

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERY DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE  
DEPARTEMENT D'Electrotechnique

**Mémoire de Fin d'Etudes  
De MASTER ACADEMIQUE**  
Domaine : **Sciences et Technologies**  
Filière : **Electrotechnique**  
Spécialité : **Machines Electriques**

*Présenté par*  
**Hassina SAAD**  
**Kahina LEBAZ**

Thème  
**Analyse Prédictive De la Sévérité Des  
Agents Polluants Déposés Sur Les  
Isolateurs**

*Mémoire soutenu le 18/02/ 2021 devant le jury composé de :*

**M Moussa CHARIF**  
MAA, UMMTO, Président

**M Belkacem MOULA**  
MCB, UMMTO, Encadreur

**M<sup>elle</sup> Nadia KECILI**  
MAB, UMBB, Examinatrice

**Promotion 2019/2020**

# ***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 suivi 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*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mon très cher père et très chère mère*

*A mes frères et mes sœurs*

*A mon mari Mouloud*

*A ma belle famille*

*A tous mes amies ainsi ma binôme Kahina*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près et de loin*

*S.Hassina*

# *Dédicaces*

*Chaleureusement je dédie ce modeste travail:*

*A ma très chère mère, qui représente pour moi l'exemple*

*Du sacrifice, et de l'honnêteté.*

*A mon père, symbole de patience et du courage, je leurs  
souhaite*

*Une bonne santé, que Dieu me les garde.*

*A mes frères et mes sœurs.*

*A mes nièces Hassni et Amel.*

*Ainsi que ma chère sœur et binôme Hassina*

*L.Kahina*

# Index

FFT : Transformation de Fourier rapide.

TFD : Transformation de Fourier discrète.

CWT : Transformation continue en ondelette.

TFCT : Transformation de Fourier à courte durée.

DWT : Transformation discrète en ondelette.

IDWT : Transformation en ondelette inverse.

## Liste de figures

Figure I.1. Photo chaînes des isolateurs .....	5
Figure I.2 : Isolateur en céramique.....	6
Figure I.3: Isolateurs en verre.....	6
Figure I.4 : Isolateur en synthétique.....	7
Figure I.5 : Isolateur rigide.....	9
Figure I.6 : Isolateur à long fût.....	10
Figure I.7: Isolateur à capot et tige.....	11
Figure I.8: Différents profils d'isolateurs à capot .....	11
Figure I.9: Dimensionnement des chaînes d'isolateur .....	13
Figure I.10 : Dimensionnement électrique .....	14
Figure II.1 : Pollution des isolateurs .....	19
Figure II.2 : Pollution marine.....	20
Figure II.3 : Lignes haute tension soumises à la pollution industrielle.....	21
Figure II.4 : Evolution des arcs électriques (Arc fixe). .....	23
Figure II.5: Étape du contournement d'une couche polluante .....	24
Figure II.6: Régime d'arcs sous pollution.....	26
Figure II.7: Entretien des chaînes d'isolateurs (lavage). .....	28
Figure II.8 : Nettoyage des isolateurs de ligne haute tension.....	28
Figure III.1 : Dispositif de mesure .....	35

Figure III.2 : Profil de l'isolateur réel .....	36
Figure III.3 : Surfaces interne et externe d'un élément de la chaîne d'isolateur.....	37
Figure III.4 : Représentation temporelle vers ondelettes .....	40
Figure III.5: Représentation de la multi-résolution temps-fréquence pour la Transformée de FourierRapide.....	41
Figure III.6: Représentation de la multi-résolution temps-échelle pour l'analyse par les ondelettes.....	42
Figure III.7: Illustration de la variation du facteur d'échelle. (a) L'onde mère ; (b) L'ondelette pour $0 < a < 1$ ; (c) L'ondelette pour $a > 1$ .....	43
Figure III.8: Comparaison de l'ondelette à une portion du signal.....	44
Figure III.9: Balayage du signal par l'ondelette.....	44
Figure III.10: Dilatation de l'ondelette et balayage du signal .....	45
Figure III.11: Principe de l'analyse multi-résolution .....	46
Figure III.12: Représentation de l'ondelette de Daubechies 4 .....	47
Figure III.13 : Représentation du spectre d'amplitude.....	48
Figure III.14. Evolution du signal du courant de fuite en fonction du temps à la surface d'un isolateur faiblement Pollué.....	49
Figure III.15. Evolution du signal du courant de fuite en fonction du temps à la surface d'un isolateur moyennement pollué.....	50
Figure III.16. Evolution du signal du courant de fuite en fonction du temps à la surface d'un isolateur fortement pollué.....	51
Figure III.17 : Evolution du spectre fréquentiel du signal du courant de fuite correspondant à la faible pollution .....	51
Figure III.18: Evolution du spectre fréquentiel du signal du courant de fuite correspondant à la moyenne pollution.....	52
Figure III.19 : Evolution du spectre fréquentiel du signal du courant de fuite correspondant à la forte pollution .....	52
Figure III.20 : Scalogramme du signal du courant de fuite (faible pollution).....	53
Figure III.21: Scalogramme du signal du courant de fuite (forte pollution) .....	54

## Sommaire

Introduction générale .....	1
Chapitre I : Généralité sur les isolateurs .....	3
I.1. Introduction.....	4
I.2. Isolateurs de haute tension .....	4
I.3. Fonctionnement et constitution d'un isolateur .....	4
I.4. Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs .....	5
I.4.1. Céramique .....	6
I.4.2. Verre .....	6
I.4.3. Matériaux synthétiques : .....	7
I.5. Rôle.....	8
I.6. Les chaînes d'isolateurs : .....	8
I.7. Élément de chaîne .....	8
I.8. Types d'isolateurs .....	9
I.8.1. Isolateurs rigides .....	9
I.8.2. Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne .....	9
I.8.2.1. Isolateur à long fût : .....	9
I.8.2.2. Isolateurs capot et tige : .....	10
I.8.2.2.1. Profil standard :.....	12
I.8.2.2.2. Profil antibrouillard (forme A) : .....	12
I.8.2.2.3. Profil antibrouillard (forme B) :.....	12
I.8.2.2.4. Profil ouvert (plat).....	12
I.8.2.2.5. Profil sphérique .....	12
I.9. Dimensionnement : .....	12
I.10. Les caractéristiques des isolateurs : .....	14
I.11. Choix des isolateurs : .....	14
I.12. Quelques définitions : .....	15
I.13. Vieillessement des matériaux isolants :.....	15
I.14. Conclusion : .....	17
Chapitre II : Pollution des isolateurs :.....	18
II.1. Introduction : .....	19
II.2. Sources de pollution : .....	19

II.2.1.	Pollution naturelle :	20
II.2.1.1.	Pollution marine :	20
II.2.1.2.	Pollution désertique :	20
II.2.2.	Pollution industrielle :	21
II.2.3.	Pollution mixte :	21
II.3.	Formation et répartition de la couche de pollution :	21
II.3.1.	Non-uniformité longitudinale par groupe :	22
II.3.2.	Non-uniformité transversale :	22
II.3.3.	Non-uniformité longitudinale périodique :	22
II.4.	Conséquence de la pollution :	23
II.4.1.	Arc non localisé :	23
II.4.2.	Arc fixe :	23
II.4.3.	Contournement des isolateurs pollués :	24
II.5.	Mesure sévérité de pollution d'un site :	26
II.6.	Classification des sites pollués :	26
II.7.	Maintenance des chaines des isolateurs :	27
II.7.1.	Le lavage :	28
II.7.2.	Le graissage :	29
II.8.	Méthode d'essai sous pollution :	29
II.8.1.	Essai sous pollution naturelle :	29
II.8.2.	Essai sous pollution artificielle :	30
II.8.3.	Méthode de la couche solide :	30
II.8.4.	Méthode du brouillard salin :	30
II.8.5.	Méthode de pollution liquide :	30
II.9.	Degré de pollution :	31
II.10.	Technique de lutte contre la pollution :	31
II.12.	Conclusion :	32
Chapitre III :Prédiction de la sévérité de pollution des isolateurs réels par la technique des ondelettes et FFT.....		33
III.1.	Introduction :	34
III.2.	Enregistrement du signal du courant de fuite :	34
III.3.	Isolateurs testés :	35
III.4.	Procédures de test :	36
III.4.1	Préparation des chaines d'isolateurs :	36

III.4.2.	Préparation des solutions polluantes :	36
III.4.3.	Méthode d'application de la pollution :	37
III.5.	Circuits de mesure :	37
III.5.1.	Mesure de la tension de contournement :	38
III.5.2.	Mesure du courant de fuite :	38
III.6.	Théories sur la transformée de Fourier rapide :	38
III.6.1.	Introduction :	38
III.6.2.	Définition La transformation de Fourier rapide :	38
III.6.3.	Décomposition en séries de Fourier :	39
III.7.	Transformée en ondelettes :	39
III.7.1.	Introduction :	39
III.7.2.	Intérêt du diagnostic par la transformée en ondelettes :	40
III.8.	Transformée en ondelette continue :	42
III.8.1.	Définition :	42
III.8.2.	Illustration du changement d'échelle et de la translation :	43
III.8.3.	Calcul des coefficients de la CWT :	43
III.9.	Transformée en ondelette discrète (DWT) :	45
III.9.1.	Définition :	45
III.9.2.	Expression mathématique :	45
III.9.3.	Algorithme de décomposition pyramidale :	46
III.9.4.	Choix de l'ondelette analysante :	46
III.10.	L'analyse spectrale :	47
III.10.1.	Application de l'analyse spectrale aux signaux du courant de fuite :	48
III.11.	Prédiction de la sévérité de pollution par la CWT.	53
III.12.	Conclusion :	55
	Conclusion générale :	57
	Bibliographie	58

# Introduction générale

---

## Introduction générale

Les lignes aériennes et les postes des réseaux de transport d'énergie électrique sont exposés à diverses contraintes telles que la pollution des isolateurs. Celle-ci constitue l'un des facteurs de première importance dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie.

Les équipements de haute tension (les câbles, les pylônes, les isolateurs...ect), présents dans les réseaux aériens de transport de l'énergie électrique, sont supposés opérer de façon fiable quelles que soient les conditions environnementales. En particulier, les isolateurs, qui représentent relativement un faible pourcentage dans le prix des lignes aériennes, constituent un élément essentiel dans le bon fonctionnement de ces lignes.

Les isolateurs sont des éléments essentiels dans la conception d'une ligne aérienne. Leur rôle est de relier les conducteurs sous tension aux supports et d'assurer l'isolement électrique entre ces deux parties constitutives de la ligne. En effet, le choix du type d'isolateur, les contrôles de réception, la surveillance en exploitation doivent être faite avec un maximum de soin, pour assurer le bon fonctionnement de la ligne.

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. Les conséquences du contournement vont de la détérioration de la surface de l'isolateur à la mise hors service de l'équipement haute tension et par suite la continuité de service n'est plus assurée. Ainsi, une des caractéristiques principales d'un isolateur haute tension sera donc sa tenue au contournement en fonction de l'environnement dans lequel il est utilisé. Plusieurs travaux expérimentaux et théoriques ont été consacrés pour expliquer le mécanisme conduisant au contournement des isolateurs pollués.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier l'influence de la pollution sur les chaînes d'isolateurs, pour cette raison, celui-ci est subdivisé en trois chapitres :

## Introduction générale

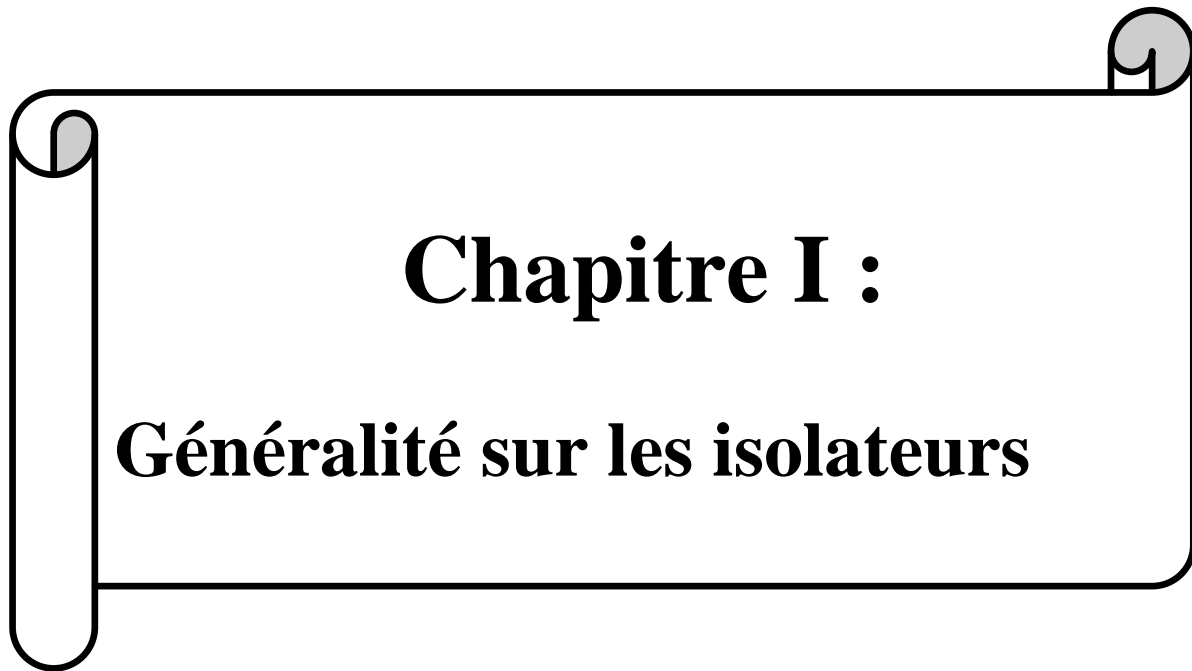
---

Le présent notre travail exposera, dans un premier chapitre, les concepts fondamentaux liés aux isolateurs, leur différent type et leur fonctionnement et constitution ainsi que les matériaux utilisés dans la fabrication.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des phénomènes de pollution, leurs origines et leurs conséquences sur les isolateurs. Ainsi que les techniques de lutte contre ce phénomène.

Le troisième chapitre est consacré à étudier l'influence de la sévérité de la couche de pollution sur le comportement des chaines d'isolateurs, et pour cela nous avons exploité deux techniques de traitement de signal à savoir la **FFT** et la technique d'ondelette ces techniques ont été appliquées sur trois bases de données correspondantes aux trois classes de pollutions différentes (faible, moyenne et forte)

Enfin, on terminera par des conclusions.



**Chapitre I :**  
**Généralité sur les isolateurs**

## I.1. Introduction

L'isolateur est un élément destiné à relier mécaniquement les conducteurs sous tension aux structures qui les supportent et assurer l'isolement électrique entre eux. Il comporte deux parties ; une partie isolante en verre ou en porcelaine ou encore en matière composite (silicone, EPDM) et une deuxième partie formée des pièces métalliques ou en fibre de verre qui servent de liaison scellée sur le diélectrique.

Le rôle des isolateurs est de relier les conducteurs aux supports en assurant leur isolation électrique.

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

## I.2. Isolateurs de haute tension

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 et les charges d'électrocution. 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, etc.[1]

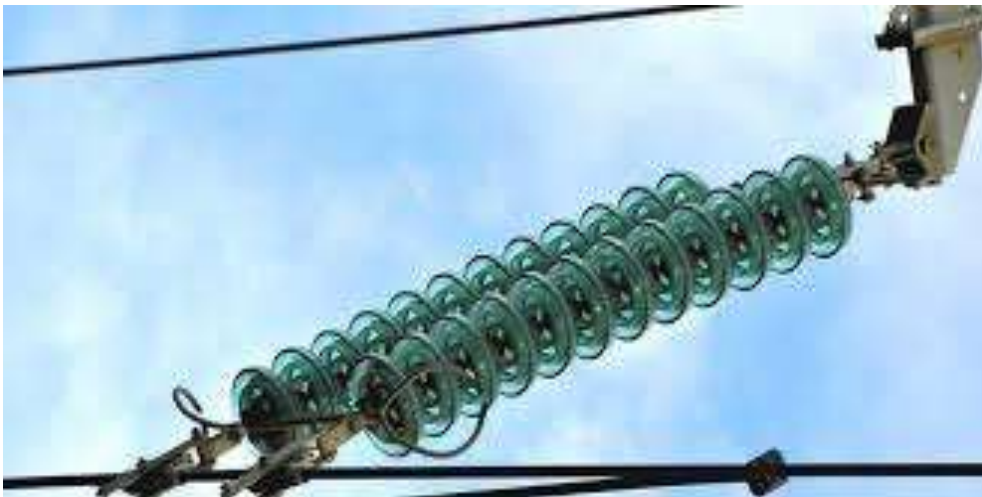
## I.3. Fonctionnement et constitution d'un isolateur

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, 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).

