

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement Supérieur

et de la Recherche scientifique

Université Echahid Hama Lakhder d'El-Oued

Faculté de Technologie

Mémoire de Fin d'Étude

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Département de Génie Electrique

Filière: Génie Électrique

Spécialité: Réseaux Électriques

Thème

**Diagnostic d'une chaine des isolateurs de
haute tension par la méthode RNA**

Présenté par:

❖ **BETTAHR Fatma Zohra**

❖ **MESBAHI Roufaida**

Soutenu le 03/06/2018. Devant le jury composé de:

Mr. Mida Driss

Maitre de conférences

Président

Mr. Guia Talal

Maitre de conférences

Rapporteur

Mr. Khechekhouche Ali

Maitre de conférences

Examineur

Année Universitaire 2017/2018

DEDICACES

Chaieureusement je dédie ce modeste travail:

A la lumière de ma vie, ma chermère en témoignage de leur amour et de leur sacrifices sans limites, je leurs souhaite une bonne santé, que Dieu me les garde.

A la mémoire de mon cher père, je leurs souhaite elrahma et elmaghfira.

A mes chères frères: Djalal et leur femme, Abdelmonam et leur femme, et mon petit frère Abdelrahman, je leur souhaite tout le réussite.

A mes chères sœurs: Aicha et leur marie et leur enfants, Saida et leur marie et leur enfants, Warda et leur marie et leur enfants, Zina et leur marie et leur enfants, Soumia et Salima.

A toute la famille BETTAHAR.

A mon encadreur et mes professeurs.

A tous mes amis ... A tous mes collègues de la promotion 2018.

A tous ce qu'ils ont aimé me voir ce jour là.

BETTAHR Fatma Zohra

DEDICACES

Chaleureusement je dédie ce modeste travail:

A la lumière de ma vie, mes chers parents en témoignage de leur amour et de leur sacrifices sans limites, je leur souhaite une bonne santé, que Dieu me les garde.

A la mémoire de ma cher grand-mère, je leur souhaite elrahma et elmaghfira

A mes chères frères et A mes chères sœurs

A toute la famille MESBAHI, Surtout la famille du grand-père "Saleh".

A mon encadreur et mes professeurs.

A tous mes amis ... A tous mes collègues de la promotion 2018.

A tous ce qu'ils ont aimé me voir ce jour là.

MESBAHI Roufaida

REMERCIEMENT

*M*es remerciements Avant tout, louange à «ALLAH» qui nous donnée la force, le courage et la patience de mettre ce modeste travail.

Nous tiens, avant tout, à exprimer notre profonde gratitude à notre encadreur Monsieur **GUIA Talal**, qui a été à l'origine de ce travail, pour sa confiance qu'il nous a témoignée, ainsi que ses conseils précieux et ses encouragements qui nous ont beaucoup aidé à mener à bien la réalisation de ces travaux. Qu'ils trouvent ici notre profonde reconnaissance.

Nous tiens également à exprimer notre profonde gratitude à Monsieur **HIRI Mesoude** le chef de département, et notre professeures qui nous fait un grand honneur en acceptant d'aider qui au long de notre étude , tous le respectes.

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

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

Sommaire

Remerciement.....	
Sommaire.....	I
Liste des figures.....	iv
Liste des tableaux	vii
Notations et symboles.....	viii
Introduction Générale.....	1
Chapitre I: ISOLATEURS DE HAUTE TENSION	
I.1. INTRODUCTION.....	5
I.2. DEFINITION DE L'ISOLATEUR.....	5
I.3. CONSTITUTION DE L'ISOLATEUR ET SON FONCTIONNEMENT	5
I.4. CARACTERISTIQUES D'UN ISOLATEUR	6
I.5. QUELQUES DEFINITIONS CONCERNANT LES ISOLATEURS.....	7
I.5.1. Contournement.....	7
I.5.2. Tension de contournement.....	7
I.5.3. Tension de tenue.....	7
I.5.4. Courant de fuite.....	7
I.6. PRINCIPAUX TYPES D'ISOLATEURS.....	8
I.6.1 Isolateurs de type rigide.....	8
I.6.2 Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne.....	9
I.7. MATERIAUX ISOLANTS UTILISES POUR LA FABRICATION DES ISOLATEURS.....	13
I.7.1. Céramique.....	13
I.7.2. Verre.....	13
I.7.3. Matériaux synthétiques.....	14
I.8. CHOIX DES ISOLATEURS.....	14

1.9.POLLUTION DES ISOLATEURS.....	14
I.9.1. Classification de la pollution selon son origine.....	15
I.9.3 Formation et répartition des couches polluantes.....	18
I.9.4 Conséquences de la pollution.....	19
I.10. CONCLUSION	23
Chapitre II:GENERALITE SUR LE RESEAU DE NEURONE ARTIFICIEL	
II.1. INTRODUCTION.....	25
II.2. NEURONE BIOLOGIQUE	25
II.3. NEURONE FORMEL	26
II.3.1. Poids de connexion.....	27
II.4. RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS:	29
II.5. FONCTION DE COMBINAISON:.....	30
II.6. PROPRIETES DES RESEAUX DE NEURONES	30
II.7. TOPOLOGIES	31
II.8. DIFFERENTES TYPES DE RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS	31
II.8.1 Les réseaux proactifs.....	32
II.8.2. RESEAUX RECURRENTS	34
II.9 L'APPRENTISSAGE DE RESEAUX DE NEURONES.....	35
II.9.1 Apprentissage supervisé (supervised learning).....	36
II.9.2 Apprentissage non supervisé (unsupervised learning).....	36
II.9.3 Règles d'apprentissage.....	36
II.10. METHODE DE LA RETRO PROPAGATION DU GRADIENT (RPG).....	38
II.10.1 Principe.....	38
II.10.2. Algorithme	38
II.11. DOMAINES D'APPLICATIONS DES RESEAUX DE NEURONES.....	41
II. 12. CONCLUSION.	41

Chapitre III:DIAGNOSTIQUE D'UNE CHAINE DES ISOLATEURS EN UTILISANT LA
METHODE RNA

III.1 INTRODUCTION	43
III.2. DESCRIPTION DU PROBLEME	43
III.3. PROCESSUS DU SYSTEME RNA UTILISE	43
III.4. MODELE DE RESEAUX DE NEURONES.....	44
III.4.1. Implémentation du modèle RNA.....	45
III.4.2. Choix des paramètres du réseau.....	45
III.5. LES ETAPES DE L'APPRENTISSAGE	46
III.6. CREATION DU RESEAU	46
III.7. MODELE DU RESEAU	49
III.7.1. Graphe de l'erreur.....	51
III.7.2. Courbes de régression.....	52
III.8. COMPARAISON DES RESULTATS.....	53
III.8.1.Création de fonction « sim ».....	53
III.9. RESULTATS	54
III.10. CONCLUSION.....	56
Conclusion Générale	57
Bibliographies.....	60
Annexe.....	63
<u>Résumé</u>	

Liste des figures

Chapitre I:ISOLATEURS DE HAUTE TENSION

Figure I.1: Isolateur rigide	8
Figure I.2: Assemblage à rotule.....	9
Figure I.3: Isolateur capot tige.....	9
Figure I.4:Profil standard.....	10
Figure I.5: Profil antibrouillard(forme A).	10
Figure I.6: Profil antibrouillard (forme B)	10
Figure I.7: Profil sphérique.....	11
Figure I.8: Profil plat.	11
Figure I.9: L'isolateur en céramique.	11
Figure I.10: L'isolateur composite	12
Figure I.11 : Déroulement du contournement	20
Figure I.12 : dépôt et évolution de l'agent polluant	20
Figure I.13 : Humidification du dépôt polluant et création d'un courant de fuite.....	21
Figure I.14 : Arc et bande sèche	22
Figure I.15 : Régime d'arcs sous pollution.	22

Chapitre II:GENERALITE SUR LE RESEAU DE NEURONE ARTIFICIEL

Figure II.1:Neurone biologique	25
Figure II.3.Fonction Heaviside.....	27
Figure II.4.Fonction Signe.....	28
Figure II.5.Fonction Linéaire	28
Figure II.6.Fonction Linéaire à seuil	29
Figure II.7.Fonction sigmoïde	29
Figure II.8.Topologies des Réseaux de Neurones Artificiels.....	31

Figure II.9: Réseau proactif monocouche (Perceptron)	33
Figure II .10 : Réseau proactif complètement connecté avec une seule couche cachée	34
Figure II .11 : Réseau récurrent avec neurones cachés	34
Figure II.12:Un exemple d'un apprentissage	35
Figure II.13: Principe de l'apprentissage supervisé	36
Figure II.14:Apprentissage non supervisé	36
Figure II .15: Réseau proactif complètement connecté avec une seule couche caché	39

Chapitre III:DIAGNOSTIQUE D'UNE CHAINE DES ISOLATEURS EN UTILISANT LA METHODE RNA

Figure III.1. Schéma de la procédure d'apprentissage de notre RNA	44
Figure III.2. Command Window du Matlab	46
Figure III.3. Interface de NNToolbox sous l'environnement de Matlab.....	47
Figure III.4. Sélection des sources des paramètres de RNA	47
Figure III.5. Paramètres de RNA introduits sous NNTOOL.....	49
Figure III.6. La structure du RNA adoptée.....	50
Figure III.7. Fenêtre présente l'étape d'apprentissage de RNA	50
Figure III.8. Fenêtre présente les paramètres d'apprentissage adoptés	51
Figure III.9.Graphes de l'erreur (d'apprentissage de test et de validation).....	52
Figure III.10. Courbes de régression des résultats données par RNA.....	53
Figure III.11. Exportation de notre réseau nommé net1 vers l'espace de travail du Matlab....	54

Annexe

Figure A.1: le modèle opératoire utilisé	64
Figure A.2:le distribution de champ électrique avec une distance $d=1m$	64
Figure A.3:le distribution de champ électrique avec une distance $d=1.25m$	65
Figure A.4:le distribution de champ électrique avec une distance $d=1.5m$	65

Figure A.5:le distribution de champ électrique avec une distance $d=1.75\text{m}$	65
Figure A.6:le distribution de champ électrique avec une tension $V=30\text{kv}$	66
Figure A.7:le distribution de champ électrique avec une tension $V=60\text{kv}$	66
Figure A.8:le distribution de champ électrique avec une tension $V=80\text{kv}$	66
Figure A.9:le distribution de champ électrique avec $C=0.51\text{mS/cm}^2$	67
Figure A.10:le distribution de champ électrique avec $C=1.4\text{ mS/cm}^2$	67
Figure A.11:le distribution de champ électrique avec $C=1.72\text{ mS/cm}^2$	68
Figure A.12:le distribution de champ électrique avec $C=1.92\text{ mS/cm}^2$	68

Liste des tableaux

Tableau I.1: Classification de la pollution selon le type d'environnement	17
Tableau II .1: Analogie entre le neurone Biologie et le neurone Formel	27
Tableau III.1: Détermination du nombre des couches cachées et neurones par couche.	51
Tableau III.2: Tableau des résultats obtenus par la méthode RNA.....	55
Tableau III.3: Pourcentages de pollution de la chaîne des isolateurs.....	56

NOTATIONS et SYMBOLES

P	Le pas
L_f	La ligne de fuite
L_c	La ligne de contournement
CEI	Comité international d'électrotechnique
EPDM	Ethylène propylène diène monomère
MLP	Multi-layer perceptron
RBF	Rdial basis function
PMC	Perceptron multicouches
IA	Intelligence artificiel
RNA	Réseau de neurones artificiel
HT	Haute tension
NNTOOL	Natural Network Tool box

Introduction Générale

Compte tenu de leur importance primordiale dans les réseaux électriques, les isolateurs ont été l'objet de diverses investigations [1,2]. De tels isolateurs doivent remplir efficacement leur tâche d'isolation dans les environnements et les conditions les plus hostiles; c'est pourquoi, le diagnostic de l'état de leur surface est sujet à de nombreux travaux de recherche [1,3].

Un travail de diagnostic et de classification se doit d'offrir comme résultat final une décision fiable concernant l'action à adopter vis-à-vis de l'isolateur (nettoyage, remplacement, réparation, etc...). Pour parvenir à une telle décision, différentes méthodologies ont été mises en œuvre en se basant sur les techniques d'intelligence artificielle parmi lesquelles celles d'apprentissage et de classification [1]

Les isolateurs sont parmi les composants les plus importants des réseaux aériens de transport et de distribution de l'énergie électrique puisqu'ils assurent à la fois le support mécanique des parties portées à la haute tension et l'isolation électrique de ces dernières avec les parties mises à la terre ou énergisées [4]. Premièrement conçus en verre et en céramique, la fabrication des isolateurs a connu, à travers des années, une évolution notable, et ceci dans le but d'accroître leurs performances quelle que soient les conditions météorologiques et environnementales auxquelles ils sont exposés [4].

Ces isolateurs sont soumis à différentes contraintes environnementales, dont la plus importante est la pollution. Cette pollution peut avoir plusieurs origines industrielle, marine, désertique et peut être mixte. Une connaissance approfondie de la distribution du potentiel et du champ électrique le long des isolateurs, recouverts de couches polluantes, permettrait de déterminer les valeurs critiques de potentiel et de champ électrique donnant naissance à ces arcs partiels [5].

En effet, une perturbation de l'isolation électrique assurée par l'isolateur peut entraîner, dans certaines circonstances, son contournement et donc un risque majeur sur la fiabilité et le fonctionnement du système de transmission de l'énergie électrique par voies aériennes. Plusieurs causes sont à l'origine de contournement électrique comme les surtensions transitoires sur les réseaux électriques (foudres, enclenchement et ouvertures des lignes, les dépôts de pollution atmosphérique ou encore dans les régions froides, les précipitations atmosphériques givrantes) [4]. Les contournements électriques des isolateurs entraînent des répercussions graves sur les réseaux aériens de distribution de l'énergie électrique, car ils sont la cause de coupures électriques de durée plus ou moins longues. Depuis une cinquantaine d'années, plusieurs travaux ont été menés pour comprendre les mécanismes conduisant au

contournement des isolateurs pollués et se prémunir d'outils permettant la prédiction de ce phénomène [4].

Le présent travail porte sur la détection et la localisation de défaut dans la chaîne des isolateurs par la méthode des réseaux de neurones artificiels (RNA). Afin de bien mener notre étude, nous avons subdivisé notre travail en trois chapitres.

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

Nous présenterons dans le deuxième chapitre, une généralité sur les réseaux de neurones artificiels (RNA) et un rappel sur leur principe, leurs différents modèles neuronaux existants. Nous présenterons les notions de base sur les réseaux de neurones et les algorithmes d'apprentissage permettant d'approximer la relation qui relie les entrées aux sorties.

Dans le dernier chapitre, nous étudierons le diagnostic d'une chaîne des isolateurs à 6 éléments de type NJ120 soumis aux différentes contraintes électro-géométriques (pollution, conductivité). Pour cela, nous avons utilisé la méthode RNA, en basant sur les résultats expérimentaux de la distribution du champ électrique mesuré autour de la chaîne ; cette méthode permet d'expertiser l'état de surface des éléments de cette chaîne. Nous utilisons l'utilitaire **NNTOOL** sous l'environnement MATLAB pour l'implémentation et l'application du RNA pour localiser le défaut dans la chaîne des isolateurs à partir de l'intensité du champ électrique mesuré au long de cette chaîne.

Nous terminerons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I:

ISOLATEURS DE HAUTE TENSION

I.1. Introduction

Les éléments constituant les systèmes 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 du transport d'énergie.

Les isolateurs hautes tensions se couvrent d'une couche de pollution qui provient de l'atmosphère. Associée à la rosée de matin, à la pluie, ou au brouillard, cette couche de pollution devient conductrice et sera le siège de passage d'un courant de fuite vers la masse des pylônes. Dans certaines conditions favorables il y aura l'apparition des décharges partielles sur la surface de l'isolateur. Nous avons présenté dans ce chapitre les isolateurs de haute tension et leurs types.

I.2. Définition de l'isolateur

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. L'isolateur est un matériau solide, liquide ou gaz qui a une très grande résistance au passage du courant et dont la conductibilité est pratiquement nulle.

Les isolateurs des lignes aériennes ont deux fonctions principales. D'une part, ils permettent d'isoler électriquement les lignes de transport d'énergie électrique des pylônes mis à la terre, et d'autre part, ils ont un rôle mécanique qui consiste à soutenir ces mêmes lignes et donc résister aux différentes contraintes mécaniques dues surtout au poids de la ligne, son mouvement en présence de vent...[6].

I.3. Constitution de l'isolateur et son fonctionnement

Les isolateurs sont des composants indispensables au 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). [7]

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

- L'intervalle d'air.
- Le matériau diélectrique.
- L'interface air - matériau diélectrique (la longueur de l'interface constitue la ligne de fuite : ligne le long de laquelle circulerait le courant de fuite) [8].

I.4. Caractéristiques d'un isolateur

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.

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

La ligne de contournement L_c : C'est la distance la plus courte dans l'air entre deux parties conductrices.

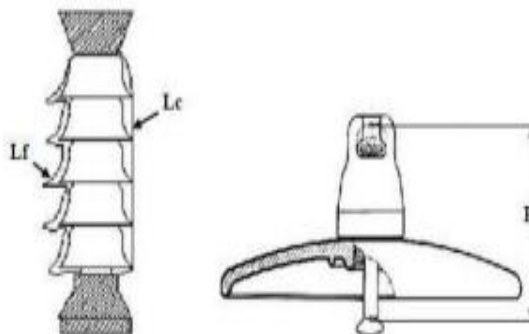


Figure I.1: Les caractéristiques d'un isolateur

I.5. Quelques définitions concernant les isolateurs

I.5.1. Contournement

Le phénomène de contournement est une décharge disruptive accompagnée d'étincelles qui se déplacent sur l'interface de l'isolateur, d'une électrode vers une autre et finir par la formation d'un pont conducteur entre ses deux électrodes [9,10].

I.5.2. 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 . 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.

I.5.3. Tension de tenue

C'est le niveau de tension le plus important, que peut supporter une isolation sans provoquer de décharge disruptive [11]

I.5.4. 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. Dans les conditions de forte humidité, la dissolution des sels contenus dans la couche polluante, provoque la formation d'une couche électrolytique.[12]

I.6. Principaux types d'isolateurs

I.6.1 Isolateurs de type rigide

Ce type d'isolateur permet d'obtenir une liaison rigide entre le support et le câble. Il est constitué d'une ou de plusieurs pièces isolantes encastrées et scellées les unes dans les autres.

