

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI 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 : Génie Electrique

Spécialité : **Machines électriques**

*Présenté par*

**Rafik OUSAAD**

**Samir LEBAZ**

Thème

**Prédiction de la sévérité de pollution sur les isolateurs  
haute tension**

*Mémoire soutenu publiquement le 26/09/ 2018 devant le jury composé de :*

**Mr. Mourad ALLAD**

MAA, UMMTO, Président

**Mr. Belkacem MOULA**

MCB, UMMTO, Encadreur

**Mme Ouiza MANSOURI**

MAA, UMMTO, Examinatrice

**Melle Nadia KECILI**

MAA, UMMTO, Examinatrice

## Remerciements

Mes remerciements vont tout premièrement, à DIEU le tout puissant de nous avoir donné le courage, la patience et la force pour réaliser ce travail.

Nous tenons, avant tout, à exprimer nos profond gratitude à nos promoteur Monsieur B. MOULA, qui a été à l'origine de ce travail, pour sa disponibilité, pour sa confiance qu'il nous a témoigné, ainsi que ses conseils précieux et ses encouragements qui nous ont beaucoup aidé à mener à bien la réalisation de notre travail. Qu'ils trouvent ici nos profondes reconnaissances.

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

Nous remercions également nos enseignants pour leurs efforts durant toutes nos années d'étude à l'université et pour leurs soutiens durant la réalisation de ce mémoire.

## Index

---

TFCT : Transformation de Fourier a courte durée

CWT : Transformation continue en ondelette

DWT : Transformation discrète en ondelette

## **Liste des figures**

### **Chapitre I :**

Figure I.1: réseaux électriques

Figure I.2 : Organisation d'un réseau électrique

Figure I.3 : chaîne d'ancrage

Figure I.4 : chaîne en V

Figure I.5 : chaîne droite

Figure I.6 : dimensionnement des chaînes d'isolateur

Figure I.7 : Isolateurs suspendus (éléments de chaîne)

Figure I.8 : Isolateur à capot et tige

Figure I.9 : Chaîne d'isolateurs à capot et tige

Figure I.10 : profil standard

Figure I.11 : profil antibrouillard

Figure I.12 : profil plat

Figure I.13 : profil sphérique

### **Chapitre II :**

Figure II.1 : réseau électrique pollué

Figure II.2 : La ligne haute tension sous pollution marine

Figure II.3 : Isolateur pollué par le sable

Figure II.4 : Lignes haute tension soumises à la pollution industrielle

Figure II.5 : disposition verticale des chaînes d'isolateur

Figure II.6 : disposition inclinée des chaînes d'isolateur

Figure II.7 : disposition horizontale des chaînes d'isolateur

Figure II.8 : entretien des chaînes d'isolateurs (lavage)

Figure II.9 : Nettoyage des isolateurs de ligne haute tension

Figure II.10 : travaux d'entretien sur la ligne de haute tension

### **Chapitre III :**

Figure III.1 : Dispositif de mesure

Figure III.2 : Profil de l'isolateur réel

Figure III.3: Représentation de la multi-résolution temps-fréquence pour la transformée de Fourier Rapide

Figure III.4: Représentation de la multi-résolution temps-échelle pour l'analyse par les ondelettes

Figure III.5: Illustration de la variation du facteur d'échelle. (a) L'onde mère ; (b) L'ondelette pour  $0 < a < 1$  ; (c) L'ondelette pour  $a > 1$ .

Figure III.6: Comparaison de l'ondelette à une portion du signal.

Figure III.7: Balayage du signal par l'ondelette.

Figure III.8: Dilatation de l'ondelette et balayage du signal.

Figure III.9: principe de l'analyse multi-résolution.

Figure III.10: Représentation de l'ondelette de Daubechies 4

Figure III.11: Evolution du signal du courant de fuite en fonction du temps à la surface d'une chaîne isolateur faiblement pollué. La courbe représente le signal correspondant à la faible pollution.

Figure III.12: Evolution du signal du courant de fuite en fonction du temps à la surface d'une chaîne isolateur moyennement pollué. La courbe représente le signal correspondant à la faible pollution.