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 étant deux électrodes dont l'intervalle comporte trois zones constituant trois isolants en parallèle ayant des comportements différents [2].

- 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).



**Figure I.1.** Photo chaines des isolateurs.

### I.4. 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 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 [3]

## I.4.1.Céramique

Le développement et la fabrication des céramiques datent 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 [3]



**Figure I.2 :** Isolateur en céramique.

## I.4.2.Verre

Outre son bas prix, le verre présente l'avantage de permettre de déceler les défauts par une simple observation. On trouve deux types de verre pour la fabrication des isolateurs : le verre trempé et le verre recuit.



**Figure I.3:** Isolateurs en verre

### a. 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 [3].

### b. 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 [3].

### I.4.3. 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 [4]

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



**Figure I.4 :** Isolateur en synthétique.

## I.5. Rôles

### Mécanique :

Supportent les efforts exercés par les conducteurs.

### Electrique :

Ils assurent l'isolation électrique entre les conducteurs et les supports.

## I.6. Les chaînes d'isolateurs

Les isolateurs étaient réalisés en verre, ou céramique (dérivés de stéatite par exemple), on en trouve désormais en matériau synthétique. Les isolateurs en verre ou céramique des réseaux électriques ont généralement la forme d'une assiette. On les associe entre eux pour former des chaînes d'isolateurs.

Les principales chaînes d'isolateurs peuvent être composées d'isolateurs à capot et tige avec utilisation généralisée du verre trempé d'isolateurs à long fut en céramique.

L'avantage du verre trempé est de rendre visible tout isolateur perforé, ce qui n'est pas le cas des isolateurs à capot et tige en céramique sous les effets d'une contrainte électrique trop forte ou même lors d'une défectuosité de l'isolant, la jupe de l'isolateur en verre trempé explose mais le capot reste solidaire, ce qui évite la chute du conducteur.

Dans le cas d'isolateur en céramique si celui-ci présente une perforation à l'intérieur du capot, lors d'un arc électrique, il y a risque d'explosion de l'isolateur ce qui entraîne la chute du conducteur.

On trouve aussi des isolateurs sous forme de colonne, avec toujours un profil en ailettes pour allonger la ligne de fuite, c'est-à-dire la distance aux limites de l'isolateur, mesurée en suivant le profil de l'isolateur. Depuis la fin du XXe siècle, les matériaux composites sont de plus en plus utilisés pour fabriquer des isolateurs : en réalisant un axe central en fibre de verre et en surmoulant par-dessus une matière silicone ou EPDM. Les isolateurs composites sont plus légers, généralement moins chers et présentent une excellente hydrophobicité. Ils sont surtout pris pour les zones fortement polluées et dans les zones urbaines où ils résistent mieux au vandalisme.

## I.7. Élément de chaîne

Élément de chaîne : c'est un isolateur constitué par un matériau isolant équipé de pièces métalliques de liaison, nécessaire pour le relier de façon flexible à d'autres éléments de chaîne, à la pince de suspension du conducteur ou au support, ces éléments sont soumis principalement à des efforts de traction. Il existe deux types principaux d'éléments de chaînes :

- L'isolateur à capot tige.
- L'isolateur capot et tige isolateur long fut.

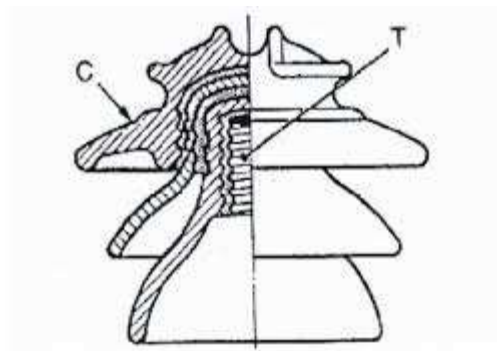
## I.8. Types d'isolateurs

Selon les différentes façons d'utilisation et les conditions de fonctionnement des isolateurs, on distingue plusieurs types d'isolateurs.

### I.8.1. Isolateurs rigides

Un isolateur rigide (figure (I.5)) 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. [5]

Ce type d'isolateurs est utilisé pour les lignes aériennes qui ne dépassent pas le niveau de tension de 35 kV.[6]



**C : Cloche**

**T : Logement de tige.**

**Figure I.5 : Isolateur rigide.**

### I.8.2. 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 [6].

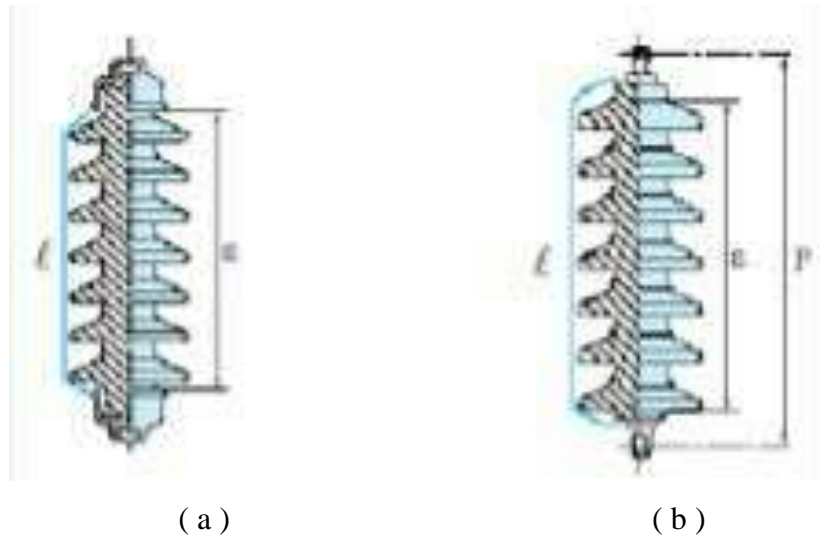
La chaîne d'isolateurs est montée sur le pylône en suspension soit verticalement (Chaîne d'alignement), soit d'une façon horizontale (chaîne d'ancrage). Il existe deux types principaux d'éléments de chaîne :

- L'isolateur long fût.
- L'isolateur capot et tige.

#### I.8.2.1. Isolateur à long fût

Il est constitué d'un bâton cylindrique plein en céramique, en porcelaine ou en matériaux synthétiques, muni d'ailettes. A chaque extrémité, il y a une pièce métallique pour les liaisons [12]. Cette extrémité métallique peut se présenter sous deux formes distinctes, soit elle enveloppe

les extrémités tronconiques sur le cylindre (figure (I.6.b)), soit en forme de tige scellée dans une cavité prévue à cet effet (figure(I.6.a)) [7].



$\varepsilon$  : Longueur du canal de perforation,  $\ell / < < \varepsilon$ .

P : Pas nominal.

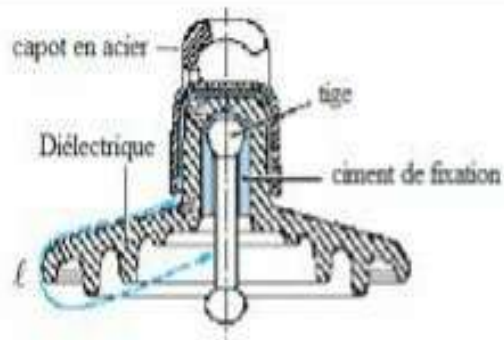
$\ell$  : Plus courte distance dans l'air, extérieure à l'isolateur.

**Figure I.6** : Isolateur à long fût

### I.8.2.2. Isolateurs capot et tige

L'isolateur 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. Cette dernière est trouée de telle sorte qu'on peut faire entrer l'extrémité inférieure dans ce trou, et le scellement des éléments de chaîne capot et tige se fait de cette façon, où la partie inférieure de l'isolateur pénètre dans le capot de l'élément inférieur, en utilisant du ciment (figure (I.7))

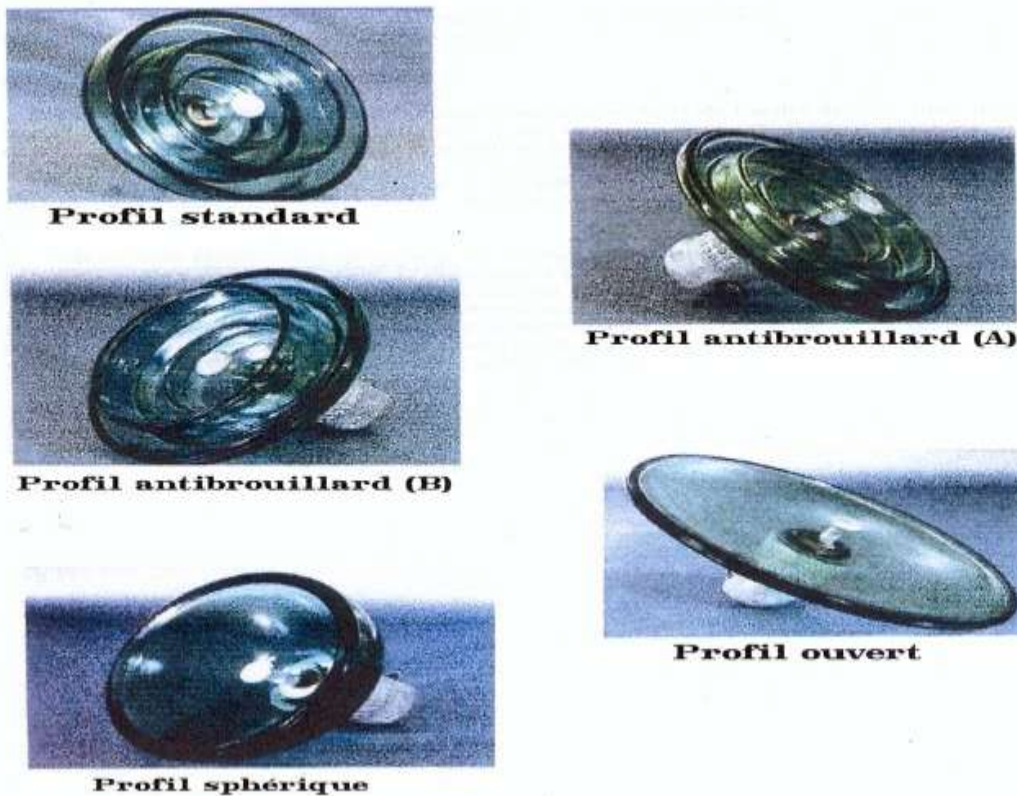


$\ell$  : Plus courte distance dans l'air, extérieure à l'isolateur.

$\varepsilon$  : Longueur du canal de perforation.

**Figure I.7:**Isolateur à capot et tige

Différents profils des isolateurs à capot et tige:



**Figure I.8:**Différents profils d'isolateurs à capot

La figure (I.8) présente les différents profils des isolateurs à capot et tige qui sont :

### **I.8.2.2.1. 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 [8].

### **I.8.2.2.2. Profil antibrouillard (forme A)**

Son diamètre est plus grand que celui du profil standard. Il est muni de deux ou trois rainures à grande profondeur. Le profil et les grands espacements des rainures permettent une auto lavage par action de vent et de la pluie. Cette conception permet également un lavage manuel facile, si c'est nécessaire [8].

### **I.8.2.2.3. Profil antibrouillard (forme B)**

Dans cette conception, l'épaisseur de la rainure extérieure agit comme une barrière contre l'action du brouillard et de 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 [9].

### **I.8.2.2.4. Profil ouvert (plat)**

L'élimination complète des rainures internes réduit l'accumulation des agents polluants sur la surface basse, grâce au courant d'air. Cette conception est particulièrement efficace dans les zones désertiques où l'auto lavage est peu fréquente par la pluie [9].

### **I.8.2.2.5. Profil sphérique**

Ce type de profil donne une ligne de fuite équivalente au profil standard, mais l'absence d'anneaux facilite le nettoyage manuel [8].

## **I.9. Dimensionnement**

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 constituant trois isolants en parallèle ayant des comportements différents. Ces isolants sont :

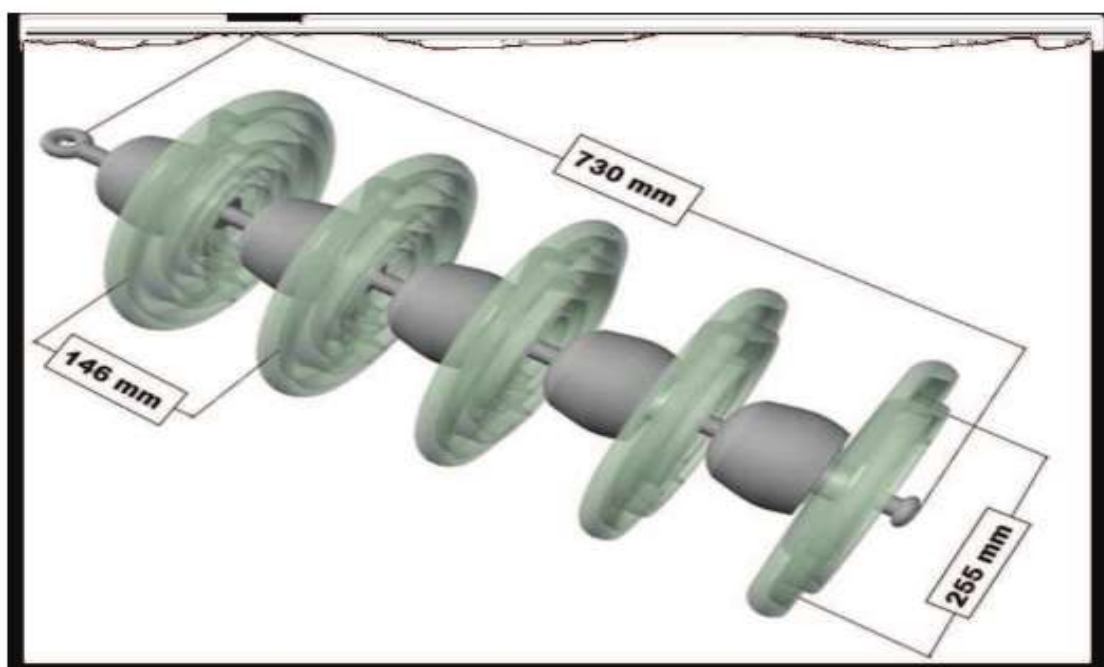
- L'intervalle d'air.
- Le matériau diélectrique.

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

Les dimensions de l'isolateur sont mesurées grâce à un mètre ruban. Les résultats de mesures concernant la longueur de la ligne de fuite et les dimensions de l'isolateur sont représentés dans le tableau suivant : [19]

**Tableau(I.1) :** Dimensionnement des chaînes d'isolateur

Grandeur	Taille en cm
Rayon de l'ailette	16.55
Ligne de fuite	89.5
Longueur	40
Pas entre l'ailette	3.6
Rayon de la fibre en verre	5.2



**Figure I.9:** Dimensionnement des chaînes d'isolateur.

## I.10. Les caractéristiques des isolateurs

### I.10.1. ligne de fuite

C'est la distance la plus courte, passant par le profil extérieur de l'isolateur, en allant du conducteur à la masse.

### I.10.2. Tension de perforation :

Tension produisant un amorçage entre le conducteur et la tige à travers la masse de l'isolateur (essai dans l'huile).

La tension de perforation est supérieure à la tension de contournement

### I.10.3. Tension de contournement

**A sec :** tension produisant un amorçage entre le conducteur et la tige, l'isolateur étant propre et en atmosphère sèche.

**Sous pluie:** tension produisant un amorçage entre le conducteur et la tige, l'isolateur étant soumis à une pluie artificielle

### I.10.4. Tension de tenue au choc

Tension qui sous forme d'onde de choc provoque le contournement d'au moins 50% des isolateurs essayés.

