

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERRI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D' ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes De MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Electrique

Spécialité : RESEAUX ELECTRIQUES

Présenté par

**Amar HADDOU
Younes BOUZEMBRAK**

Thème

**Exploitation du Signal du Courant de
Fuite pour le Diagnostic de l'état du
Réseau Electrique avec LabVIEW.**

Mémoire soutenu publiquement le 29/09/2019 devant le jury composé de :

Mr. Mourad ALLAD
Mr Belkacem MOULA
Melle Samia BELBAZ
Melle Malika LOUANCHI

MAA
MCB
MAA
MAA

President UMMTO
Encadreur UMMTO
Examineur UMMTO
Examineur UMMTO

PROMOTION 2015/2016

REMERCIEMENTS

Nous rendons grâce à dieu de nous avoir donné le courage et la patience afin de mener ce travail à terme.

*Arrivé au terme de notre travail, nous tenons à exprimer vivement notre profonde gratitude à notre promoteur : **Mr Moula** pour l'aide, le suivie et l'intérêt qu'il nous a apporté jusqu'à l'achèvement de notre travail.*

Nous tenons également à remercier l'ensemble des membres du jury qui ont fait l'honneur de juger notre travail.

Enfin, nos chaleureux remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin dans notre travail et formation.

DÉDICACES

*CHALEUREUSEMENT JE DÉDIE CE MODESTE
TRAVAIL:*

*À LA LUMIÈRE DE MA VIE, MES CHERS PARENTS
EN TÉMOIGNAGE DE LEUR AMOUR ET DE LEUR
SACRIFICES SANS LIMITES, JE LEURS SOUHAITE
UNE BONNE SANTÉ, QUE DIEU ME LES GARDE.*

À LA MÉMOIRE DE CEUX QUI NOUS ONT QUITTÉS.

À MES FRÈRES ET MES SŒURS.

À TOUTE LA FAMILLE HADDOU

À TOUS MES AMIS ...

*À TOUS MES COLLÈGUES DE LA PROMOTION
2016.*

AMAR

DÉDICACES

*CHALEUREUSEMENT JE DÉDIE CE MODESTE
TRAVAIL:*

*À LA LUMIÈRE DE MA VIE, MES CHERS PARENTS
EN TÉMOIGNAGE DE LEUR AMOUR ET DE LEUR
SACRIFICES SANS LIMITES, JE LEURS SOUHAITE
UNE BONNE SANTÉ, QUE DIEU ME LES GARDE.*

À MES FRÈRES ET MES SŒURS.

À TOUTE LA FAMILLE BOUZENBREK

À TOUS MES AMIS ...

*À TOUS MES COLLÈGUES DE LA PROMOTION
2016.*

YOUNES

SOMMAIRE

Introduction Général.....	1
----------------------------------	----------

Chapitre I : Les Isolateurs de Haute Tension

I. 1 Introduction.....	3
I. 2 Fonctionnement et constitution d'un isolateur.....	3
I. 3 Principaux types d'isolateurs.....	4
I. 3.1. Isolateurs de type rigide.....	4
I. 3. 2 Elément de chaîne.....	4
I. 3. 2. 1 Isolateurs à capot et tige.....	5
I. 3. 2. 2 Isolateur à long fût en porcelaine.....	8
I.4 Choix des isolateurs.....	9
I. 5 utilisations des isolateurs.....	10
I.6 Les matériaux de fabrication des isolateurs.....	10
I. 6. 1 Céramique.....	11
I.6.2 Verres.....	11
I.6.3 Matériaux synthétiques.....	11
I. 7 Classification des isolateurs.....	12
I. 8 Conclusion.....	13

Chapitre II : Pollution des Isolateurs de haute tension

II.1 Introduction.....	14
II.2 contournement d'isolateur.....	14
II. 2. 1 Contrainte de contournement d'isolateurs.....	15
II. 2. 2 Tension de contournement.....	15
II. 2. 3 Tension de tenue.....	15

II. 2.4 Conductance superficielle.....	15
II. 3 Formation et répartition des couches polluantes.....	16
II. 4 Source de pollution.....	17
II. 4. 1 Pollution naturelle.....	17
II. 4. 1. 1 Pollution marine.....	17
II. 4. 1. 2 Pollution désertique.....	18
II. 4. 2 Pollution industrielle.....	18
II. 4. 3 Pollution mixte.....	18
II. 5 Conséquence de la pollution.....	18
II. 5. 1 Arc non localisé.....	19
II. 5. 2 Arc permanent.....	19
II. 5. 3 Contournement des isolateurs.....	19
II. 6 Mesure de la sévérité de pollution des sites.....	21
II. 7 Classification des sites pollués.....	22
II.8.Densité du dépôt de sel équivalent (DDSE).....	23
II.9. Courant de fuite.....	24
II.10. Mesure de la pollution de l'air.....	24
II. 12 Méthodes d'essais sous pollution.....	25
II. 12. 1 Essai sous pollution naturelle.....	26
II. 12. 2 Essais sous pollution artificielle.....	26
II. 12. 2. 1 Méthode des couches solides.....	26
II. 12. 2. 2 Méthode du brouillard salin.....	27
II. 13 Techniques de lutte contre la pollution.....	27
II.13.1. Allongement de la ligne de fuite.....	27
II.13.2. Isolateurs plats.....	28
II.13.3. Graissage périodique.....	28
II.13.4. Revêtement silicone.....	28

II.13.5. Les isolateurs composites.....	28
II.13.6. Nettoyage des isolateurs.....	28
II. 14 Conclusion.....	30

Chapitre III : Prédiction du degré de sévérité de pollution

III.1 Introduction.....	31
III.2 Enregistrement du signal du courant de fuite.....	31
III.2.1 Origines de LabVIEW	32
III.2.2 Utilité de labview.....	33
III.2.3 Initiation aux instruments virtuels de LabVIEW.....	33
III.3 Isolateurs testés.....	32
III.4. Procédures de test.....	37
III.4.a. Préparation des chaînes d'isolateurs.....	37
III.4.b Préparation des solutions polluantes.....	37
III.4.c Méthode d'application de la pollution.....	38
III.5. Circuits de mesure.....	38
III.5. a Mesure de la tension de contournement.....	38
III.5.b Mesure du courant de fuite.....	39
III.6 Exploitation du signal du courant de fuite pour la prédiction de la sévérité de pollution.....	39
III.6.1 L'analyse spectrale.....	39
III.6.2 Application de l'analyse spectrale aux signaux du courant de fuite.....	40
III.6.3 Etude de l'énergie des harmoniques sous pollution non-uniforme.....	43
III.6.3.1 théorie sur énergie et puissance d'un signal.....	43
III.6.3.2 Définitions de l'énergie d'un signal.....	44
III.7 Conclusion.....	48

Conclusion Générale

Introduction Générale

Introduction Générale

La pollution des isolateurs est un phénomène qui agit négativement sur le comportement des isolateurs de haute tension.

La pollution des isolateurs constitue un problème majeur dans la dégradation de l'isolement des ouvrages (postes et lignes) de haute tension. Portés par le vent et déposés sur la surface isolante des chaînes des isolateurs, et en présence d'humidité, les divers dépôts polluants deviennent plus ou moins conducteurs. Ce qui engendre une diminution conséquente de la tension de tenue des isolateurs. Des arcs électriques prennent naissance à la surface isolante et peuvent éventuellement, se développer en provoquant le contournement total des isolateurs [1].

En général, la distribution de la pollution à la surface des isolateurs n'est pas répartie de façon uniforme. En effet, les conditions électro-géométriques et climatiques jouent un rôle important dans l'accumulation et la distribution de la pollution sur la surface d'un isolateur.

La non-homogénéité est due à la présence de différents agents polluants dans une même région, et la non-uniformité de la répartition sur les surfaces des isolateurs est due aux profils des isolateurs, le sens et la direction des vents dans cette région, la pluie, la position de la chaîne d'isolateurs par rapport au sol (verticale, horizontale, inclinée), la position de l'isolateur dans la chaîne, le degré de pollution du site où se trouve les isolateurs ainsi que la surface inférieure ou supérieure de l'isolateur et de l'effet d'inconnu de l'humidité sur la pollution [2], [3].

Le contournement se produit sur la surface de l'isolateur lorsqu'une décharge électrique s'établit entre ses extrémités et contourne la surface de l'isolateur.

Le contournement provoque l'ouverture du disjoncteur, car il établit un court-circuit entre le conducteur et le pylône (défaut monophasé à la terre).

Le contournement cause habituellement l'interruption momentanée de l'écoulement de l'énergie dans le réseau. De telles interruptions, bien qu'étant nocives, peuvent être tolérées dans des endroits ruraux. Dans des secteurs urbains avec les industries de pointe (domaines pharmaceutiques, production de véhicules...) les interruptions ne sont pas acceptables parce qu'elles mènent à d'énormes pertes financières de production, de machines bloquées et des pertes de contrôle du cycle du processus. Par exemple, aux USA une interruption de 0,25 s dans une usine à papier peut provoquer des pertes de 100 000 dollars [4].

Structure du mémoire

L'objectif de ce mémoire est d'étudier l'influence de la pollution artificielle sur la tension de contournement d'une chaîne d'isolatrice moyenne tension (MT) pour différentes conductivité superficielle et pour différents niveaux. Des résultats expérimentaux réalisés au laboratoire seront présentés.

Ce travail s'articule autour de trois principaux chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation des isolateurs MT ;
- Le deuxième chapitre est réservé à la pollution des isolateurs ;
- Le troisième chapitre est consacré aux essais expérimentaux sur le contournement d'une chaîne d'isolateurs.
- Enfin, on terminera par des conclusions.

Chapitre I

Les isolateurs de Haute tension

I.1 Introduction

Le phénomène de pollution des lignes aériennes constitue un sujet d'étude d'une importance primordiale. Cela provient du fait que la pollution des isolateurs constitue un sérieux problème pour l'exploitation des réseaux de haute tension. En effet, et suite à l'interaction entre, l'air transportant des grains de poussières et l'isolateur, une couche étrangère se dépose sur les surfaces de celui-ci [1]. Une fois cette couche humidifiée, la tension de tenue peut diminuer considérablement, provoquant des incidents très graves. Cela est lié à plusieurs facteurs dont les plus importants sont la nature de l'agent polluant et le profil de l'isolateur.

I. 2 Fonctionnement et constitution d'un isolateur

L'isolateur est un matériau isolant solide qui présente une très grande résistance au passage du courant et dont la conductibilité est pratiquement nulle. Il est utilisé pour isoler les conducteurs ou les pièces sous tension afin d'empêcher les court-circuits, les pertes de courant et les charges d'électrocution [11].

Les isolateurs sont des composants indispensables au transport et à la distribution de l'énergie électrique. Leur fonction est de réaliser une liaison mécanique entre des conducteurs portés à des potentiels différents accrochés aux pylônes des lignes aériennes. Ils maintiennent les conducteurs dans la position spécifiée (isolateurs d'alignement et d'ancrage), ils assurent la transition entre l'isolation interne (huile, SF6) et l'isolation externe (air atmosphérique), ils permettent de raccorder les matériels électriques au réseau (traversées de transformateur, extrémités de câbles) et ils constituent, également, l'enveloppe de certains appareils (disjoncteurs, parafoudres, réducteurs de mesure) [11].

Les isolateurs sont conçus et dimensionnés pour résister aux contraintes prévisibles introduites par l'environnement [11]. Du point de vue électrique, l'isolateur est considéré comme deux électrodes dont l'intervalle comporte trois zones constituant trois isolants en parallèle ayant des comportements différents, qui sont les suivants [11] :

- L'intervalle d'air.
- Le matériau diélectrique.