Ces isolateurs sont fixés au pylône par des ferrures de forme diverses. Ils sont principalement utilisés dans les lignes aériennes pour des tensions ne dépassant pas généralement 60 kV. Les isolateurs rigides peuvent être placés en position horizontale, verticale ou oblique.

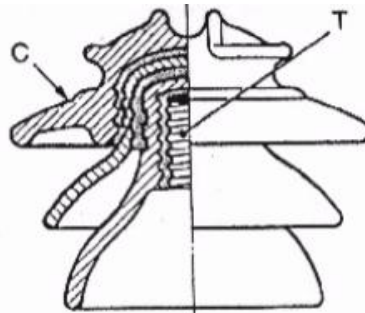
Il existe deux types principaux d'isolateurs rigides : les isolateurs rigides à tige et les isolateurs rigides à socle :

- Isolateur rigide à socle

Isolateur rigide qui comporte une ou plusieurs pièces en céramique ou en matériau synthétique, assemblées de façon permanente sur un socle métallique, et qui est destiné à être monté sur un support au moyen d'une tige centrale ou de boulons solidaires du socle.

- Isolateur rigide à tige

Isolateur rigide qui comporte une ou plusieurs pièces en céramique en forme de cloche, assemblées de façon permanente, et qui est destiné à être monté sur un support au moyen d'une tige à visser à l'intérieur de l'isolateur.



C : Cloche T : Logement de tige

Figure I.2: Isolateur rigide

I.6.2 Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne

Ils sont constitués par le matériau isolant et d'une pièce métallique qui sert à réaliser la liaison entre deux isolateurs et à donner une certaine flexibilité à la chaîne d'isolateurs. La chaîne d'isolateurs est montée sur le pylône en suspension soit verticalement (chaîne d'alignement), soit d'une façon horizontale (chaîne d'ancrage) [13].

Il existe deux types principaux d'éléments de chaîne :

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

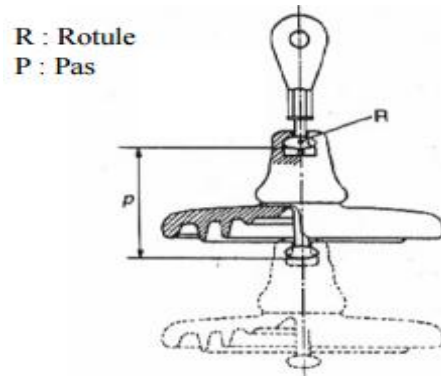
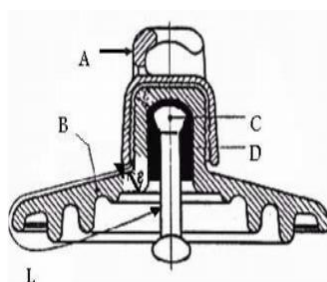


Figure I.2: Assemblage à rotule

I.6.2.1 L'isolateur capot et tige

Capot et tige est constitué d'un corps isolant qui porte à l'intérieur une tige en acier, où la tête conique de cette tige est scellée dans le matériau isolant soit le verre soit la porcelaine. L'extrémité supérieure de l'isolateur porte un capot scellé en fonte malléable troué de telle sorte qu'on peut faire entrer l'extrémité inférieure de la tige dans ce trou, et le scellement des éléments de chaîne capot et tige se fait de cette façon en faisant pénétrer la partie inférieure de la tige de l'élément supérieur dans le capot de l'élément inférieur en utilisant du ciment [12].



- 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.
e : Longueur du canal de perforation, $e \ll L/2$.



Figure I.3: Isolateur capot tige

Afin d'améliorer le fonctionnement des isolateurs dans les régions polluées, la CEI (comité international d'électrotechnique) a proposé plusieurs profils.

A. Profil standard

La faible profondeur, l'espacement entre les anneaux (nervures) et la ligne de fuite moyenne permettent l'utilisation de ce profil dans une zone de pollution modérée.



Figure I.4: Profil standard.

B. Profil antibrouillard (forme A)

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..



Figure I.5: Profil antibrouillard (forme A).

C. Profil antibrouillard (forme B)

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.

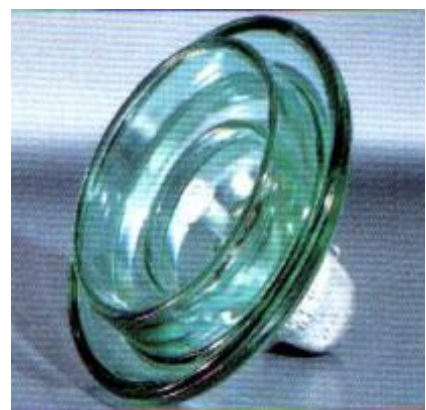


Figure I.6: Profil antibrouillard (forme B)

D. Profil sphérique

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



Figure I.7: Profil sphérique.

E. Profil plat

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 fréquent par pluie..

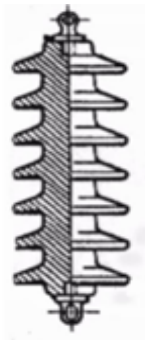


Figure I.8: Profil plat

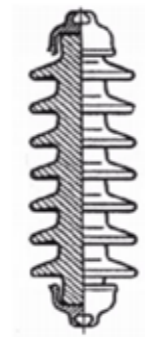
I.6.2.2. L'isolateur long fût

A. en céramique

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



Extrémités tronconiques



Extrémités en forme de tige

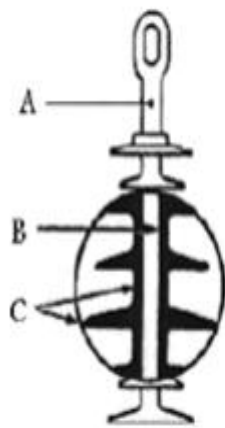
Figure I.9: L'isolateur en céramique.

B. En matériaux synthétiques

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

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

- Un noyau en fibre de verre, imprégnées de résine, capable d'assurer l'isolement et de supporter les efforts mécaniques générés par les conducteurs.
- Un revêtement en élastomère en EPDM (Ethylène Propylène Diène Monomère), vulcanisés à chaud qui donne le profil et précise la ligne de fuite tout en protégeant le noyau contre toute attaque des agents extérieurs en assurant l'étanchéité au raccordement avec les pièces métalliques d'extrémités. Son profil à ailettes alternées permet d'accroître la tenue sous pollution.
- Des pièces métalliques, en fonte malléable ou acier forgé galvanisé à chaud, sont nécessaires au montage de l'isolateur et à la transmission des efforts mécaniques[13].



A : Pièces d'accrochage métallique.

B : noyau en fibre de verre résine.

C : Revêtement à ailettes en matériaux synthétiques

Figure I.10:L'isolateur composite

I.7. Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs

On trouve plusieurs isolants solides qui peuvent être utilisés pour la fabrication des isolateurs de haute tension comme le verre, la céramique et la porcelaine. Mais durant ces dernières années, la porcelaine est de plus en plus abandonnée à cause de deux inconvénients principaux qui sont le poids des isolateurs et la difficulté de détection des amorçages.[14]

Ces dernières années, on s'intéresse de plus en plus à l'utilisation des isolateurs en matériaux polymères.[15]

I.7.1. Céramique

Le développement de la fabrication des céramiques date depuis longtemps à cause de leurs performances. Pour les isolateurs qui vont être utilisés dans des lieux où il y a des contraintes mécaniques très importantes, on utilise de préférence des céramiques à grains très fins. Souvent on trouve les céramiques dans les postes: isolateurs supports, couverture isolante des sectionneurs, des disjoncteurs, des transformateurs de potentiel, des bornes de traversées des transformateurs de puissance. [16]

I.7.2. Verre

En Algérie, les isolateurs utilisés dans les lignes de moyenne et haute tension sont en verre. Parmi les avantages que présentent le verre, le bas prix et l'observation des défauts est très facile. On trouve deux types de verre pour la fabrication des isolateurs : le verre trempé et le verre recuit.[15]

I.7.2.1. le verre trempé

La résistance à la traction du verre trempé est environ 5 à 6 fois plus grande que le verre recuit et peut supporter des variations brusques de température pouvant atteindre 100°C.

I.7.2.2. Le verre recuit

Le verre recuit est utilisé pour la fabrication d'isolateurs rigides, mais présente cependant des inconvénients. Parmi ces inconvénients, nous citons le fait qu'il ne résiste pas aux variations brusques de température et qu'il ne supporte que des tensions mécaniques relativement faibles et c'est pour cette raison qu'il n'est pas utilisé pour la fabrication des isolateurs de suspension.

I.7.3. Matériaux synthétiques

Les isolateurs en matériaux synthétiques sont composés d'un centre en fibres de verre imprégnées d'une résinée et d'un revêtement à ailettes de type élastomère. Leurs avantages est qu'ils sont légers et présentent une grande résistance mécanique .

Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères [16]

L'inconvénient de ces isolateurs est le vieillissement sous l'effet des différentes contraintes auxquelles ils sont soumis (électriques, mécanique, atmosphériques...).

I.8. Choix des isolateurs

Les isolateurs entrent pour un pourcentage très modeste de l'ordre de 7%, dans le prix d'une ligne aérienne moyenne tension. Cependant, ils sont un élément essentiel dont dépendent la sécurité d'exploitation, la qualité et la continuité de service [17]

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

1.9. Pollution des isolateurs

Un isolateur placé à l'extérieur est exposé aux différents agents constituant l'atmosphère qui le contamine. Cette contamination d'un dépôt de pollution à sa surface. Son importance dépend de

- La géométrie et la position de l'isolateur
- Les conditions du milieu.
- La durée d'exposition de l'isolateur.

Cette pollution est généralement constituée de matières solubles et insolubles :

• **Matières solubles:** Elles sont composées essentiellement de sels ioniques tels que : Na Cl, Na₂So₄, Ca So₄, Ko₃, CaCl₂, CaCo₃. [18]

• **Matières insolubles:** caractérisées par leur faible conductivité sont de nature minérale inorganique solide, Les plus rencontrés sont d'origine minérale cristallisée ou les atomes sont régulièrement distribués comme dans le quartz SiO et le mica.

I.9.1. Classification de la pollution selon son origine

I.9.1.1. Pollution d'origine naturelle

Cette pollution peut affecter d'importantes parties du réseau, Elle se répartit en trois types :

A. Pollution marine

Ce type de pollution touche les installations électriques à proximité de la mer, constituées d'embruns marins qui se déposent sur la surface de l'isolateur et forment une couche de sels qui devient conductrice en présence de l'humidité. La particularité de cette pollution est qu'elle est exclusivement constituée de sels ioniques, notamment le NaCl, et de peu des matières insolubles.[19]

B. Pollution désertique

Ce genre de pollution est constitué par les particules de sable, terre, poussière, et est accentué surtout par les facteurs climatiques :

- Le vent en assurant le transport de ces particules arides et finit par les déposer sur l'isolateur en formant une couche qui recouvre toute la surface de l'isolateur.

- La température, par ses variations entre le jour et la nuit implique le phénomène de condensation donnant au dépôt une certaine conductivité. [20]

C. Poussière du sol et zones agricoles

Les poussières du sol constituent des agents de pollution dans les régions à climat aride.

L'utilisation d'engrais par pulvérisation, ou le labourage des terres conduit lui aussi à la constitution de la couche de pollution à la surface d'un isolateur placé dans ces régions.

I.9.1.2. Pollution d'origine industrielle

Cette pollution est observée au voisinage des usines métallurgiques, chimiques ou même au bord des centrales thermiques où les isolateurs se recouvrent de poussière faiblement conductrice, mais très hygroscopique.

Le dépôt de pollution peut se constituer par la fixation de particules solides telles que les dépôts ferromagnétiques issus des usines métallurgiques et de l'absorption de gaz présent dans les fumées. Dans des conditions de forte humidité, la dissolution des sels contenus dans la poussière provoque la formation d'une couche conductrice.

I.9.1.3 Pollution mixte

C'est une combinaison entre la pollution naturelle et industrielle. Elle présente le cas le plus nocif, par exemple une usine industrielle au bord de la mer.[21]

I.9.2 Classifications de types de pollution

L'identification des substances de la pollution est impérative pour le choix de l'isolateur d'une ligne électrique. La norme CEI 815 [22] donne les quatre niveaux de pollution et leur classement dans le tableau I.1:

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

Tableau I.1: Classification de la pollution selon le type d'environnement

I.9.3 Formation et répartition des couches polluantes

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.[23]

En général, la couche de pollution se concentre sur les éléments de la chaîne d'isolateurs situés du côté du conducteur de haute tension et dans les parties les mieux protégées contre les facteurs d'auto-nettoyage (vent et forte pluie). Par conséquent, la répartition de la pollution le long des chaînes d'isolateurs est loin d'être uniforme. Cette non-uniformité devient plus accentuée lorsque la longueur des chaînes d'isolateurs augmente.

La non-uniformité de la pollution peut être classée en trois catégories :

I.9.3.1 Non-uniformité longitudinale par groupe

Elle est caractérisée par un ensemble de groupes d'isolateurs, soumis à différentes conductivités de la couche de pollution, dont la valeur est constante dans chaque groupe.

Nous retrouvons ce type de pollution dans les cas suivants :

- temporairement pendant le lavage sous tension,
- dans les chaînes d'isolateurs en forme de « T »,
- par effet du champ électrique où la concentration de la pollution est accentuée sur les isolateurs les plus proches de la borne haute tension.

I.9.3.2 Non-uniformité transversale

Ce type est caractérisé par des secteurs ou bandes de différentes conductivités superficielles de la couche polluante. Ces bandes sont réparties transversalement autour de la surface de chaque isolateur de la chaîne. La conductivité dans chaque secteur est la même le long de la ligne de fuite. Ce type de pollution est dû principalement à l'existence d'une direction privilégiée des vents et des pluies.

I.9.3.3 Non-uniformité longitudinale périodique

Ce type est le plus fréquent. Il est caractérisé par une variation périodique de la conductivité de la couche de pollution le long de la ligne de fuite, mais elle garde une symétrie circulaire.[24]

Ces principales spécifications sont :

- la face inférieure de l'isolateur présente une conductivité plus grande que la face supérieure.
- la concentration de la pollution augmente de la zone périphérique vers la zone centrale.
- la pollution est plus accentuée entre les nervures.

I.9.4 Conséquences de la pollution

Lorsque l'isolateur est propre ou recouvert d'une couche de pollution sèche, un très faible courant capacitif circule à sa surface. Ceci est dû aux très faibles valeurs des conductivités volumiques de l'air, de l'isolant solide et de la couche de pollution.

On obtient ainsi une répartition électrostatique du potentiel électrique. Par contre, lorsque la couche de pollution est humidifiée, elle devient le siège d'un courant de conduction de valeur relativement importante et la répartition du potentiel électrique diffère de la répartition électrostatique .

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

I.9.4.1.Arc non localisé

L'arc électrique s'éteint rapidement, puis se réamorçage 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

I.9.4.2.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 [25]

I.9.4.3.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.

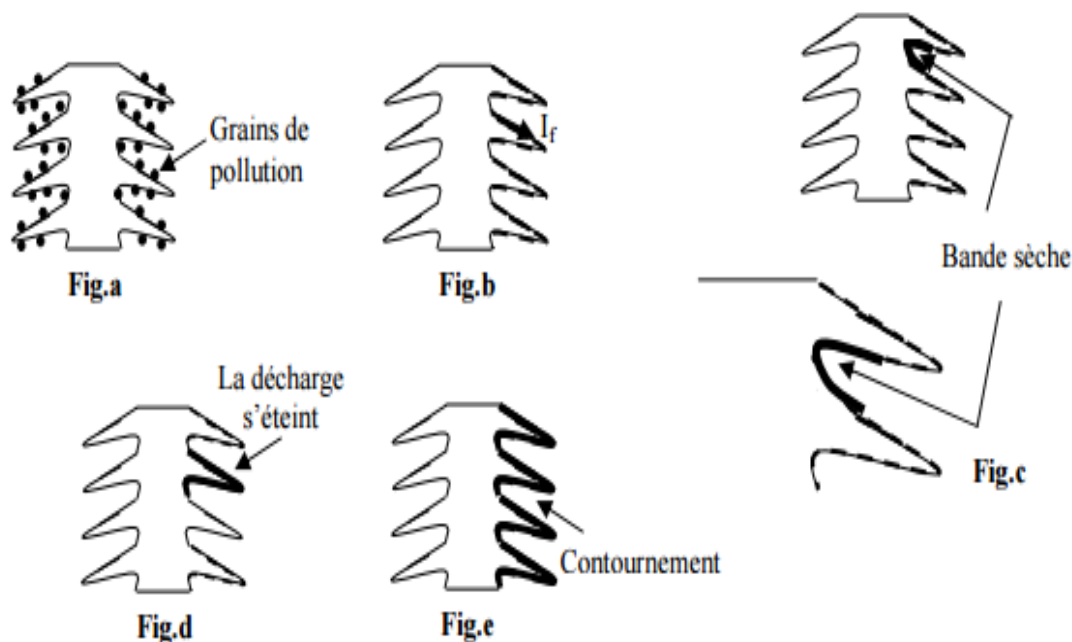


Figure I.11 :Déroulement du contournement

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

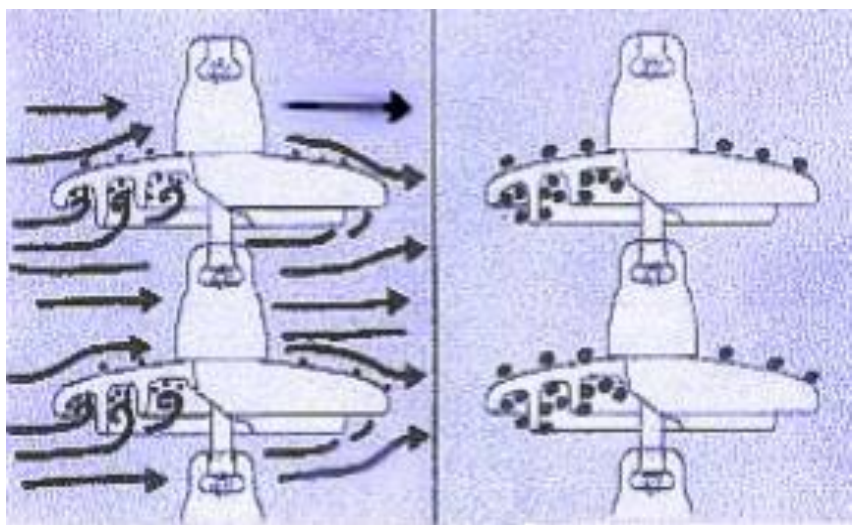


Figure I.12 : dépôt et évolution de l'agent polluant

Les facteurs d'accumulation sont les suivants :

- la nature, le poids et la taille des particules polluantes,
- la distance de l'isolateur par rapport à la source de pollution et par rapport au sol d'où peut provenir des poussières,
- la vitesse du vent,
- l'orientation de la chaîne, et surtout la forme de l'isolateur et son aptitude à l'auto-nettoyage par les fortes pluies et vents.