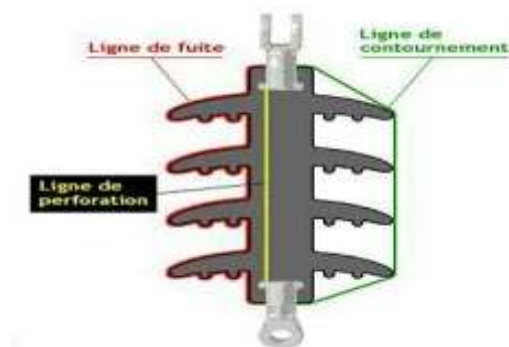


Figure I .10: Dimensionnement électrique.

## I.11. 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 du service.

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 ceux qui possèdent les meilleures propriétés d'auto-nettoyage [8].

### I.12. Quelques définitions

#### I.12.1. Contournement

Le contournement est représenté par une décharge disruptive le long d'une surface solide dont la trajectoire contourne cette dernière. Aussi, le terme contournement est employé pour des décharges par amorçage dans l'air [8]

#### I.12.2. Contrainte de contournement

La contrainte de contournement d'isolateur est le rapport de la tension de contournement à la longueur totale de l'isolateur [8].

#### I.12.3. Tension de Contournement :

C'est le niveau de tension le plus bas au-delà duquel des arcs électriques joignent les deux électrodes [10].

#### I.12.4. Tension de tenue (tension d'essai)

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) [8].

#### I.12.5. Courant de fuite :

C'est un courant de faible amplitude circulant à travers la couche polluante humectée le long de la surface isolante. Il est de type électrolytique et peut être un courant résistif pour une isolation totalement polluée ou un courant capacitif dans le cas d'une isolation parfaitement propre [11].

#### I.12.6. Courant de fuite critique

C'est le courant minimal nécessaire pour provoquer le contournement total de l'isolateur

### I.13. Vieillessement des matériaux isolants :

En génie électrique, le vieillissement électrique est défini comme tout changement des propriétés du matériau qui affecte ses fonctions d'isolation. Il peut donc s'agir d'une modification

de nature chimique ou physique induisant une modification des propriétés électriques dans un sens défavorable pour la pérennité des fonctions isolantes. Généralement on accepte de façon intuitive, et l'expérience le montre souvent, que la durée de vie d'un matériau isolant dépend de l'intensité de la contrainte électrique subie par celui-ci mais également de la durée d'application de cette contrainte [12].

### I.13.1. Farinage

Apparition à la surface du matériau synthétique des particules de charge formant une surface rugueuse ou poudreuse.

### I.13.2. Faiençage

Micro fractures superficielles peu profondes de (0,01 à 0,1 mm).

### I.13.3. Craquelures

Fractures superficielles de profondeur supérieure à 0,1 mm.

### I.13.4. Erosion :

Dégradation irréversible et non conductrice, qui peut se produire, à la surface de l'isolateur, par perte de matière. Elle peut être uniforme, localisée, ou arborescente. Après des amorçages partiels, il peut se produire sur les isolateurs composites des traces superficielles, en générale arborescentes, comme sur les pièces en porcelaine, tant qu'elles ne sont pas conductrices, ces traces ne sont pas préjudiciables. Quand elles sont conductrices, elles se classent dans le phénomène d'acheminement.

### I.13.5. Acheminement :

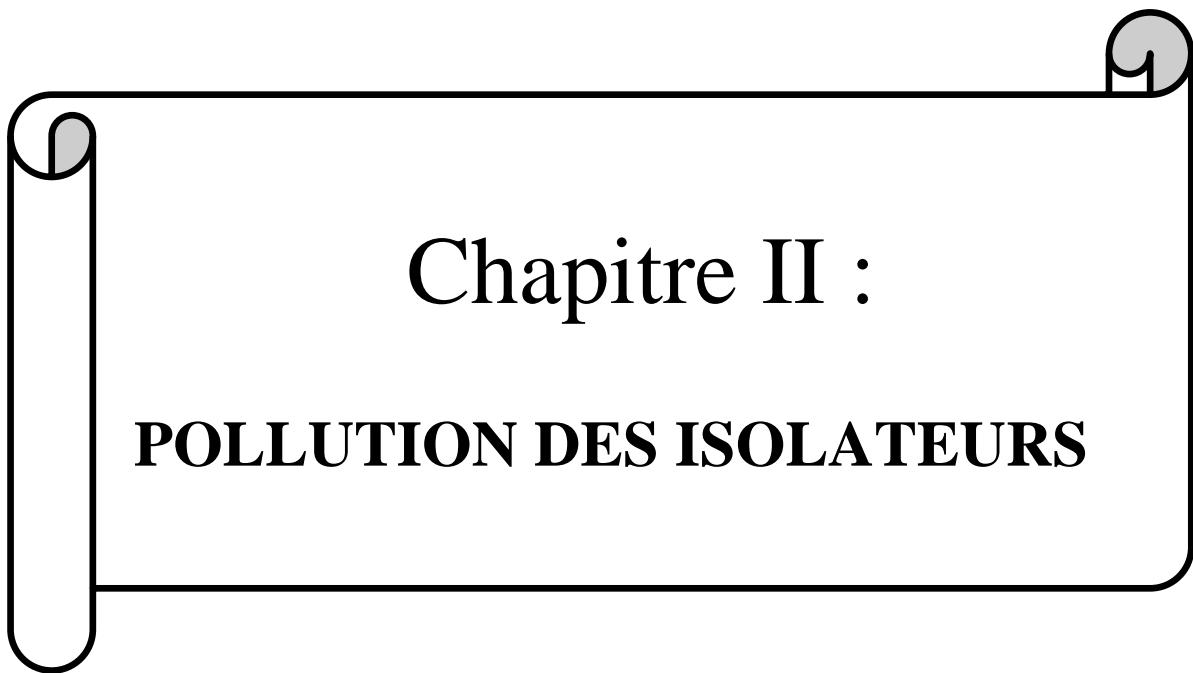
Dégradation irréversible, par formation de chemins qui apparaissent et se développent à la surface d'un matériau isolant. Les chemins sont conducteurs même à sec. L'acheminement peut se produire sur des surfaces au contact de l'air et aussi aux interfaces entre matériaux isolants différents. Il est en général matérialisé par l'apparition d'une trace de matériau carbonisé.

### I.14. Conclusion :

Dans le matériel électrique destiné à fonctionner en HT, l'isolation des conducteurs prend une grande importance d'où, les matières isolantes pour chaque type d'isolateur sont choisies en tenant compte de leurs propriétés et les différentes contraintes supportées.

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.



### II.1.Introduction

La pollution des isolateurs constitue un problème majeur dans la dégradation de l'isolement des ouvrages (postes et lignes) de haute tension. Dépôt de la pollution suite à une interaction entre le vent et les poussières diverses ; une couche de pollution se dépose sur la surface de l'isolateur.

Cette couche de pollution, plus ou moins conductrice, donne naissance à un courant de fuite circulant à travers la surface de l'isolateur. La formation et la répartition de la couche de pollution sur la surface des isolateurs réduit considérablement la résistivité des isolateurs ce qui conduit à la diminution de leur tension de tenue. Dans ce chapitre, nous allons parler sur les sources, forma et répartition, conséquence, et techniques de lutte contre la pollution.

### II.2. Sources de pollution

Du fait de la variété des origines de la pollution, la nature de celle-ci peut être classée en trois catégories, à savoir la pollution naturelle, industrielle et la pollution mixte.



**Figure II.1 :** Pollution des isolateurs

### II.2.1. Pollution naturelle

La pollution naturelle provient :

- Des sels marins dans les régions côtières.
- De sables véhiculés par le vent en régions désertiques.

#### II.2.1.1. 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. [14]



**Figure II.2 :** Pollution marine

#### II.2.1.2. 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. [14]

### II.2.2. 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. [14]



**Figure II.3 :** Lignes haute tension soumises à la pollution industrielle.

### I.2.3. 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. [14]

## II.3. Formation et répartition de la couche de pollution

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

incliné) des chaînes d'isolateurs par rapport au sol et du niveau de tension qui leur est appliqué.[15]

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 :

### **II.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.

### **II .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.

### **II.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.

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.

### II.4. Conséquence de la pollution

Les couches polluantes qui s'accumulent à la surface des isolateurs provoquent une conductivité électrique superficielle. Celle-ci modifie la répartition du potentiel le long de la ligne de fuite. Suivant les conditions atmosphériques (pluie fine, brouillard,...), 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 [16]

Trois cas peuvent se présenter selon les contraintes auxquelles est soumis l'isolateur :

#### II.4.1. Arc non localisé

On appelle arc non localisé (non fixe), lorsqu'il s'amorce et s'éteint rapidement pour se réamorcer dans un autre endroit sur la surface d'un isolateur. Ce phénomène ne cause pas de dommages pour l'installation, malgré l'apparition de courant de fuite à la surface de l'isolateur, mais provoque un échauffement local ou partiel qui peut conduire à une dégradation de l'isolant à plus ou moins long terme.

#### II.4.2. Arc fixe

L'arc électrique se fixe sur 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 [17].

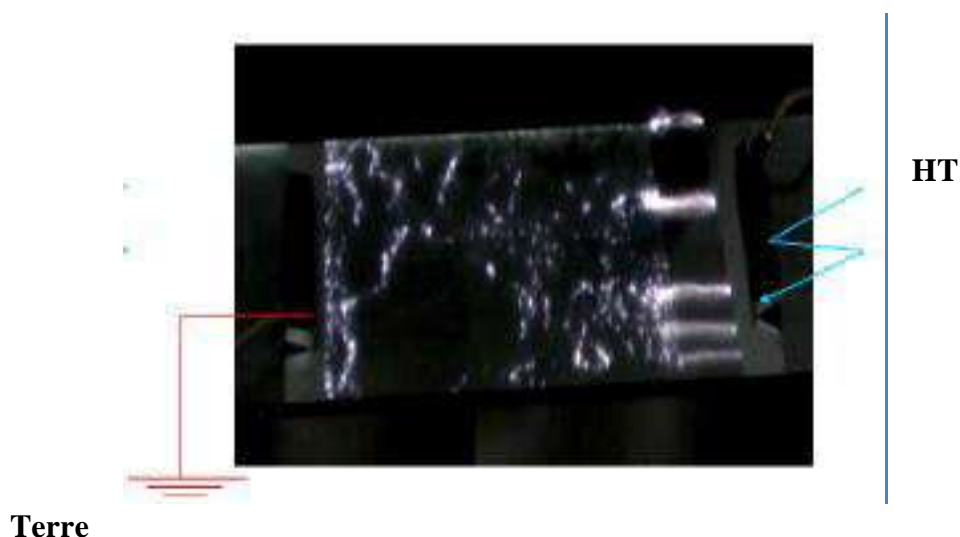


Figure II.4 : Evolution des arcs électriques (Arc fixe).

II.4.3. Contournement des isolateurs pollués

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 finit par la formation d'un pont conducteur entre ses deux électrodes (plasma ionique favorisant le déplacement des charges électriques d'une électrode vers l'autre), c'est-à-dire un court-circuit.

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. Chacune de ces étapes a une importance sur le résultat final, donc sur la tenue ou le Contournement de la chaîne isolante sous tension de service du réseau.

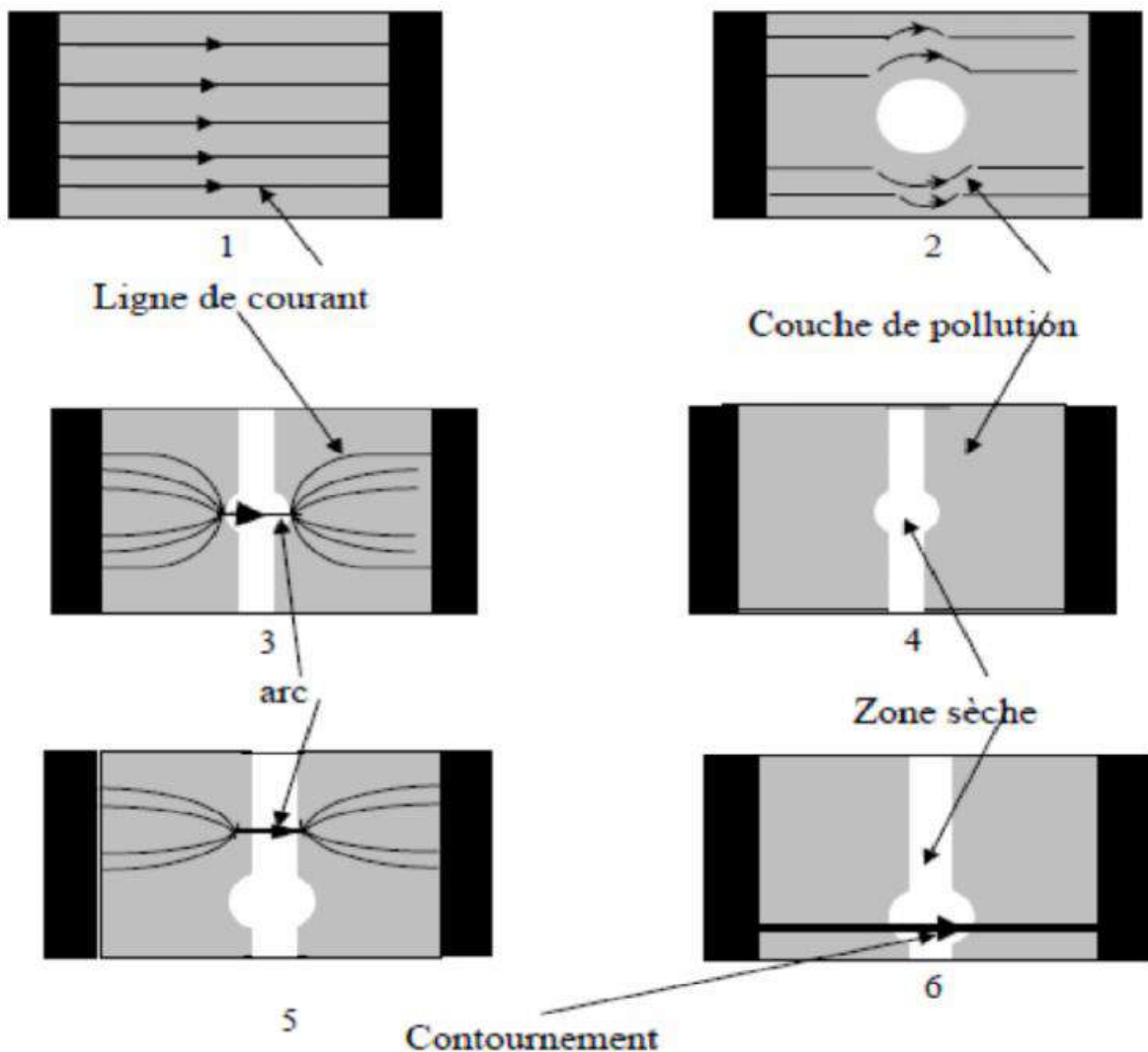


Figure II.5:Étape du contournement d'une couche polluante.

### Etape 1 : Dépôt de la pollution

Le polluant sous forme de poussière se pose sur la surface de l'isolateur et forme aussi une couche de pollution.

### 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.

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.

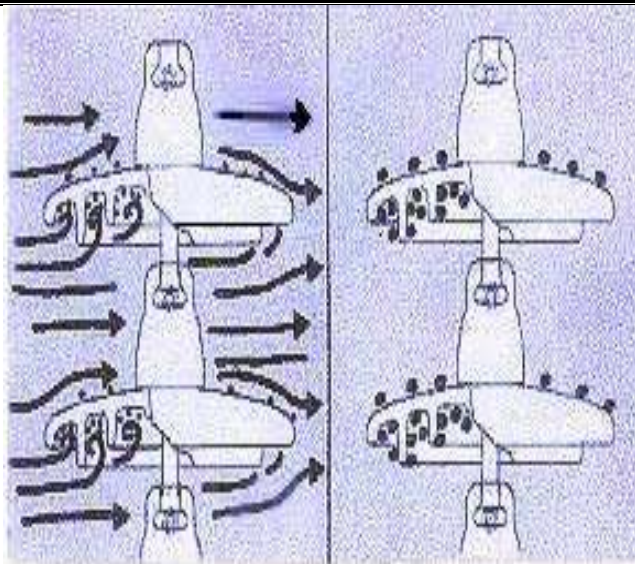
Pendant le cycle d'humidification, le courant de fuite augmente jusqu'à une valeur maximale, puis diminue s'il y a séchage. Le niveau de courant de fuite dépend du temps, de la nature et de la quantité des sels solubles et insolubles. Ces derniers maintiennent par absorption une certaine quantité d'eau à la surface de l'isolateur, entretenant ainsi l'humidification du dépôt.