Figure III.13: Evolution du signal du courant de fuite en fonction du temps à la surface d'une chaîne isolateur fortement pollué. La courbe représente le signal correspondant à la faible pollution.

Figure III.14: Représentation fréquentielles des nœuds du niveau 3 obtenus par la décomposition en paquet d'ondelettes des trois signaux du courant de fuite : (A) 0 g/l de kaolin, (B) 10 g/l de kaolin, (C) 40 g/l de kaolin.



# Sommaire

---

Introduction générale .....	1
<b>Chapitre I: Généralités sur les réseaux électriques et les chaînes d'isolateurs.</b>	
I.1. introduction .....	2
I.2. Les réseaux électriques.....	2
I.2.1. Définition .....	2
I.2.2. Catégories des réseaux électriques .....	3
I.2.2.1. Réseau de transport et d'inter connexion .....	3
I.2.2.2. Réseau de répartition .....	3
I.2.2.3. Réseau de distribution.....	4
I.3. Organisation d'un réseau électrique .....	4
I.4. Type de ligne .....	4
I.4.1. Ligne de distribution BT.....	5
I.4.2. Ligne de distribution MT.....	5
I.4.3. Ligne de transport HT.....	5
I.4.4. Ligne de transport T HT.....	5
I.5. Les chaînes d'isolateurs.....	5
I.6. Elément de chaînes.....	6
I.7. Utilités des chaînes d'isolateurs .....	6
I.7.1. Les isolateurs rigides .....	7
I.7.2. Les isolateurs suspendus .....	7
I.8. Emplacement.....	7
I.8.1. Chaînes d'encrage .....	7
I.8.2. Chaînes en V.....	7
I.8.3. Chaînes droite .....	8
I.9. dimensionnement.....	8
I.10. les caractéristiques des isolateurs.....	9

## Sommaire

---

I.11. Quelques définitions concernant les isolateurs .....	10
I.11.1. Contournement .....	10
I.11.2. Ligne de contournement .....	10
I.11.3. Tension de contournement .....	10
I.11.4. Tension de tenue .....	10
I.11.5. Ligne de fuite .....	10
I.11.6. Courant de fuite .....	10
I.12. Différent type d'isolateur .....	10
I.12.1. Isolateurs de supports .....	11
I.12.2. Isolateurs de traversées .....	11
I.12.3. Isolateurs des lignes aeriennes.....	11
I.12.4. Isolateurs rigides.....	11
I.12.5. Isolateurs suspendus (élément de chaînes).....	12
I.12.6. Isolateurs a capot et tige .....	12
I.13. différent profil .....	13
I.13.1. Profil standard .....	13
I.13.2. Profil antibrouillard .....	13
I.13.3. Profil plat.....	14
I.13.4. Profil sphérique .....	14
I.14. Le choix d'isolateur .....	15
I.15. Défauts électriques .....	15
I.16. Conclusion .....	16
<b>Chapitre II : Pollution des chaînes d'isolateur</b>	
II.1.Introduction :.....	17
II. 2.Origine de pollution.....	17
II.3.Différents types de pollution .....	17
II3.1. Pollution naturelle.....	17
II.3.2. Pollution marine .....	18