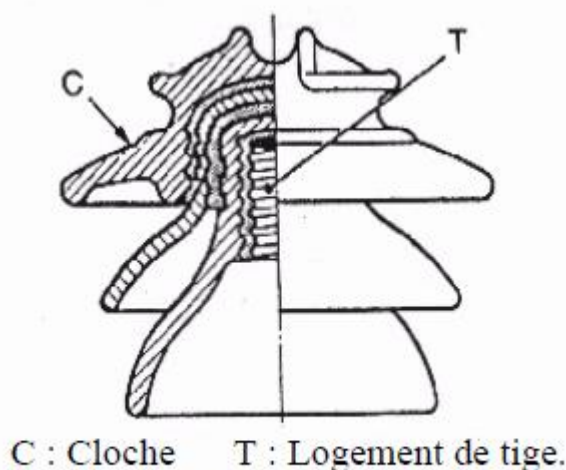
- L'interface air - matériau diélectrique. (La longueur de l'interface constitue la ligne de fuite –ligne le long de laquelle circulerait le courant de fuite).

I. 3 Principaux types d'isolateurs

On peut distinguer deux principaux types d'isolateurs :

I. 3. 1 Isolateurs de type rigide

Un isolateur rigide (Figure I. 1), est relié au support par une ferrure fixe. Tous les isolateurs rigides normalisés sont livrés avec une douille scellée de telle façon qu'ils puissent être vissés directement sur les ferrures correspondantes. La céramique et le verre sont les deux matériaux utilisés pour les isolateurs rigides [1].



C : Cloche T : Logement de tige.

Fig.I.1 Isolateur rigide en verre.

Figure I.1 Isolateur rigide en verre.

I. 3. 2 Élément de chaîne

C'est un isolateur constitué par un matériau isolant équipé de pièces métalliques de liaison, nécessaires pour le relier de façon flexible à d'autres éléments de chaîne (Figure I.2), à la pince de suspension du conducteur ou au support. Ces éléments sont soumis principalement à des efforts de traction. Ils sont généralement utilisés en suspension et forment des chaînes d'isolateurs soit verticales (chaînes d'alignement), soit horizontale (chaînes d'ancrage) [1].

On distingue deux types d'éléments de chaînes qui sont :

- Isolateurs à capot et tige.
- Isolateurs à long fut en porcelaine.

R : Rotule

P : Pas

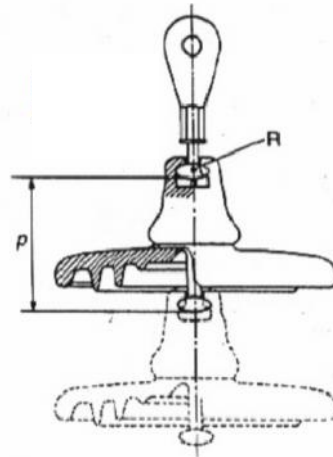


Figure I.2 Assemblage à rotul

I. 3. 2. 1 Isolateurs à capot et tige

L'isolateur capot et tige est constitué d'un bloc isolant portant à sa partie supérieure un capot scellé en fonte malléable et à l'intérieur une tige en acier, avec cannelures et dont la tête conique est également scellée dans le verre (ou la porcelaine).

L'extrémité inférieure de cette tige est arrondie et a les dimensions voulues pour pénétrer dans le capot de l'élément suivant, et y être maintenue par une goupille [1].

L'assemblage consiste à effectuer un scellement du capot et du diélectrique par du ciment, puis celui de la tige et du diélectrique [1].

La coupe de l'isolateur capot-tige est schématisée à la (Figure I. 3)

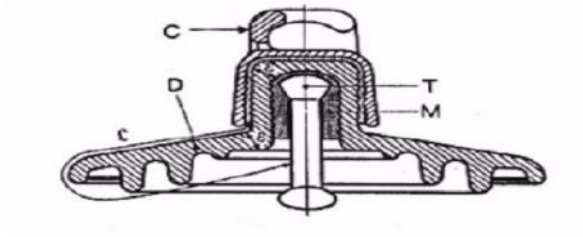


Figure I.3 Isolateur à capot et tige

La (Photo I. 1) présente les différents profils des isolateurs à capot et tige qui sont :

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.

b) Profil antibrouillard

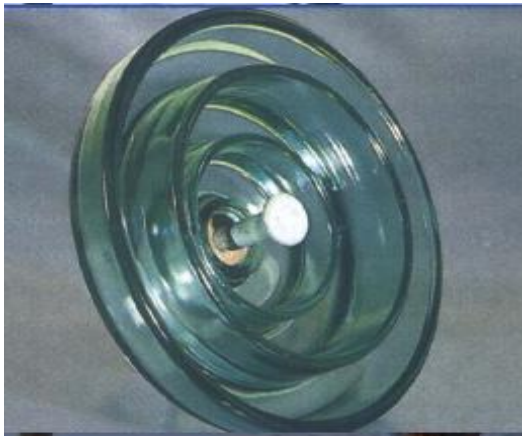
Il est plus large que le profil standard. L'écartement entre les anneaux permet un bon nettoyage par le vent ou la pluie et facilite le lavage manuel si nécessaire. L'espacement prévient également l'apparition d'arcs entre les anneaux adjacents dans des conditions sévères de pollution.

c) Profil ouvert

La suppression complète des anneaux permet de réduire l'accumulation des dépôts polluants. Ce type de profil est particulièrement efficace en régions désertiques où le lavage par pluie est très rare.

d) Profil sphérique

Ce type de profil donne une ligne de fuite équivalente au profil standard, mais l'absence d'anneaux facilite le nettoyage manuel.



Profil standard



Profil antibrouillard (A)



Profil ouvert



Profil antibrouillard (B)



Profil sphérique

Photo I.1 Différents profils d'isolateurs à capot et tige.

e) Caractéristiques géométriques

En effet, les caractéristiques géométriques (diamètre externe de la partie isolante, longueur de la ligne de fuite...) des isolateurs à capot et tige diffèrent selon leurs conditions de service (tension de service, sévérité de la pollution du site ...). Ci-dessous quelques caractéristiques géométriques selon la publication CEI 60305 (Tableau I.1).

Désignation CEI	Charge de rupture (KN)	Diamètre extérieur (mm)	Pas Nominal (mm)	Longueur de la ligne de fuite (mm)
U 40	40	175	100	185
			110	
U 70	70	255	127	280
			146	
U 100	100	255	127	318
		288 ⁽¹⁾	146 ⁽¹⁾	440 ⁽¹⁾
U 160	160	280	146	370
		320 ⁽¹⁾	170 ⁽¹⁾	540 ⁽¹⁾
U 300	300	320	195	480
U 400	400	360	206	525
		380	220	550
U 530	530	380	240	600
		440	255	640

Tableau I-1 : Caractéristiques géométriques des isolateurs à capot et tige (CEI 60305)

(1) Isolateurs utilisés dans des zones polluées.

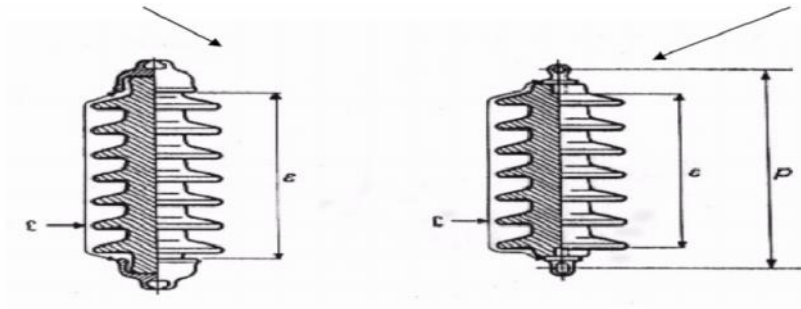
I. 3. 2. 2 Isolateur à long fût en porcelaine

Ils sont constitués d'un cylindrique plein en céramique, en porcelaine ou en matériaux synthétiques, muni d'ailettes (Figure I.4). A chaque extrémité est fixée une pièce métallique de liaison ; 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 [1].

Scellement externe

Scellement interne



\mathcal{L} : Plus courte distance dans l'air, extérieure à l'isolateur

ε : Longueur du canal de perforation

p : pas

$\varepsilon \gg \mathcal{L} / 2$

Figure I.4 Isolateur à long fut en porcelaine

1.4 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.

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. [2].

Même bien choisie, une isolation n'est jamais à l'abri d'un incident. La sévérité de la pollution d'un site peut changer. L'apparition d'une nouvelle usine à proximité d'un poste, la construction d'un ouvrage routier voisin ou plus simplement, un événement météorologique exceptionnel peuvent augmenter, durablement ou temporairement, la pollution d'un site, alors qu'un poste ou une ligne y sont déjà en exploitation. Le dimensionnement initialement correct des isolateurs peut alors devenir insuffisant et il faut pouvoir protéger les installations existantes contre les nouvelles sources de pollution éventuelles.

I. 5 Utilisation des isolateurs

Un isolateur est un composant électrotechnique destiné à fixer, maintenir ou soutenir les conducteurs électriques nus. Il est constitué de matériau isolant, c'est-à-dire qui ne conduit pas l'électricité. On trouve des isolateurs en particulier sur les lignes à haute tension, mais aussi sur les lignes télégraphiques ou dans les postes électriques : ils assurent l'isolation électrique entre les conducteurs et les pylônes. [3].

En effet, un bon choix de dimensionnement des isolateurs s'avère indispensable pour assurer la fiabilité et la qualité de l'isolement de haute tension

La pollution de ces isolateurs fugués comme un vrai problème néfaste à leur bon fonctionnement. La tension tenue des isolateur peut diminuer considérablement à cause des dépôts polluants recouvrant leurs surfaces ils peuvent même conduire au contournement des isolateurs dans certains cas critiques.

I.6 les matériaux de 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 lourd des isolateurs et la difficulté de détection des amorçages. Ces dernières années on s'intéresse de plus en plus à

l'utilisation des isolateurs en matériaux polymères [4].

I.6.1 Céramique

La composition des céramiques et leur fabrication ont été longuement développées ; certaines céramiques à grains très fins sont recommandées pour des isolateurs devant supporter des efforts mécaniques élevés [4]. Les céramiques sont largement utilisées pour l'isolation des matériels de poste : isolateurs supports, couverture isolante des sectionneurs, des disjoncteurs, des transformateurs de potentiel, des bornes de traversées des transformateurs de puissance... Elles sont aussi utilisées dans l'isolation des isolateurs à long fût utilisés comme éléments de chaînes (lignes à extra et ultra haute tension).

I.6.2 Verres

a) Le verre recuit

Le verre recuit a été surtout utilisé pour faire des isolateurs rigides, mais on s'est aperçu que les isolateurs un peu épais ne résistaient pas aux variations brusques de températures. De plus, le verre recuit ne supporte que des tensions mécaniques relativement faibles, ce qui interdit son emploi pour les isolateurs de suspension.

b) Le verre trempé

Le verre trempé présente une contrainte mécanique en traction environ 5 à 6 fois plus grande que celle du verre recuit et peut supporter des variations brusques de température pouvant atteindre 100 °C [4].

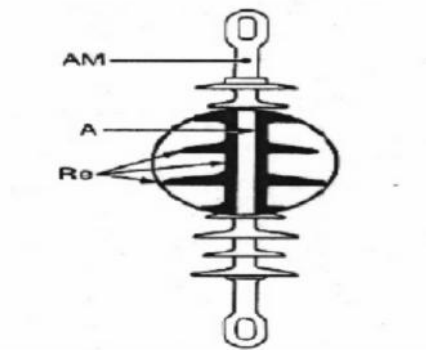
Outre son bas prix, le verre présente l'avantage de permettre de déceler les défauts par une simple observation [4].

I.6.3 Matériaux synthétiques

Ces isolateurs (Figure I. 5.), dits composites, sont constitués d'un noyau en fibres de verre imprégnées d'une résine et d'un revêtement à ailettes de type élastomère. Ces isolateurs présentent l'avantage d'une grande légèreté alliée à une

haute résistance mécanique que leur confère le noyau. Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères.

Cependant, ces isolateurs vieillissent sous l'effet des différentes contraintes auxquelles ils sont soumis (électriques, mécaniques, atmosphériques...) ce qui constitue un désavantage dans leurs fonctionnement.