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 .

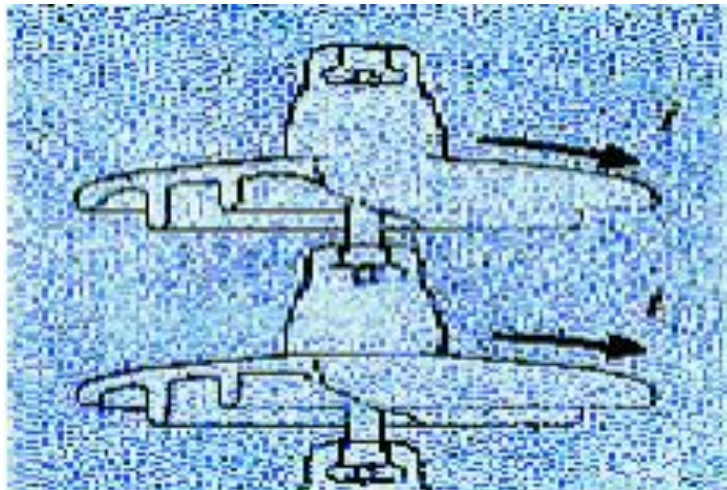


Figure I.13 : Humidification du dépôt polluant et création d'un courant de fuite

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.

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 .

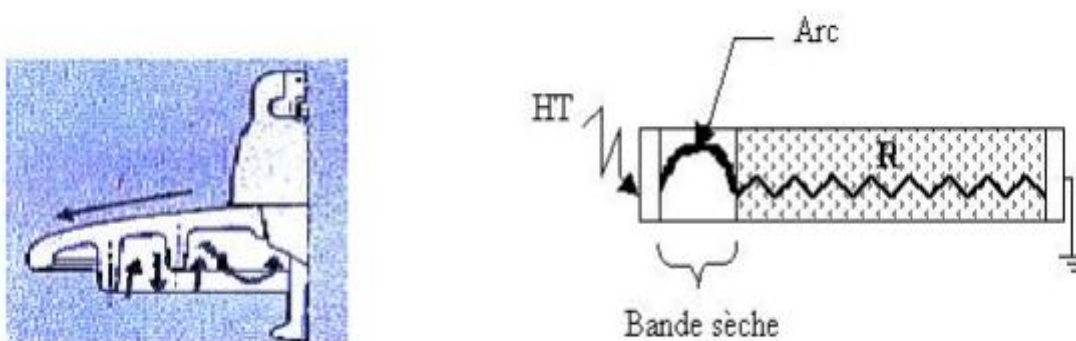


Figure I.14 : Arc et bande sèche

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 (Figure I.14). 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 (Figure I.15). Dans le cas contraire, le contournement de l'isolateur peut survenir.



Figure I.15 : Régime d'arcs sous pollution.

I.10. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre un résumé d'une étude bibliographique sur les isolateurs en précisant leur rôle et leurs différents types, ainsi que la pollution qui représente l'une des contraintes auxquelles sont soumis les isolateurs des réseaux électriques en présentant ses différents niveaux .

Chapitre II:

GENERALITE SUR LE RESEAU DE NEURONE ARTIFICIEL

II.1.Introduction

Les réseaux de neurones artificiels constituent l'une des approches d'intelligence artificielle dont le développement se fait à travers les méthodes par lesquelles l'homme essaye toujours d'imiter la nature et de reproduire des modes de raisonnement et de comportement qui lui sont propre. Nous présentons donc dans ce chapitre un état de l'art de ces réseaux de neurones. D'abord, nous rappellerons la définition et les propriétés des réseaux de neurones, avant de décrire les architectures neuronales les plus utilisées, à savoir les modèles statiques et dynamiques. Nous poursuivrons en exposant les différents types d'apprentissage, ainsi que les domaines d'applications.[26]

II.2.Neurone Biologique

Le cerveau humain est constitué d'un grand nombre de neurones, d'unités biologiques élémentaires, extrêmement interconnectés. Chacun reçoit et envoie des informations à plusieurs milliers de ses congénères. Le neurone biologique, qui est la cellule de base du système nerveux central, est constitué de trois parties essentielles: soma ,axone ,dendrite [27]

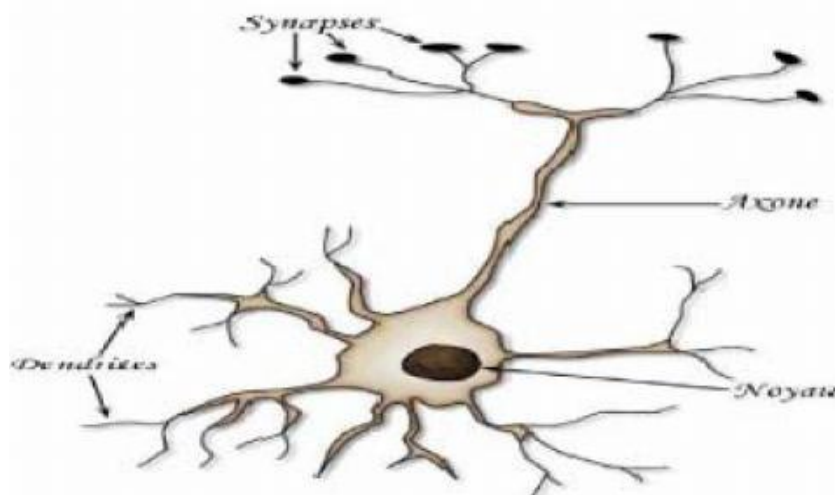


Figure II.1:Neurone biologique

- **Le corps cellulaire (ou soma):** C'est un corps cellulaire, de 20 μm de diamètre et de forme variable.

Il contient le noyau du neurone qui effectue la transformation biologique nécessaire à la synthèse des enzymes et d'autres molécules qui assure la vie du neurone.[27]

- **Les dendrites:** Chaque neurone possède une "chevelure" de dendrites qui entourent le corps cellulaire. Celles-ci se ramifient, pour former une espèce d'arborescence autour du corps cellulaire.

- **L'axone:** Est la fibre nerveuse qui sert à transporter les signaux émis par le neurone.

- **Synapses:** Les connexions entre les neurones se font dans des endroits appelés synapses, où ils sont séparés par un espace synaptique d'ordre de centième de micron..[27]

II.3.Neurone Formel

Un neurone formel (artificiel) ou simplement neurone est un élément de traitement de l'information. Il réalise une fonction algébrique non linéaire, bornée. Sa valeur dépend des paramètres appelés coefficients synaptiques ou poids des connexions. Les variables de cette fonction sont, habituellement, appelées "entrées" du neurone. La valeur de la fonction est appelée sa "sortie". Son modèle est schématisé par la figureII.2. Il est caractérisé par une somme pondérée des entrées (x_k , w_{ik}) . Elle remplace l'intégration spatio-temporelle du neurone biologique, qui est difficile à intégrer dans un modèle simplifié. Le résultat obtenu représente l'activité du neurone notée *net_i*.

L'application d'une fonction discriminante dite d'activation, $\varphi (net_i)$, favorise la limitation de l'amplitude de la sortie du neurone *y_{ri}* [27]. Mathématiquement, ce modèle est décrit par l'équation :

$$net_i = \sum_{j=1}^n W_{ij}x_j + W_{in+1} \dots\dots\dots II.1 \quad \text{et} \quad y_{ri} = \varphi(net_i) \dots\dots\dots II.2$$

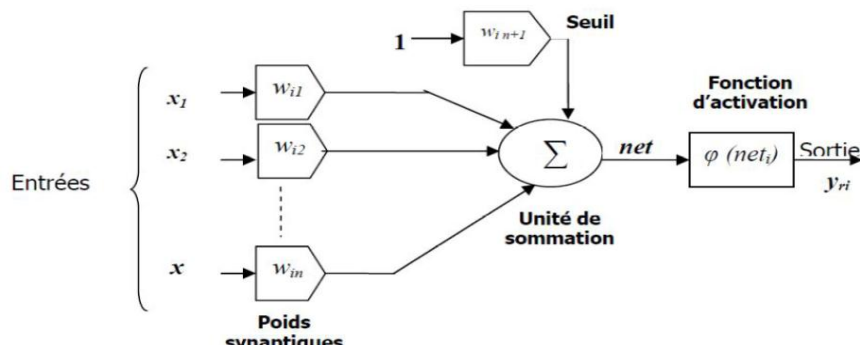


Figure II.2:Neurone Formel

Donc, le neurone formel est une modélisation mathématique qui reprend les grands principes du fonctionnement d'un neurone biologique, et particulièrement la sommation des entrées. Cette modélisation est représentée par le tableau suivant qui nous permet d'avoir clairement la transition entre le neurone biologique et le neurone formel. [28,30]

Neurone Formel	Neurone Biologique
Poids de Connexion	Synapses
Signal de Sortie	Axones
Signal d'Entrée	Dendrite
Fonction d'Activation	Corps cellulaire

Tableau II .1: Analogie entre le neurone Biologie et le neurone Formel

II.3.1.Poids de connexion

Est un nombre réel $w_{i, j}$ associé à la connexion entre le neurone i et le neurone j .il est aussi appelé poids synaptique [31].

II.3.2.Les entrées

Elles peuvent êtres :

- Booléennes.
- Binaires (0 1) ou Bipolaire (-1 1).
- Réelles.

II.3.3. Fonction d'activation:

Cette fonction permet de définir l'état interne du neurone en fonction de ces entrées.à titre d'exemple nous citons quelques fonctions souvent utilisées [29]:

a. Fonction Seuil

- Fonction Heaviside définie par :

$$H(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \geq 0 \\ 0 & \text{si non} \end{cases} \dots\dots\dots \text{II.3}$$

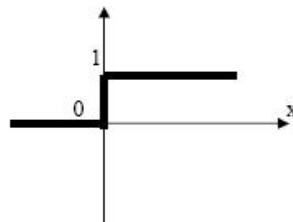


Figure II.3:Fonction Heaviside

- Fonction Signe définie par :

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \geq 0 \\ -1 & \text{si non} \end{cases} \dots\dots\dots \text{II.4}$$

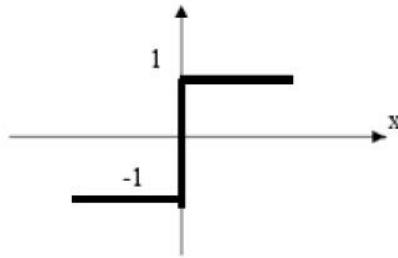


Figure II.4:Fonction Signe

Le seuil introduit une non linéarité dans le comportement du neurone, cependant il limite la gamme des réponses possibles à deux valeurs.

b. Fonction linéaire:

C'est l'une des fonctions d'activation les plus simples, elle est définie par:

$$F(x) = x \dots\dots\dots \text{II.5}$$

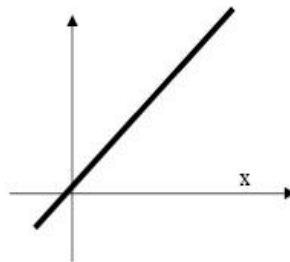


Figure II.5:Fonction Linéaire

c. Fonction Linéaire à seuil:

Cette fonction d'activation est définie comme suit :

$$F(x) = \begin{cases} x & \text{si } x \in [u \ v] \\ v & \text{si } x \geq v \\ u & \text{si } x \leq u \end{cases} \dots\dots\dots \text{II.6}$$

Elle représente un compromis entre la fonction linéaire et la fonction seuil, entre ses deux barres de saturation, elle confère au neurone une gamme de réponses possibles.

En modulant la pente de la linéarité, on affecte la plage de réponse du neurone.

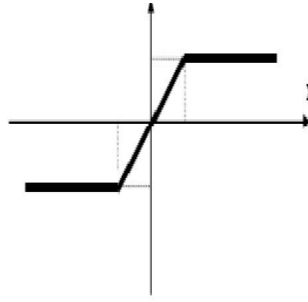


Figure II.6:Fonction Linéaire à seuil

d. Fonction sigmoïde:

Elle est l'équivalent continu de la fonction linéaire. Etant continu, elle est dérivable, d'autant que sa dérivée est simple à calculer. Cette fonction est définie par :

$$F(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \dots \dots \dots \text{II.7}$$

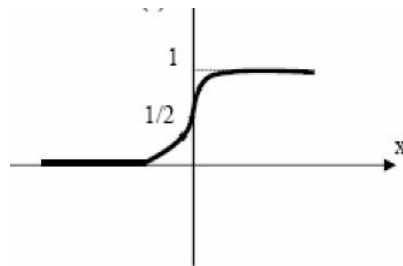


Figure II.7:Fonction sigmoïde

II.3.4 .Fonction de sortie

Elle calcule la sortie d'un neurone en fonction de son état d'activation. En général cette fonction est considérée comme la fonction identité. Elle peut être, binaire ou réelle.

II.4. Réseaux de neurones artificiels

Dès leur apparition, les Réseaux de Neurones Artificiels ont été appliqués à plusieurs domaines. Quel que soit le domaine adopté, les Réseaux de Neurones Artificiels peuvent être définis comme suit:

❖ Définitions1

Les réseaux de neurones artificiels sont des réseaux fortement connectés de processeurs élémentaires fonctionnant en parallèle. Chaque processeur élémentaire calcule une sortie unique sur la base des informations qu'il reçoit. Toute structure hiérarchique de réseaux est évidemment un réseau.[27].

❖ Définitions 2

Les Réseaux de Neurones Artificiels sont des modèles statistiques adaptatifs, basés sur une analogie avec le cerveau humain. Leur adaptabilité revient du fait qu'ils peuvent apprendre à estimer les paramètres d'un ensemble de données en utilisant un nombre d'exemples. Dans sa structure de base, un Réseau de Neurones Artificiels est constitué d'un ensemble d'unités simples qui sont les neurones. Ces dernières sont interconnectées à l'aide d'un ensemble de connexions pondérées, chaque unité correspond à une caractéristique d'une forme à analyser. [29]

II.5. Fonction de Combinaison

Considérons un neurone quelconque, il reçoit des neurones en amont un certain nombre de valeurs via ses connexions synaptiques, et il produit une certaine valeur en utilisant une **fonction de combinaison**. Cette fonction peut donc être formalisée comme étant une fonction vecteur-à-scalaire [27], notamment:

- Les réseaux de type **MLP** (*multi-layer perceptron*) calculent une combinaison linéaire des entrées, c'est-à-dire que la fonction de combinaison renvoie le produit scalaire entre le vecteur des entrées et le vecteur des poids synaptiques[27].
- Les réseaux de type **RBF** (*Radial Basis Function*) calculent la distance entre les entrées, c'est-à-dire que la fonction de combinaison renvoie la norme euclidienne du vecteur issu de la différence vectorielle entre les vecteurs d'entrées.

II.6. Propriétés des réseaux de neurones

Les réseaux de neurones artificiels possèdent une propriété fondamentale qui justifient l'intérêt croissant qui leur est accordé et que sont capable d'intervenir dans des domaines très divers, et qui les distingue des techniques classiques de traitement des données.

- **Les réseaux de neurones sont des approximateurs universels:** Cette propriété peut être énoncée comme suit: Toute fonction bornée suffisamment régulière peut être approchée uniformément, avec bonne précision, dans un domaine fini de l'espace de ses variables, par un réseau de neurones qui comporte une couche de neurones cachée en nombre fini, possédant tous la même fonction d'activation et un neurone de sortie linéaire [26] .

-**Parcimonie:** Lors de la modélisation d'un processus à partir de ses données, on cherche toujours à obtenir les résultats les plus satisfaisants possibles avec un nombre minimum de paramètres. On dit que l'on cherche l'approximation la plus parcimonieuse. Pour obtenir un modèle non linéaire de précision donnée, un RN a besoin de moins de paramètres ajustables que les méthodes de régression classiques (par exemple la régression polynomiale). Or le

nombre de données nécessaires pour ajuster le modèle est directement lié au nombre de ses paramètres [26].

II.7. Topologies

On appelle topologie des réseaux la façon dont les neurones sont connectés entre eux à travers les différentes couches. En général on peut distinguer deux grandes classes de Réseaux de Neurones Artificiels selon leurs topologies: les réseaux à couches qui sont des réseaux de neurones dans lesquels l'information se propage couche par couche sans retour en arrière possible et les réseaux récurrents qui sont des réseaux de neurones dans lesquels il y a une liaison vers l'arrière. Les connexions de ces réseaux forment des boucles. Ainsi la fonction d'activation peut circuler le long de ces boucles et affecter le réseau pendant une période arbitrairement longue. Pour cette raison les comportements des réseaux récurrents sont potentiellement plus complexes que ceux des réseaux à couches .[29]

La Figure (II.8)présente les différentes topologies d'un Réseau de Neurones Artificiels[29].

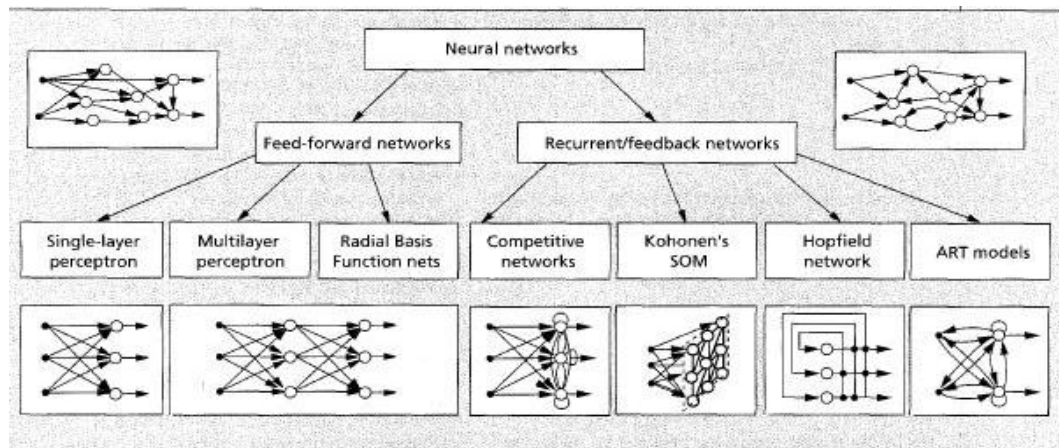


Figure II.8:Topologies des Réseaux de Neurones Artificiels.