## Sommaire

---

II.3.3. Pollution désertique.....	18
II.3.4. Pollution industrielle.....	19
II.3.5. Pollution mixte.....	20
II.4. Influence des facteurs climatiques sur les isolateurs.....	20
II.4.1. Le Vent.....	20
II.4.2. La Pluie.....	20
II.4.3. L'Humidité.....	20
II.5. Répartitions de la pollution sur les chaînes d'isolateur.....	20
II.5.1. Non uniformité longitudinale non périodique .....	22
II.5.2. Non uniformité par secteurs .....	22
II.5.3. Non uniformité longitudinale périodique .....	22
II.6. Les classes de pollution.....	23
II.7. Conséquences de la pollution.....	24
II.7.1. Arc non localisé.....	24
II.7.2. Arc fixe.....	24
II.7.3. Court-circuit.....	25
II.8. Effets de la pollution sur les équipements.....	25
II.8.1. Effets de la pollution sur les équipements électriques.....	25
II.8.2. Corrosion des isolateurs .....	25
II.8.2.1. Mécanisme de la corrosion des ferrures des isolateurs.....	25
II.8.2.2. Phénomènes liés à la corrosion des pièces métalliques.....	26
II.8.2.3. Altération de la surface des isolateurs.....	26
II.9. Maintenance des chaînes des isolateurs.....	27
II.9.1. Le lavage.....	27
II.9.2. Le graissage.....	28
II.10. Lutte contre la pollution.....	29
II.10.1. Allongement de la ligne de fuite.....	29
II.10.2. Isolateurs plats.....	29
II.10.3. Les isolateurs composites.....	29
II.10.4. Revêtement silicone.....	29
II.11. Conclusion .....	30

## Sommaire

---

<b>Chapitre III : Prédiction de la sévérité de la pollution des isolateurs réels par la technique des ondelettes</b>	
III.1.Introduction .....	31
III.2.Enregistrement du signal du courant de fuite.....	31
III.3.Isolateurs testés: .....	32
III.4.1.Préparation des chaines d'isolateurs.....	33
III.4.2.Préparation des solutions polluantes.....	33
III.4.3.Méthode d'application de la pollution.....	33
III.5.Circuits de mesure.....	33
III.5.1.Mesure de la tension de contournement .....	33
III.5.2.Mesure du courant de fuite .....	33
III.6.Transformée en ondelettes.....	34
III.6.1.Introduction .....	34
III.6.2.Intérêt du diagnostic par la transformée en ondelettes .....	34
III.7.Transformée en ondelette continue.....	35
III.7.1.Définition.....	35
III.7.2.Illustration du changement d'échelle et de la translation .....	36
III.7.3.Calcul des coefficients de la CWT .....	36
III.8.Transformée en ondelette discrète (DWT).....	38
III.8.1.Définition.....	38
III.8.2.Expression mathématique.....	38
III.8.3.Algorithme de décomposition pyramidale .....	38
III.8.4.Choix de l'ondelette analysante.....	39
III.9. Prédiction de la sévérité de pollution par la décomposition en paquet d'ondelettes....	39
III.10.Décomposition du signal du courant de fuite en paquet d'ondelettes.....	43
III.11.Conclusion.....	45
Conclusion générale.....	46

## Introduction générale

---

La production, le transport et la distribution de l'énergie électrique forment la base de l'économie d'un état industriel moderne. Avec la progression de l'industrialisation, naissent des exigences de plus en plus élevées concernant la mise à la disposition de cette énergie.

Pour des raisons économiques, le transport et la distribution de l'énergie électrique s'effectuent généralement par les lignes aériennes en haute tension (HT). Leur fiabilité dépend donc considérablement du comportement mécanique, électrique et diélectrique des différents composants de ces réseaux électriques.

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

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.

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 :

Le premier chapitre sera consacré à des rappels concernant les isolateurs et leurs constitution ainsi que les différents types d'isolateurs existants sur les réseaux électriques.

Le second chapitre sera réservé à l'analyse des phénomènes de pollution et les différentes méthodes d'essais d'isolateurs sous pollution naturelle et artificielle.

Le troisième chapitre est consacré à étudier l'influence de la sévérité de la couche de pollution sur le comportement des chaînes d'isolateurs, et pour cela trois bases de données correspondantes aux trois classes de pollution différentes ont été étudiées à savoir faible, moyen et forte.

Nous avons procédé également dans ce chapitre à la prédiction du degré de sévérité de pollution déposé sur la chaîne d'isolateurs en utilisant une technique de traitement de signal appelée ondelette.

### I.1. Introduction :

Afin de minimiser les pertes d'énergie et de répondre aux demandes électro-énergétiques de plus en plus importantes, entre les points de production et les utilisateurs, l'énergie électrique est transportée principalement par des lignes aériennes en hautes tension . Ces lignes peuvent parcourir des centaines de kilomètre et donc traverser des régions très différentes par leur nature, leur climat, leur industrialisation ... etc.