- A : Ame en fibre de verre-résine.
- AM : Pièces d'accrochage métallique
- Re : Revêtement à ailettes en matériaux synthétique

Figure I.5 Isolateur composite.

I. 7 Classification des isolateurs en HT

Conformément à la publication CEI 383 (Commission Electrotechnique Internationale), les isolateurs de lignes aériennes sont divisés en deux classes selon leur forme.

Classe A

Elle comprend tous les isolateurs ou éléments de chaînes pour lesquels la plus courte longueur "ε" du canal de perforation à travers la matière isolante solide est au moins égale à la moitié de la plus courte distance dans l'air "L" extérieure à l'isolateur. Les isolateurs à long fût font, en général, partie de cette classe.

Classe B

Elle comprend tous les isolateurs ou éléments de chaînes pour lesquels la plus courte longueur " ϵ " du canal de perforation à travers la matière isolante est inférieure à la moitié de la plus courte distance dans l'air " L " extérieure à l'isolateur. Les isolateurs à capot et tige appartiennent à cette classe [1].

I.8 Conclusion

Les isolateurs entrent pour un pourcentage très modeste de l'ordre de 7%, dans le prix d'une ligne aérienne moyenne tension.

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

Les isolateurs sous haute tension ne se comportent pas de la même façon qu'à basse ou moyenne tension, dans ce cas on donne beaucoup d'importance au phénomène de la pollution des isolateurs qui présente un danger particulier pour les dispositifs de haute tension qui peuvent engendrer des pertes d'énergie.

Pour mieux dimensionner les chaînes d'isolateurs il est indispensable de connaître la sévérité de la pollution des sites et les différents paramètres contribuant à la dégradation de l'état de surface des isolateurs.

Chapitre II

Pollution des isolateurs de haute tension

II.1 Introduction

Les lignes aériennes et les postes des réseaux de transport d'énergie électrique sont exposés à diverses contraintes. Parmi celles-ci, la pollution des isolateurs constitue l'un des facteurs de première importance dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie. En effet par temps de pluie ou de brouillard, les dépôts polluants se fixant sur les surfaces isolantes réduisent considérablement la résistivité superficielle et le contournement peut alors survenir. L'humidification des couches polluantes facilite en fait, la circulation d'un courant de fuite sur les surfaces isolantes provoquant des échauffements locaux et par la suite l'assèchement de la couche de pollution. Ainsi, la répartition du potentiel est modifiée d'une façon significative et des arcs partiels peuvent apparaître. Ces derniers peuvent évoluer jusqu'au contournement total de l'isolateur [10]. Les conséquences du contournement vont de la détérioration de la surface de l'isolateur à la mise hors service de la ligne haute tension. Ainsi, une des caractéristiques principale d'un isolateur haute tension sera donc sa tenue au contournement en fonction de l'environnement dans lequel il est utilisé [9].

II. 2 Contournement d'isolateur

On dit que le contournement se produit sur la surface de l'isolateur lorsqu'une décharge électrique s'établit entre ses extrémités et contourne la surface de l'isolateur.

Le contournement provoque l'ouverture du disjoncteur, car il établit un court-circuit entre le conducteur et le pylône (défaut monophasé à la terre) [6].

Le contournement des isolateurs par un arc électrique dû à la pollution atmosphérique est la cause principale des interruptions dans le réseau électrique de transport. Ces interruptions ont lieu en grande majorité le soir et en début de matinée, et leur fréquence augmente lors des périodes sèches caractérisées par un fort taux d'humidité. La maîtrise des conditions optimales du fonctionnement des lignes, vis-à-vis de ce type de défaut d'isolement, commence par le choix d'isolateurs qui présentent les meilleures performances sous pollution. Ce choix nécessite, en premier lieu la connaissance des conditions de pollution des isolateurs, de sa sévérité et de son évolution avec le temps [8].

II. 2. 1 Contrainte de contournement d'isolateur

La contrainte de contournement d'isolateur est le rapport de la tension de contournement à la longueur totale de l'isolateur [1].

II. 2. 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 [1]. Elle dépend :

- de la résistivité volumique moyenne de la pollution.
- de la répartition de la couche de pollution
- du profil et des dimensions de l'isolateur.

II. 2. 3 Tension de tenue

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

II. 2. 4 Conductance superficielle

La conductivité superficielle est due à l'humidité, à une fine couche de polluants ou Présence d'ions qui se forment à la surface de l'isolant, que ce soit par réactions chimiques ou par l'effet de rayonnement. De ce fait, la conductivité superficielle dépend en partie du matériau (de son affinité pour les molécules d'eau ou de polluants extérieurs) et aussi de l'environnement (composition chimique et rayonnements). Contrairement à ce qui se passe avec les conducteurs électriques, la conductivité superficielle des isolants n'est pas négligeable par rapport à leur conductivité transversale. Elle est même généralement du même ordre de grandeur.

Comme on peut s'y attendre, par analogie avec la résistance transversale, la résistance superficielle, $R_s = U/I_s$, pour la surface comprise entre deux électrodes, est proportionnelle à la distance d qui les sépare et inversement

proportionnelle à la longueur des électrodes. L

La conductivité superficielle se mesure en siemens [S] et vaut l'inverse de la résistivité.

II. 3 Formation et répartition des couches polluantes

Les théories relatives à la formation naturelle d'une couche de pollution sur les isolateurs ont déjà fait l'objet de nombreuses études qui sont expliquées par Looms [1988] dans son ouvrage, selon lequel le processus menant à l'accumulation de pollution à la surface des isolateurs comporte généralement quatre phases, soient le transport, le dépôt, le nettoyage et l'équilibre de dépôt. [12].

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.

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.

Plusieurs travaux d'observation ont montré qu'il existe toujours une distinction nette entre les couches formées à la surface supérieure et celles formées à la surface inférieure d'un isolateur soumis à la pollution naturelle. Cela veut dire que la répartition de la pollution le long de l'isolateur est très peu uniforme ; le vent, par exemple, impose des orientations préférentielles pour les dépôts.

La pluie qui lave périodiquement les surfaces exposées est un autre facteur de

non uniformité puisque les parties abritées de l'isolateur ne sont jamais lavées. Cette répartition dépend [1] :

- du profil de l'isolateur.
- de la position de l'isolateur.
- du niveau de tension appliquée.

II. 4 Source de pollution

Les divers types de pollution atmosphérique les plus fréquemment observés peuvent être regroupés selon leurs origines et classés comme suit :

II. 4. 1 Pollution naturelle

La pollution naturelle provient :

- des sels marins dans les régions côtières.
- de poussières du sol (notamment lors de chantiers importants).
- de sables véhiculés par le vent en régions désertiques.

II. 4. 1. 1. Pollution marine

Les installations situées en bord de mer sont exposées aux embruns portés par le vent et qui se déposent progressivement sur les isolateurs, formant une couche de pollution de sel qui devient conductrice lorsqu'elle est humidifiée par le brouillard ou simplement par condensation. Un courant de fuite s'établit alors à travers la couche superficielle et des arcs électriques peuvent prendre naissance. Dans certaines conditions, ils se développent jusqu'à provoquer le contournement total de l'isolateur [1].

II. 4. 1. 2 Pollution désertique

La pollution désertique est caractérisée surtout par les dépôts de sable se formant à la surface des isolateurs après les vents de sable. Une fois humidifiés, ces dépôts deviennent plus ou moins conducteurs (en fonction des concentrations en sels solubles qu'ils contiennent) et engendrent la circulation d'un courant de fuite qui apparaît brusquement et qui est suivi par l'apparition d'arcs partiels qui peuvent conduire au contournement total de l'isolateur s'ils rejoignent les deux électrodes.

II. 4. 2 Pollution 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. [5]

II. 4. 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. [5]

II. 5 Conséquence de la pollution

Les couches polluantes qui s'accumulent à la surface des isolateurs engendrent une conductivité électrique superficielle. Celle-ci modifie la répartition du potentiel

le long de la ligne de fuite. La tension de rupture diélectrique de l'air peut être atteinte entre deux points de la surface isolante entraînant l'amorçage d'un arc électrique qui court-circuite une partie de la ligne de fuite [6].

II. 5. 1 Arc non localisé

L'arc électrique s'éteint rapidement, puis se réamorçage à un autre endroit et ainsi de suite. Ces arcs peuvent être dus soit à la formation d'une zone sèche à la suite du passage d'un courant de fuite, comme ils peuvent être dus à l'état de surface de l'isolateur, (l'existence des pics sur la couche de pollution). [6]

II. 5. 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 [1].

II. 5. 3 Contournement des isolateurs

Le contournement d'une surface polluée et humidifiée est le résultat d'une évolution qui comprend quatre phases principales, schématisées à la (figure II.1). Pour simplifier la présentation, considérons le cas d'une plaque plane rectangulaire avec deux électrodes : dans une première phase, le courant de fuite s'écoule à travers l'électrolyte qui recouvre l'isolant. Il provoque un échauffement de l'électrolyte qui a pour effet d'accroître la conductivité du milieu et par suite le courant (phase 1).

- L'échauffement croissant par effet joule créé par le courant de fuite, provoque un assèchement de la couche polluante. La zone sèche formée a

tendance à s'étendre latéralement jusqu'à l'interruption complète du courant (phase 2).

- La tension appliquée se trouve pratiquement totalement reportée aux « bornes » de la zone sèche et des arcs locaux sont susceptibles d'apparaître. Au voisinage de la tête d'un arc local la constriction des lignes de courant conduit à un élargissement de la zone sèche (phase 3).
- A partir de ce stade, l'évolution de la décharge peut se faire de différentes façons : l'arc local peut s'éteindre (phase 4), ou bien il peut se déplacer latéralement pour retrouver une position plus stable correspondant à une plus faible longueur d'arc (phase 5), ou encore, il peut s'allonger jusqu'à atteindre l'électrode et provoquer ainsi le contournement. Dans ce cas, l'allongement de l'arc se fait à la surface de l'électrolyte sans formation de zone sèche (phase 6).

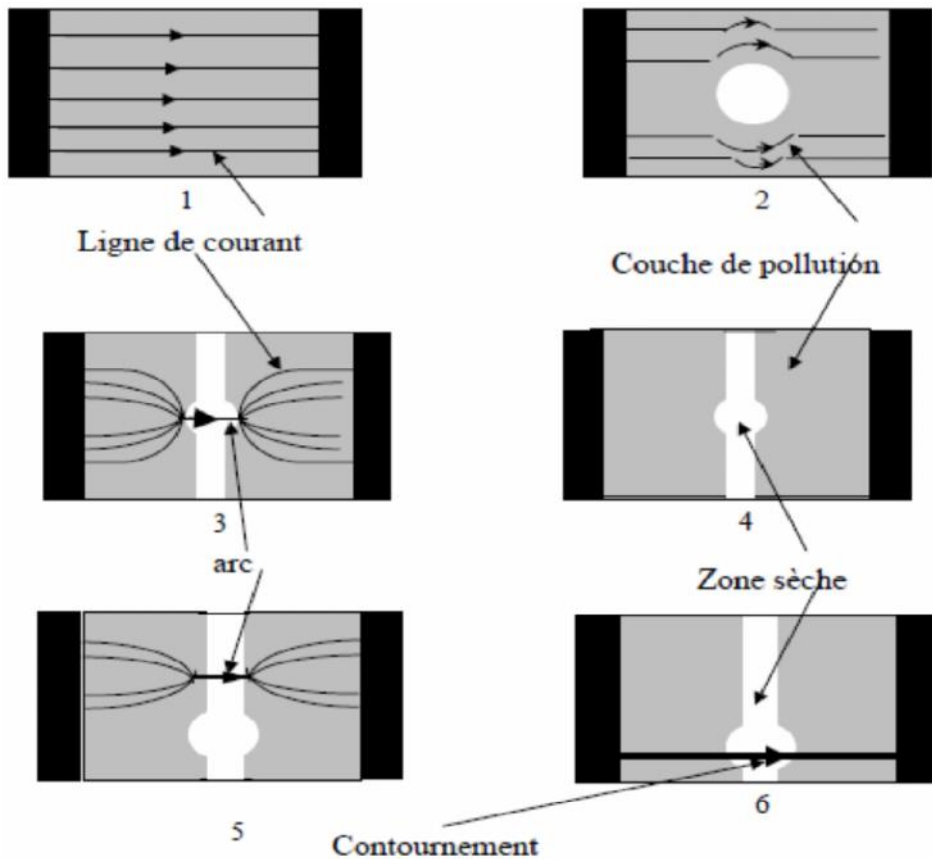


Figure II.1 étape du contournement d’une couche polluante.