### Etape 3 : Développement des zones sèches et apparition d'arcs

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 de bandes sèches. Répartition de potentiel sur l'isolateur est modifiée par ces bandes sèches plus résistives. La plupart du potentiel électrique est appliqué aux bornes des bandes sèches. Si leur largeur est insuffisante pour supporter le potentiel correspondant, un arc se crée aux bornes de la bande sèche.

### Etape 4 : Comportement des arcs

La résistance du dépôt modifié est en série avec l'arc. Elle limite ainsi le courant de l'arc et sa longueur. 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'excèdera pas ce que l'on appelle «Le courant critique» correspondant à une «longueur critique» de l'arc, cette situation reste stable (Figure II.6). Si la résistivité de la pollution humidifiée est suffisamment faible et ce courant de fuite augmente jusqu'au point de dépasser le seuil du courant critique, la longueur de l'arc s'allonge rapidement, court-circuite l'isolateur et l'isolant contourne. Cette situation doit être, bien sûr, évitée pour maintenir la qualité de service.



**Figure II.6:** Régime d'arcs sous pollution.

### II.5. Mesure de la sévérité de pollution d'un site

Afin de dimensionner convenablement les isolateurs susceptibles d'assurer un service sans défaillance dans un site pollué, il est nécessaire de caractériser la sévérité de pollution de ce site. La sévérité est généralement caractérisée par l'intensité de précipitation, ainsi que par la conductivité des dépôts polluants.

Si la résistivité de la pollution humidifiée est suffisamment faible et que le courant de fuite augmente jusqu'au point de dépasser le seuil du courant critique, la longueur de l'arc s'allonge rapidement et court-circuite l'isolateur. Cette situation doit être bien sûr évitée, pour maintenir la qualité du service.

### II.6. 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 [18]:

#### II.6.1. 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 2,5g/l de concentration.

### II.6.2. 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.

### II.6.3. 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.

### II.6.4. Classe 4

La 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.7. Maintenance des chaînes des isolateurs

Lorsque les conditions locales de pollution augmentent, par exemple dans le cas de l'extension des zones industrielles ou urbaines, l'isolateur déjà en place d'un poste ou d'une ligne peut devenir insuffisant. Le remplacement des chaînes d'isolateur est une solution trop onéreuse pour être envisagée. On a alors recours aux techniques de lavage et de graissage, cette dernière technique étant plus particulièrement réservée aux isolateurs des postes. Par ailleurs, il arrive que la salinité équivalente d'un site à équiper dépasse 80kg/m<sup>3</sup>. Ceci est exceptionnel mais l'isolement par allongement de la ligne de fuite n'est plus technologiquement justifié, et seul le lavage périodique ou le graissage des isolateurs peuvent être utilisés. Ce choix délibéré fait lors de la conception de l'installation conduit quelquefois, notamment dans le cas du lavage, à prévoir des installations fixes[19].



**Figure. II.7:** Entretien des chaînes d'isolateurs (lavage).

### II.7.1. Le lavage

Les dispositifs utilisés soient fixes ou mobiles, le lavage peut avoir lieu lorsque l'installation est hors ou sous tension. Dans ce dernier cas des précautions doivent être prises pour éviter que le contournement, que l'on souhaite éviter, ne se produise pendant le lavage.

Différentes méthodes ont été mises au point. L'intérêt de cette technique est de ne pas avoir à mettre l'installation hors tension. [19].



**Figure. II.8 :** Nettoyage des isolateurs de ligne haute tension.

**II.7. 2. Le graissage**

Le graissage est une autre technique couramment utilisée. Les graissages utilisés actuellement sont des composants silicones qui en plus de leur caractère hydrophobe ont la propriété d'absorber les poussières. En effet, l'huile exsudée enrobe chaque grain de poussières, processus plus ou moins lent selon la composition de la graisse. Cette faculté permet à la graisse de conserver ses propriétés initiales, à savoir une grande résistance superficielle, ceci tant que la saturation n'est pas atteinte d'une part et d'autre part tant que la graisse n'a pas subi une importante altération par les rayons UV auxquels elle est très sensible. Cette altération se traduit par un durcissement qui peut ralentir ou stopper le phénomène d'exsudation et par conséquent annihiler la faculté de piégeage des poussières. L'isolateur se comporte alors comme un isolateur pollué et la graisse doit être renouvelée.

Insistons sur le fait que ces procédés de lavage et de graissage sont des moyens de dépannage devant des difficultés dues à une pollution ou inattendue ou bien très exceptionnelle. Ils ne doivent en aucun cas être considérés comme un moyen normal pour faire face à la pollution des chaînes d'isolateur. [19]

**II.8. Méthode d'essai sous pollution**

Plusieurs techniques d'essais ont été mises en œuvre afin de représenter les conditions naturelles qui conduisent à l'amorçage de la surface polluée d'isolateur. Nous distinguons :

**II. 8. 1. Essai sous pollution naturelle**

Ils consistent à installer, dans les différents sites pollués, des stations dans lesquelles on observe le comportement d'un certain nombre de chaînes d'isolateurs de longueurs ou de profils différents. Les qualités respectives de ces isolateurs, placés sous la même tension, sont appréciées en fonction des temps au contournement. On peut classer les isolateurs en distinguant ceux qui ont contourné de ceux qui ont tenu, durant deux ou trois ans d'exposition, par exemple [17].

Ces essais ont l'avantage de tenir compte de l'effet de toutes les contraintes, dans toutes leurs complexités sur un site donné. L'inconvénient majeur de ces essais est qu'ils nécessitent plusieurs années, pour pouvoir étudier valablement les performances des isolateurs[17].

### II.8.2. Essai sous pollution artificielle

Ils consistent à reproduire en laboratoire les conditions de la pollution naturelle. Ils sont aujourd'hui largement utilisés et ont l'avantage d'être rapides. Les méthodes d'essais qui demeurent actuellement normalisées sont les méthodes de la couche solide, la méthode du brouillard salin et la méthode de la pollution liquide [17].

### II.8.3. Méthode de la couche solide

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<sup>2</sup>. 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 [14].

### II.8.4. Méthode du brouillard salin

La solution saline utilisée dans la méthode du brouillard salin représente assez bien la pollution marine contenant un peu de matière insoluble. Dans cette méthode, l'isolateur soumis à la tension d'essai, est placée dans un brouillard salin dont le taux de salinité définit la sévérité.

D'après la classification des sites pollués, les valeurs de salinités appliquées sont choisies selon une progression allant de 2.5 à 160 kg/m<sup>3</sup>[17].

### II.8.5. Méthode de pollution liquide

Cette méthode s'apparente à la méthode du brouillard propre dans la mesure où un mélange liquide est appliqué sur l'isolateur avant l'essai. Cependant, dans ce cas la pollution n'est pas séchée avant l'essai. Elle est constituée d'eau, de craie et de méthyl cellulose ou de kaolin. Comme pour la méthode de la couche solide la conductivité est ajustée par addition de chlorure de sodium.

Après quelques minutes d'égouttage, la tension d'essai est appliquée à l'isolateur sans humidification supplémentaire[17].

### II.9. Degré de pollution

C'est la valeur qui caractérise la pollution telle que la salinité, la conductivité de la couche et la densité de dépôt de sel.

### II.10. Technique de lutte contre la 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.

#### II.10.1. 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.10.2. Isolateurs plats

Les isolateurs sans nervures ont la propriété d'accumuler moins de pollution que les isolateurs traditionnels et s'autonettoyant très bien sous l'effet du vent.

#### II.10.3. Graissage périodique

Grâce à ses propriétés hydrophobes, le graissage protège temporairement les isolateurs. La longévité du graissage dépend à la fois de l'environnement (pollution, conditions climatiques) et de la qualité intrinsèque du produit. Elle est généralement comprise entre 1 et 4 ans. Le graissage est largement utilisé dans le monde, mais l'opération de nettoyage puis de graissage est pénible, longue et coûteuse. Elle nécessite, par ailleurs, une interruption de service.

#### II.10.4. 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.10.5. Les isolateurs composites

Ils ont en plus l'avantage d'être légers et d'avoir une grande résistance mécanique que leur confère le noyau. Ils ont aussi de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères [20].

Ils sont constitués d'un noyau en fibres de verre imprégnées d'une résine et d'un revêtement à ailettes de type élastomère.

Cependant, ces isolateurs présentent le désavantage de vieillir sous l'effet des différentes contraintes auxquelles ils sont soumis (électrique et mécanique) [20].

### II.10.6 Nettoyages des isolateurs

Le nettoyage manuel et le lavage périodique hors tension sont fréquemment utilisés à travers le monde. Néanmoins, ce choix pose des problèmes majeurs à cause des interruptions de service, parfois assez longues. Pour éviter ces interruptions, on effectue un lavage sous tension des isolateurs à l'aide d'installations fixes ou mobiles.

Dans les deux cas et afin d'éliminer tout risque de contournement, le lavage est effectué selon des règles strictes concernant la qualité de l'eau, le processus et les distances de sécurité à respecter [20].

## II.11. Conclusion

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

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 des isolateurs par deux techniques de traitement de signal à savoir la FFT et les ondelettes**

## **Chapitre III :Prédiction du degré de sévérité de pollution des isolateurs par deux techniques de traitement de signal à savoir la FFT et les ondelettes**

---

### **III.1.Introduction**

Dans le but de déterminer l'influence de la sévérité de la couche de pollution sur le comportement diélectrique des chaînes d'isolateurs haute tension, nous avons utilisé une base de données récupérée au niveau du laboratoire de haute tension. Ces essais ont été effectués sur une chaîne d'isolateur réel U120B. Dans ce chapitre on décrit en premier lieu les techniques expérimentales utilisées pour récupérer les signaux du courant de fuite. En deuxième lieu, nous présentons quelques notions et définitions sur la transformée de Fourier puis la transformée en ondelette qui permettront la décomposition des signaux du courant de fuite.

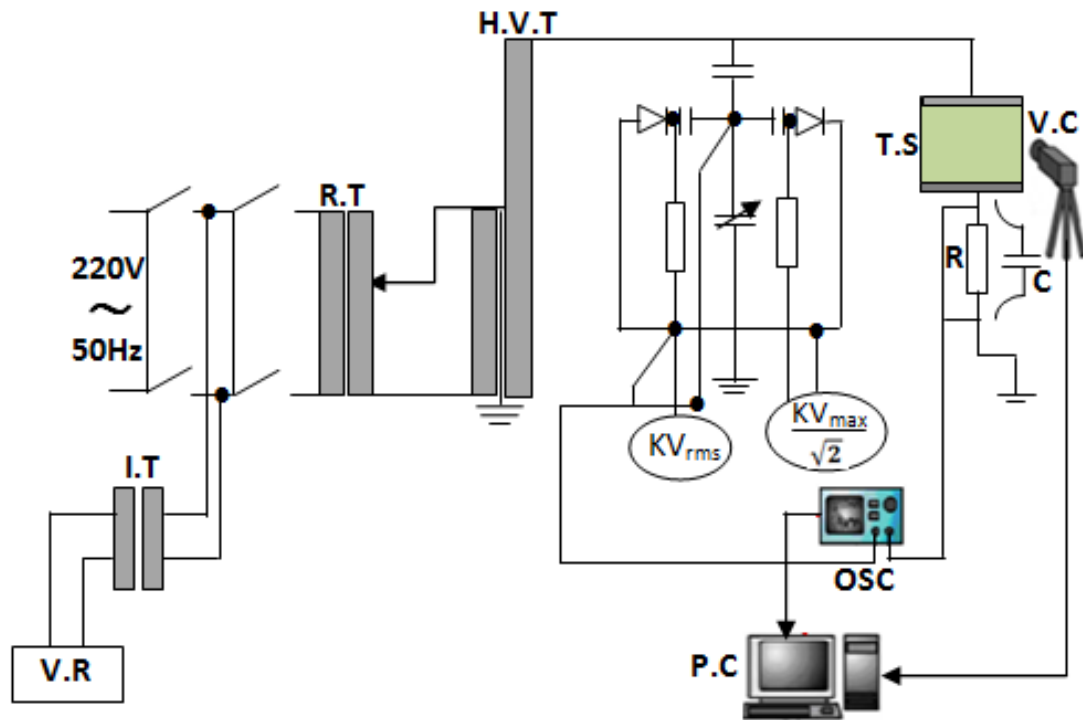
En fin, nous présentons et discutons les résultats concernant la prédiction du degré de sévérité de pollution déposée sur la surface isolante de la chaîne.

### **III.2. Enregistrement du signal du courant de fuite**

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

## Chapitre III :Prédiction du degré de sévérité de pollution des isolateurs par deux techniques de traitement de signal à savoir la FFT et les ondelettes



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.1 : Dispositif de mesure.

### III.3. Isolateurs testés

L'U 120 B caractérisé par une résistance mécanique importante, 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. La chaîne d'isolateurs réels U120B sur laquelle les expériences ont été effectuées est montrée sur la figure se dessous :

## **Chapitre III :Prédiction du degré de sévérité de pollution des isolateurs par deux techniques de traitement de signal à savoir la FFT et les ondelettes**

---



**Figure III.2 :** Profil de l'isolateur réel.

### **III.4. Procédures de test**

#### **III.4.1 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.4.2. Préparation des solutions polluantes**

Les solutions polluantes sont composées de différentes quantités de kaolin et Na Cl 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.

## **Chapitre III :Prédiction du degré de sévérité de pollution des isolateurs par deux techniques de traitement de signal à savoir la FFT et les ondelettes**

Les solutions polluantes sont composées de 100 g de kaolin 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.4.3. 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 le plus uniformément 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.3 :** Surfaces interne et externe d'un élément de la chaîne d'isolateur.

## **III.5. Circuits de mesure**

### **III.5.1. Mesure de la tension de contournement**

La mesure de la tension de contournement a été effectuée pour chaque configuration de pollution. 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.

## Chapitre III :Prédiction du degré de sévérité de pollution des isolateurs par deux techniques de traitement de signal à savoir la FFT et les ondelettes

---

### III.5.2. 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 MHz 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. Théories sur la transformée de Fourier rapide

### III.6.1. Introduction

Transformation de Fourier est une extension, pour les fonctions non périodiques, du développement en série de Fourier des fonctions périodiques. La transformation de Fourier associe à une fonction intégrable définie sur  $\mathbb{R}$  et à valeurs réelles ou complexes, une autre fonction sur  $\mathbb{R}$  appelée **transformée de Fourier** dont la variable indépendante peut s'interpréter en physique comme la fréquence ou la pulsation.

La transformée de Fourier représente une fonction par la densité spectrale dont elle provient, en tant que moyenne de fonctions trigonométriques de toutes fréquences. La théorie de la mesure ainsi que la théorie des distributions permettent de définir rigoureusement la transformée de Fourier dans toute sa généralité, elle joue un rôle fondamental dans l'analyse harmonique.

Lorsqu'une fonction représente un phénomène physique, comme l'état du champ électromagnétique ou du champ acoustique en un point, on l'appelle **signal** et sa transformée de Fourier s'appelle son **spectre**.

### III.6.2.Définition La transformation de Fourier rapide

La transformation de Fourier rapide (sigle anglais : *FFT* ou *fast Fourier transform*) est un algorithme de calcul de la transformation de Fourier discrète (TFD).

Cet algorithme est couramment utilisé en traitement numérique du signal pour transformer des données discrètes du domaine temporel dans le domaine fréquentiel, en particulier dans les oscilloscopes numériques (les analyseurs de spectre utilisant plutôt des filtres analogiques, plus précis). Son efficacité permet de réaliser des filtrages en modifiant le spectre et en utilisant la

## **Chapitre III :Prédiction du degré de sévérité de pollution des isolateurs par deux techniques de traitement de signal à savoir la FFT et les ondelettes**

transformation inverse (filtre à réponse impulsionnelle finie). Il est également à la base des algorithmes de multiplication rapide (Schönhage et Strassen,1971), et des techniques de compression numérique ayant mené au format d'image JPEG (1991).

### **III.6.3. Décomposition en séries de Fourier**

Une fonction périodique  $f(t)$  de période  $T$  peut, sous certaines conditions mathématiques qui seront toujours réalisées dans la pratique en physique, se décomposer en une somme de fonctions sinusoïdales de la forme : (décomposition en séries de Fourier).