II.8. Différentes types de réseaux de neurones artificiels

Nous entendrons par architecture ou topologie d'un réseau de neurones artificiels la manière selon laquelle les neurones sont organisés. Les structures qui peuvent être utilisées sont très variées mais beaucoup moins complexes que celles des réseaux de neurones biologiques[30].

D'une façon générale, l'architecture des réseaux de neurones artificiels peut aller d'une connectivité totale (chacun des neurones du réseau est relié à tous les autres neurones) à une connectivité locale où les neurones ne sont liés qu'à leurs plus proches voisins[30].

Deux classes différentes d'architectures de réseaux de neurones peuvent être distinguées:

- 1- Les réseaux proactifs (feed forward).
- 2- Les réseaux récurrents (feedback).

II.8.1 Les réseaux proactifs

Cette classe se distingue par l'absence de toute boucle de rétroaction de la sortie vers l'entrée, d'où l'appellation « feed-forward ». En d'autres termes, la propagation des signaux s'y fait uniquement dans le sens de l'entrée vers la sortie [30].

Ce type de réseaux comprend deux groupes d'architectures: les réseaux monocouches et les réseaux multicouches. Il diffèrent par l'existence ou non des neurones intermédiaires appelés neurones cachées entre les unités d'entrées et les unités de sorties appelées aussi nœuds d'entrées et nœuds de sorties respectivement. [30,28].

II.8.1.1 Les réseaux proactifs monocouches

Ce type de réseaux possède une couche d'entrée recevant les stimuli à traiter par l'intermédiaire des nœuds d'entrées. Cette couche se projette en une couche de sortie composée de neurones de calcul transmettant les résultats du traitement au milieu extérieur.

La figure II.9 montre par exemple, un réseau proactif monocouche à quatre neurones d'entrée et trois neurones de sortie. La désignation monocouche est attribuée à la couche de sortie. La couche d'entrée n'est pas comptée dans ce sens vu qu'il n'y a pas de calcul qui se fait au niveau de ces nœuds, ils servent uniquement à recevoir les signaux d'entrée et à les transmettre à la couche suivante. Un exemple classique de réseau monocouche est le perceptron. [30]

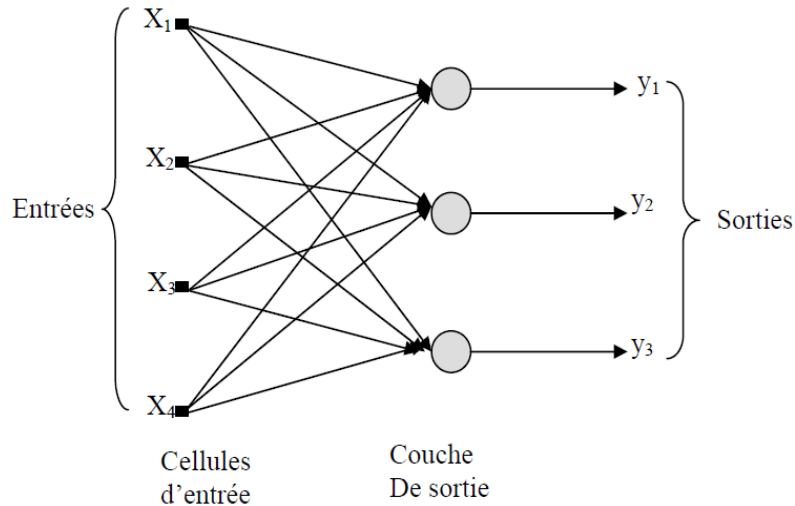


Figure II.9: Réseau proactif monocouche (Perceptron)

II.8.1.2. Réseaux proactifs multicouches

Ce type de réseaux proactifs se caractérise par la présence d'une ou plusieurs couches cachées, où les nœuds de calcul correspondants s'appellent neurones cachés. Les couches cachées s'interposent entre l'entrée du réseau et sa sortie [30].

Leur rôle est d'effectuer un prétraitement des signaux d'entrées, reçu par la couche d'entrée en provenance du milieu extérieur, et de transmettre les résultats correspondants à la couche de sortie où sera déterminée la réponse finale du réseau avant qu'elle soit transmise au milieu extérieur.

Ce rôle de prétraitement fait que, en ajoutant une ou plusieurs couches cachées, le réseau est capable d'extraire plus de propriétés statistiques que celles extraites d'un réseau similaire ayant moins de couches cachées. Ceci est utile pour réaliser des fonctions plus complexes que de simples séparations linéaires.

Dans ce type de réseaux, les entrées des neurones d'une couche particulière proviennent uniquement des sorties de la couche adjacente précédente. Les réseaux les plus fréquemment utilisés de cette catégorie sont les perceptron multicouches (PMC).[28]

La figure (II.10) Montre un réseau à une seule couche cachée qui contient quatre neurones, huit entrées et une sortie à trois neurones (réseau 8-4-3). Ce réseau est dit complètement connecté où tous les neurones de la couche actuelle sont connectés à tous les neurones de la couche adjacente suivante. Le réseau est partiellement connecté si des connexions manquaient entre des neurones de deux couches voisines.

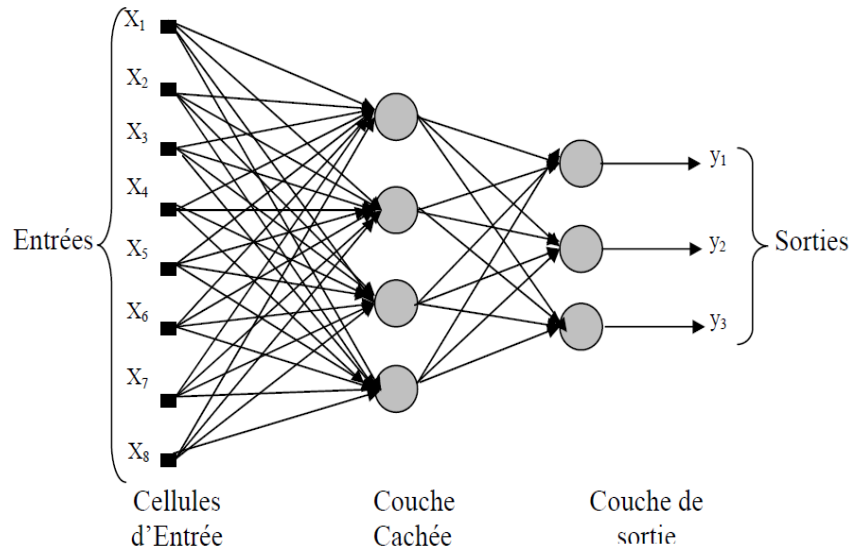


Figure II .10 : Réseau proactif complètement connecté avec une seule couche cachée

II.8.2.Réseaux récurrents

Les réseaux récurrents se distinguent des réseaux proactifs par le fait qu'ils contiennent au moins une boucle de contre-réaction des neurones de sortie vers les entrées ou au moins d'une couche vers une couche précédente, adjacente ou non. [30]

La figure II.11 Présente un exemple d'un réseau de neurone récurrent qui à deux entrées, trois neurones dans la couche cachée et deux neurones dans la couche de sortie. Les connexions de rétroaction de ce réseau proviennent aussi bien des neurones de la couche cachée que des neurones de la couche de sortie.

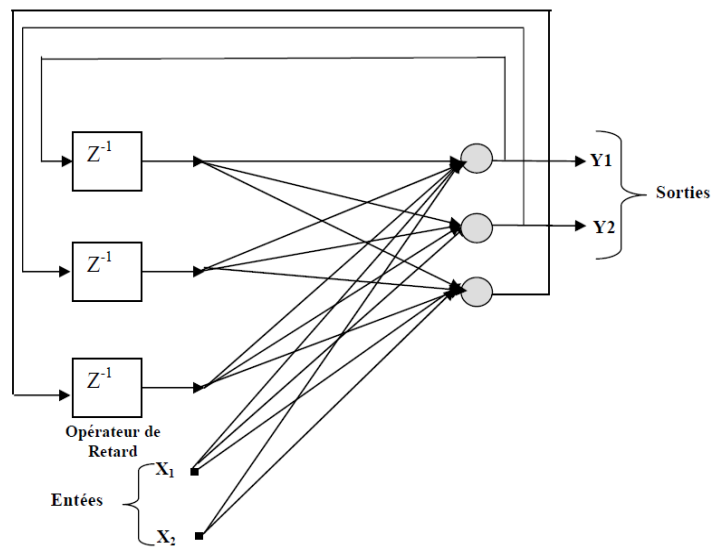


Figure II .11: Réseau récurrent avec neurones cachés

II.9 L'apprentissage de réseaux de neurones

L'apprentissage est la caractéristique principale des réseaux de neurones ; c'est le processus d'adaptation des paramètres d'un système pour remplir au mieux la tâche pour laquelle le réseau est destiné. Le type d'apprentissage est déterminé par la manière dont les paramètres sont adaptés, et il existe plusieurs méthodes et algorithmes pour adapter ces paramètres [26].

Après la création de un réseau, il faut lui faire apprendre quelque chose. Pour mieux comprendre cela, nous prendrons l'exemple de la reconnaissance de caractères: on présente des caractères au réseau et il a pour objectif de reconnaître ce caractère. Par exemple, si on lui montre la lettre " a " dessinée, il doit nous répondre que cela est un " a ". Figure II.12 [27]

Comment réaliser cela ? La méthode est en quelque sorte une imitation du cerveau: si la réponse est correcte, c'est bien, mais s'il y a une *erreur*, il faut *modifier* le réseau afin de ne pas réitérer l'erreur

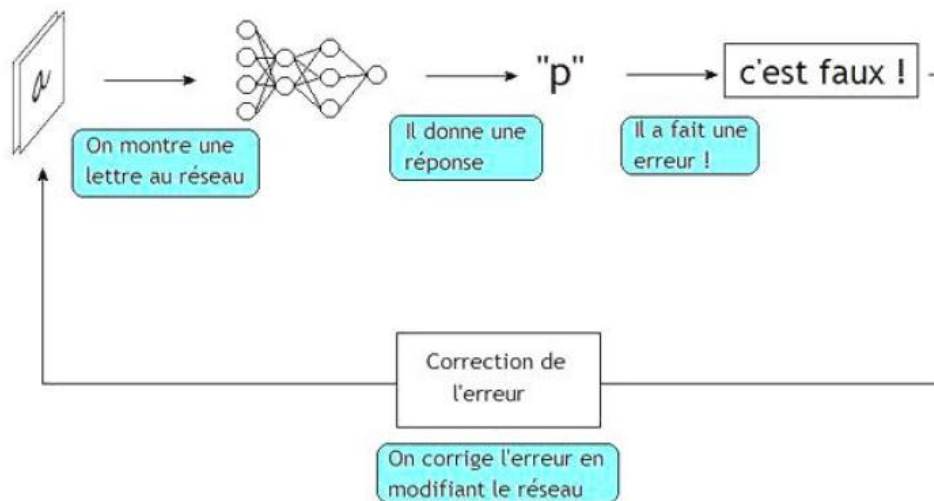


Figure II.12:Un exemple d'un apprentissage

On recommence plusieurs centaines de fois l'opération, jusqu'à ce que le réseau ait bien appris sa leçon .

Le principe est donc relativement simple. On fait l'éducation du réseau comme on éduquerait un enfant: il faut lui répéter plusieurs fois qu'il a fait une erreur, et à la fin, il a compris [27].

On entend généralement par apprentissage la modification automatique des poids des connexions ou plus rarement du nombre et de l'organisation des neurones, afin d'adapter le traitement effectuée par le réseau à une tâche particulière [27].

On distingue deux grandes classes d'algorithmes d'apprentissage :

- L'apprentissage supervisé.
- L'apprentissage non supervisé.

II.9.1 Apprentissage supervisé (supervised learning)

Pour les réseaux à apprentissage supervisé, on présente au réseau des entrées, et au même temps les sorties désirées pour cette entrée. Le réseau doit ajuster ses poids de façon à réduire l'écart entre la réponse désirée et la sortie du réseau.

Cette procédure est répétée jusqu'à ce qu'un critère de performance soit satisfait. L'algorithme le plus utilisé est celui de la rétro propagation de l'erreur[26].

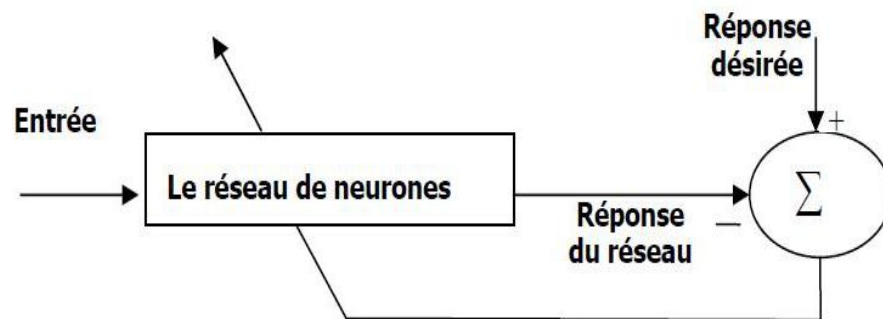


Figure II.13: Principe de l'apprentissage supervisé

II.9.2 Apprentissage non supervisé (unsupervised learning)

Pour les réseaux à apprentissage non supervisé, aucune information sur la réponse désirée n'est fournie au réseau [26]. On présente une entrée au réseau et on le laisse évoluer librement jusqu'à ce qu'il se stabilise. Ce comportement est connu sous le nom "auto organisation."

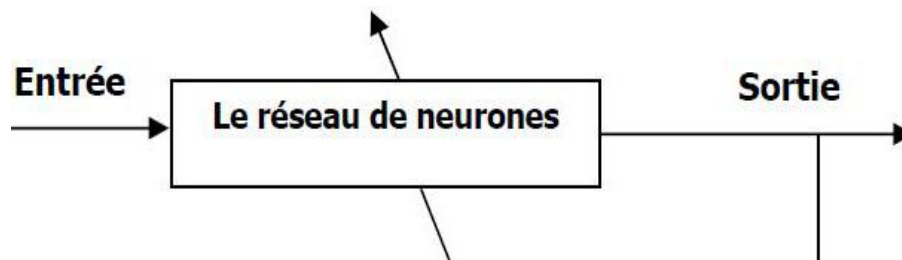


Figure II.14: Apprentissage non supervisé

II.9.3 Règles d'apprentissage

L'apprentissage d'un Réseau de Neurones Artificiels se base sur des règles d'apprentissage.

Nous citons ci-après les règles les plus répandues [29] :

- 1) La règle de Hebb, vue dans le livre « *Organisation of Behavior* » en 1949. Elle permet de modifier la valeur des poids synaptiques en fonction de l'activité des unités qui les relie. Le but principal est le suivant : si deux unités s'activent en même temps la connexion qui les lie est renforcée (c'est une connexion excitatrice) sinon elle est affaiblie (c'est une connexion inhibitrice).
- 2) La règle delta qui calcule la différence entre la valeur de la sortie et la valeur désirée pour ajuster les poids synaptiques. Elle emploie une fonction d'erreur, nommée « *lamoinde carré moyen* », basée sur les différences utilisées pour l'ajustement des poids[28].
- 3) La règle d'apprentissage compétitif qui ne concerne qu'un seul neurone. Son principe est de regrouper les données en catégorie. Les neurones similaires vont donc être rangés dans une même classe en se basant sur des corrélations des données et seront représentés par un seul neurone.

L'architecture d'un tel réseau possède une couche d'entrée et une couche de compétition. Une forme est présentée à l'entrée du réseau. Elle est projetée ensuite, sur chacun des neurones de la couche compétitive. Le neurone gagnant est celui qui possède un vecteur de poids le plus proche de la forme présentée en entrée. Chaque neurone de sortie est connecté aux neurones de la couche d'entrée et aux autres cellules de sortie (c'est une connexion inhibitrice) ou à elle-même(c'est une connexion excitatrice). La sortie dépend alors de la compétition entre les connexions inhibitrices et excitatrices.

- 4) La règle de corrélation en cascade, qui est une technique d'apprentissage, ajoute progressivement des neurones cachés au réseau jusqu'à ce que l'effet bénéfique de ces nouveaux neurones ne soit plus perceptible. Cette règle suit les deux étapes suivantes [29]:
 - a) . On entraîne le système par un apprentissage classique qui s'effectue premièrement dans un petit réseau sans couche cachée.
 - b) . On entraîne par la suite un petit groupe des neurones supplémentaires qui doit diminuer l'erreur résiduelle du réseau. La règle d'apprentissage utilisée modifie les poids de ces neurones. Le neurone qui réussit le mieux est retenu, et intégré au réseau. L'étape 01 est relancée encore une fois, pour permettre au réseau de s'adapter à la nouvelle ressource.
- 5) La règle de correction d'erreurs qui est caractérisée par les étapes suivantes :
 - a) . On commence avec des valeurs des poids de connexions qui sont pris au hasard.
 - b) . On introduit un vecteur d'entrée de l'ensemble des échantillons pour l'apprentissage.
 - c) . Si la sortie ou la réponse n'est pas correcte, on modifie toutes les connexions pour atteindre la bonne réponse.

6) La règle de rétro-propagation inventée par Rumelhart, Hinton et Williams en 1986. Elle s'utilise pour ajuster les poids de la couche d'entrée à la couche cachée. Cette règle peut aussi être considérée comme une généralisation de la règle delta pour des fonctions d'activation non linéaire et pour des réseaux multicouches. Les poids dans le réseau de neurones sont au préalable initialisés avec des valeurs aléatoires. On considère ensuite un ensemble de données qui vont servir comme un échantillon d'apprentissage. Chaque échantillon possède ses valeurs cibles qui sont celles que le réseau de neurones doit atteindre lorsqu'on lui présente le même échantillon.

II.10. Méthode de la rétro propagation du gradient (RPG)

II.10.1 Principe

La rétro propagation du gradient consiste à propager « à l'envers » (de la couche de sortie vers la couche d'entrée) l'erreur obtenue sur les exemples de la base d'apprentissage. On utilise pour cela l'erreur quadratique « le carré de la différence entre ce qu'on obtient et ce qu'on désire ».

Si on calcule la dérivée partielle de l'erreur quadratique par rapport aux poids des connexions (gradient), il est possible de déterminer la contribution des poids à l'erreur générale, et de corriger ces poids de manière à se rapprocher du résultat souhaité. La correction par itération en corrige plus ou moins fortement les poids par l'intermédiaire d'un coefficient η . [30]

Après un certain nombre d'itérations, où on n'est satisfait du classement des exemples de notre base d'apprentissage, on fixe les poids qui constituent aussi des frontières entre les classes.