II. 6 Mesure de la sévérité de pollution des sites

Le choix des isolateurs à installer dans le réseau ne peut se faire que si la sévérité de pollution des différents sites concernés est connue. En effet, la mesure de cette sévérité est indispensable afin de dimensionner convenablement les isolateurs susceptibles d’assurer un service sans défaillance dans un site donné [1].

La mesure de la sévérité est généralement basée sur la détermination expérimentale de la conductance superficielle de la couche polluante ou la détermination au laboratoire du courant de fuite d’un isolateur pollué artificiellement [1].

Pour définir l’isolement des lignes de transport et d’établir la corrélation entre la salinité et les niveaux de pollution naturelle, quatre classes de sévérité ont été définies

selon le degré de pollution (concentration des agents polluants, leur conductivité...) [1].

La mesure de la sévérité de pollution peut être effectuée selon plusieurs méthodes.

Généralement, on se base soit sur la mesure de la conductivité des agents polluants, soit sur le courant de fuite.

Les essais de laboratoires sont valables dans la mesure où les conditions d'essais conduisent aux mêmes valeurs de courant de fuite observées sur site.

II. 7 Classification des sites pollués

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

Classe 1

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

Classe 2

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

Classe 3

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

Classe 4

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

II.8.Densité du dépôt de sel équivalent (DDSE) :

La densité du dépôt de sel équivalent est le dépôt équivalent exprimé en mg de NaCl/cm² de la surface d'un isolateur, ayant une conductivité équivalente égale à un dépôt polluant réel dissous dans la même quantité de solution.

Des échantillons de sel sont prélevés à la surface d'un isolateur témoin, en utilisant

un matériau absorbant (coton, ...) et de l'eau distillée. Le dépôt est ensuite dissout dans une quantité de solution connue. La conductivité de la solution obtenue ainsi que les caractéristiques de l'isolateur permettent de déterminer la salinité équivalente. Les mesures doivent être répétées avec une fréquence suffisante, afin d'obtenir les niveaux entre les périodes de lavage naturel.

II.9. Courant de fuite

Par comptage d'impulsions, on enregistre pendant une période donnée, sur un isolateur soumis à sa tension de service, le nombre d'impulsions du courant de fuite dépassant une amplitude fixée à l'avance. L'existence d'impulsions précède généralement la phase de contournement. Pour l'enregistrement, on utilise un isolateur en service ou un isolateur témoin et un dispositif permettant de compter les impulsions du courant de fuite.

On mesure, par la suite, la plus forte valeur de crête du courant de fuite. On utilise des isolateurs témoins et une station de mesure fiable et nécessitant un minimum d'entretien. Les mesures devant être effectuées pendant une période relativement longue.

II.10. Mesure de la pollution de l'air :

Les mesures de pollution de l'air s'effectuent sur une période de temps donnée et permettent d'évaluer l'intensité et les caractéristiques de la pollution de l'air sur un site. Les méthodes de mesure adoptées partent du principe qu'en ce qui concerne les phénomènes de contournement, une corrélation peut être établie entre l'analyse physico-chimique de l'air

dans un site et la sévérité de la pollution de même site.

II.11. Mesures optiques :

Le but des mesures optiques est d'évaluer l'épaisseur de la couche de pollution déposée à la surface de l'isolateur. Un dispositif à rayons lasers permet à partir des rayons réfléchis (amplitude, décalage de phase, ...etc.), de calculer la constante

diélectrique et l'épaisseur de la couche de pollution. La mesure de la sévérité de la pollution peut ainsi se faire sans toucher à cette couche.

II.12. Méthodes d'essais sous pollution

Afin de comparer les performances de divers types d'isolateurs et désélectionner ceux qui présentent le meilleur comportement sous pollution, il est nécessaire de les soumettre à des essais.

Pour effectuer ces essais, nous distinguons deux principales méthodes d'essai à savoir les essais sous pollution naturelle et les essais sous pollution artificielle. Ces essais peuvent être effectués dans les conditions naturelles (sur site) ou au laboratoire.

II.12. 1 Essai sous pollution naturelle

On installe, dans différents sites pollués, des stations dans lesquelles on observe et analyse le comportement d'un certain nombre de chaînes d'isolateurs ou colonnes isolantes de longueurs et de profils différents. Les qualités respectives de ces isolateurs soumis à une même tension sont appréciées en se basant sur le courant de fuite ou la conductivité superficielle. Cependant la durée relativement longue (parfois plusieurs années) que nécessitent ces essais est le principal inconvénient [1].

Pour cela, plusieurs méthodes de laboratoire ont été proposées en vue de simuler convenablement les conditions naturelles d'exploitation.

Sachant que les dépôts polluants se trouvent fortement concentrés autour du capot et de la tige. Pour les isolateurs comportant des jupes, l'accumulation est d'autant plus importante qu'il y a de jupes et que celles-ci soient plus longues et plus rapprochées.

Le contournement concerne particulièrement les chaînes d'alignement, les ancrages sont en général épargnés en raison d'une ligne de fuite importante et de la position horizontale des chaînes (mieux nettoyées par le vent et la pluie) [1].

II.12.2 Essais sous pollution artificielle

Les essais au laboratoire sont basés sur la simulation de la couche de pollution par des solutions réparties à la surface de l'isolateur et dont la conductivité peut être modifiée.

Afin de valider les essais sous pollution artificielle, il a été nécessaire de comparer les performances des isolateurs mis sous essais au laboratoire à celle des isolateurs en exploitation dans des conditions naturelles de pollution.

Une première approche consiste à rechercher une méthode qui simule le mieux possible les conditions naturelles de pollution, en tenant compte de la répartition non uniforme de la pollution.

Une deuxième approche consiste à rechercher une méthode de laboratoire susceptible de fournir des résultats reproductibles, afin de faciliter la comparaison des performances des différents types d'isolateurs.

Les méthodes d'essai qui demeurent actuellement normalisées sont : la méthode du brouillard salin et la méthode de la couche solide.

II. 12. 2. 1 Méthode des couches solides

Dans ces méthodes la surface isolante est recouverte par pulvérisation d'une couche de pollution solide constituée de chlorure de sodium et d'un agent liant inerte. La conductivité de cette suspension est réglée par addition d'une certaine quantité de chlorure de sodium.

Si l'humidification s'effectue après application de la tension (méthode du brouillard à vapeur), le paramètre de sévérité est défini par la densité de dépôt de sel en mg/cm^2 . Si l'humidification a lieu avant l'application de la tension, le paramètre de sévérité est défini par la conductivité de la couche polluante. Certains chercheurs ont utilisé une peinture semi-conductrice comme agent polluant [1].

II. 12. 2. 2 Méthode du brouillard salin

La surface isolante est alimentée par une tension de service, maintenue constante durant tous les essais et soumise à un brouillard salin. La solution saline, utilisée dans la méthode du brouillard salin, représente assez bien la pollution marine contenant un peu de matière insoluble, ou bien la pollution industrielle ayant une couche de pollution relativement mince.

Le degré de salinité exprimé en kg de sel par m³ de solution, définit le paramètre de sévérité. Les valeurs de salinité appliquée en référence aux conditions de pollution sont choisies selon une progression allant de 2,5 à 160 kg/m³.

II. 13 Techniques de lutte contre pollution

L'augmentation du degré de pollution représente un risque immense pour les installations électriques. Pour cela plusieurs techniques de lutte contre la pollution sont utilisées. [7].

II.13.1. Allongement de la ligne de fuite

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

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

II.13.2. Isolateurs plats

Les isolateurs sans nervures ont la propriété d'accumuler moins de pollution que les isolateurs traditionnels et s'auto nettoient sous l'effet du vent [1].

II.13.3. Graissage périodique

Par mesure économique, seule les isolateurs de postes sont concernés [7]. On utilise des graisses silicones. Grâce à ses propriétés hydrophobes, la graisse protège temporairement les isolateurs.

II.13.4. Revêtement silicone

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

II.13.5. Les isolateurs composites

Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères [1]. Cependant, ces isolateurs, revêtus d'un polymère voient leurs caractéristiques changer au cours du temps ; ils peuvent vieillir sous l'effet des différentes contraintes (électriques et climatiques) auxquelles ils sont soumis en service.

II.13.6. Nettoyage des isolateurs

Le nettoyage manuel et le lavage périodique hors tension sont fréquemment utilisés à travers le monde [7,1]. Néanmoins, l'application de ces méthodes pose des problèmes majeurs à cause des interruptions de service, parfois assez longues. Pour éviter ces coupures, un lavage sous tension des isolateurs est réalisé à l'aide

d'installations fixes ou mobiles. Dans les deux cas, il est effectué cône

Selon des règles strictes concernant la qualité de l'eau du lavage, le processus du lavage et les distances de sécurité, et ce afin d'éliminer tout risque de contournement pendant le lavage [1].

II.14 Conclusion

La pollution des isolateurs est un facteur essentiel dont il faut tenir compte dans la conception des lignes électriques de haute tension de transport d'énergie électrique.

Pour mieux dimensionner les chaînes d'isolateurs, il est indispensable de connaître la sévérité de la pollution des sites concernés. La connaissance de cette sévérité consiste à étudier les différents paramètres qui définissent l'état de dégradation de l'isolation. Pour cela, plusieurs modèles théoriques et expérimentaux sont présentés afin de se rapprocher de la réalité, tout en aboutissant à des résultats rapides et technico-économiquement valables.

Chapitre III

Prédiction du degré de sévérité de pollution

III.1.Introduction

Dans le but de déterminer l'influence de la sévérité de la couche de pollution sur le Comportement diélectrique des chaines d'isolatrices hautes tensions, nous avons utilisé une base de données récupérée au niveau du laboratoire de haute tension

Ces essais ont été effectués sur une chaine d'isolateur réel U120B.

Dans ce chapitre on décrit en premier lieu les techniques expérimentales utilisées pour récupérer les signaux du courant de fuite. Pour cela plusieurs essais préliminaires ont été réalisés dans le but de s'assurer le bon fonctionnement du matériel en tenant compte de toutes les contraintes qu'elles soient physiques ou techniques.

En deuxième lieu, nous présentons et discutons les résultats concernant la prédiction du degré de sévérité de pollution déposée sur la surface isolante de la chaine en se basant sur l'analyse du signal du courant de fuite correspondant à chaque cas de pollution.

III.2. Enregistrement du signal du courant de fuite

Nous montrons dans cette partie l'équipement et la chaine d'isolateur utilisée ainsi que les différentes techniques expérimentales permettant l'enregistrement du signal du courant de fuite.

Le laboratoire de haute tension utilisé est muni d'une station d'essai à fréquence industrielle (50 Hz) de marque HEAFELY composée par les équipements suivants :

- ✓ Un transformateur d'essai : 500V/300kV, 50kVA, 50Hz.
- ✓ Un transformateur de réglage : 0/220V à 500V, 50kVA, 50Hz.
- ✓ Un diviseur de tension capacitif qui est relié au secondaire du transformateur d'essai pour réduire la tension aux bornes du voltmètre, situé près du pupitre de commande. Il est composé d'une capacité $C1=400 \mu\text{F}$ et d'une capacité variable qui permet de régler la tension de sortie.