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad (n \text{ entier et } \omega = \frac{2\pi}{T}) \quad (\text{III.1})$$

## **III.7. Transformée en ondelettes**

### **III.7.1. Introduction**

L'analyse par ondelettes a été introduite au début des années 1980. Il s'agit de donner une représentation des signaux permettant la mise en valeur simultanées des informations temporelles et fréquentielles (localisation temps-fréquence).

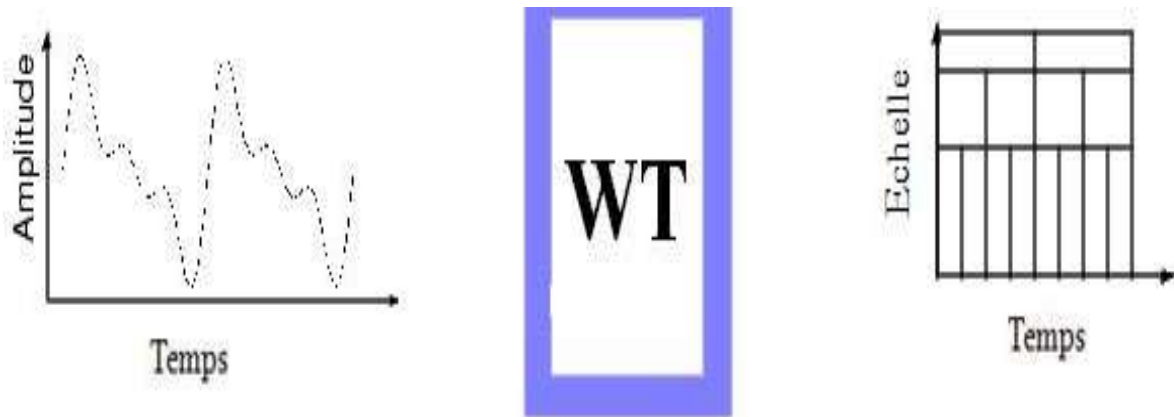
L'idée originale sur laquelle sont basées les ondelettes est apparue vers années 1940 grâce au physicien Denis Gabor, qui a introduit la notion de la transformée de Fourier à fenêtre glissante dans le but de remédier au problème de localisation temps-fréquence en proposant de multiplier le signal par une fonction localisée dans le temps (fenêtre) et ensuite appliquer la transformée de Fourier.

La meilleure façon d'introduire les ondelettes est de passer par l'analyse de Fourier. En effet, la transformée de Fourier est une décomposition d'un signal dans une base sinusoïdale. Chaque sinusoïde correspond à une fréquence donnée et pondérée par des coefficients, dits coefficients de Fourier. Par analogie, la transformée en ondelettes est une décomposition dans les bases d'ondelettes Daubechies (1992) ; Cohen (1992); Meyer (1993). [19]

Aujourd'hui, les ondelettes sont utilisées dans divers domaines d'application : traitement de parole et d'image, analyse biomédical, traitement des signaux vibratoires et autres.

## Chapitre III :Prédiction du degré de sévérité de pollution des isolateurs par deux techniques de traitement de signal à savoir la FFT et les ondelettes

La transformée en ondelettes est un outil mathématique qui décompose un signal en fréquences en conservant une localisation spatiale. Le signal de départ est projeté sur un ensemble de fonctions de base qui varient en fréquence et en espace. Ces fonctions de base s'adaptent aux fréquences du signal à analyser. Cette transformation permet donc d'avoir une localisation en temps et en fréquence du signal analysé.

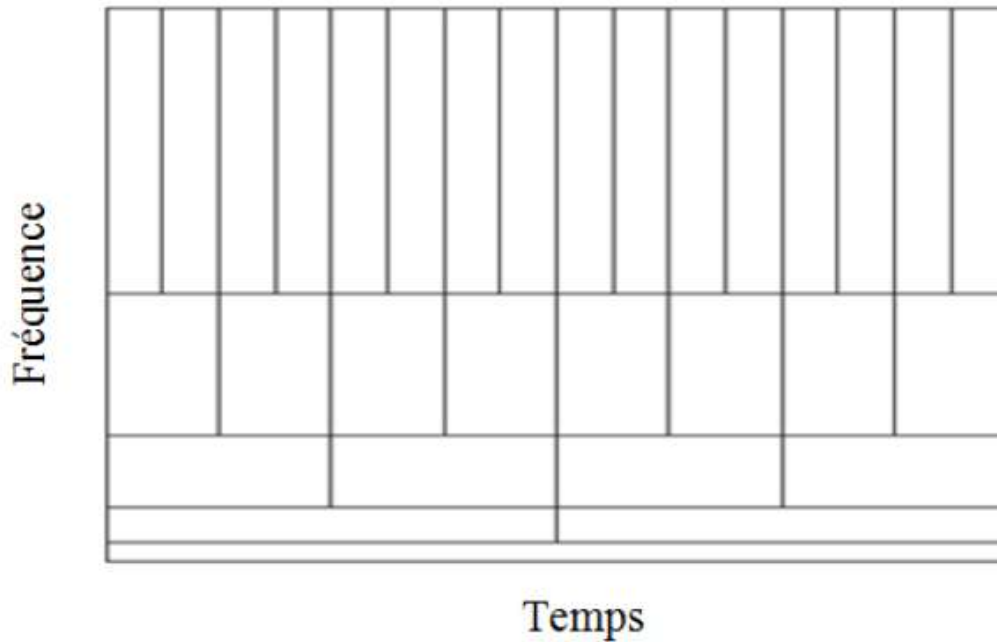


**Figure III.4 :** Représentation temporelle vers ondelettes.

### III.7.2. Intérêt du diagnostic par la transformée en ondelettes

Pour des signaux de nature non-stationnaire, la transformée de Fourier semble inapte à fournir une représentation fréquentielle locale satisfaisante à cause du compromis temps-fréquence (Figure III.5) imposé par le principe d'incertitude de Heisenberg. L'analyse par la technique des ondelettes fournit de meilleurs résultats pour le traitement local qui a pour objectif de détecter les points de discontinuités ou les zones déformées du signal, qui sont souvent de hautes fréquences.

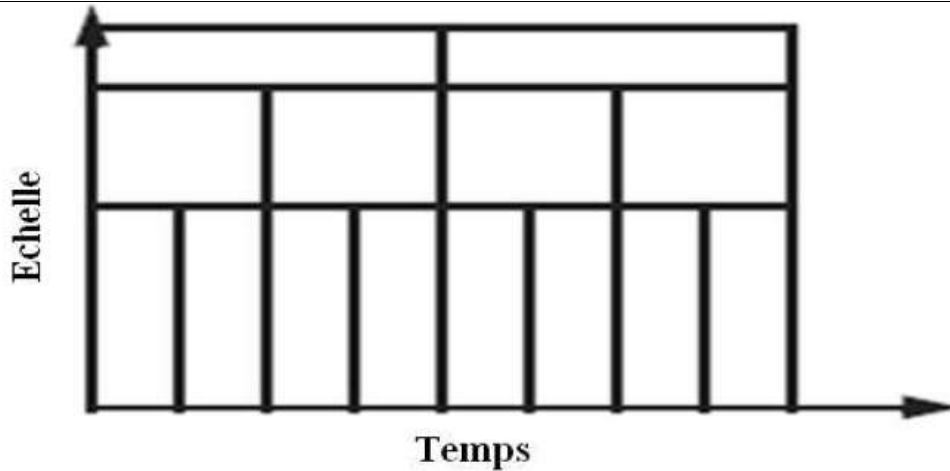
### Chapitre III :Prédiction du degré de sévérité de pollution des isolateurs par deux techniques de traitement de signal à savoir la FFT et les ondelettes



**Figure III.5:** Représentation de la multi-résolution temps-fréquence pour la Transformée de Fourier Rapide

On constate d'après la représentation temps-fréquence (Figure III.5) que les composantes de faibles fréquences (en bas) ont une longue évolution temporelle alors que celles de hautes fréquences apparaissent pendant un très court instant ; cela signifie que la résolution fréquentielle d'un signal de grande durée est meilleure pour les faibles fréquences. Par contre, si la durée du signal est relativement courte, la résolution fréquentielle sera affectée, ce qui constitue un compromis temps-fréquence.

Le traitement du signal par la technique d'ondelettes permet d'élargir les intervalles de temps lorsque l'on recherche plus de précision sur les composantes de basses fréquences. Il permet également de rétrécir les zones pour l'extraction d'informations sur les hautes fréquences. Cela démontre la capacité des ondelettes à garder une bonne résolution temporelle et fréquentielle. L'analyse par la méthode des ondelettes nous permet aussi de partitionner l'énergie du signal en différentes bandes de fréquences pour séparer toutes ses composantes



**Figure III.6:** Représentation de la multi-résolution temps-échelle pour l'analyse par les ondelettes.

### III.8. Transformée en ondelette continue

#### III.8.1.Définition

En principe la transformée en ondelettes continue fonctionne en utilisant directement la définition de la transformée en ondelettes, c'est-à-dire en calculant la convolution du signal par l'ondelette mise à l'échelle. Nous obtenons de cette manière pour chaque échelle un ensemble de longueur N identique à celle du signal .En utilisant M échelles choisies arbitrairement nous obtenons une matrice N×M représentant directement le plan temps-fréquence. La représentation d'un signal continu x(t) par une base d'ondelettes est donnée par:

$$X(t) = \sum w(a, b). \Psi_{a,b}(t) \tag{III.2}$$

Ou W (a, b) est la pondération (l poids) de la contribution de l'ondelette  $\Psi_{a,b}$  l'ondemère par

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}}\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \tag{III.3}$$

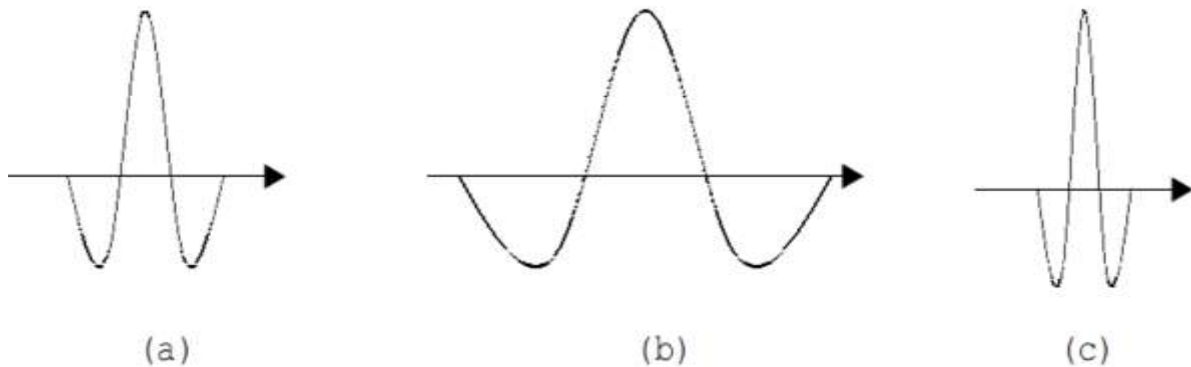
$\Psi$  Représente l'ondelette mère et les paramètres a et b désignent respectivement l'échelle et la translation de l'ondelette. La pondération de chaque ondelette est décrite par :

## Chapitre III :Prédiction du degré de sévérité de pollution des isolateurs par deux techniques de traitement de signal à savoir la FFT et les ondelettes

$$W(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(t) \cdot \Psi_{a,b}^*(t) dt \quad (\text{III.4})$$

### III.8.2. Illustration du changement d'échelle et de la translation

Le changement d'échelle sert à compresser ou dilater l'ondemètre, ce qui mène à analyser les hautes fréquences ou les basses respectivement contenues dans un signal.



**Figure III.7:** Illustration de la variation du facteur d'échelle. (a) L'onde mère ; (b) L'ondelette pour  $0 < a < 1$  ; (c) L'ondelette pour  $a > 1$ .

Le facteur d'échelle est lié à la fenêtre analysante de l'ondelette. Une longue fenêtre veut dire une vue globale tandis qu'une courte veut dire une vue de détails.

La translation est l'opération de glissement de l'ondelette tout au long du signal. C'est la technique similaire à celle de TFCT de GABOR.

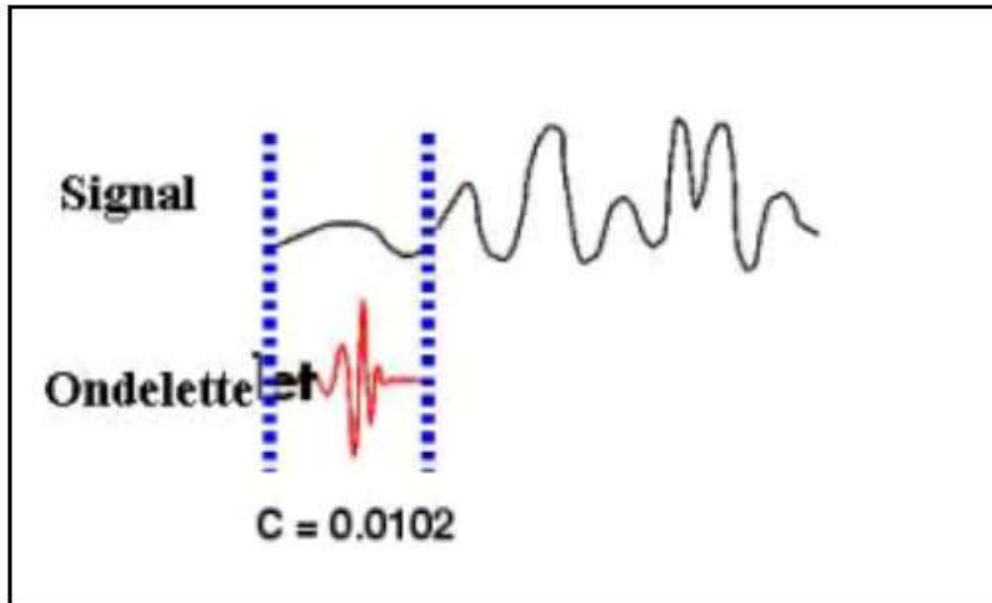
### III.8.3. Calcul des coefficients de la CWT

La procédure de calcul des coefficients s'effectue en multipliant le signal par l'ondelette analysante puis en calculant l'intégrale du produit. Ce processus est accompli en quatre étapes :

- Dès le départ, on compare l'ondelette à une portion du signal (en débutant par le premier segment du signal).
- On calcule le coefficient  $W(a,b)$  qui étudie le degré de similitude entre la portion du signal et l'ondelette analysante ; celles-ci sont similaires lorsque la valeur numérique du coefficient  $W$  est élevée. Plus précisément, lorsque l'énergie du signal et celle de

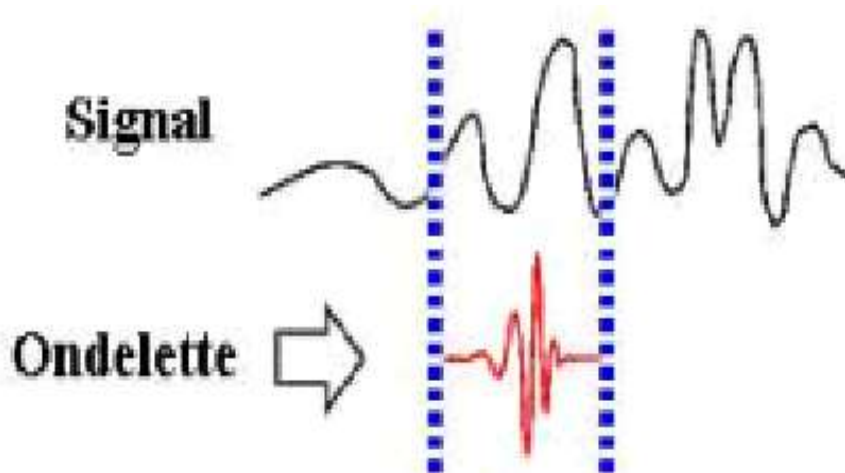
### Chapitre III :Prédiction du degré de sévérité de pollution des isolateurs par deux techniques de traitement de signal à savoir la FFT et les ondelettes

l'ondelette sont relativement proches, le coefficient  $W$  peut être interprété comme un facteur de corrélation.



