	Nom et valeurs
Type de réseau	Feed-forward back propagation
Des données d'entrée	4 x 200
Des données de sortie	1 x 200
Fonction de performance	Mean Square Error (MSE) = 0.00001
Toutes les couches	3
Neurone par couche	8
Fonction de formation	Levenberg-Marquardt
Fonction d'adaptation	Leamgdm
Fonction de transfert	Logsig: for inputs neurones Purline: for output neurones

#### I.4.3.2. Formation et Performance de l'RNA

La formation RNA est une étape très importante dans le concept RNA la mise en œuvre. Une meilleure performance d'entraînement indique meilleure utilisation de concept de prévision RNA

(A) Après la création de leur RNA, ils le forment en utilisant la formation fenêtre montrée à la **figure I.18**.

(B) l'erreur est réduite après plusieurs époques de formation, comme le montre la **figure I.19**, mais elle commence à augmenter sur les données de validation à 58 époques, où la validation de la performance atteint une valeur minimale (MSE = 0,007719). La meilleure performance est prise de cette époque et la formation continue jusqu'à ce que arrêté après 339 itérations, lorsque MSE < 10<sup>-4</sup>.

(C) Les résultats de la régression sont donnés par la **Figure I.20**. Les cercles en noir représentent les valeurs souhaitées, l'axe des abscisses représente les valeurs souhaitées de tension de contournement et l'axe des ordonnées donne les valeurs calculées de la tension de contournement en utilisant le RNA. Il convient de noter que la base de données est subdivisée en 3 parties; l'un est utilisé pour la formation, le second pour la validation et le dernier pour le test de réseau. La **figure I.20** montre quatre courbes, qui représentent la corrélation entre

chaque type de données et les données souhaitées correspondantes. La ligne en pointillé de chaque axe représente le résultat idéal ( $R = 1$ ).

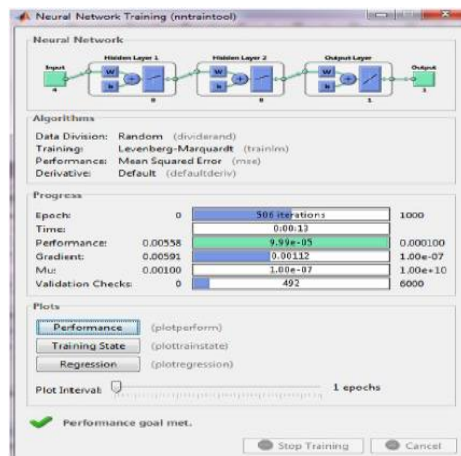


Figure I. 18. Fenêtre de formation

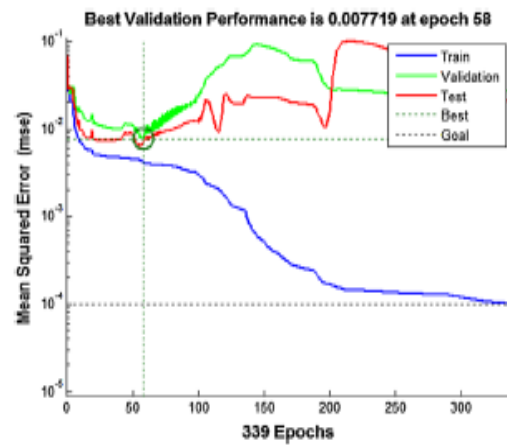


Figure I. 19. Courbes de performance

le trait plein représente la droite de régression linéaire la mieux ajustée entre les sorties et les données cibles (calculé tension de contournement égale aux valeurs cibles). Selon la **figure I.18**, la formation de leur réseau est parfaitement réalisée, puisque la valeur de  $R$  est approximativement égal à 1 dans le type de courbe à quatre régressions.