- ✓ Des appareils de mesures et de protection.
- ✓ Un oscilloscope numérique « TEKTRONIX » de bande passante 500 MHz.
- ✓ Une caméra numérique SONY DCR-SR45 pour suivre l'évolution des décharges électriques en fonction de la tension appliquée et de la distribution de la pollution sur l'isolateur étudié.
- ✓ Un ordinateur pour l'acquisition des données des signaux du courant de fuite équipé du programme labVIEW.

III.2.1 Origines de LabVIEW

Il a été créé en 1986, initialement pour Apple Macintosh, qui était à l'époque l'un des seuls ordinateurs proposant une interface graphique native. L'histoire de LabVIEW explique un vocabulaire spécifique, et explique encore certaines actions.

A l'origine, LabVIEW s'exécute sur des écrans noir et blancs, puis sur des écrans 16 couleurs, 256, etc. LabVIEW est un environnement de développement propriétaire (par opposition à un environnement ouvert, permettant à plusieurs personnes de développer des compilateurs compatibles, comme pour C/C++, Ada, Java, Fortran, etc.) développé et vendu par la société National Instruments (NI).

Le premier métier de NI est de fabriquer du matériel d'acquisition (notamment sur le protocole GPIB au début des années 80) rapidement destiné au marché des micro-ordinateurs (IBM PC, Apple Macintosh). Ainsi, la première version de LabVIEW s'attache à offrir un environnement de développement dont le rôle est de permettre simplement à l'utilisateur de créer des instruments virtuels (Virtual instrument, ou vi) utilisant le matériel d'acquisition NI pour reproduire sur un micro-ordinateur le comportement d'un instrument personnalisé et personnalisable à volonté.

III.2.2 Utilité de LabVIEW

Le langage de programmation LabVIEW est un environnement de programmation à caractère universel bien adapté pour la mesure, les tests, l'instrumentation et l'automatisation. C'est un programme dont le but est de contrôler et de commander des processus physiques allant du simple capteur ou de l'actionneur jusqu'à une chaîne de fabrication complète. Les utilisateurs peuvent avec LabVIEW avoir à la fois un outil intégré d'acquisition, d'analyse et de présentation des données.

LabVIEW est un langage de programmation graphique qui utilise des icônes, au lieu des lignes de textes utilisées en C par exemple, pour écrire des applications. A l'inverse d'un langage de programmation en ligne de texte où c'est la suite des instructions qui détermine l'exécution du programme. LabVIEW utilise la programmation par flux de données. C'est ce flux de données qui déterminera l'ordre d'exécution du programme.

Dans LabVIEW vous allez créer une interface utilisateur (face avant) en utilisant un ensemble d'outils et d'objets. L'interface utilisateur correspond à ce qui apparaîtra sur l'écran du PC au mode fonctionnement et qui permettra à l'utilisateur, soit de piloter le programme (donner des entrées), soit au programme d'afficher des informations (sorties).

Le principal intérêt de LabVIEW est de permettre facilement de développer ces interfaces à l'aide de bibliothèques pré-existantes. Le programme proprement dit est ajouté sur la face arrière. C'est un ensemble de codes utilisant un langage de programmation graphique qui permet de contrôler les objets de la face avant. Dans un certain sens, le diagramme se trouvant sur la face arrière ressemble à un flow charte.

III.2.3 Initiation aux instruments virtuels de LabVIEW

Les programmes LabVIEW sont appelés instruments virtuels, ou Vis, car leur apparence et leur fonctionnement s'apparentent aux instruments réels, tels que les oscilloscopes et les multimètres. LabVIEW contient une grande gamme d'outils pour l'acquisition, l'analyse, l'affichage et l'enregistrement des données, ainsi que des outils pour vous aider à mettre au point votre programme.

Dans LabVIEW, on construit une interface utilisateur, ou face-avant, avec des commandes et des indicateurs. Les commandes sont des boutons rotatifs, des boutons-poussoirs, des cadrans et autres mécanismes d'entrée. Les indicateurs sont des graphes, des LED et d'autres afficheurs de sortie. Après avoir construit l'interface utilisateur, vous ajoutez du code en utilisant des Vis et des structures pour contrôler les objets de la face-avant. Le diagramme contient ce code.

On peut utiliser LabVIEW pour communiquer avec le matériel comme, par exemple, d'acquisition de données ou d'images, les périphériques de commande d'axes et les instruments GPIB, PXI, VXI, RS232 et RS485. et pour obtenir et visualiser le signal du courant de fuite sur l'isolateur on a du établir un montage virtuel de la figure III.1 en utilisant les instrument de ce programme.

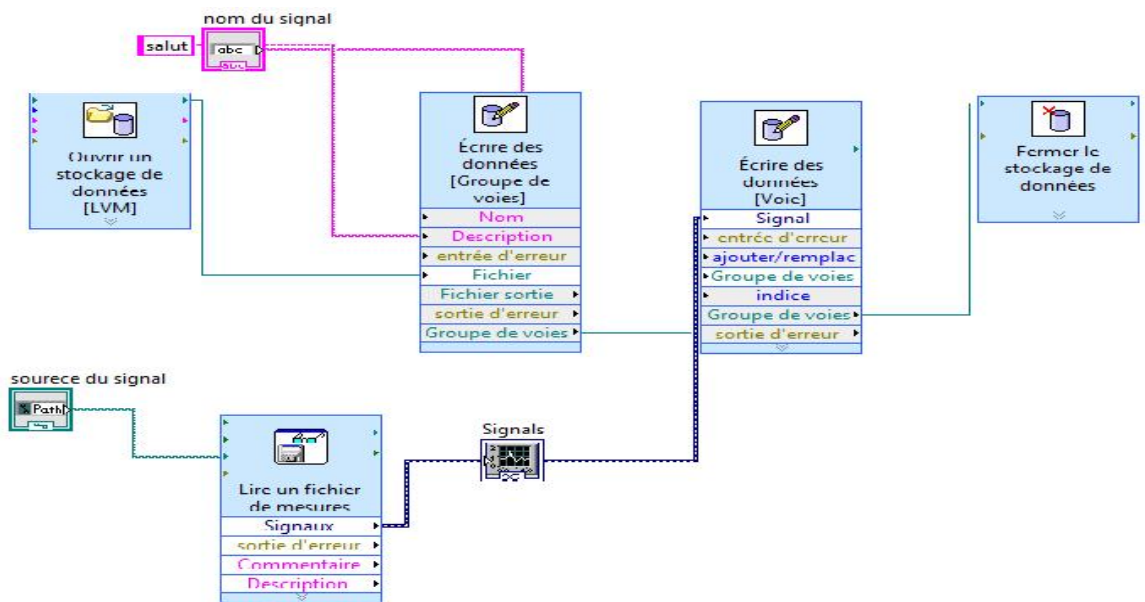


figure III.1 :le schéma de montage virtuel pour visualiser un signal sur labVIEW

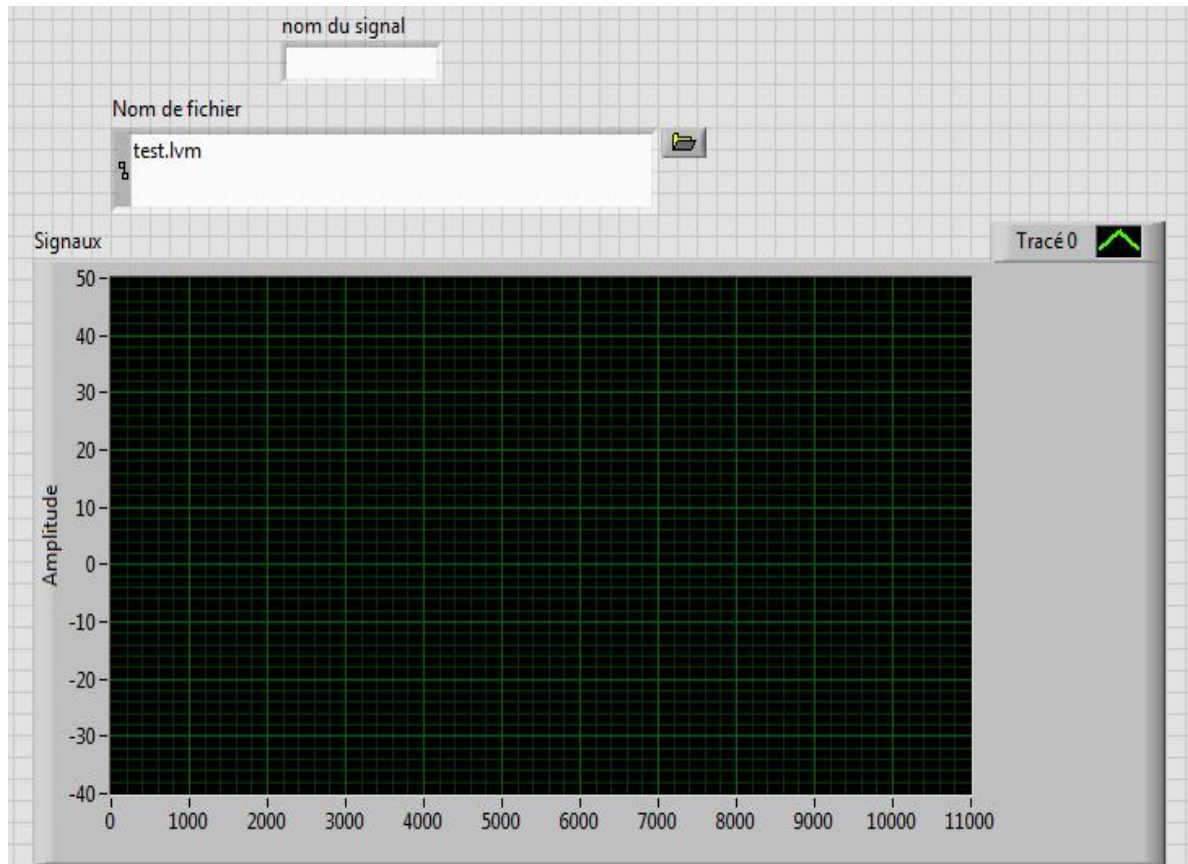
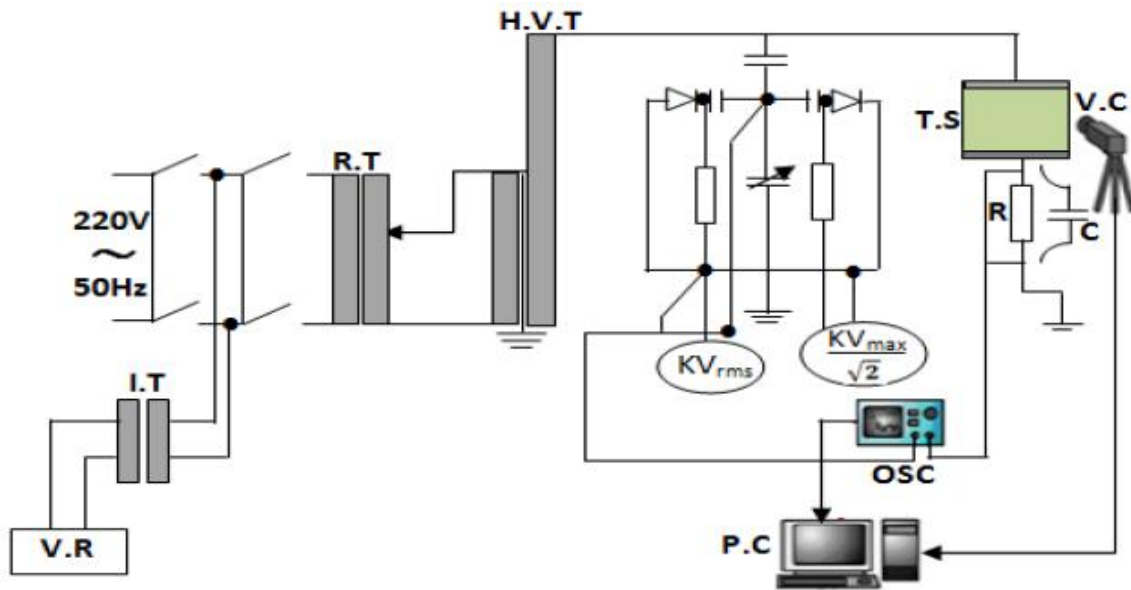


figure III.2. afficheur de l'oscilloscope virtuel sur lab view

Le circuit d'essai ainsi que le dispositif expérimental sont donnés dans la figure suivante.