II.10.2. Algorithme

II.10.2.1 Définition du réseau

Soit un réseau multicouche défini par:

- Une couche d'entrée à m cellules d'entrées. Ces cellules ne sont pas des neurones mais simplement des entrées $x_i = e_i$ du réseau.
- Une couche cachée qui contient n neurones qui ont une fonction d'activation y_i
- Une couche de sortie à p neurones qui ont une fonction d'activation. z_k
- $n \times m$ connexions entre la couche d'entrée et la couche cachée, chacune pondérée par v_{ji}

- $m \times p$ connexions entre la couche cachée et la couche de sortie, chacune pondérée par.

w_{kj}

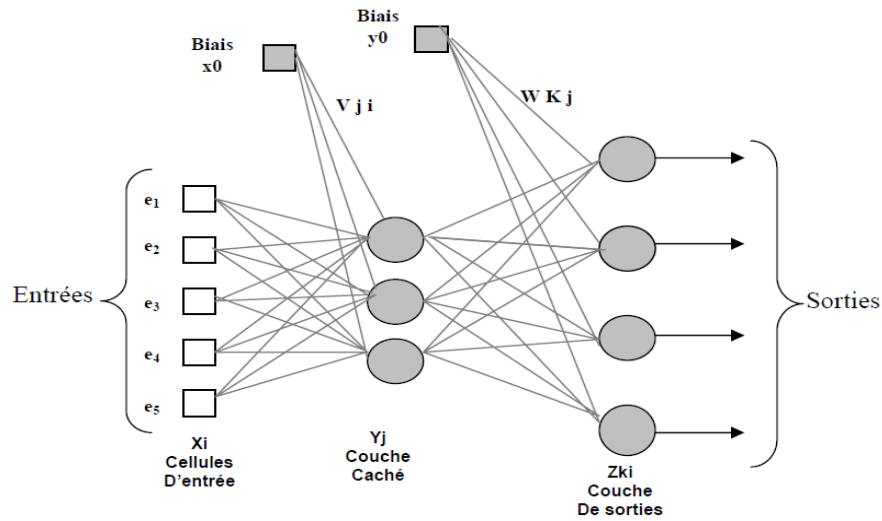


Figure II .15: Exemple de réseau MLP à une couche cachée avec 5 entrées, 3 neurones dans la couche cachée, et quatre 4 sorties.

II.10.2.2 Les Etapes de l’algorithme

- ✓ **ETAPE 1 :**Initialisation au hasard ou aléatoire des poids des connexions

v_{ji} et w_{kj}

- ✓ **ETAPE 2 :**Propagation des entrées $x_i = e_i$

- On propage vers la couche cachée :

$$y_j = f\left(\sum_{i=1}^m x_i v_{ij} + x_0\right) \dots\dots\dots \text{II.8}$$

- Puis de la couche cachée vers la couche de sortie :

$$z_k = f\left(\sum_{j=1}^n y_j w_{kj} + y_0\right) \dots\dots\dots \text{II.9}$$

Les valeurs x_0 et y_0 sont des Biais, f est la fonction d’activation qu’on a choisie où on a définit notre réseau MLP.

- ✓ **ETAPE 3:** rétro propagation de l’erreur pour chaque neurone de la couche de sortie On calcule l’erreur, c’est-à-dire la différence entre la sortie désirée S_k et la sortie réelle (obtenu). Z_k

$$E_k = z_h(1 - z_k)(s_k - z_k) \dots\dots\dots \text{II.10}$$

On propage cette erreur sur la couche cachée ; l'erreur de chaque neurone de la couche cachée est donnée par :

$$F_k = y_j(1 - y_j) \sum_{k=1}^p w_{kj} E_k \dots \dots \dots \text{II.11}$$

✓ **ETAPE 4** : Correction des poids des connexions Il reste maintenant la modification des poids des connexions et aussi les biais.

- Entre la couche d'entrée et la couche cachée :

$$\begin{cases} \Delta v_{ji} = \eta y_i F_j \\ \Delta x_0 = \eta F_j \end{cases} \dots \dots \dots \text{II.12}$$

- Entre la couche cachée et la couche de sortie :

$$\begin{cases} \Delta w_{kj} = \eta z_k E_k \\ \Delta y_0 = \eta E_k \end{cases} \dots \dots \dots \text{II.13}$$

η étant un paramètre qu'il reste à déterminer

✓ **BOUCLER AL'ETAPE 2**: jusqu'à un critère d'arrêt à définir.

II.10.2.3 Sommaire de l'algorithme Rétropropagation de l'erreur [29,28]:

1. Initialisation au hasard ou aléatoire des poids des connexions entre les couches (Entrée - Cachée) et (Cachée - Sortie).
2. Propagation des entrées $x_i = e_i$ de la couche d'entrée vers la couche de sortie en passant par la couche cachée.
3. rétro propagation de l'erreur des neurones de la couche de sortie vers la couche cachée puis vers la couche d'entrée.
4. Correction des poids des connexions entre la couche d'entrée et la couche cachée ; la couche cachée et la couche de sortie.
5. Boucler à 2 jusqu'à un critère d'arrêt à définir.

II.11. Domaines d'Applications des Réseaux de Neurones

Se trouvant à l'intersection de différents domaines (engineering, science cognitive, neurobiologie et même philosophie), l'étude des RN est une voie prometteuse de l'IA[27] :

- **Industrie**: Contrôle qualité, diagnostic de panne, corrélations entre les données fournies par différents capteurs, analyse de signature ou d'écriture manuscrite...
- **Finance**: Préviation et modélisation du marché (cours de monnaies...), sélection d'investissements, attribution de crédits.
- **Télécommunications et informatique** :Analyse du signal, élimination du bruit, reconnaissance de formes (bruits, images, paroles), compression de données, etc.
- **Environnement** : Evaluation des risques, analyse chimique, prévisions et modélisation météorologiques, gestion des ressources.
- **Modélisation des données statistiques**
- **Modélisation des processus dynamiques non linéaires.**
- **Prédiction des séries temporelles.**
- **Commande des processus.**
- **Classification automatique.**
- **Traitement d'image.**

II. 12. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons essayé de donner en bref une description sur les réseaux de neurones artificiels, et aussi les différents types d'architectures et sa propriétés. Nous avons aussi présenté une définition de l'apprentissage des réseaux de neurones, puis une description générale de l'algorithme de rétro propagation, et les domaines d'utilisation des réseaux de neurones.

Chapitre III:

DIAGNOSTIQUE D'UNE CHAINE DES ISOLATEURS EN UTILISANT LA METHODE RNA

III.1 Introduction

Un modèle basé sur la technique d'intelligence artificielle (réseaux de neurones artificiels) est proposé pour l'étude de la distribution de champ autour d'une chaîne des isolateurs pour faciliter leur modélisation mathématique. Les RNA sont très attractive pour la modélisation des processus où la modélisation mathématique traditionnelle est difficile. La capacité d'apprentissage des réseaux de neurones permet de découvrir des interactions complexes et subtiles entre des variables indépendantes contribuant au développement d'un modèle plus précis.

Dans ce chapitre nous avons appliqué les RNA pour la prédiction de la zone polluée dans la chaîne des isolateurs basant sur la distribution du champ électrique et la conductivité de la pollution.

III.2. Description du problème

Le dimensionnement des isolateurs peut alors devenir insuffisant et il faut protéger les installations existantes contre les nouvelles sources de pollution. Dans les régions désertiques, les fréquentes tempêtes de sables déposent progressivement sur les surfaces des isolateurs une couche de pollution contenant des impuretés salées. En temps humide, cette couche devient beaucoup plus conductrice. Une augmentation du champ électrique à la surface de l'isolateur peut conduire à un contournement total de l'isolateur

Notre travail consiste à étudier l'influence de la contamination des isolateurs sur le comportement de la chaîne des isolateurs et de proposer une technique de prédiction des contournements des isolateurs pollués. Cette technique devra tenir compte de la variation de l'état de la conductivité de la surface de l'isolateur et le champ électrique en utilisant la méthode du réseau de neurone artificiel.

III.3. Processus du système RNA utilisé

Pour la plupart des architectures des RNA, l'apprentissage se traduit par une modification des poids synaptiques, c'est-à-dire par un changement dans la valeur des poids qui relient les neurones d'une couche à l'autre. Le processus d'entraînement de notre système de RNA consiste en plusieurs étapes qui peuvent être résumées comme suit :

- Le choix des variables d'entrée et de sortie basé sur la banque des données collecté de la littérature.

- La détermination du nombre de couches cachées, le nombre de neurones dans chaque couche cachée et le nombre d'itérations nécessaire pour atteindre une solution stable.
- L'apprentissage du système de RNA basé sur la rétro-propagation de l'erreur dans les poids synaptiques.

Le type d'apprentissage utilisé dans notre application est l'apprentissage supervisé.

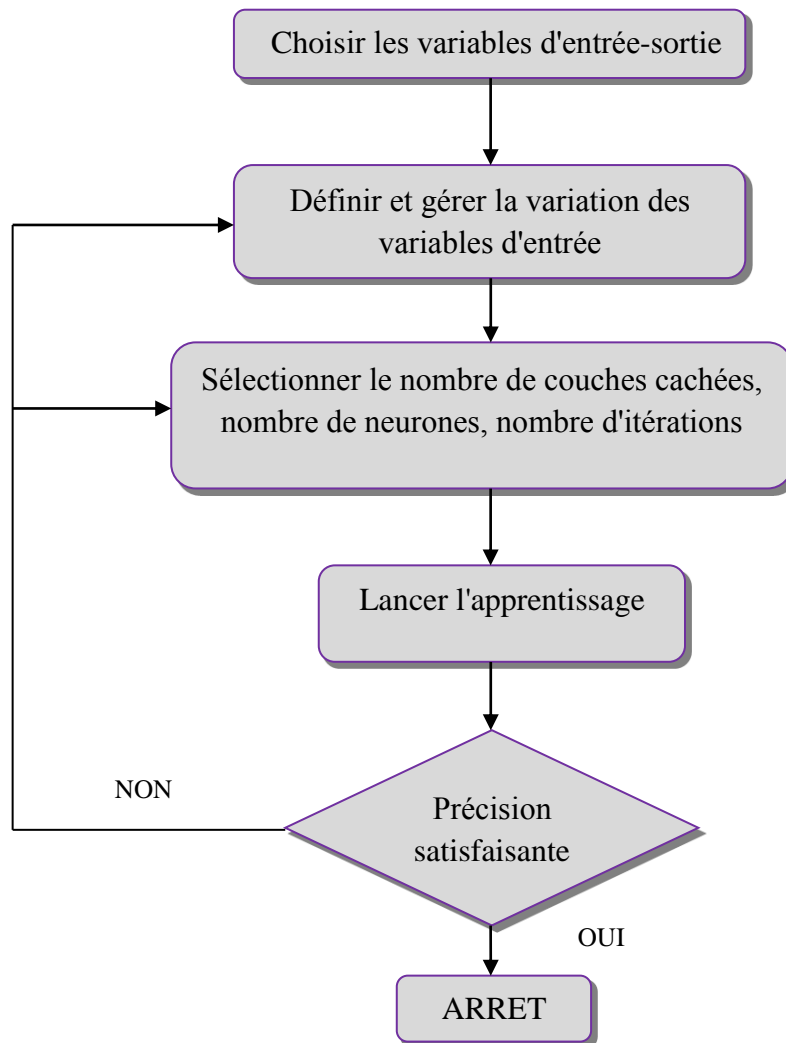


Figure III.1: Schéma de la procédure d'apprentissage de notre RNA

III.4. Modèle de réseaux de neurones

Pour créer notre modèle à base des réseaux de neurones, il faut définir:

1. La base de données: Nous utilisons deux différentes bases de données citées dans l'annexe. La première est utilisée pour l'apprentissage du réseau et la deuxième pour la validation.

2. Définition des entrées et sorties : La distribution du champ électrique autour de la chaîne et la conductivité de la couche de pollution sont les entrées de notre RNA et l'état de surface polluée en pourcentage désignant la position de pollution.
3. Architecture du réseau : Dans notre cas d'étude, l'architecture la plus convenable est la structure du type Perceptron multicouches.
4. Apprentissage: plusieurs algorithmes d'apprentissage sont disponibles pour l'entraînement du réseau de neurone.
5. Le nombre de couches cachées et neurones par couche: Il n'existe pas d'une méthode scientifique précise pour les déterminer.

III.4.1. Implémentation du modèle RNA

Le logiciel utilisé pour la simulation de RNA est l'utilitaire « NNTOOL » disponible au sein du logiciel Matlab utilisé pour la simulation des RNA [28].

III.4.2. Choix des paramètres du réseau

Le choix des paramètres d'un réseau de neurones dépend principalement du problème à résoudre. Il n'existe donc pas de règle globale pour déterminer avec exactitude les paramètres à adopter pour résoudre un problème donné [28].

III.4.2.1. Architecteur

Le réseau utilisé est du type direct (propagation de l'information en avant sans liaison directe entre la sortie et l'entrée)

III.4.2.2. fonction d'activation

La fonction de transfert de la couche cachée est la **sigmoïde**, puisque la rétropropagation nécessite des fonctions d'activation dérivables. Cette fonction est définie par [28]:

$$F(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (\text{III.1})$$

Fonction de transfert de la couche de sortie est linéaire, elle est définie par [28]:

$$F(x) = x \quad (\text{III.2})$$

III.4.2.3. Modèle de réseau de neurone artificiel

Nous utiliserons un réseau de type perceptron multicouche à rétro propagation d'erreur, nous l'avons choisi pour sa simplicité, et sa fiabilité pour les problèmes de prédiction.

III.4.2.4. Apprentissage

Le type d'apprentissage utilisé par RNA qu'on a choisi est **supervisé**. La règle d'apprentissage utilisée pour ajuster les poids de la couche d'entrée aux couches cachées est celle de **rétro-propagation**.

III.5. Les étapes de l'apprentissage

1. Initialiser les poids avec des valeurs aléatoires faibles.
2. Présenter les vecteurs d'entrée (distribution du champ et la conductivité), ainsi que le vecteur de sortie désiré (position des isolateurs affectés par la pollution).
3. Calculer la sortie du réseau.
4. Calculer l'erreur entre la valeur désirée et celle calculée par le réseau, ensuite l'erreur est propagé vers les neurones des couches cachées pour calculer le gradient des poids.
5. Ajuster les poids du réseau.
6. Présenter un autre vecteur et d'aller à l'étape 3.
7. fin.

III.6. Création du réseau

En ouvrir le logiciel Matlab "Command Window":

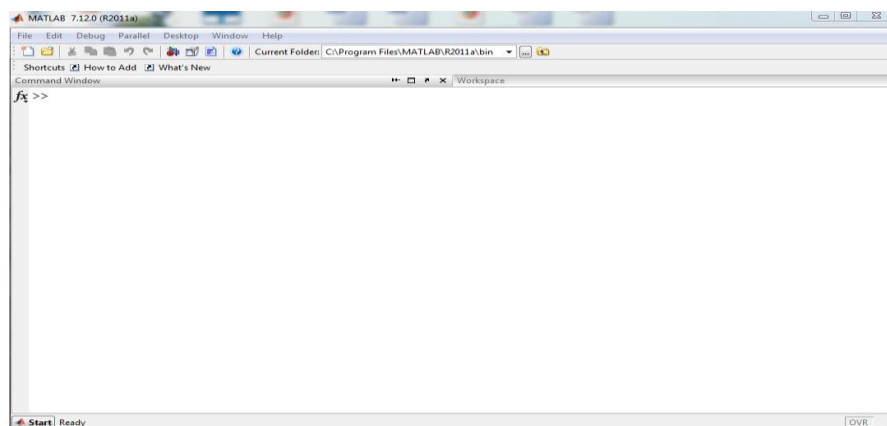


Figure III.2: Command Window du Matlab

En utilisant l'utilitaire (NNTOOL) :

Pour sélection l'entrée et la sortie en appuyé sur " Import" comme suite

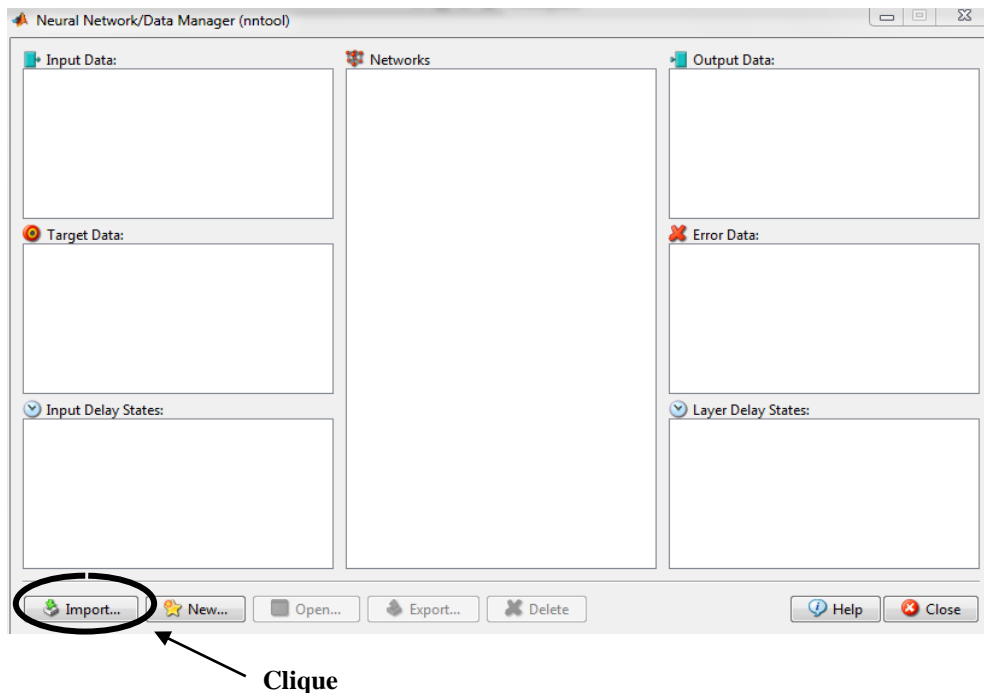


Figure III.3: Interface de NNToolbox sous l'environnement de Matlab

La figure III.4 présente la méthode de sélection de la source des paramètres du RNA, soit à partir de "Workspace" du Matlab ou à partir des fichiers enregistrés en disque dure.