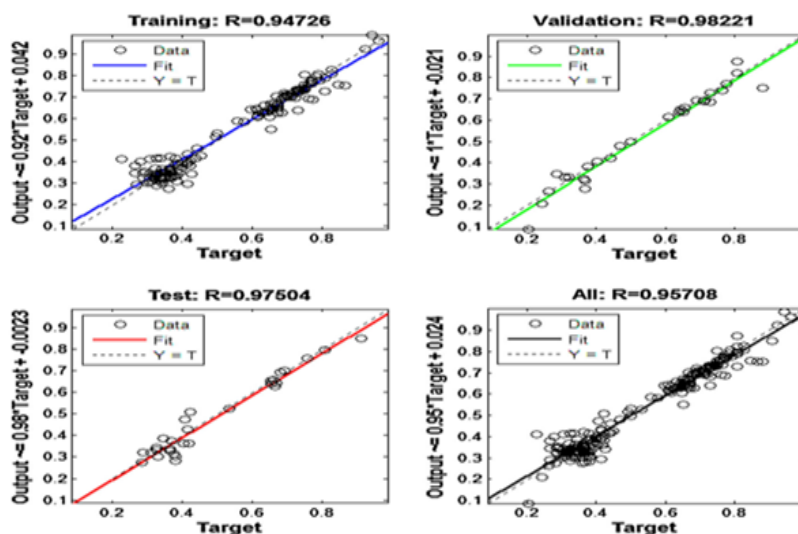


Figure I.20. Résultats de régression.

Tableau I.8. Résultats obtenus

Zones Conductivité (g / ml)	Zone1 (ml)	Zone2 (ml)	Zone3 (ml)	Tension appliquée (kV)	Les tests pratiques	État d isolant prédit par FL	Tension de contournement prédite par RN		
							tension de contournement Calculé	Erreur (%) Absolu	Etat d isolateur
7.5	11.6	13.3	23.3	45.8	contournement	contournement	45.8	0.00	contournement
	23.3	26.6	46.6	39.7	contournement	contournement	39.7	0.00	contournement
	34.9	39.9	69.9	34.8	contournement	contournement	34.8	0.00	contournement
20	34.9	39.9	69.9	23	contournement	contournement	24	4.00	contournement
	23.3	26.6	46.6	26	contournement	contournement	26.5	1.00	contournement
50	11.6	13.3	23.3	34	contournement	contournement	34	0.00	contournement
	7.2	15	10	19	contournement	contournement	20	5.00	contournement
	4.1	19.4	33.2	19.7	contournement	contournement	19.7	0.00	contournement
80	5.5	7.5	14	17.5	contournement	contournement	17.6	0.50	contournement
	11.6	13.3	23.3	39.5	contournement	contournement	39.6	0.20	contournement
	23.3	26.6	46.6	36.2	contournement	contournement	36.2	0.00	contournement
100	34.9	39.9	69.9	33.7	contournement	contournement	33.7	0.00	contournement
	8.2	38.8	67.4	39.4	contournement	contournement	39.4	0.00	contournement
	14.4	30	20	38	contournement	contournement	38.1	0.20	contournement
120	10.1	15	28	35	contournement	contournement	35	0.00	contournement
	11.6	13.3	23.3	38.5	contournement	contournement	38.5	0.00	contournement
	23.3	26.6	46.6	35.4	contournement	contournement	35	1.10	contournement
	34.9	39.9	69.9	33.6	contournement	contournement	33.7	0.30	contournement

#### I.4.4. Résultats et Discussions

Le **tableau I. 8** montre la prédiction de la tension de contournement de l'isolateur trouvé par LF et RNA, comparés aux résultats pratiques

- Les résultats montrent clairement que LF a un grand pouvoir de prédire le contournement d'isolateur étudié. Le bon choix des paramètres FIS (variables d'entrée et de sortie, le nombre et formes des fonctions d'appartenance, règles d'inférence, etc.) conduit aux meilleurs résultats.

- Le concept RNA proposé calcule les valeurs de tension de contournement d'isolateur, connaissant la conductivité de pollution artificielle et la quantité de pollution dans chaque zone d'isolateur.

- Il existe une similitude suffisante entre les résultats obtenus en utilisant le concept RNA et les résultats pratiques. Ceci montre l'efficacité du type RNA et des paramètres d'entraînement choisis dans cette étude.

- LF prédire l'état de surface d'isolateur, compte tenu de la tension appliquée aux électrodes et les niveaux de pollution artificielle et la conductivité.

#### I.5. Conclusion:

La synthèse bibliographique de quelques travaux antérieurs effectués dans le présent chapitre nous permet prédiction de la tension de contournement et le courant de fuite des isolateurs polluants dans le domaine de la haute tension par utilisation des techniques d'intelligence artificielle (la logique Floue, réseaux de neurones et l'approche adaptative neuro-floue) pour planifier correctement le remplacement ou lavage périodique des isolateurs et empêcher le contournement des isolateurs qui est une nécessité d'assurer la continuité du service.