H.V.T: High Voltage Transformer - R.T: Regulating Transformer -
I.T: Isolating Transformer - V.R: Voltage Regulator- V.C: Video
Camera - T.S: Test Sample

Figure III.3 : Dispositif d'essais et de mesure

III.3 Isolateurs testés

l'U 120 B caractérisé par une résistance mécanique de 120 kN, un diamètre de 25.5 cm et une ligne de fuite de 30 cm par élément. Les tensions de tenue à fréquence industrielle à sec et sous pluie sont respectivement 60 et 45 kV. Le choix de cet isolateur est justifié par la forme qu'il présente. Cette dernière nous permet aisément d'appliquer la pollution d'une façon uniforme ou bien non-uniforme. La chaîne d'isolateurs réels U120B sur laquelle les expériences ont été effectuées est montrée sur la figure (III.2).



Figure III.4 : Chaine d'isolateurs U120B étudiée

III.4 Procédures de test

III.4.a Préparation des chaines d'isolateurs

Le nettoyage des chaines d'isolateurs a été effectué après chaque essai. En premier lieu, l'eau de robinet est utilisée pour éliminer le maximum d'impuretés, puis l'isolateur est séché avec des serviettes en papier. Un deuxième nettoyage est effectué à l'aide d'un bout de coton imbibé d'alcool chirurgical à 70° afin d'assurer une propreté quasi-totale de l'isolateur. Ce dernier est laissé sécher naturellement dans le laboratoire.

III.4.b Préparation des solutions polluantes

Les solutions polluantes ont été préparées au laboratoire du Génie de l'Environnement. Celles-ci sont composées de différentes quantités de kiselghur et NaCl diluées dans un litre d'eau distillée. La préparation des solutions polluantes ainsi que le choix de leurs conductivités volumiques sont fait en se basant sur les recommandations de la CEI 60060-1.

Selon le profil de l'isolateur étudié, nous choisissons les solutions polluantes ainsi que leurs conductivités volumiques.

Les solutions polluantes sont composées de 100 g de kiselghur dilué dans un litre d'eau distillée pour lesquelles on rajoute des quantités pesées de NaCl. Les quantités de NaCl rajoutées sont 5, 10, 20, 30 et 40 g. Celles-ci ont été pesées à l'aide d'une balance dont la précision est de 10^{-4} g.

III.4.c Méthode d'application de la pollution

La couche de pollution est déposée sur la surface de l'isolateur réel par le procédé de pollution liquide pré-déposée. Pour cela, un pinceau de largeur égale à 8 cm est utilisé afin que la couche de pollution soit déposée d'une façon cohérente possible sur la surface de l'isolateur.

La figure suivante montre les deux surfaces interne et externe d'un élément de la chaîne d'isolateur.



Figure III.5 : Surfaces interne et externe d'un élément de la chaîne d'isolateur

III.5 Circuits de mesure**III.5.a Mesure de la tension de contournement**

La mesure de la tension de contournement a été effectuée pour chaque configuration de pollution à l'aide du voltmètre électrostatique, donnant la valeur de la tension en kilovolts efficace. Cette mesure permet non seulement de déterminer l'impact de la configuration de la pollution sur la tension de contournement, mais aussi de déterminer les paliers des tensions à appliquer, pour l'enregistrement du courant de fuite.

III.5.b Mesure du courant de fuite

Pour toutes les configurations de pollution étudiées, les mesures du courant de fuite ont été réalisées via un oscilloscope numérique. Pour évaluer le courant de fuite, on récupère le signal de la tension aux bornes d'une résistance insérée en série entre l'objet d'essai et le retour de la terre. Le signal ainsi récupéré représente l'image du courant de fuite. Tous les signaux ont été enregistrés avec une fréquence d'échantillonnage de 100 kHz et les données sont stockées dans un ordinateur pour une exploitation ultérieure. Chaque test est répété entre six et dix fois pour vérifier la reproductibilité des conditions initiales.

III.6 Exploitation du signal du courant de fuite pour la prédiction de la sévérité de pollution

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à l'étude des harmoniques du signal du courant de fuite. Pour cela, nous calculons l'énergie des harmoniques les plus significatifs (1^{er}, 3^{ème}, 5^{ème}, 7^{ème} et 9^{ème}) à l'aide de l'analyse spectrale.

Le calcul de l'énergie des harmoniques du courant de fuite est effectué pour cinq conductivités différentes à savoir 1.2 - 3.5 - 6 - 10 et 20 mS/cm. Nous rappelons également que la pollution est déposée d'une manière non-uniforme sur l'isolateur.

L'objectif de cette étude est de comprendre d'une part, la cause des distorsions observées sur les signaux du courant de fuite et d'autre part, d'évaluer la quantité d'énergie du courant de fuite qui est responsable de l'évaporation de l'eau en présence des décharges électriques à la surface de l'isolateur. Notre but est de diagnostiquer la sévérité de pollution en fonction des harmoniques du courant de fuite ayant une énergie significative.

III.6.1 L'analyse spectrale

Pour analyser l'onde du courant de fuite, notre choix s'est porté sur le spectre d'amplitude qui est calculé à partir de la FFT du signal du courant de fuite, ce choix offre une

bonne résolution fréquentielle donc une distinction facile des différents harmoniques. La figure ci-dessous illustre la décomposition d'un signal en spectre d'amplitudes.

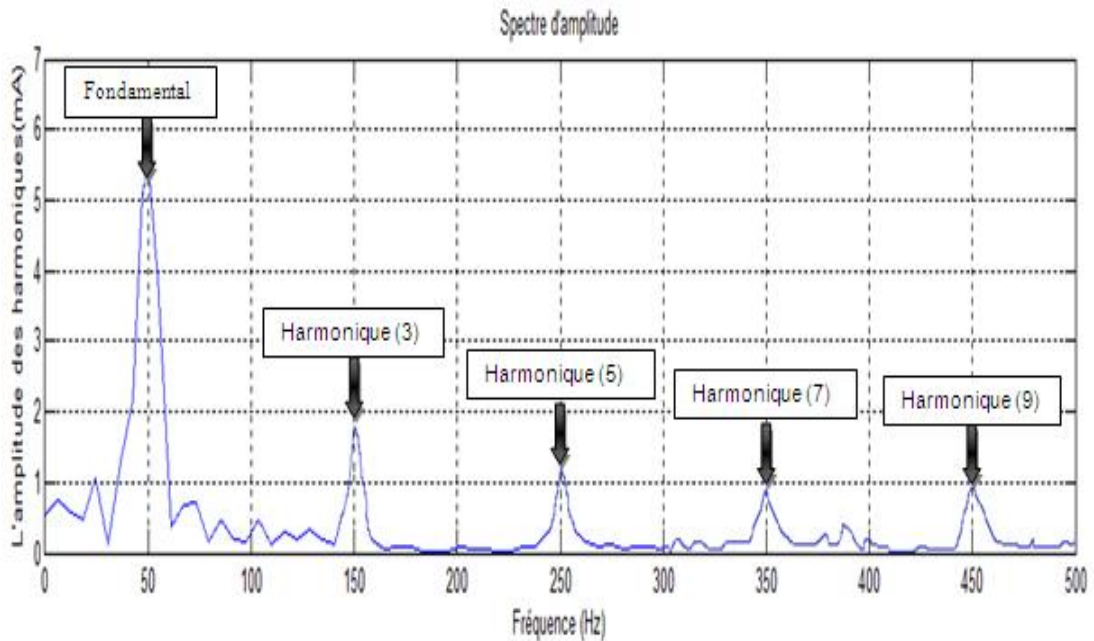


Figure III.6 : Représentation du spectre d'amplitude.

III.6.2 Application de l'analyse spectrale aux signaux du courant de fuite

Les figures suivantes représentent les signaux du courant de fuite ainsi que les spectres d'amplitudes correspondant dans l'évolution du processus de contournement d'un isolateur haute tension sous pollution non-uniforme pour les différentes conductivités étudiées et pour trois degrés de pollution distincts.

La figure III.7 montre le signal du courant de fuite pour une faible pollution, nous remarquons que le signal est pratiquement sinusoïdal, ne comportant aucune distorsion indiquant l'activité des décharges électriques sur la surface de l'isolateur.

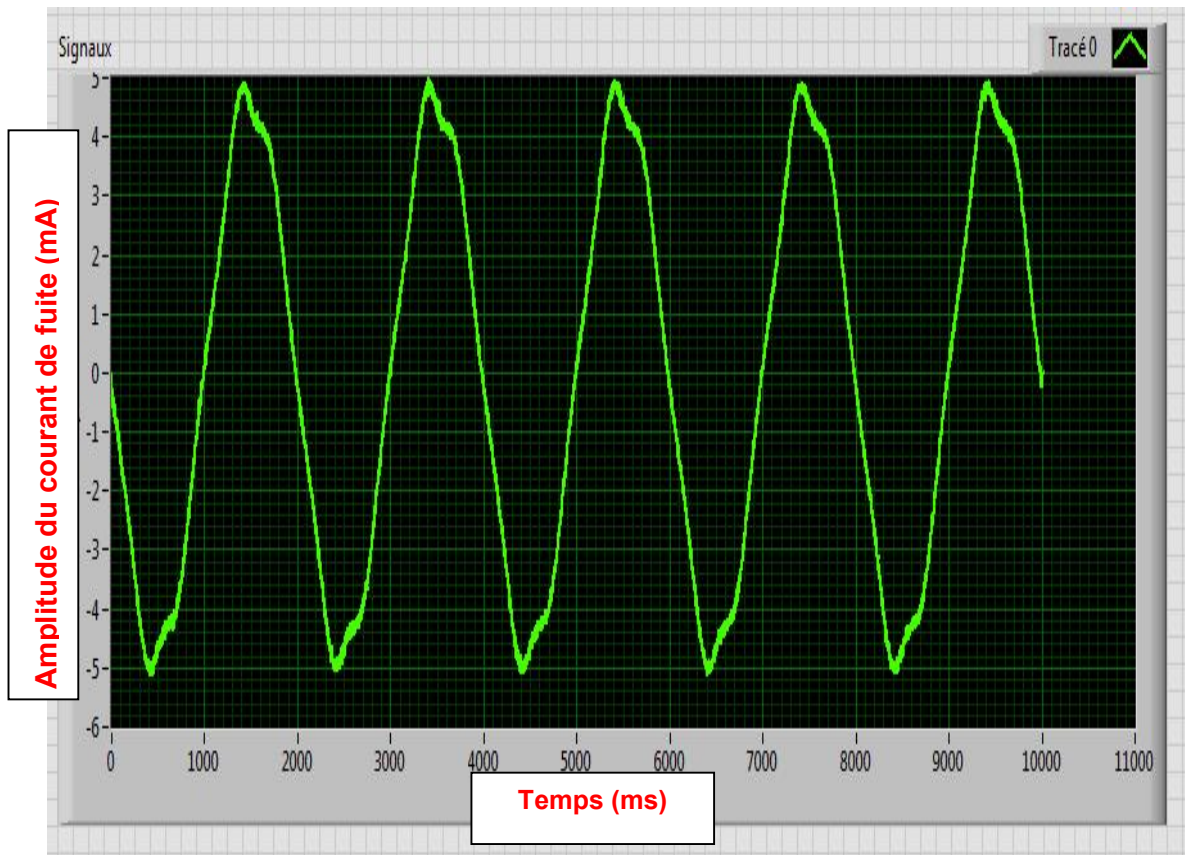


Figure III.7 Représentation du signal du courant de fuite correspondant à une faible pollution

Pour le signal représentant la moyenne pollution (figure III.8) nous notons l'occurrence des distorsions sur l'onde du courant de fuite. Ces distorsions sont beaucoup plus localisées sur les sommets des deux alternances. Ces distorsions sont dues probablement à l'activité moderne des décharges partielles sur la surface du modèle plan.