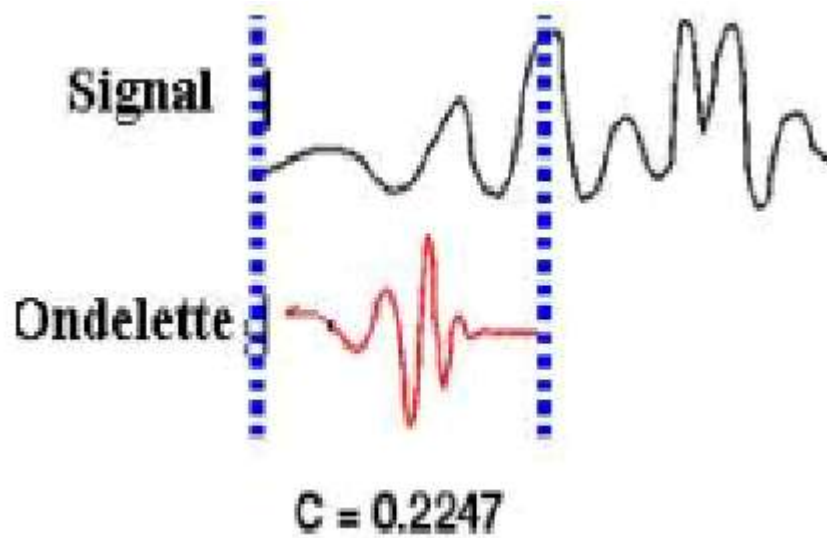
**Figure III.8:** Comparaison de l'ondelette à une portion du signal.

- On translate l'ondelette vers la droite jusqu'au balayage total du signal.



**Figure III.9:** Balayage du signal par l'ondelette.

- On passe ensuite à une échelle plus élevée qui induit une dilatation temporelle de l'ondelette analysante. Cela a pour effet d'augmenter la portion de comparaison.



**Figure III.10:** Dilatation de l'ondelette et balayage du signal.

Cette opération est répétée pour chaque échelle jusqu'au calcul des coefficients pour toutes les échelles et pour différentes portions du signal. Les coefficients constituent le résultat d'une régression effectuée sur le signal original.

### III.9. Transformée en ondelette discrète (DWT)

#### III.9.1. Définition

La transformée en ondelette discrète est basée sur la décomposition d'un signal en sous-bandes de fréquences; elle permet un gain de calcul et une facilité d'implémentation grâce à l'analyse multi-résolution.

#### III.9.2. Expression mathématique

La transformée en ondelette discrète à pour expression mathématique

$$DWT_{\Psi} f(m, k) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_n X(n) \Psi \left( \frac{k - nb_0 a_0^m}{a_0^m} \right) \quad (III.5)$$

$\Psi$  est l'ondelette mère dilatée par le paramètre  $a_0^m$  et translaturée via le paramètre  $n, b_0, a_0^m, a_0$  et  $b_0$  sont des valeurs fixées tel que  $a_0 > 1$  et  $b_0$ ;  $m$  et  $n$  sont des entiers naturels.

### III.9.3. Algorithme de décomposition pyramidale

La structure pyramidale constitue une propriété intéressante à exploiter pour la transformée en ondelette discrète qui est plus connue sous le nom de chaîne de filtre logarithmique ; celle-ci est composée d'une paire de filtres, l'un étant passe-bas et l'autre passe-haut. Lorsqu'un signal est décomposé avec la DWT, il passe obligatoirement par ces deux filtres LF et HF en subissant un algorithme de sous échantillonnage ; ceci induit une séparation des composantes de basses fréquences appelées approximations et des composantes de hautes fréquences appelées détails. L'approximation est à son tour décomposée lors de son passage par la paire de filtres LF et HF. La reconstruction du signal s'effectue grâce à l'algorithme de sur-échantillonnage nommé transformée en ondelette inverse (IDWT).

Comme montre dans la figure III.11, le résultat de la DWT est constitué de plusieurs détails et d'une approximation pour un niveau de décomposition donné.

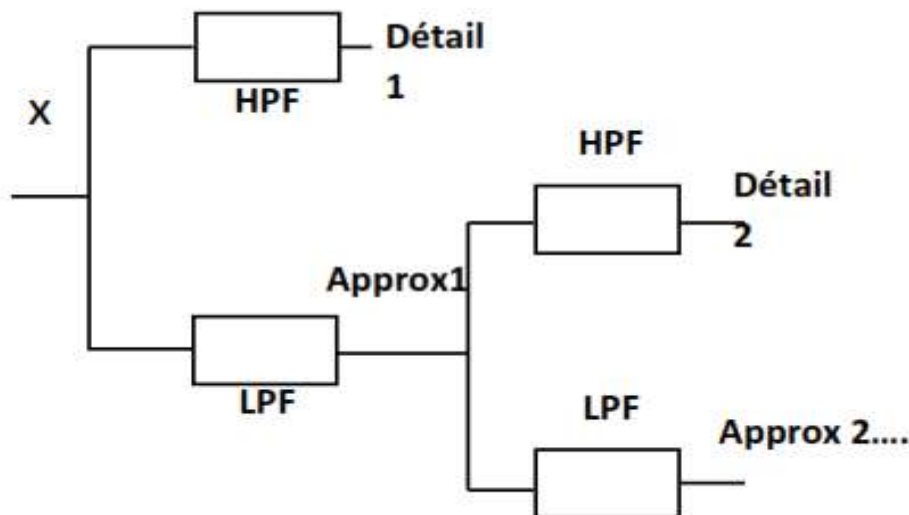


Figure III.11: principe de l'analyse multi-résolution.

### III.9.4. Choix de l'ondelette analysante

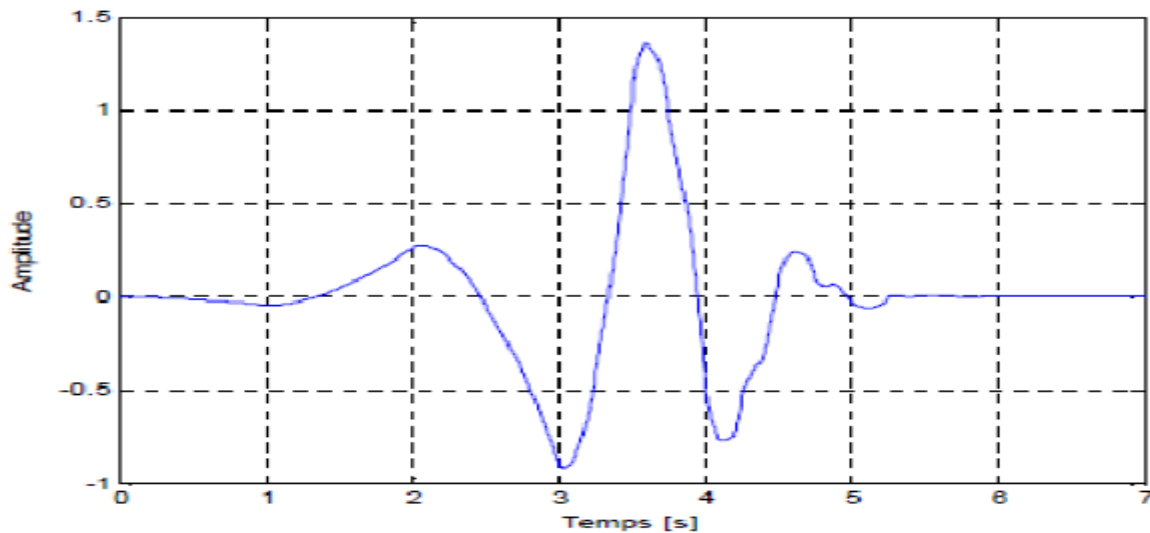
Le choix de l'ondelette analysante joue un rôle primordial pour la compréhension des phénomènes transitoires comme les impulsions dû aux décharges électriques observées sur le signal du courant de fuite pour un état de pollution d'isolateurs sous des conditions humides.

## Chapitre III :Prédiction du degré de sévérité de pollution des isolateurs par deux techniques de traitement de signal à savoir la FFT et les ondelettes

Il est cependant connu que les ondelettes Daubechies 4 'db4' et Daubechies6 'db6' sont plus appropriées pour la détection des perturbations de courtes durées alors que les ondelettes db8 et db10 sont adéquates pour l'étude des perturbations de relatives longues durées.

L'ondelette mère complexe de Daubechies 4 à comme expression mathématique :

$$\Psi(t) = e^{-\frac{t^2}{2}} \left( e^{-j\omega t} - e^{-\frac{\omega^2}{2}} \right) \quad (\text{III.6})$$



**Figure III.12:** Représentation de l'ondelette de Daubechies 4.

L'ondelette de Daubechies 4 est choisie pour appliquer la DWT sur le signal du courant de fuite qui affiche des pics de hautes fréquences à partir d'un certain niveau de tension. Cette ondelette semble adéquate pour la détermination des bandes fréquentielles qui caractérisent les perturbations de hautes fréquences via l'analyse multi-résolution.

### III.10.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.

## Chapitre III :Prédiction du degré de sévérité de pollution des isolateurs par deux techniques de traitement de signal à savoir la FFT et les ondelettes

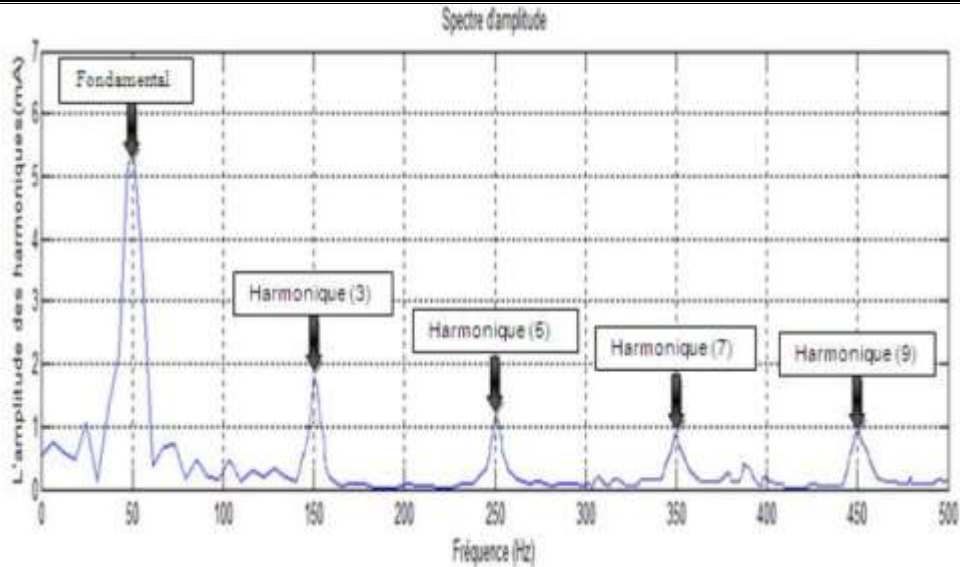
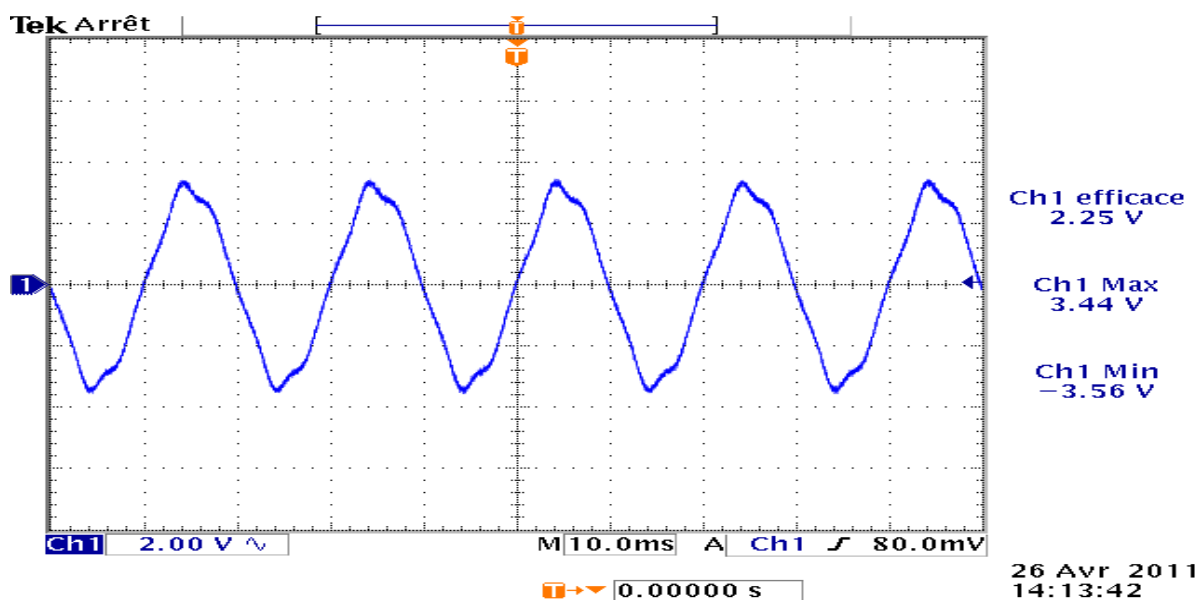


Figure III.13: Représentation du spectre d'amplitude.

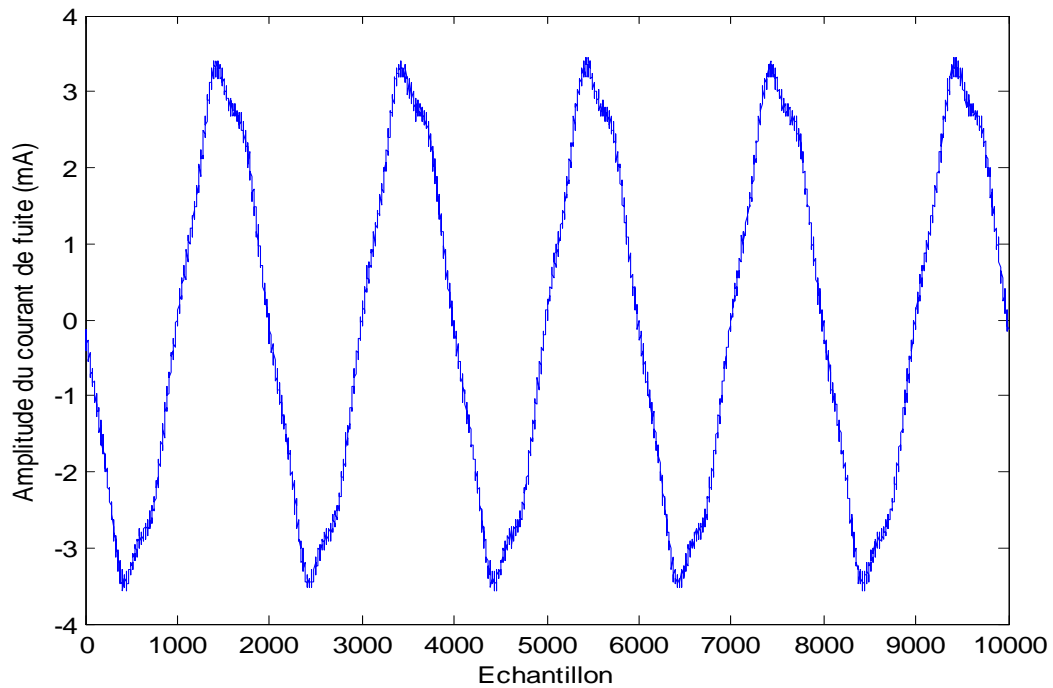
### III.10.1. Application de l'analyse spectrale aux signaux du courant de fuite

Nous nous intéressons dans cette section au degré de sévérité de pollution déposé sur une chaîne d'isolateurs haute tension. Pour cela, nous allons procéder à la décomposition du signal correspondant à chaque type de pollution en se basant sur la transformée de FOURRIER rapide. Les trois signaux du courant de fuite étudiés ont été enregistrés pour trois cas de pollution distincts à savoir un niveau de pollution faible, moyen et fort.

La figure(III.14) représente le signal correspondant à la faible pollution. Nous remarquons aussi que ce signal a pratiquement une forme sinusoïdale du fait que la surface isolante est faiblement polluée.