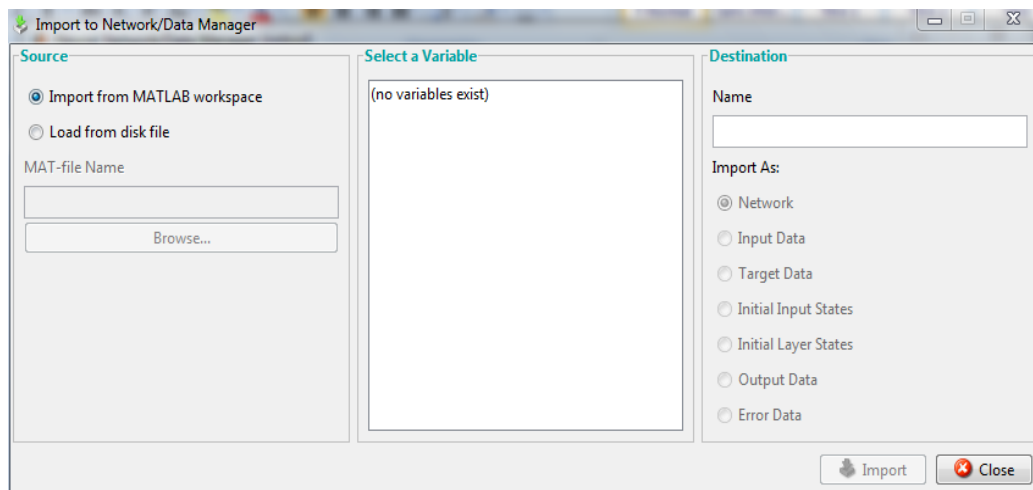


Figure III.4: Sélection des sources des paramètres de RNA

Ainsi la colonne de désignation (Figure III.4) a pour but de classer les données importées chacune à son fonction, que l'on peut définir comme suit :

1. Input data

Introduire les entrées (distribution de champ électrique et la conductivité notée 'in').

2. Target data

Introduire la sortie (la position des isolateurs pollués notée 'out').

3. Training function

Représente l'algorithme d'apprentissage, Nntool offre les algorithmes suivant:

- Trainlm: Apprentissage par l'algorithme Levenberg- Marquardt.
- Trainrp: Apprentissage par l'algorithme résilient propagation.
- Trainscg: Apprentissage par le gradient conjugué (scg).

Nous avons utilisé la fonction **Trainlm**

4. Adaption learning function

L'algorithme d'apprentissage incrémental, il peut être:

- Learnngd: l'algorithme d'apprentissage est la descente de gradient avec Pas d'apprentissage fixe.
- Learnngdm: l'algorithme d'apprentissage est la descente de gradient avec pas d'apprentissage et momentum fixes.

Dans notre travail, Nous avons appliqué l'algorithme d'apprentissage incrémental du type **Learnngdm**.

5. Performance function

Fonction de cout elle peut être:

- MSE : Erreur quadratique moyenne.
- MSERG : Erreur quadratique moyenne avec pondération des poids.
- SSE : somme des carrés des erreurs.

Nous utiliserons celle erreur quadratique moyenne MSE.

La figure suivante montre les différents paramètres de notre réseau de neurones atriciel créésous NNTOOL.

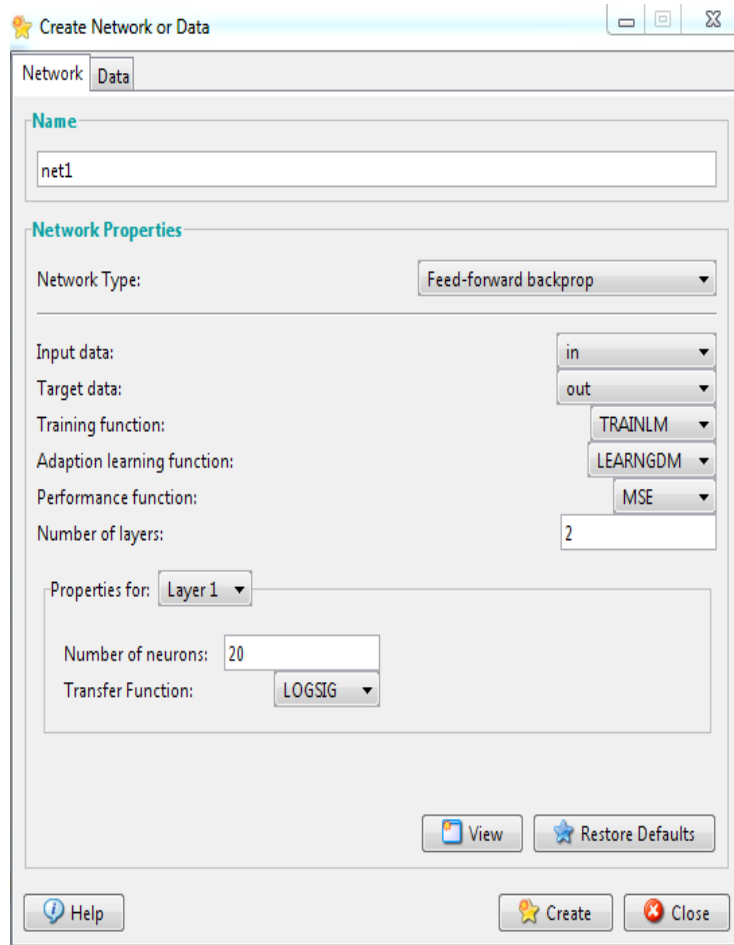


Figure III.5: Paramètres de RNA introduits sous NNTOOL

III.7.Modèle du réseau

Après la création du réseau en utilisant NNTOOL sous Matlab, il nous reste de définir le nombre des couches cachées et le nombre des neurones par couche. Pour ce faire nous avons utilisé une base des données citées dans l'annexe.

Afin de déterminer les meilleurs paramètres du réseau (nombre de neurones cachés, nombre des couches cachées) qui donne une prédiction satisfaisante, nous avons fait une série de tests pour le nombre des neurones cachés vaut de 20 neurones, pour des couches cachées variant entre 2 à 4 qui sont régité par des itérations de 1000 comme l'indique sur le tableau (III.1).

La figure suivante montre l'architecture du RNA

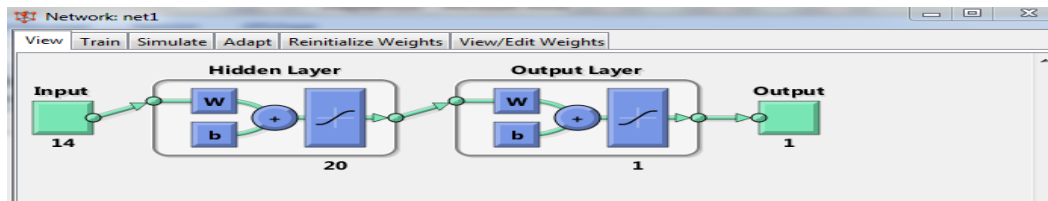


Figure III.6. La structure du RNA adoptée

La figure suivante présente la procédure de démarrage d'apprentissage, il se fait d'appuyer sur "Training Info" et sélectionner "in" et "out" comme suite :

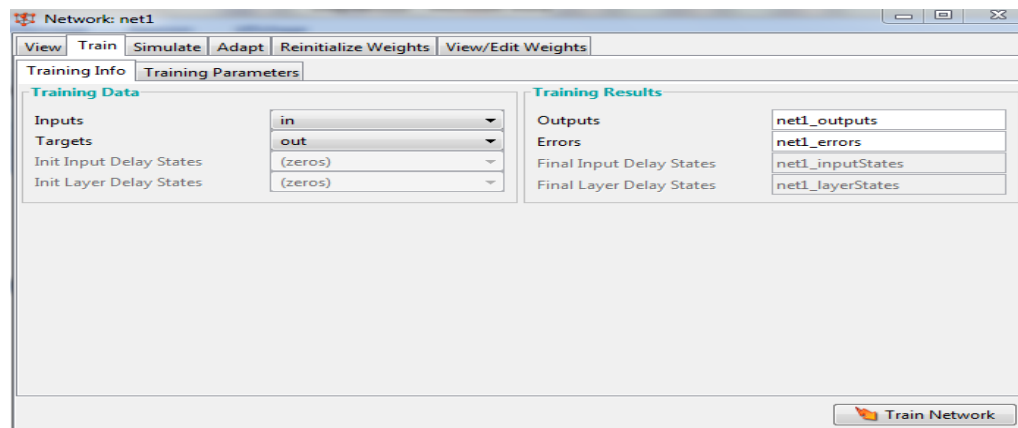


Figure III.7: Fenêtre présente l'étape d'apprentissage de RNA

La sélection des paramètres convenables du réseau des neurones se basant sur le terme d'erreur calculé (Tableau III.1). Après une série d'apprentissage des différents réseaux choisis, nous avons préféré le réseau à 3 couches avec 20 neurones dans les couches cachées (2) et 1 neurone pour la couche de sortie, l'erreur calculée pour ce choix est 0,000103. Où l'erreur est considérée optimale.

En analysant ces résultats, alors notre réseau a la configuration suivante :

- Nombre des couches cachées (**2 couches**).
- Nombre des neurones des couches cachées (**20 neurones**).
- Nombre des neurones de la couche de sortie (**1 neurone**).
- Fonction d'activation des couches cachées (**fonction sigmoïde**).
- Fonction d'activation de la couche de sortie (**fonction linéaire**).
- Trainlm: l'algorithme d'apprentissage.
- Nombre d'itération : **1000**

- Erreur désirée : **0.0001**

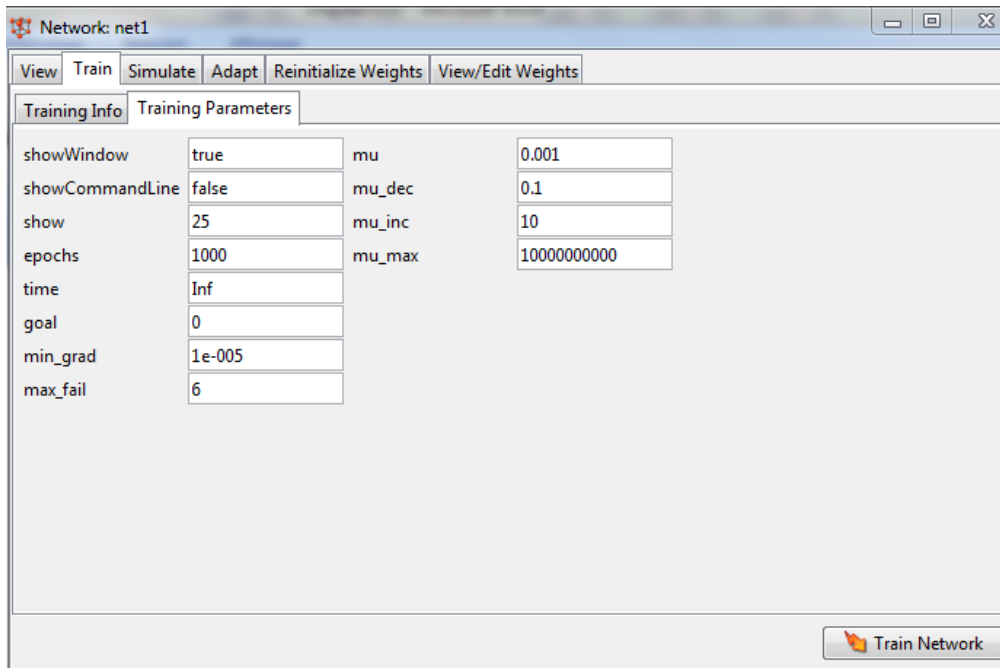


Figure III.8:Fenêtre présente les paramètres d'apprentissage adoptés

Nombre des couches	Nombre des neurones	Erreur
2	20	0.00641
3	20	0.000103
4	20	0.000116

Tableau III.1:Détermination du nombre des couches cachées et neurones par couche.

III.7.1. Graphe de l'erreur

Après la création du réseau. L'entraînement du RNA plusieurs fois donne la caractéristique de performance présenté par la figure III.9 de réseau choisi.

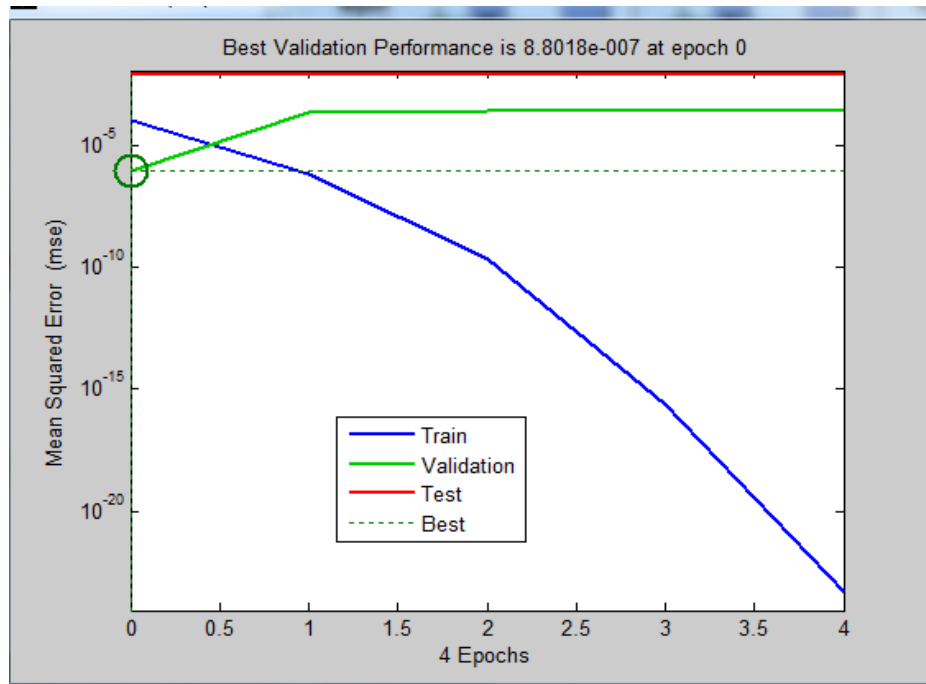


Figure III.9: Graphes de l'erreur (d'apprentissage de test et de validation).

RNA permet de calculer les valeurs de la couche de sortie en fonction des vecteurs d'entrée. L'erreur est la différence entre la valeur de sortie calculée par le réseau et la valeur désirée.

À l'itération suivante, l'algorithme ajuste les poids synaptiques dans le but de converger vers les bonnes valeurs.

L'algorithme s'arrête si l'erreur calculé est inférieure à l'erreur établie par l'utilisateur.

Dans nos tests la condition d'arrêt était définie par $\text{Erreur} < 0.0001$. D'après la figure (III.9), on constate que le nombre d'itérations pour que l'apprentissage satisfasse la condition d'arrêt était l'itération 572.

III.7.2. Courbes de régression

Les courbes de régression (Figure III.10) permettent de valider la performance du réseau construit. Les valeurs en ordonnées représentent les sorties du réseau, . Les valeurs en abscisses représentent les valeurs désirées.

- Les cercles en noir représentent les valeurs désirées.
- Les droites continues représentent l'approximation faite par le réseau.
- Les droites en pointillé représentent la parfaite approximation.

On constate que :

- Les données de l'apprentissage sont classées à 100%.
- Les données de validation sont classées à 98%.
- Les données de test sont classées à 99%.
- Globalement les données sont classées à 99%.

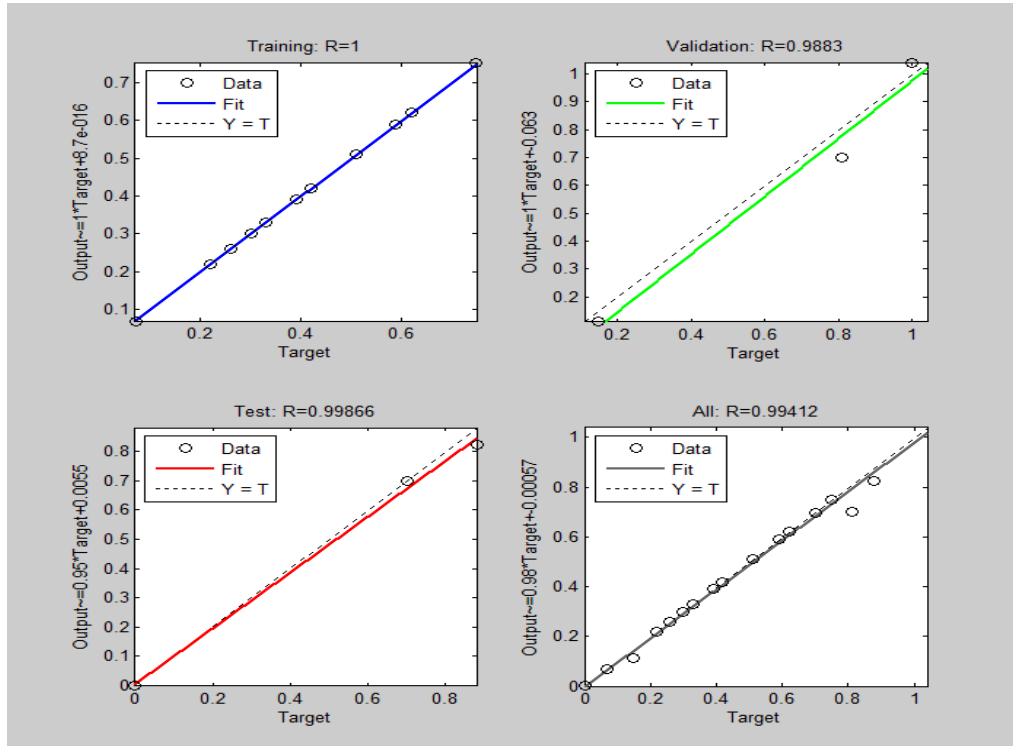


Figure III.10: Courbes de régression des résultats données par RNA

III.8. Comparaison des résultats

Après la détermination des caractéristiques du réseau, nous pouvons tester ce réseau par des autres échantillons (vecteurs du champ électrique et conductivité). Pour cela, nous utilisons la fonction de simulation test définie comme suit :

$$P = \text{sim}(\text{RNA}, ([E1 \ E2]'))$$

Avec E1 : la distribution de champ électrique, E2 : la conductivité, P : la sortie calculée par RNA (la position).

III.8.1. Création de fonction « sim »

Pour appliquer la fonction **sim** il faut exporter le réseau vers **workspace** du Matlab en sélectionnant l'onglet 'Export' comme il est montré sur la figure suivante.