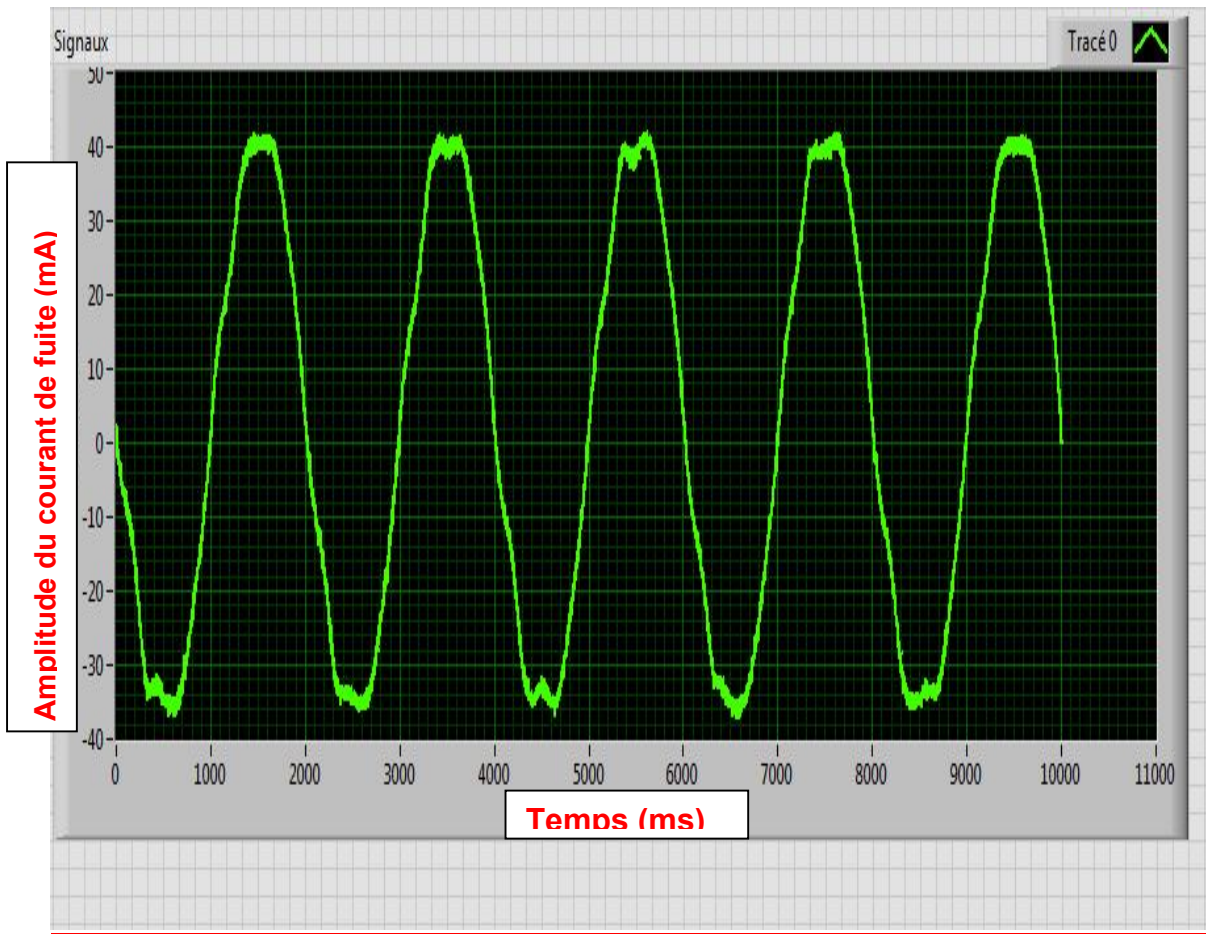


Figure III.8 Représentation du signal du courant de fuite correspondant à une moyenne pollution

Le signal enregistré pour la plus forte pollution (figure III.9) comporte pratiquement des distorsions sur la totalité de l'onde du courant de fuite. Dans ce cas, caractérisé par une activité intense des décharges électriques (intensification et propagation), le signal du courant de fuite ne possède plus sa forme sinusoïdale. Nous observons aussi des pics sur ce signal indiquant le moment de l'occurrence des décharges électriques. Une analyse attentive de ces signaux montre que la valeur du courant de fuite prend une valeur constante durant un moment.

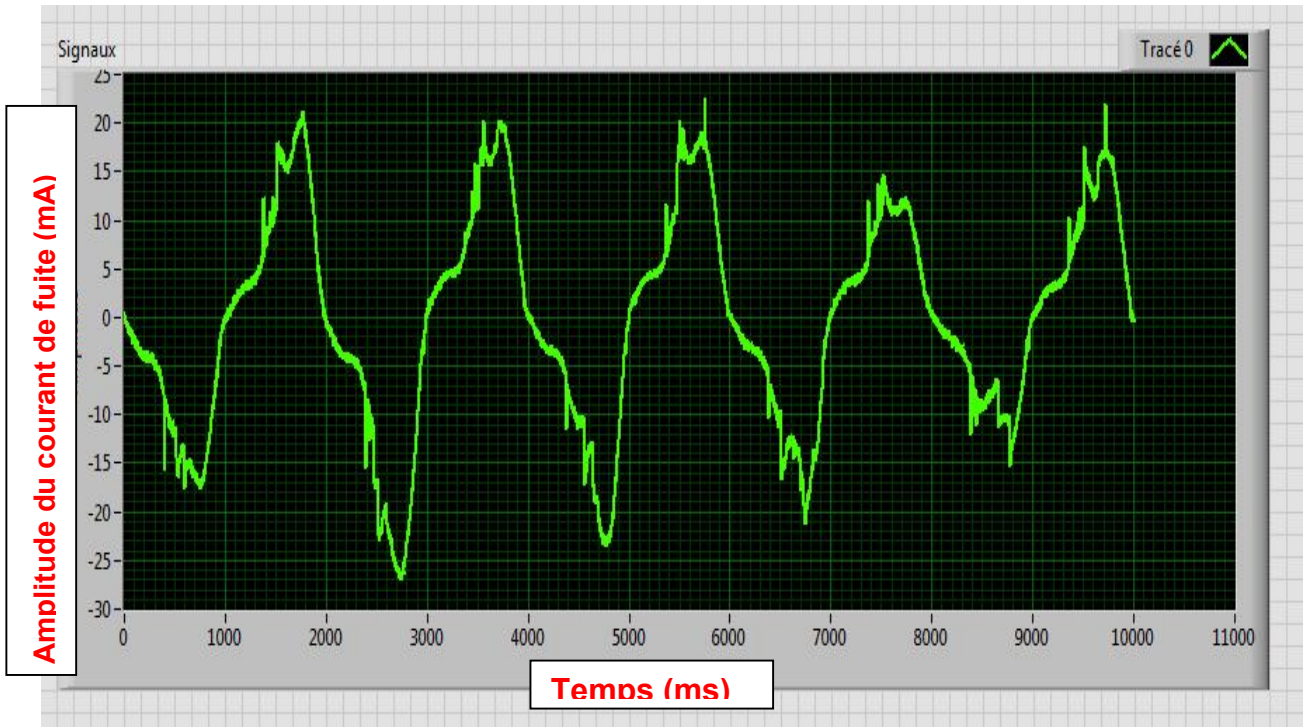


Figure III.9 Représentation du signal du courant de fuite correspondant à une forte pollution

III.6.3 Etude de l'énergie des harmoniques sous pollution non-uniforme

III.6.3.1 théorie sur énergie et puissance d'un signal

L'énergie associée à un signal est considérée comme une quantité intimement liée à l'ensemble image de la fonction qui le représente. Elle est aussi également exprimée en termes de temps qu'en termes de fréquence, justifiant d'autant plus la représentation harmonique des signaux.

Il nous convient donc d'abord de jeter un coup d'œil aux liens qu'on peut établir entre l'interprétation de la représentation temporelle d'un signal et celle de sa représentation fréquentielle. Nous introduisons ensuite le concept d'énergie, puis nous étendons ce concept à celui de la puissance, qui permet une étude plus fine des signaux dont l'énergie est infinie. et en final, nous examinons comment formuler et interpréter la puissance des signaux périodiques.

III.6.3.2 Définitions de l'énergie d'un signal

On définit l'énergie associée à une mesure comme son module élevé au carré. L'énergie transférée au fil du temps peut donc être modélisé par un signal dérivé du signal décrivant le phénomène en question, il s'agit de sa densité d'énergie.

La densité temporelle d'énergie est donnée par la formule :

$$w(t) = |x(t)|^2.$$

Il est souvent intéressant de connaître l'énergie transférée durant un intervalle $[t_1, t_2]$ de temps. Il suffit alors de la cumuler

$$w(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} ex(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} |x(t)|^2 dt$$

Lorsqu'on étend cet intervalle à l'axe du temps en entier, on calcule l'énergie totale du signal.

$$W(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt$$

III.6.3.3. Puissance du signal

Le calcul de l'énergie totale n'est pas convergent pour tous les signaux. Certains ont effectivement une énergie totale infinie ; c'est le cas notamment des signaux périodiques. Lorsque l'énergie totale d'un signal est ainsi infinie, plutôt que de s'intéresser à la quantité totale d'énergie transmise, on peut étudier la quantité d'énergie transmise par unité de temps : il s'agit de la puissance d'un signal.

La puissance moyenne d'un signal de puissance $x(t)$ est définie comme

$$|x|^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T |x(t)|^2 dt$$

Pour ce cas de figure caractérisant les harmoniques du courant de fuite, nous constatons que l'énergie du fondamental ainsi que les différents harmoniques diminuent en

fonction du rang de l'harmonique quelque soit la conductivité volumique de l'agent polluant. Nous constatons également que l'énergie des différentes harmoniques varie d'une manière aléatoire indiquant l'absence totale des décharges électriques sur la surface de l'isolateur.

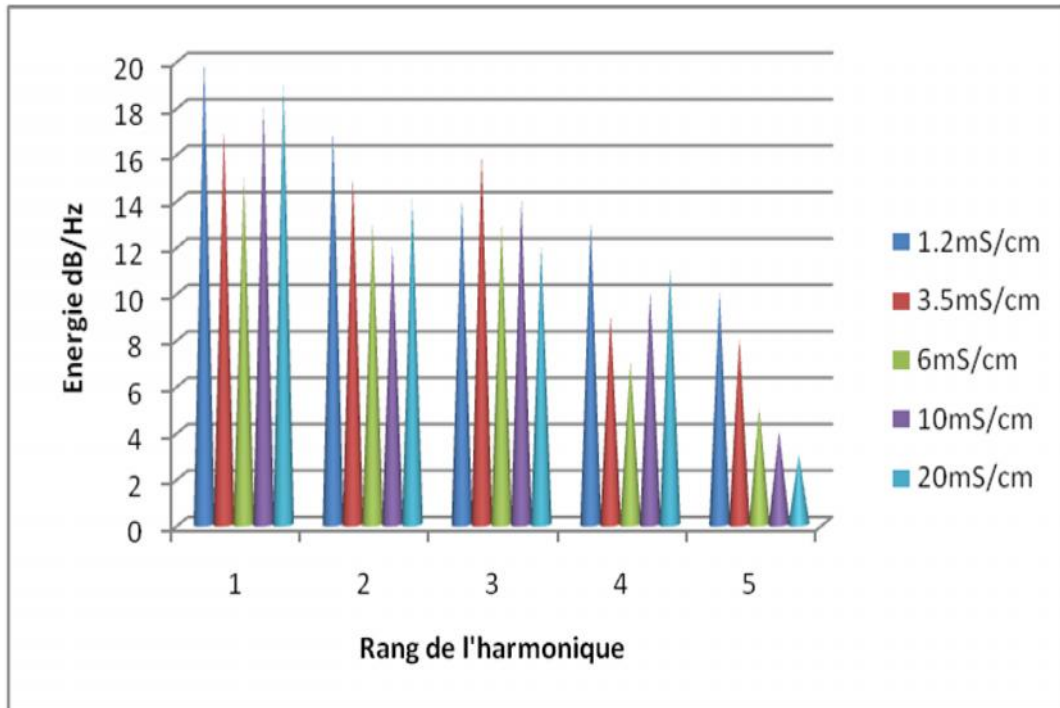


Figure III.10 Evolution des energie des harmoniques correspondant à une faible pollution

Concernant l'évolution des harmoniques du courant de fuite pour la moyenne pollution, nous remarquons que cette énergie varie d'une façon aléatoire. Nous notons également que ceci est vérifié pour toutes les conductivités étudiées.