De ce fait, les éléments constituant les systèmes de transport d'énergie électrique sont exposés aux diverses contraintes. Parmi celles-ci, la pollution des isolateurs constitue l'un des facteurs de première importance dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie. Dans les réseaux de transport d'énergie électrique, l'isolement pylône-conducteur qui représente les deux parties conductrices, est assuré par une chaîne d'isolateurs.

Chaque chaîne est caractérisée principalement par sa longueur de fuite (nombre d'éléments). Dans les lignes de haute tension, le dimensionnement des isolateurs est déterminé par la surtension de manœuvres. Dans ce cas, la tenue à la tension nominale à 50 Hz des isolateurs propres et secs est excellente. Cependant, en l'absence de surtension de foudre ou de manœuvres, de nombreux défauts sont enregistrés sur les lignes aériennes (contournement électrique, défaillance d'isolateurs, ...), particulièrement par temps humide (rosée, brouillard, pluie fine, ... etc).

### I.2. Les réseaux électriques :

#### I.2.1. Définition :

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité. Il est constitué de lignes électriques exploitées à différent niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques. Les postes électriques permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs .Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production, transport, consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble. Pour réaliser la liaison entre les centrales de production d'électricité et les centres de consommation, il est nécessaire de réaliser des lignes aériennes et des canalisations souterraines. Les compagnies d'électricité divisent leurs réseaux en trois grandes catégories [1]

- Réseau de transport et d'interconnexion.
- Réseau de répartition.
- Réseau de distribution.

### I.2.2. Catégories des réseaux électriques :

#### I.2.2.1. Réseau de transport et d'interconnexion :

Ce réseau est constitué de lignes à très haute tension 400 kV et a une double mission :

- Collecter l'énergie fournie par les centrales afin de l'acheminer vers les zones de consommation (fonction transport)
- Assurer les échanges d'énergie entre différentes régions et même avec les pays voisins (fonction interconnexion). La préparation des programmes, la surveillance du transport d'énergie, les ordres de réglage aux centrales et généralement la conduite du réseau sont confiés à un service des mouvements d'énergie plus souvent désigné sous le nom de dispatching national. L'interconnexion des réseaux présente principalement trois avantages : [1]
  - ✓ La stabilité
  - ✓ La continuité de service
  - ✓ L'économie



**Figure I.1: réseaux électriques**

#### I.2.2.2. Réseau de répartition :

Ce réseau qui comporte des lignes à hautes tension (ligne HT entre 30kV à 60kV) joue le rôle d'intermédiaire entre le réseau de transport et le réseau de distribution. Il doit être en mesure de transiter plusieurs dizaines de (MW) sur quelques dizaines de kilomètres. Ce

réseau doit être particulièrement fiable ; aussi ses mailles sont beaucoup plus serrées que celles du réseau du transit. [1]

### I.2.2.3. Réseau de distribution :

Il comprend les lignes et les postes de transformation servant à alimenter les clients. Ce réseau est composé de deux parties :

- Les lignes moyennes tensions alimentées par des postes HT/MT fournissent de l'énergie électrique, soit directement aux consommateurs importants, soit aux différents postes MT/BT.
- Des lignes basses tensions qui alimentent les usagers, soit en monophasé 220 V, soit en triphasé 380 V.

### I.3. Organisation d'un réseau électrique :

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité. Il est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques.