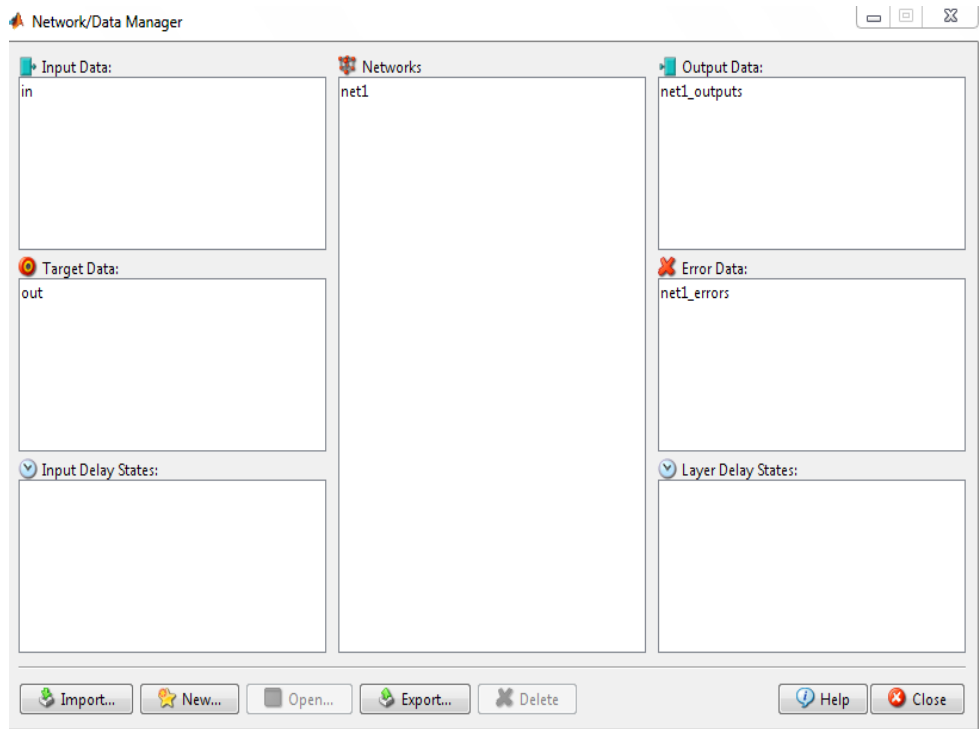


Figure III.11: Exportation de notre réseau nommé net1 vers l'espace de travail du Matlab

III.9. Résultats

Nous présentons ci-après un tableau qui contient les positions des isolateurs pollués désirées (pratique) et celles calculées (prédites) par RNA pour différentes valeurs moyennes de champ électrique et la conductivité appliquée au surface des isolateurs. Les valeurs prédites sont calculées en utilisant la fonction Sim (RNA, ([E1 E2]')) et les valeurs désirées correspondantes sont présentées dans l'annexe.

A chaque moment de la formation d'un réseau neuronal peut être obtenir les différents résultats en raison de hasard poids initial et divers ensembles de formation, de validation et des données de test. Par conséquent, réseau neuronal après la formation peut donner différentes sorties pour la même entrée. Afin de garantir obtenir une bonne précision de réseau neuronal, il doit être recyclé plusieurs fois. Dans cette étude, nous avons utilisé l'erreur quadratique moyenne (MSE) pour vérifier les performances de la classification. Quand la formation a été achevée, nous avons vérifié la performance du réseau. Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau III.2.

La conductivité (mS/cm)	La valeur moyenne du champ électrique le long de la chaîne (kV/cm)	Positions des isolateurs pollués dans la chaîne en % calculée par (RNA)	Positions des isolateurs pollués dans la chaîne en % adoptées en expérimentale	validation
0.0035	1.93	$6 \cdot 10^{-5}$	0	✓
0.48	2.16	7	7	✓
0.47	1.82	19	22	×
1.1	2.19	30	30	✓
1.3	1.78	39	39	✓
1.75	1.97	60.13	59	✓
1.73	1.82	60.85	62	×
1.72	2.25	70	70	✓
1.95	2.37	75	75	✓
1.94	1.87	88	88	✓
1.93	2.47	100	100	✓

Tableau III.2: Tableau des résultats obtenus par la méthode RNA

Les résultats présentés dans tableau III.2 montrent une grande précision de prédiction de la position des isolateurs pollués dans la chaîne des isolateurs par notre RNA. Toutes les prédictions effectuées sont justes sauf deux cas, ce qui donne un taux de réussite de prédiction de 81%. Ce qui prouve l'efficacité du RNA dans la prédiction de la position des isolateurs pollués en considérant que deux paramètres influençant sur la chaîne des isolateurs qui sont : l'intensité du champ électrique mesuré au voisinage de la chaîne et la conductivité de la couche de pollution déposée sur ces isolateurs . Le tableau III.3 présente les intervalles de pourcentage de pollution de la chaîne qui correspond à l'état de surface des isolateurs de cette dernière.

état des isolateurs	propre	1 et 2 pollués	3 et 4 pollués	5 et 6 pollués	Tous les isolateurs sont pollués
Les pourcentages de pollution de la chaîne (%)	[0 -5]	[5 -30]	[30 -60]	[60 -90]	[90 -100]

Tableau III.3: Pourcentages de pollution de la chaîne des isolateurs

III.10. Conclusion

A travers de ce chapitre, nous avons présenté l'utilisation des réseaux de neurones artificiels pour la diagnostique d'une chaîne des isolateurs à 6 éléments de type NJ 120 et pour un objectif de localiser la zone affectée par la pollution le long de la chaîne étudiée.

Il est intéressant de signaler que les bases des données utilisées pour l'apprentissage du RNA et pour le test sont collectées à l'annexe. Un tableau de résultats est présenté vers la fin de ce chapitre. Ce tableau montre une très bonne capacité du RNA pour prédire la position des isolateurs pollués dans la chaîne basant sur des résultats expérimentaux à savoir de la distribution du champ électrique mesuré au voisinage d'une chaîne des isolateurs et la conductivité de pollution déposée au surface des isolateurs de cette dernière. Ce qui donne l'importance de la technique adoptée pour la prédiction basée sur les réseaux de neurones artificiels.

L'utilitaire NNTOOL a montré une aptitude indiscutable dans la création et l'apprentissage de notre RNA simulé sous l'environnement Matlab.

Conclusion Générale

Dans ce mémoire nous avons sélectionné les défauts d'une chaîne des isolateurs à 6 éléments soumis aux différentes contraintes électro-géométriques (pollution, conductivité) en basant sur les résultats expérimentaux de la distribution du champ électrique mesuré autour de la chaîne.

Dans un premier temps, on a approfondi la définition des différents isolateurs HT et les phénomènes de décharge électrique sur des surfaces des isolateurs pollués.

Comme nous avons parlé sur 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. La connaissance de ce degré de pollution est par conséquent, une condition préalable et indispensable pour apprécier le niveau de l'isolement des ouvrages installés sur site, en vue de dimensionner convenablement l'isolation.

Dans le deuxième lieu, nous avons présenté une vue générale de la mise en œuvre des réseaux de neurones artificiels, quand et comment utiliser ces derniers.

Le RNA présente une méthode innovante pour traiter l'information, il est très recommandé de les utiliser quand le lien entre les entrées et les sorties d'un système donné est très complexe à modéliser. Les réseaux de neurones sont utilisés dans des domaines très variés en biologie, physique, économie. Ils sont notamment utilisés pour localiser le défaut dans les chaînes des isolateurs comme une nouveauté importante dans ce domaine.

La méthode d'apprentissage permet généralement d'obtenir très rapidement des résultats. L'utilisation des réseaux de neurones demeure cependant délicate car il faut d'une part déterminer les « bons » paramètres d'entrée et d'autre part savoir mettre en place le bon réseau de neurones avec le bon nombre de neurones cachés (en couche cachée). L'apprentissage est aussi une étape fondamentale avec au départ le choix du jeu de données d'apprentissage qui doit être testée et le degré d'apprentissage demandé. Après l'apprentissage, il est généralement prévu de tester le réseau par un échantillon de résultats connu afin justement de vérifier la qualité de l'apprentissage et d'estimer l'efficacité du réseau de neurones.

En troisième point, nous avons traité la partie de simulation de notre travail, où nous avons collecté des données pratiques à partir de l'annexe pour entraîner notre RNA et d'arriver vers la fin de prédire les différentes positions polluées au long d'une chaîne des isolateurs pour différentes valeurs de l'intensité du champ électrique et la conductivité de la pollution étudiée en utilisant ce même RNA. Les résultats obtenus ont montré une très grande efficacité des RNA pour la localisation des défauts dans les chaînes des isolateurs. Les RNA appliqués dans notre travail présentent un aide important pour l'étude de diagnostic d'une chaîne des

isolateurs à partir de des résultats expérimentaux de basées sur distribution du champ électrique mesuré autour de la chaine.

Bibliographies

- [1] CHAOU Ahmed Khaled, Techniques de diagnostic et de classification de l'état de surface d'un isolateur pollué sous tension alternative 50 Hz, Mémoire MASTER ACADEMIQUE, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2014-2015.
- [2] Y.C. Song and D.H. Choi, "High-frequency Components of Leakage Current as Diagnostic Tool to Study Ageing of Polymer Insulators under Salt Fog", Electronics Letters, No.41, Vol. 12, pp. 684-685, 2005
- [3] M. TEGUAR, A. Mekhaldi and A. Boubakeur, "Algorithm for HV Insulators Flashover under Discontinuous pollution", Archives of Electr. Eng., Vol. LI, No.2, pp 137-146, 200
- [4] SOUID Saïd et SOLTANI Chouayeb, Approche Électrostatiques d'une Chaîne d'Isolateurs de Haute Tension, Mémoire MASTER ACADEMIQUE, Université d'EL-Oued Juin 2013.
- [5] MEBAOUDJ Seif El Islam et MEZAOUR Hichem, Prédiction de la tension de contournement d'un isolateur de haute tension en utilisant la logique floue, Mémoire MASTER ACADEMIQUE Université Kasdi Merbah Ouargla, Le : 08/06/2015
- [6] S. VITET, «La pollution des isolateurs,» EDF-Epure, Juillet 1990.
- [7] J. DUNLAP, «Performances des isolateurs pollués pour les lignes de haut tension,» chez CIGRE, Rapport 33- 05, France, 1996.
- [8] S. GENBERG, «Isolateur en céramique et en synthétique,» EDF-EPURE, avril 1998.
- [9] R. Bouzeroura « Etude du développement d'arcs électriques parallèles sur une surface isolante non uniformément polluée sous tension continue », Mémoire de magister, promotion 2009, Université de Bejaia.
- [10] G. Talal, «Comportement d'un modèle d'isolateur sous tension impulsionnelle», mémoire de magister en génie électrique, laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger 2007.
- [11] D.DUMORA, «Matériaux isolants cramiques en électrotechnique,» Techniques de l'ingénieur , p. D275, 1975. [8] «Insulation co-ordination,» IEC, pp. 71-1, 1993.
- [12] C. LEROY, Les propriétés diélectriques de l'air et les très hautes tensions, paris: collection de la direction des études et recherches d'électricité de France, 1984.

- [13] Y. Porcheron, « Lignes aériennes : Matériels entrant dans la constitution d'une ligne aérienne », Technique de l'ingénieur D4425.
- [14] TLIDJANE Aissa, MEKHALFIA Riadh et KEBAILI Hamza « Etude Du Phénomène De Contournement Des Isolateurs Pollues Sous Tension Continue » La these D'ingenieur EUR D'etat En Génie Electrique Universite De M'sila 2009/2010.
- [15] ABIMOULOUD Adel « Comportement d'une Surface Isolante Partiellement Polluée sous Tension Alternative 50Hz » thèse de magister en Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique Alger Décembre 1999.
- [16] MEKHALDI Abdelouahab « Etude des phénomènes de conduction et de décharge électrique sur des surfaces isolantes polluées sous tension alternative 50 Hz » Thèse de doctorat d'Etat en Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique Alger 1999.
- [17] BOUCHOUKH Souleiman SAYEH LAMBARK Badraeddine, "Influence de la Pollution Artificielle sur la Tension de Contournement d'une Chaîne d'Isolateurs MT" Le : 08 /06/2014.
- [18] J.P. Detrie et P. Jarrault : « La pollution atmosphérique. », Dunod, Paris, France, 1969.
- [19] C. Gary : « Les propriétés diélectriques de l'air et les très haute tension. », collection de la direction des études et recherches d'électricité de France. Edition EYROLLES, 1984.
- [20] M. A. B. El-Koshairy et F. A. M. Rizk : « Comportement des isolateurs des lignes de transport à THT dans des conditions de pollution désertique », Cigré, 33-05, 1978.
- [21] F. Frifra et N. Rezak : « Etude physico-chimique du dépôt de pollution sur la surface des isolateurs haute tension ». PFE, Département de la chimie industrielle, USTO MB, 1998-1999.
- [22] CEI 815 : « Guide pour le choix des isolateurs sous pollution », 1986.
- [23] C. LEROY, Les propriétés diélectriques de l'air et les très hautes tensions, paris: collection de la direction des études et recherches d'électricité de France, 1984.
- [24] H. STREUBEL, « The influence of non-uniform contamination on the flashover voltage of insulators » 4th International Symposium on High Voltage Engineering, Rapport 46-10, Athens, Greece, 5-9 September 1983

- [25] 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.
- [26] MERZOUKA NOURESSADAT- Etude des performances des réseaux de neurones dynamiques à représenter des systèmes réels :une approche dans l'espace d'état, MEMOIRE MAGISTER , UNIVERSITE DE SETIF ,04 / 07 / 2009
- [27] Dr. BEKAKRA Youcef, Cours, Techniques de l'Intelligence Artificielle Réseaux de Neurones Artificiels , Université Hamma Lakhdar d'EL-Oued , 2017
- [28] ELMIR. Yasmina et BOUTELLI Halima Détermination de la tension de seuil d'initiation de la couronne dans le mélange SF6-N2 par réseaux neurones artificiels, Mémoire MASTER ACADEMIQUE, Université Kasdi Merbah Ouargla ,01/06/2016
- [29] HAMMOUCHE, Yassine, Comparaison de plusieurs méthodes pour la prédiction de la Charge Electrique Nationale Année 2009
- [30] H.Mezaache, "Les réseaux de Neurones formels Et Les systèmes Neuro-Flous Pour l'apprentissage par renforcement", Mémoire soumis en vue de l'obtention du Diplôme de Magister, Université El Hadj Lakhdar, Batna, 2008.
- [31] T.Norbert , "Treillis de Galois et réseaux de neurones : une approche constructive d'architecture des réseaux de neurones", thèse de doctorat , Université d'Artois - Faculté des Sciences Jean Perrin.

Annexe

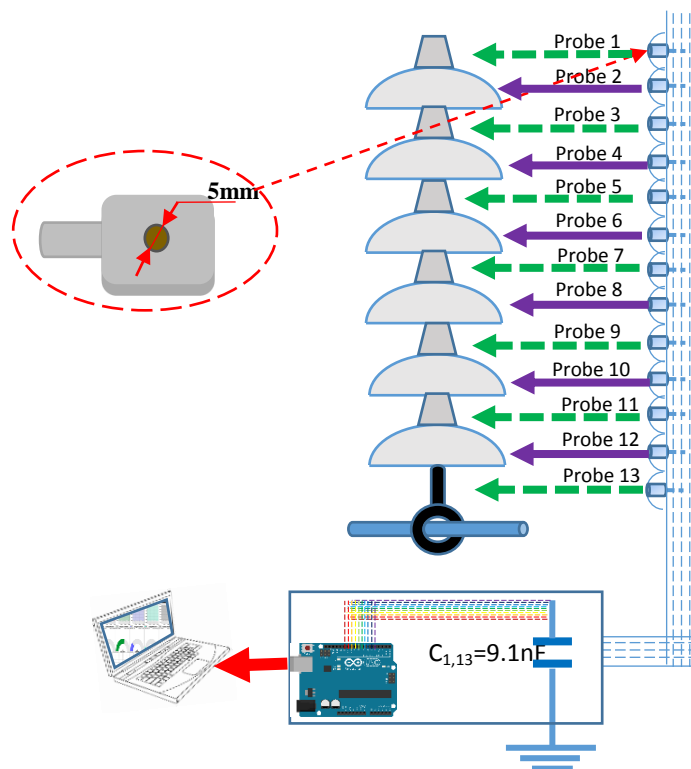


Figure A.1: le modèle opératoire utilisé

A. Mesure du champ électrique autour d'une chaîne des isolateurs:

A.1. Mesure du champ électrique en cas d'une chaîne des isolateurs propre et sec:

✓ En cas de changement de la tension appliquée à chaque distance :