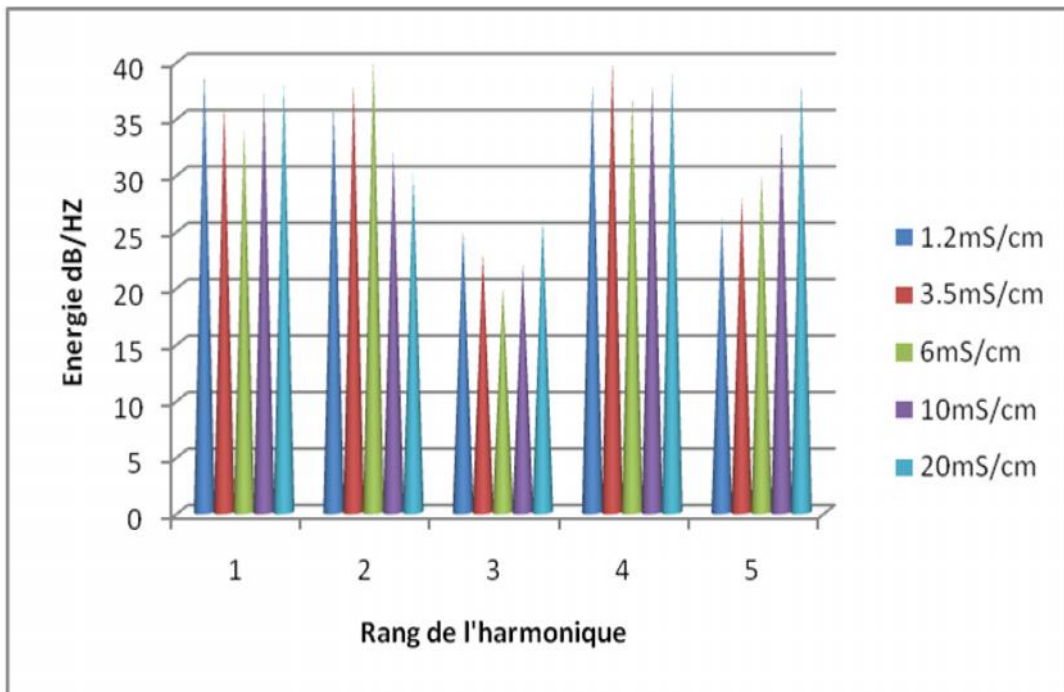


Figure III.11 Evolution des energie des harmoniques correspondant à une moyenne pollution.

Pour ce dernier cas de pollution, c'est le cas le plus défavorable, l'énergie des harmoniques augmente en fonction du rang de l'harmonique. Les résultats obtenus pour ce cas de pollution sont concordants pour toutes les conductivités étudiées. Cette augmentation de l'énergie en fonction du rang de l'harmonique indique bel et bien l'occurrence et la propagation des décharges électriques sur les surfaces polluées.

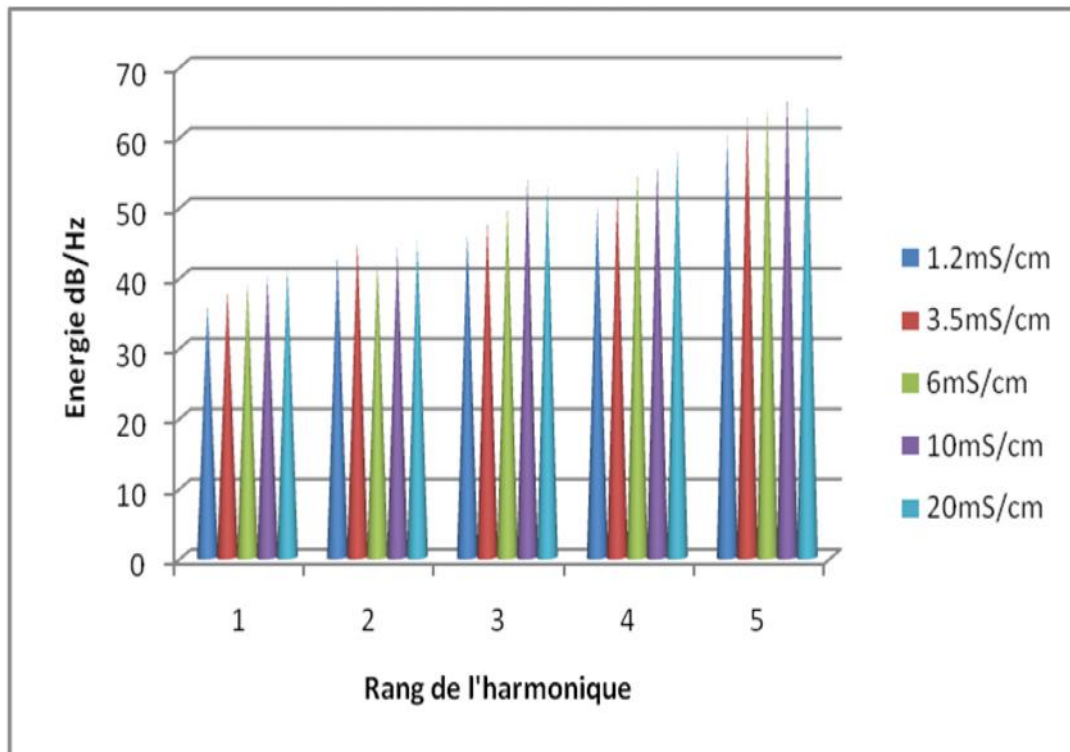


Figure III.12 Evolution des energie des harmoniques correspondant à une forte pollution.

III .7.Conclusion :

Cette étude nous a permis de conclure que l'énergie des harmoniques du courant de fuite est corrélée avec la sévérité de la pollution. Pour la pollution non-uniforme l'occurrence et la propagation des décharges électriques sur la surface de l'isolateur est détectée par l'augmentation des énergies des harmoniques en fonction de leur rang. La distorsion du signal du courant est détectée en grande partie par l'évolution des différents harmoniques. Nous avons aussi pu constater que l'occurrence des décharges électriques accentue la distorsion du signal du courant, à cause des chutes de tension observées au niveau de la crête.

Conclusion générale

Conclusion Générale

Ce travail est consacré à l'exploitation d'une étude expérimentale du comportement d'un isolateur U120B exposé aux différentes conditions de pollution.

La pollution des isolateurs est un facteur essentiel dont il faut tenir compte dans la conception des lignes électriques de haute tension servant au transport d'énergie électrique.

Pour mieux dimensionner les chaînes d'isolateurs, il est indispensable de connaître la sévérité de la pollution des sites concernés. La connaissance de cette sévérité est un facteur primordial pour la conception d'un réseau électrique.

Pour la pollution non-uniforme, le diagnostic de la sévérité de la pollution peut être fait en se basant sur l'évolution des énergies des harmoniques du courant de fuite. Les décharges électriques à la surface de l'isolateur contiennent une quantité d'énergie considérable emmagasinée principalement dans les harmoniques du courant de fuite.

Par ailleurs, l'activité des décharges parallèles à la surface du modèle est pour toutes les conductivités étudiées un signe précurseur d'un contournement probable. Afin d'empêcher ce contournement, une surveillance de l'amplitude des différents harmonique du courant de fuite constitue un bon outil de diagnostic in situ. En effet, lorsque l'énergie des harmoniques augmente en fonction du rang, le contournement de l'isolateur est imminent. Cette énergie est d'autant plus importante avec l'augmentation de la conductivité du milieu et la concentration de l'agent polluant pour la configuration de pollution non-uniforme.

Résumé

Le travail effectué étudie l'influence de la pollution sur la tension de contournement d'un modèle réel d'une chaîne d'isolateur moyenne tension U120B. Cette étude est réalisée à travers des essais expérimentaux faite au laboratoire de la haute tension à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger

Les essais du contournement sont réalisés pour différents niveaux de pollution et conductivités et différents d'éléments.

Mots clés : Isolateur MT, Contournement, pollution artificielle, niveau de pollution, conductivité, élément.

Références Bibliographiques

[1] **Souleiman BOUCHOUKH, Badraeddine SAYEH LAMBARK**, « Influence de la Pollution Artificielle sur la Tension de Contournement d'une Chaîne d'Isolateurs MT » 2013-2014 Mémoire master académique à université kasdi merbah Ouargla Faculté des Sciences Appliquées Département d'Electrotechnique.

[2] **Mlle AOUABED Fatiha** « Contribution à l'étude d'un circuit équivalent des isolateurs Synthétiques sous pollution en utilisant l'*EMTP* » magister en électrotechnique option : Réseaux électriques université ferhat abbas — Sétif ufas (Algérie)

[3] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Isolateur>

[4] **MERAGHNI Tahar GUIA Issam** « L'effet de la pollution désertique sur l'isolateur de haute tension » Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master II Filière Electrotechnique Option : Réseaux Electriques.Promotion : 2014 / 2015

[5] **Melle HAMZA Slamet Amina** « contribution l'étude de modèle développé d'un isolateur pollué » mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister université des sciences et de la technologie d'Oran U.S.T.O - Mohamed boudiaf20/01/2013

[6] **Sayah Moatez Béllah** « Prédiction du contournement d'une Chaîne d'isolateur MT 175 CTV-Sonelgaz Polluée Artificiellement par la Logique Floue » Mémoire de Fin d'Etudes En vue de l'obtention du diplôme MASTER Université Mohamed Khider Biskra Faculté des Sciences et de la Technologie Département de Génie Electrique

[7] **MERAGHNI Tahar GUIA Issam** « L'effet de la pollution désertique sur l'isolateur de haute tension » Mémoire En vue de l'obtention du diplôme de Master II, Université d'El Oued Faculté des Sciences et de la Technologie Département des Sciences et de la Technologie

[8] **M.A. SLAMA, H. HADI, S. FLAZI N. TCHOUAR** « étude du dépôt de pollution responsable du contournement des isolateurs des lignes aériennes du réseau électrique the national » Sciences &Technologie B- N°25, Juin 2007, 43-50.

[9] Cours d'**A.Tilmatine** « chapitre vi isolateurs des lignes aériennes haute tension » http://www.univ-sba.dz/fsi/downloads/ETL437-Chapitre_6.pdf

[10] **CHAKOU Abdelkarim DJEMMAA Mohamed** « Elaboration d'un modèle dynamique de contournement d'un isolateur pollué sous une tension impulsionnelle » Diplôme de Master en électrotechnique, Université Kasdi Merbah–Ouargla Faculté des Sciences et Technologies et Sciences de la Matière Département de génie électrique

[11] **BOUDJAMAA Med ABDELHAKIM, SEBTI REDOUANE**

« Modélisation des phénomènes de pollution des isolateurs de haute tension » Diplôme de Master en Génie Electrique, Université Kasdi Merbah Ouargla Faculté des Sciences de Technologies et Sciences de Matière Département de génie électrique.

Références Bibliographiques

[12] **Naivonirina Ravelomanantsoa** « effet du vent sur le taux d'accumulation de pollution a la surface des isolateurs de haute tension dans les conditions hivernales » mémoire présente a l'université du Québec à chicoutimi comme exigence partielle du doctorat en ingénierie. Université du Québec