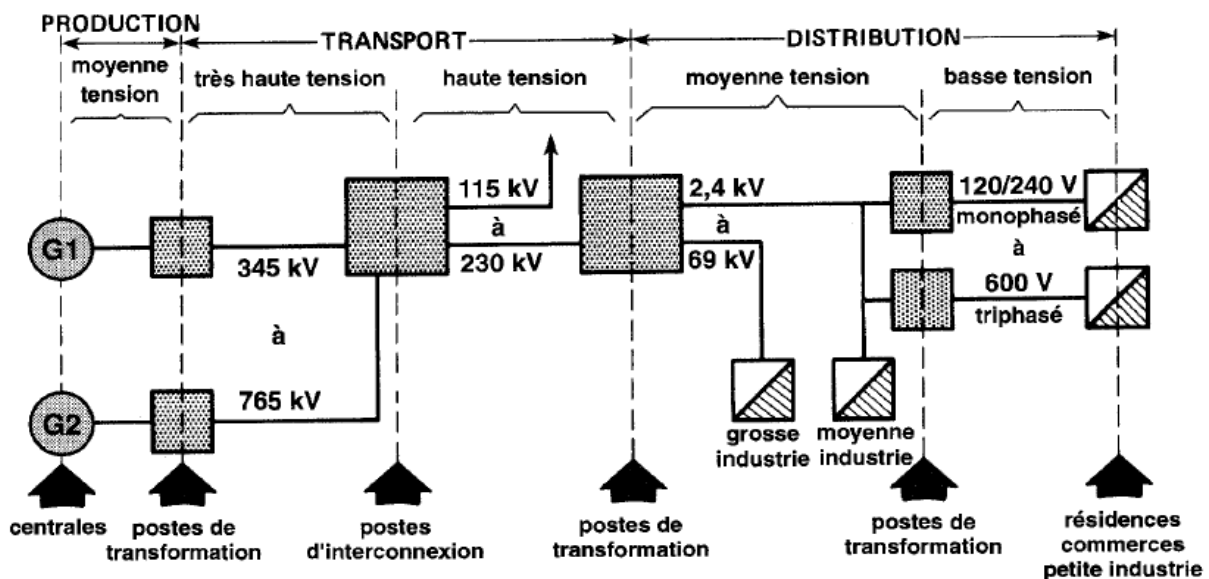


Figure I.2 : Organisation d'un réseau électrique [2]

### I.4. Types de lignes :

Le genre de ligne utilisée est imposé par les facteurs suivants :

- ✓ puissance active à transporter
- ✓ distance de transport
- ✓ coût
- ✓ esthétique, encombrement et facilité d'installation

Nous distinguons quatre types de lignes :

- lignes de distribution à basse tension (BT) ;
- lignes de distribution à moyenne tension (MT) ;
- lignes de transport à haute tension (HT) ;
- Lignes de transport à très haute tension (THT).

### **I.4.1 Lignes de distribution BT:**

Ce sont les lignes et la filerie installées à l'intérieur des édifices, usines et maisons pour alimenter les moteurs, cuisinières, lampes, etc. Le tableau électrique d'entrée constitue la source, et les lignes sont habituellement des câbles ou des barres omnibus fonctionnant à des tensions inférieures à 600 V.

Dans certaines régions métropolitaines, on utilise un réseau maillé comprenant une grille de câbles souterrains fonctionnant à 600 V ou moins. Ce réseau maillé assure un service impeccable, car le bris d'un ou même

de plusieurs câbles n'interrompt pas la distribution de courant aux clients. Cependant, aujourd'hui, on préfère employer un réseau de distribution radial à moyenne tension dans les grandes villes. [3]

### **I.4.2. Lignes de distribution MT :**

ce sont des lignes qui relient les clients aux postes de transformation principaux de la compagnie d'électricité. Leur tension est comprise entre 2,4 kV et 69 kV. [3]

### **I.4.3. Lignes de transport HT:**

Ce sont les lignes reliant les postes de transformation principaux aux centrales de génération. Elles sont constituées de fils aériens ou de câbles souterrains fonctionnant à des tensions généralement inférieures à 230 kV. Dans cette catégorie, on trouve aussi les lignes servant à échanger de l'énergie entre deux grands réseaux et à augmenter la stabilité de l'ensemble. [3]

### **I.4.4. Lignes de transport THT :**

Ce sont les lignes qui relient les centrales hydrauliques éloignées aux centres d'utilisation. On les place dans une catégorie distincte à cause de leurs propriétés spéciales. Ces lignes peuvent atteindre des longueurs de 1000 km et elles fonctionnent à des tensions allant jusqu'à 765 kV. Les lignes à courant continu à haute tension sont également incluses dans ce groupe. [3]