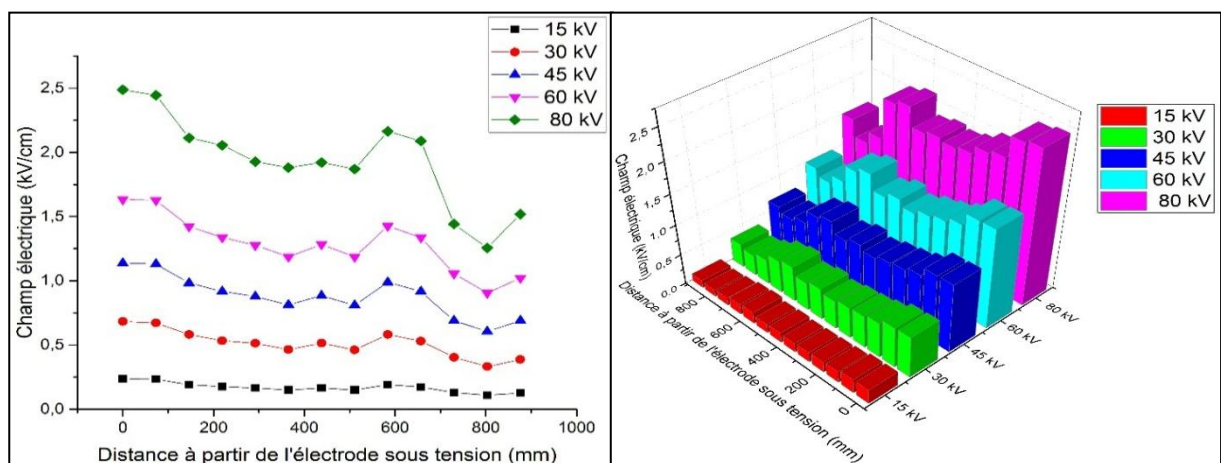


Figure A.2: le distribution de champ électrique avec une distance $d=1m$

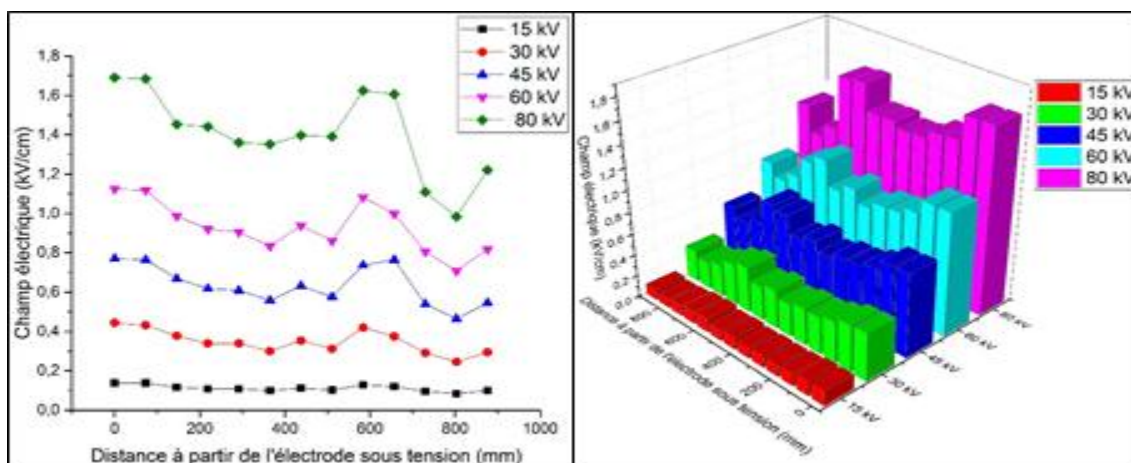


Figure A.3: le distribution de champ électrique avec une distance $d=1.25m$

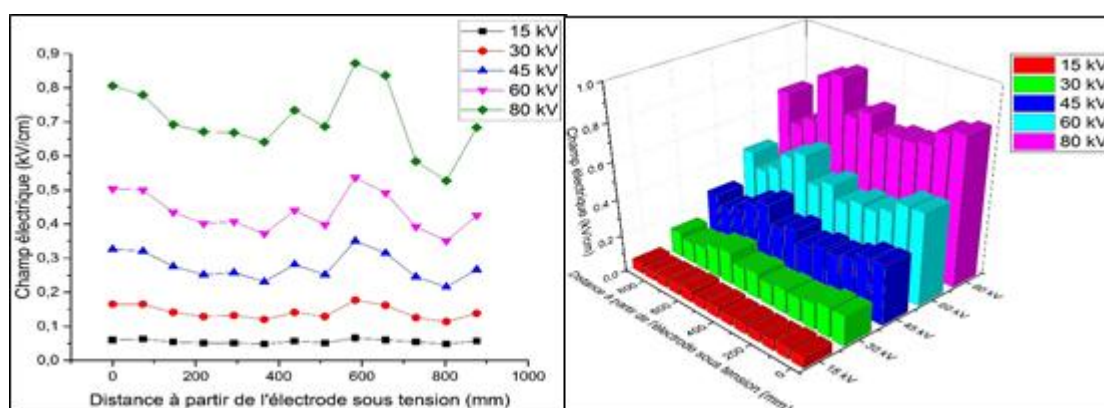


Figure A.4: le distribution de champ électrique avec une distance $d=1.5m$

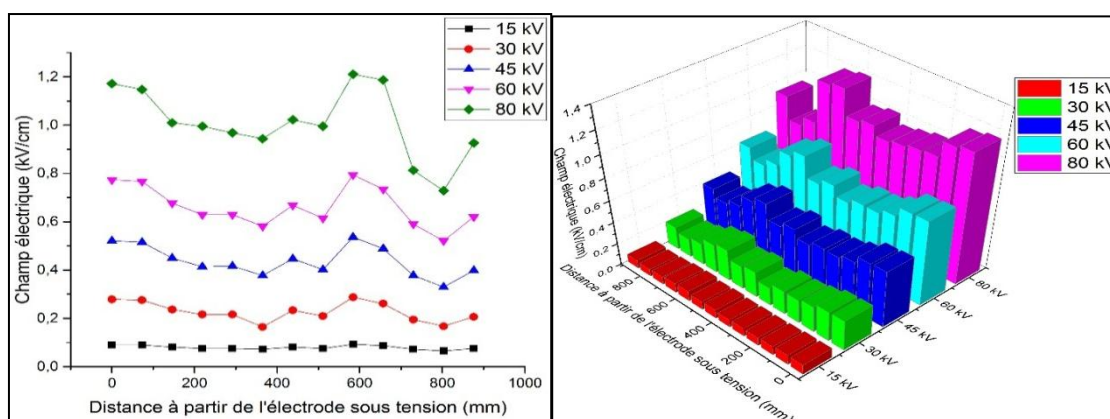


Figure A.5: le distribution de champ électrique avec une distance $d=1.75m$

✓ En cas de changement de la distance à chaquetension appliquée:

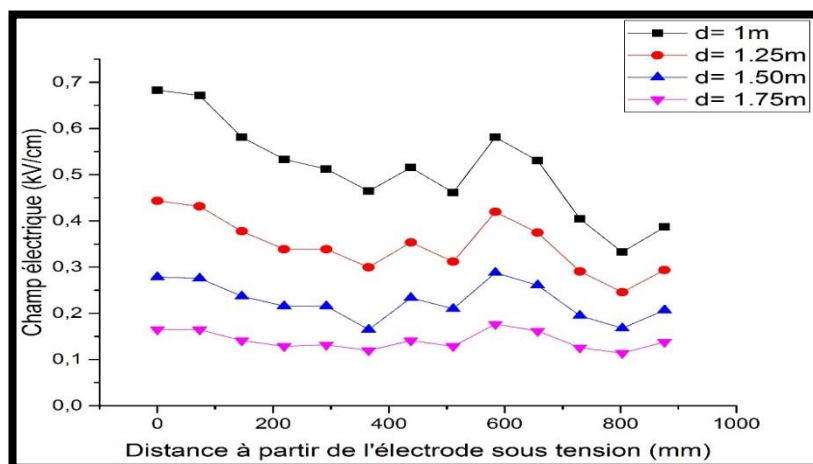


Figure A.6:le distribution de champ électrique avec une tensionV=30kv

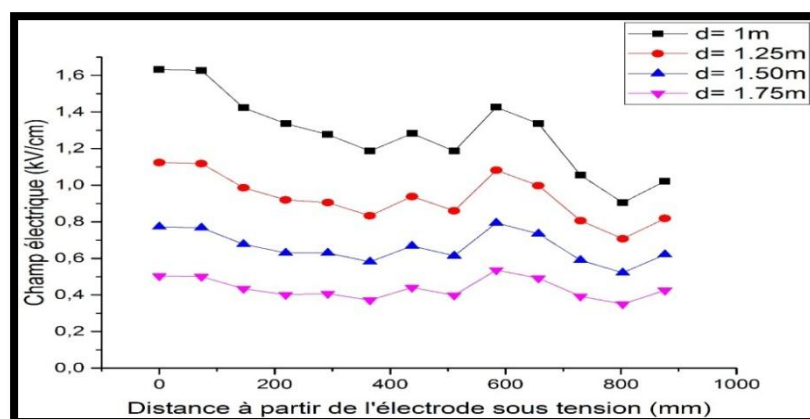


Figure A.7:le distribution de champ électriqueavec une tensionV=60kv

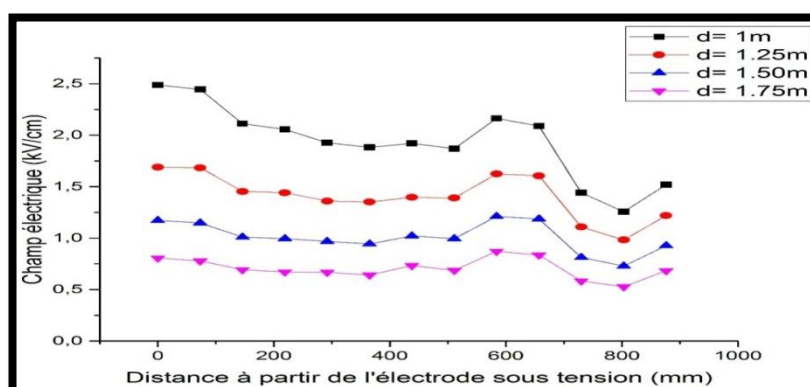
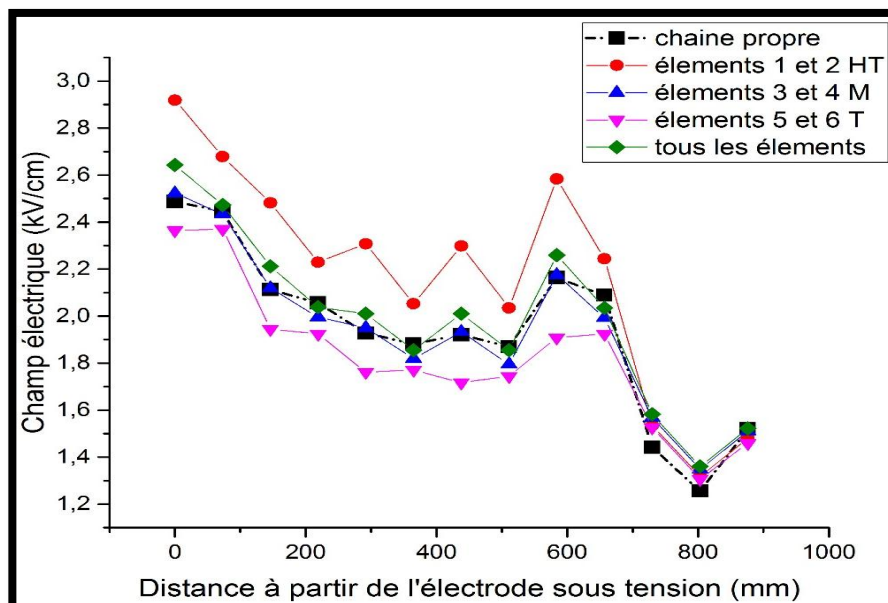
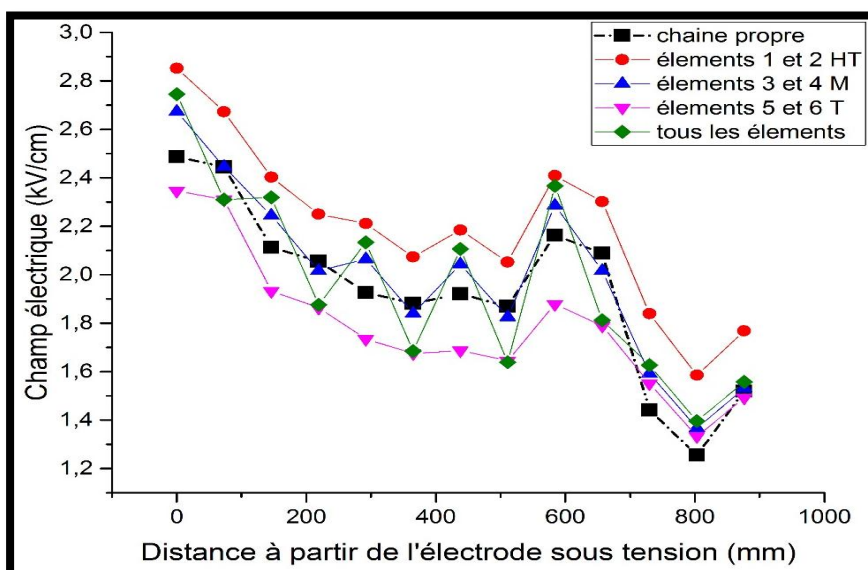


Figure A.8:le distribution de champ électriqueavec une tensionV=80kv

A.2. Mesure du champ électrique cas d'une chaîne des isolateurs polluée:

Figure A.9: le distribution de champ électrique avec $C=0.51\text{mS/cm}^2$ Figure A.10: le distribution de champ électrique avec $C=1.4\text{mS/cm}^2$

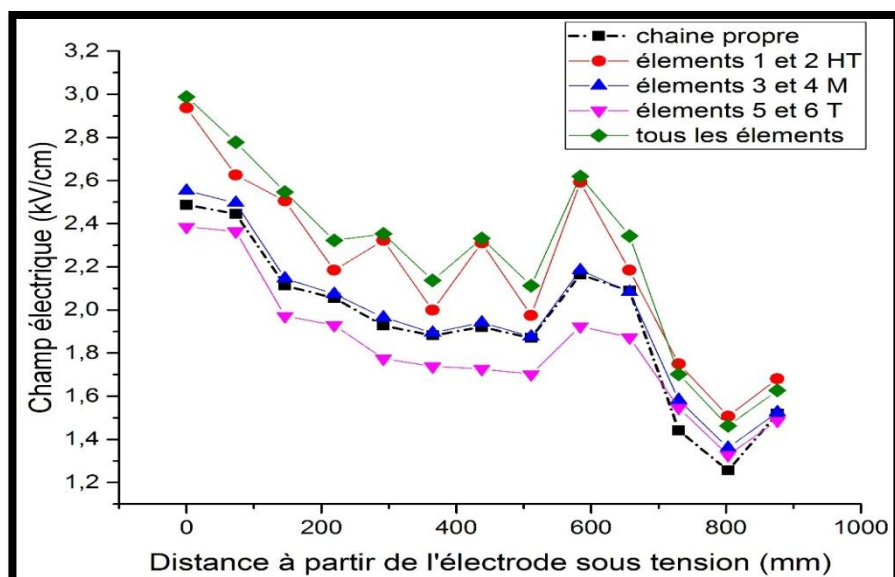


Figure A.11: le distribution de champ électrique avec $C=1.72 \text{ mS/cm}^2$

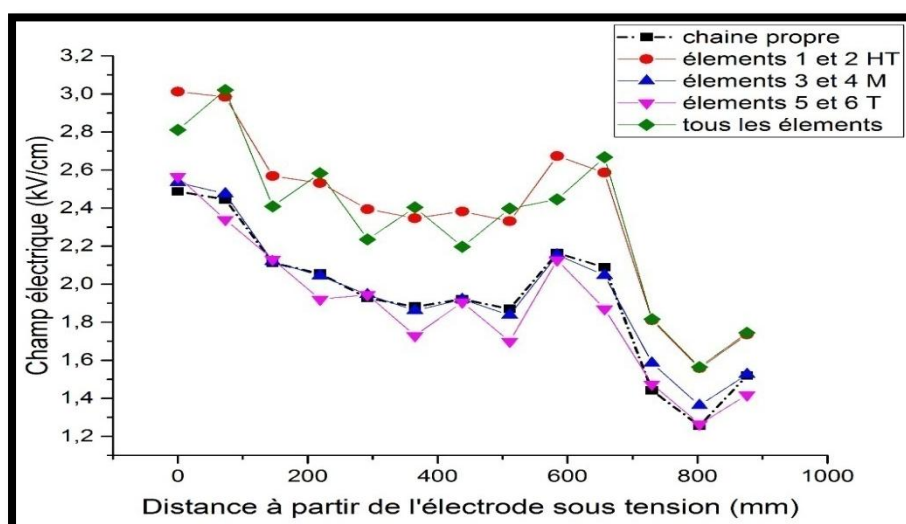


Figure A.12: le distribution de champ électrique avec $C=1.92 \text{ mS/cm}^2$

Résumé

Les isolateurs représentent relativement un faible pourcentage dans le prix des lignes aériennes, mais constituent un élément essentiel dans le bon fonctionnement de ces lignes. Leur rôle est d'assurer l'isolement électrique entre les parties portées à la HT ou entre les parties HT et les parties mises à la terre. La pollution et le endommagement des isolateurs constituent des facteurs de plus importances dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie. En effet par temps de pluie ou de brouillard, les dépôts polluants se fixant sur les surfaces isolantes augmente le champ électrique et augmente la conductivité du surface et le contournement peut alors survenir alors endommagement des isolateurs.

pour réaliser le concept le réseau de neurone dans MATLAB on utilisée la base de données obtenue expérimentalement par des essais au niveau du laboratoire de haute tension à l'université Hamma Lakhder El-Oued année passe, qui contienne 13 valeurs de champ électriques ou long de chaine des isolateurs et aussi les valeurs de conductivité on différentes états

Mots clés: Isolateur HT, contournement, pollution, champ électrique, réseau de neurone, conductivité.

Abstract

Insulators represent a relatively small proportion of the electrical grid, but they are an essential element in the proper functioning of these lines. Its role is to ensure electrical insulation between high voltage line and parts grounded. Pollution and damage to insulators are the most important factors in quality and reliability in energy transfer. In the case of rain or misty weather, the sediment that causes pollution on the insulating surfaces greatly and the electric field increase also the conductivity of the surface and can occur by flashover can then occur while the insulators are damaged.

for realize the concept neuron network in MATLAB ,we used The database obtained from pervious experimental study by tests at the high voltage laboratory at Hamma Lakhder El-Oued University last year, how have 13 values of electric field champ in the long of insulators and also different conductivity .

Key words: HT insulator, flashover, pollution, electric field, neuron network, conductivity.

المخلص

تمثل العوازل نسبة صغيرة من القيمة المادية في خطوط الشبكة الكهربائية، ولكنها تشكل عنصرا أساسيا في الأداء السليم لهذه الخطوط. يتمثل دورها في ضمان العزل الكهربائي بين خط التوتر العالي والعمود الكهربائي أو الارض. يعد التلوث والأضرار التي تلحق بالعوازل من العوامل المؤثرة في جودة وكفاءة نقل الطاقة. وفي حالة المطر أو الضباب، فإن طبقة التلوث تترسب على الأسطح العازلة مما يؤدي إلى ارتفاع الحقل الكهربائي وارتفاع ناقلية السطح مما يمكن أن حدوث ظاهرة الإحاطة وهذا يؤدي إلى تلف العوازل.

لتحقيق شبكة الخلايا العصبية التجريبية في الماتلاب تم استخدام قاعدة البيانات الناتجة عن التجارب التي انجزت في مختبر الجهد العالي بجامعة الشهيد حمه لخضر الوادي العام الماضي، والتي تحتوي على 13 قيمة للحقل الكهربائي على طول سلسلة العوازل وقيم الناقلية في حالات مختلفة.

الكلمات المفتاحية: عازل التوتر العالي، الإحاطة، تلوث، الحقل الكهربائي، الشبكة العصبونية، الناقلية.