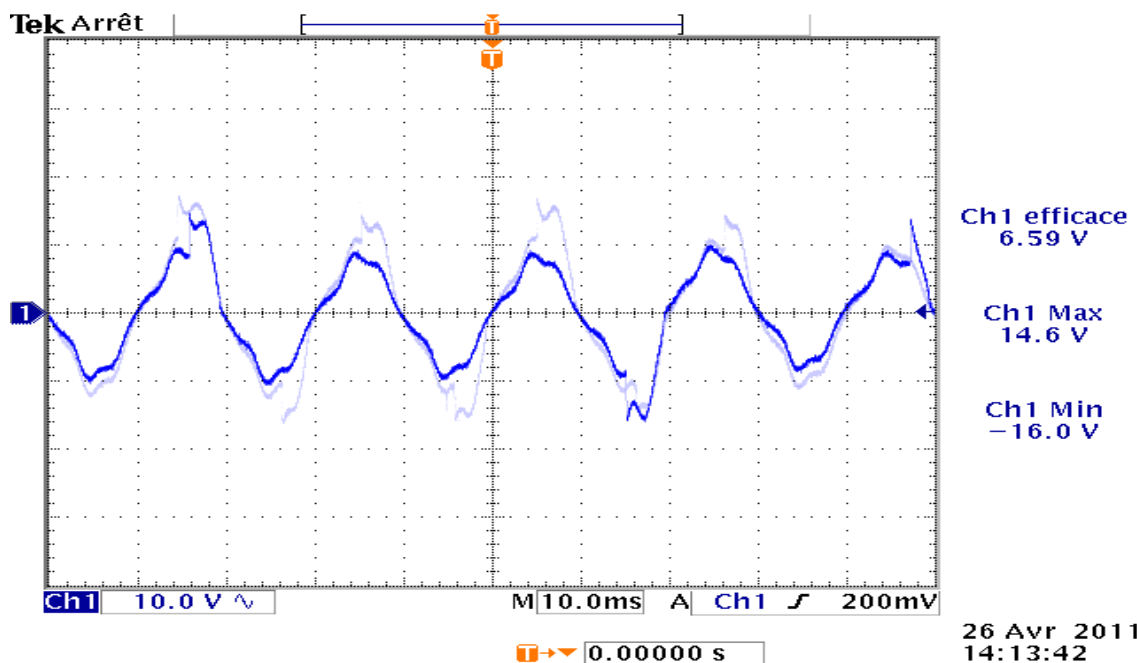


### Chapitre III :Prédiction du degré de sévérité de pollution des isolateurs par deux techniques de traitement de signal à savoir la FFT et les ondelettes



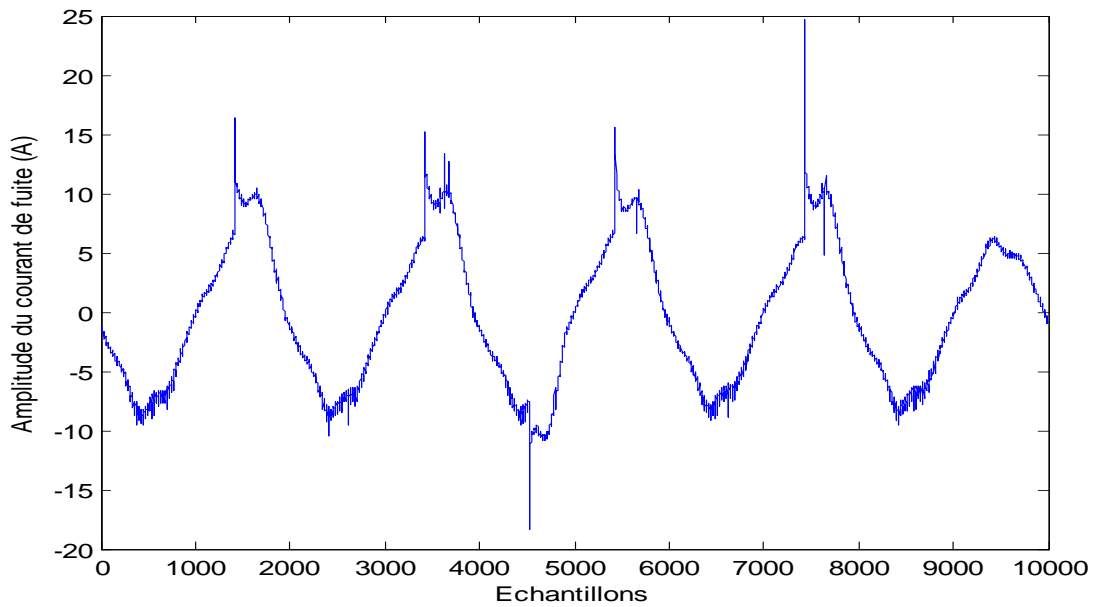
**Figure.III.14.** Evolution du signal du courant de fuite en fonction du temps à la surface d'un isolateur faiblement Pollué.

Pour le signal représentant la moyenne pollution (figure III.15) nous notons l'occurrence des distorsions sur l'onde du courant de fuite. Nous constatons aussi des points observés sur le signal précédent, des pics de différentes amplitudes. Les derniers sont visibles sur deux alternances positives ainsi négatives du signal



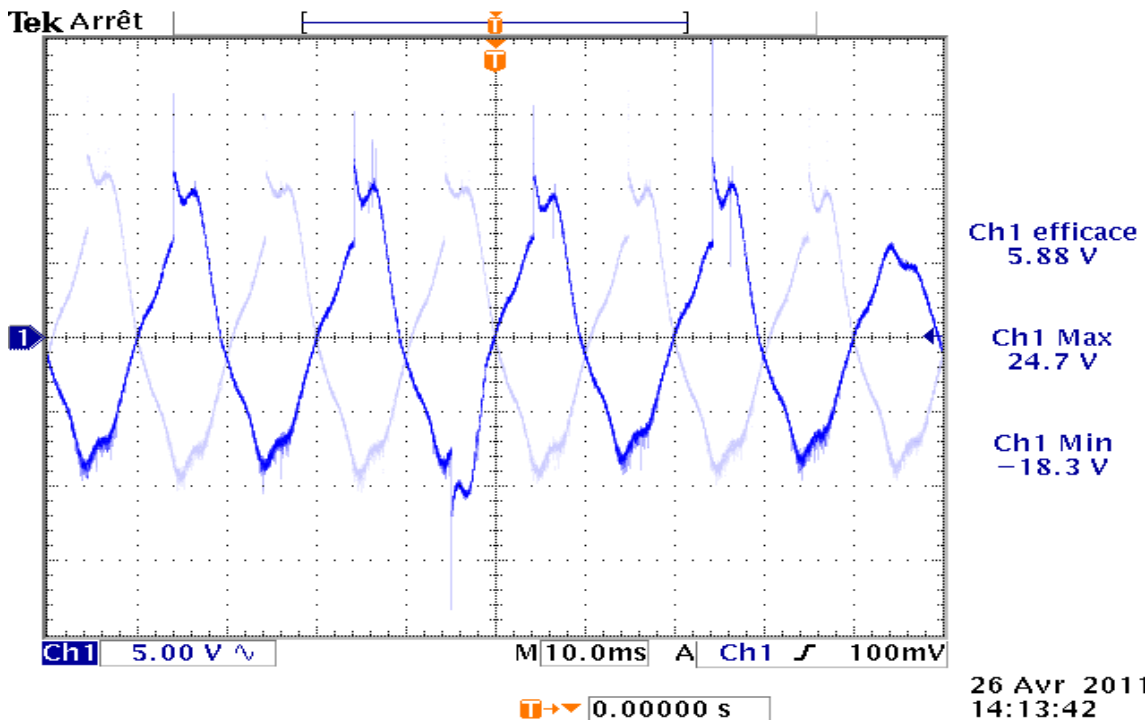
26 Avr 2011  
14:13:42

### Chapitre III :Prédiction du degré de sévérité de pollution des isolateurs par deux techniques de traitement de signal à savoir la FFT et les ondelettes

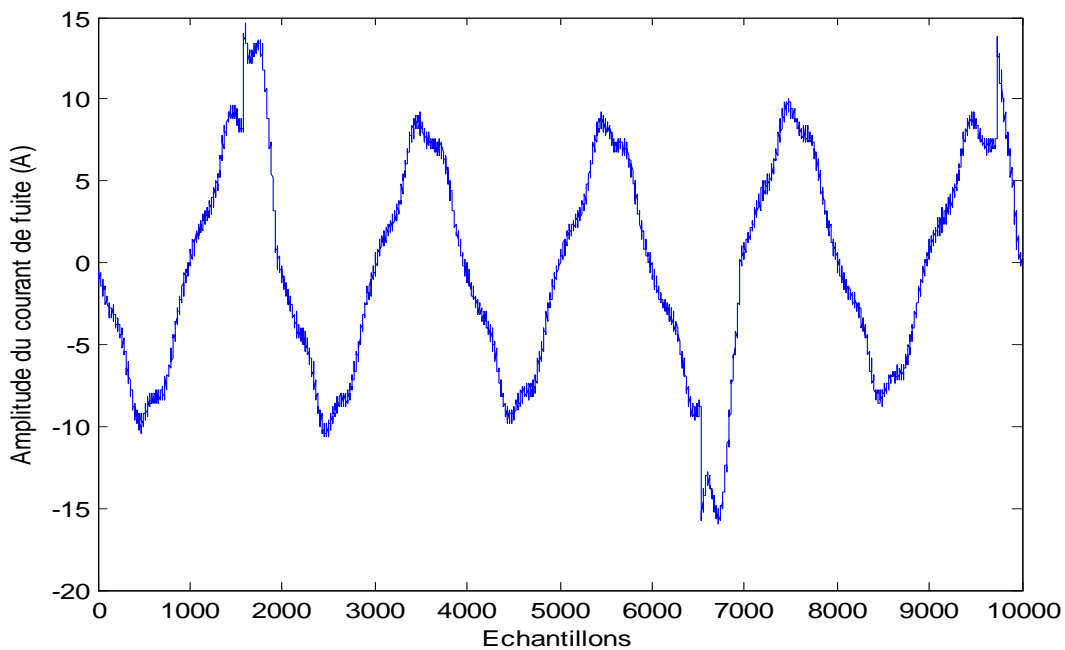


**Figure.III.15.** Evolution du signal du courant de fuite en fonction du temps à la surface d'un isolateur moyennement pollué.

La courbe représente le signal du courant de fuite correspondant à la forte pollution, le signal du courant de fuite ne possède plus sa forme sinusoïdale. On observe aussi la présence de fortes distorsions au niveau des deux alternances positive et négative du signal.



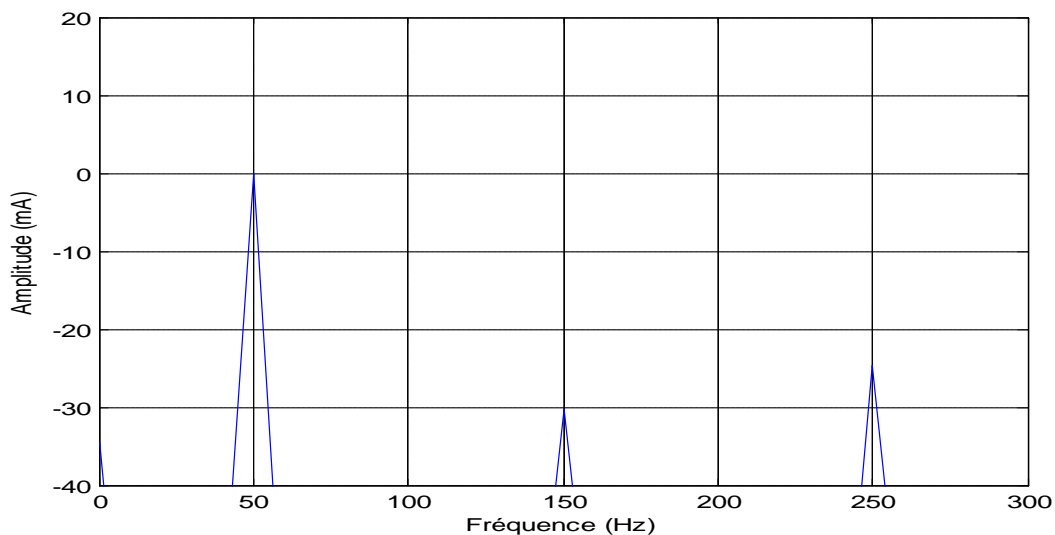
## Chapitre III :Prédiction du degré de sévérité de pollution des isolateurs par deux techniques de traitement de signal à savoir la FFT et les ondelettes



**Figure. III .16.** Evolution du signal du courant de fuite en fonction du temps à la surface d'un isolateur fortement pollué.

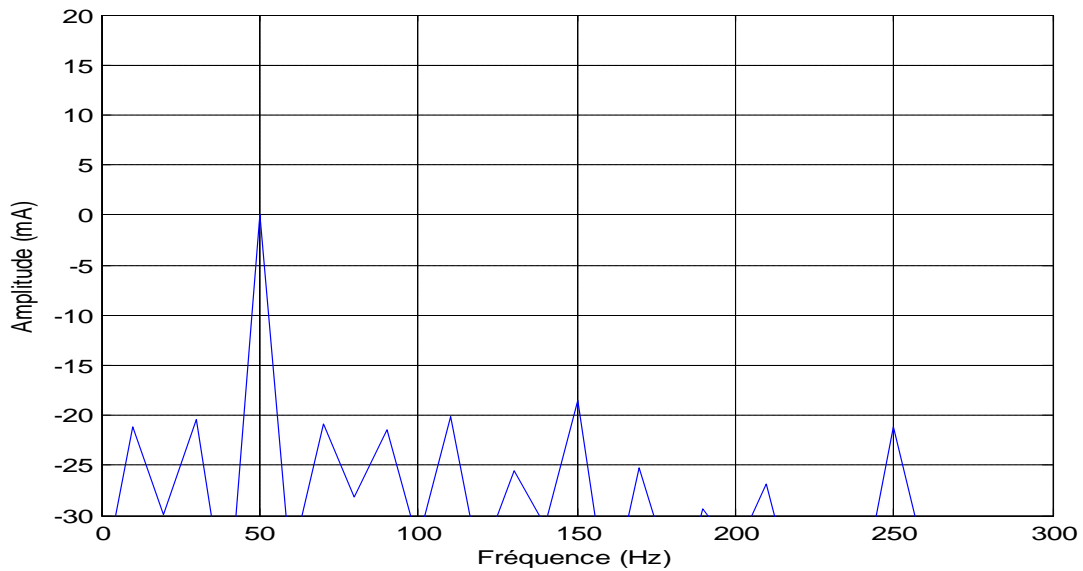
Les signaux périodique que nous utilisons, que ce soit en basse ou en haute fréquence, sont rarement purement sinusoïdaux. Ils sont en fait un mélange de signaux sinusoïdaux dont les fréquences respectives sont multiples de la fréquence fondamentale, la fréquence la plus basse. Ces fréquence multiples de la fréquence fondamentale sont appelés harmoniques.

Après décomposition par la FFT des trois signaux représentés précédemment, correspondants aux trois types de pollutions distinctes, nous avons les spectres fréquentiels montres ci-dessous.

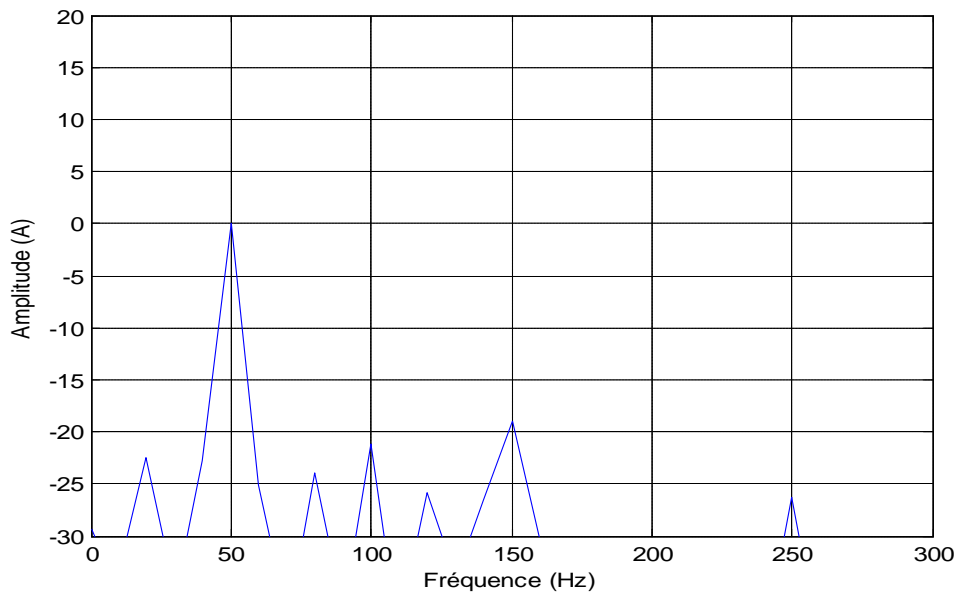


**Figure. III.17 :** Evolution du spectre fréquentiel du signal du courant de fuite correspondant à la faible pollution

### Chapitre III :Prédiction du degré de sévérité de pollution des isolateurs par deux techniques de traitement de signal à savoir la FFT et les ondelettes



**Figure.III.18:**Evolution du spectre fréquentiel du signal du courant de fuite correspondant à la moyenne pollution



**Figure. III.19 :** Evolution du spectre fréquentiel du signal du courant de fuite correspondant à la forte pollution

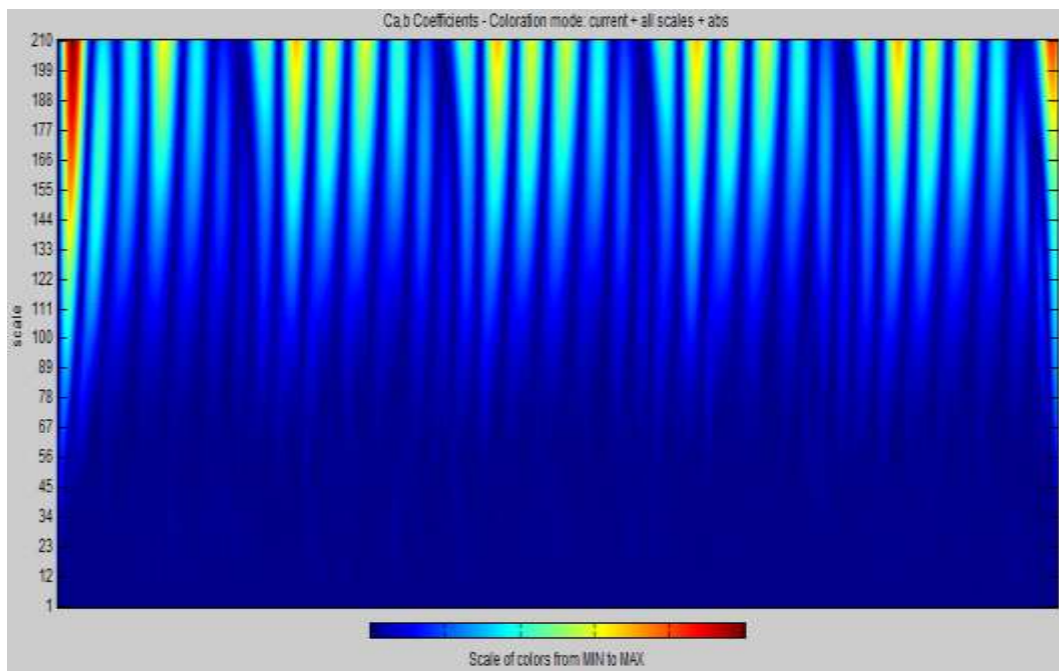
Nous observons dans un premier lieu que les spectres fréquentiels des trois cas de pollution (faible, moyenne et forte) obtenus via la décomposition en série de fourrier ont donné des résultats très satisfaisants. Cette décomposition a montré dans notre cas que l'évolution de l'amplitude de l'harmonique (3) est corrélée avec les trois cas de la pollution.

## Chapitre III :Prédiction du degré de sévérité de pollution des isolateurs par deux techniques de traitement de signal à savoir la FFT et les ondelettes

Nous constatons bel et bien que l'évolution de l'amplitude du troisième harmonique pourra servir au diagnostic de l'état de surface de l'isolateur ; c'est-à-dire que quand le troisième harmonique augmente en amplitude, le degré de pollution déposé sur la surface de l'isolateur augmente également.

### III.11. Prédiction de la sévérité de pollution par la CWT.

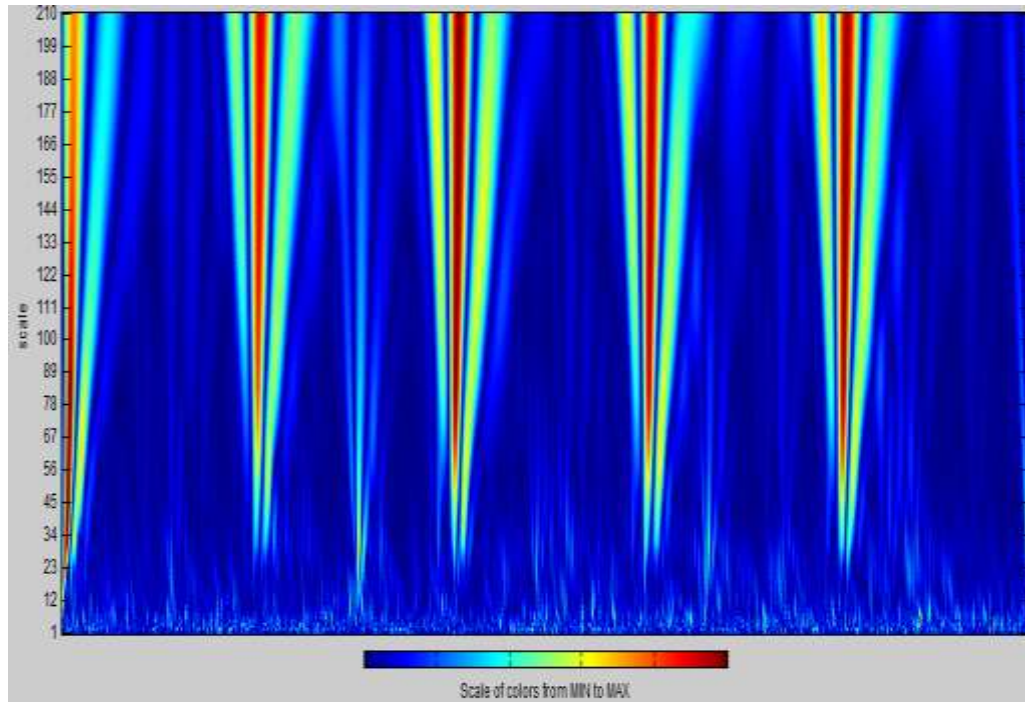
Afin de mettre en évidence l'influence de la pollution sur le comportement diélectrique de l'isolateur. Nous avons appliqué la CWT sur deux signaux du courant de fuite enregistrés pour deux types de pollutions différentes (faibles et fortes).



**Figure.III.20** : Scalogramme du signal du courant de fuite (faible pollution).

Le scalogramme correspondant à ce signal montre que les coefficients de la CWT ont leur valeur maximale (couleur rouge intense) pour de grandes échelles. Cela signifie que les perturbations comprises dans ce signal oscillent à des fréquences très faibles indiquant que l'activité des décharges électriques est pratiquement faible.

### Chapitre III :Prédiction du degré de sévérité de pollution des isolateurs par deux techniques de traitement de signal à savoir la FFT et les ondelettes



**Figure.III.21** : Scalogramme du signal du courant de fuite (forte pollution)

Le scalogramme correspondant à ce signal montre que les coefficients de la CWT atteignent les petites échelles. Cela signifie que les perturbations comprises dans ce signal oscillent à des fréquences importantes indiquant que l'activité des décharges électriques est remarquable.

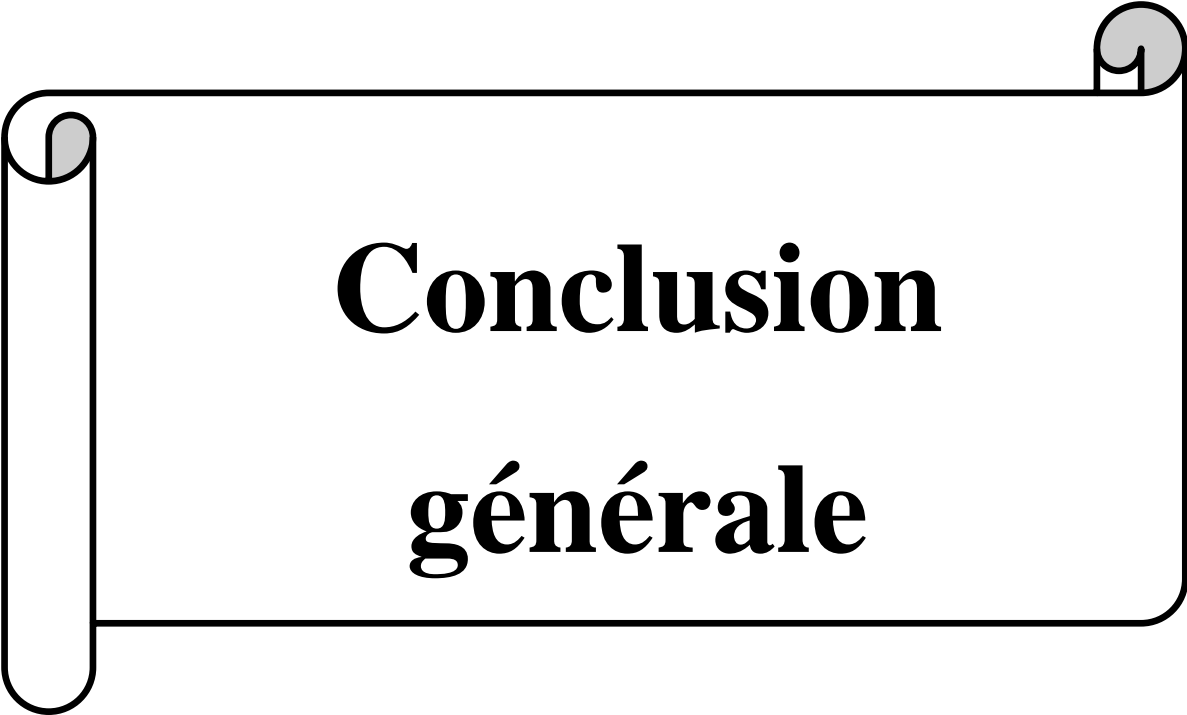
## **Chapitre III :Prédiction du degré de sévérité de pollution des isolateurs par deux techniques de traitement de signal à savoir la FFT et les ondelettes**

---

### **III.12Conclusion**

Cette étude nous a permis de conclure que l'évolution d'amplitude du troisième harmonique peut prédire les trois classes de pollutions différentes (faible, moyenne et forte). La variation de l'amplitude du troisième harmonique est fortement corrélée au degré de la pollution d'isolateur, tant que l'augmentation de l'amplitude est grande tant que la pollution augmente.

En comparant les deux scalogrammes correspondants aux deux classes de pollution, nous constatons bel et bien que cette représentation fractale peut nous renseigner quant au degré de sévérité de pollution déposée sur les surfaces isolantes.



**Conclusion  
générale**

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale :

Dans l'étude bibliographique, nous présentons les différents travaux qui ont été réalisés dans le domaine de la pollution des isolateurs (connaître le fonctionnement et la constitution d'un isolateur et leurs principaux types, ainsi que l'origine de la pollution, puis connaître les différentes techniques pour lutter contre la pollution.

Les isolateurs sont des éléments essentiels dont dépendent la sécurité d'exploitation, la qualité et la continuité de service. Les isolateurs qui sont mieux adaptés à un environnement donné sont ceux qui possèdent les meilleures propriétés d'auto-nettoyage.

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.

La présence d'une couche de pollution à la surface d'un isolateur modifie complètement le comportement d'isolateur de haute tension.

Concernant nos travaux sur les isolateurs pollués, Nous nous sommes basées sur la décomposition des courants de fuites pour prédire le degré de pollution sur les réseaux électriques. On s'est basé sur deux techniques différentes (FFT et CWT). On a constaté que l'analyse faite sur le signal du courant de fuite par la FFT montre que l'évolution d'amplitude de l'harmonique (3) est corrélée au degré de pollution d'isolateur. Par ailleurs, le scalogramme obtenu par la CWT constitue un outil très efficace pour déduire l'activité des décharges électriques sur la surface isolante ainsi pour évaluer la quantité de l'agent polluant.

Il en résulte de la partie expérimentale que le courant de fuite des isolateurs électriques est très influencé par le degré de pollution.

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.

## Bibliographie

---

## Bibliographie

- [1] **BourimHammoum, Ahmed Kerbouche**, «Etude du Phénomène de Pollution des Isolateurs de Haute Tension dans la Région Electrique du Centre Algérien», Mémoire d'Ingénieur d'Etat  
ENP, Alger, 2007.
- [2] **Satta Samia**, «contribution a l'étude de l'influence de la pollution discontinue sur le comportement des isolateurs : expérimentation et simulation », mémoire de magister, SETIF.
- [3] **Fatiha Aouabed**, « Contribution A L'étude D'un Circuit Equivalent Des Isolateurs Synthétiques Sous Pollution En Utilisant L'emtp », Mémoire De Magister, Setif.
- [4] **M. Rahali Hilal**, « Comportement d'un modèle d'isolateur sous différentes configurations de pollution sous tension alternative 50 HZ », Mémoire de Magister, ENP, Alger, 2011.
- [5] **H.SI TAYEB, K.TITOCHE**. «Influence de la pollution sur la tension decontournement des isolateurs sous tension alternative » Mémoire de fin d'études, 2016
- [6] **D. Dumora**, "Matériaux isolants céramiques en électrotechnique", Technique de l'ingénieur D275.
- [7] **M.Terkmani, M.Babouamer**, "Contournement des Isolateurs des Lignes de Haute Tension", PFE, Département de Génie Electrique, USTO, Oran, Juin 2005.
- [8] **L. Arrabiy**, " Visualisation et Traitement de Signal de Courant de Fuite sur uneSurface Isolante Polluée ", PFE, Département de Génie Electrique, ENP, Alger, 1999.
- [9] **M. Tegar, A. Boubakeur**, "Pollution des Isolateurs de Haute Tension ", Cours 4<sup>ème</sup> Année, Département de Génie Electrique, ENP, Alger.
- [10] **M.A. Douar, M.C. Bouzidi**, "Caractéristique de l'état de surface d'un isolateur pollué à l'aide des signaux du courant de fuite et de la tension appliquée", PFE, Département de Génie Electrique, ENP, Alger, Juin 2009.

## Bibliographie

---

- [11] **S. Bouazabia, T. Chikhaoui**, "Méthodes d'essais sur des isolateurs pollués dans les conditions désertiques ", PFE, Département de Génie Electrique, ENP, Alger, Juin 1988.
- [12] **M.Benakouche, R.Timghellette**, "Comportement d'un modèle d'isolateur sous tension impulsionnelle", PFE, Département de Génie Electrique, ENP, Alger, Juin 2005.
- [13] **Adelkara**, « contribution a l'étude d'un modèle dynamique de contournement d'un isolateur pollue », Mémoire De magister, Seif, 2013.
- [14] **HADDOU Amar BOUZEMBRAK Younes** « Exploitation du Signal du Courant de Fuite pour le Diagnostic de l'état du Réseau Electrique avec LabVIEW » Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master II Filière Electrotechnique Option : Réseau Electriques. Université UMMTO. Promotion : 2015 /2016.
- [15] **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.
- [16] **Sayah Moatez Béllah** «Prédiction du contournement d'une Chaîne d'isolateur MT 175 CTV-Sonelgaz Polluée Artificiellement par la Logique Floue », mémoire de master, Université Mohamed Khider Biskra, 2014.
- [17] **DILMI Abdelmalek MAAROUF Ameer** « Influence de la pollution sur le comportement d'un modèle plan d'isolateur sous haute tension » ,mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master, Université Mohamed Boudiaf Promotion :2016 /2017 .
- [18] **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 : Réseau Electriques. Université d' El Oued Promotion : 2014/2015.
- [19] **OUSAAD Rafik LEBAZ Samir** « Prédiction de la sévérité de pollution sur les isolatrices hautes tensions » Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master II Filière électrotechnique Spécialité : Machines électriques. Université UMMTO Promotion : 2017/2018.
- [20] **MOUHAMEDBOUHAMA** « Modélisation du contournement sur isolateur réel pollue ». Université DJILALI LIABES DE SIDI-ABBES. Promotion : 2018