## **I.5. 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 généralisé 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'intérieure 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 xx<sup>e</sup> 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 cher et présentent une excellente hydrophobicité. Ils sont surtout pris pour les zones fortement pollués et dans les zones urbaines où ils résistent mieux au vandalisme. [4]

### **I.6. 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.7. Utilité des chaînes d'isolateurs :**

Un isolateur est un composant électrotechnique destiné à fixer, maintenir ou soutenir les conducteurs électriques nus. On trouve des isolateurs en particulier sur les lignes à haute tension, mais aussi sur les lignes télégraphiques ou dans les postes électriques. Ils assurent l'isolation entre les conducteurs et les pylônes. Les isolateurs ont deux fonctions principales :

- Ils empêchent le courant électrique qui circule dans les câbles électriques HT et THT, de passer dans les pylônes.
- Ils accrochent le câble au pylône. Pour cela, ils doivent pouvoir résister aux mouvements des câbles, qui subissent les effets du vent, de la neige ou du givre. Les isolateurs sont classés en deux catégories qui sont :

### I.7.1. Les isolateurs rigides :

Qui sont constitués d'assiettes colées, ils peuvent être utilisés en position verticale, horizontale ou oblique.

### I.7.2. Les isolateurs suspendus :

Où les chaînes d'isolateurs sont constituées d'assiettes emboîtées. Ils offrent l'avantage d'établir une liaison souple entre les conducteurs et leurs supports, permettant de mieux répartir les efforts entre les portées.

- ❖ **Remarque :** Il ne faut pas confondre isolant et isolateur : le premier désigne la propriété d'un matériau qui consiste à ne pas conduire l'électricité, le second désigne le composant réalisé à partir d'un matériau isolant.

## I.8. Emplacement :

Les modes de pose des isolateurs sur le réseau dépendent des formats des pylônes.

### I.8.1. Chaîne d'ancrage :

Les chaînes d'ancrage sont utilisées dans le cas de pylône d'ancrage. Ce type de chaîne se distingue par sa position quasi horizontale.



Figure I.3 : chaîne d'ancrage

### I.8.2. Chaîne en V :

Les chaînes d'isolateurs en V sont utilisées pour les pylônes de suspension lorsque que l'on souhaite limiter le balancement latéral des conducteurs.



**Figure I.4 : chaîne en V**

### **I.8.3. Chaîne droite :**

Les chaînes de suspension droite sont la solution de base pour les pylônes de suspension. Ce type d'isolation est le plus fréquemment utilisé.



**Figure I.5 : chaîne droite**

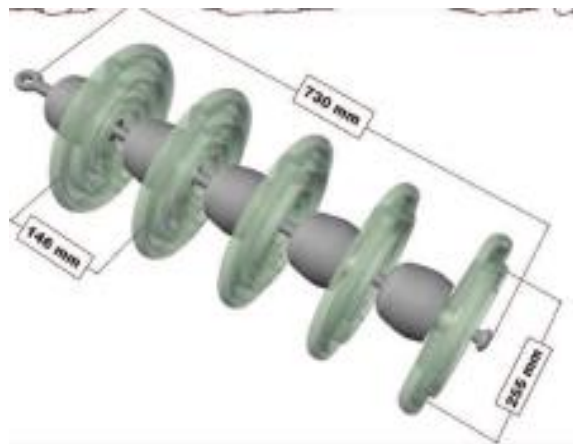
### **I.9. Dimensionnement :**

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 : [3]

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.6 : dimensionnement des chaînes d'isolateur**

### **I.10. Les caractéristiques des isolateurs :**

Parmi les valeurs spécifiées dans les normes d'essais d'isolateurs, nous pouvons citer :

- Le pas  $P$  : C'est la distance séparant deux parties homologues de deux isolateurs consécutifs dans une chaîne. La détermination de ce paramètre nous permet donc de connaître la longueur d'une chaîne ayant un nombre donné d'isolateurs.
- La ligne de fuite  $L_f$  : C'est la plus courte distance, suivant les contours de la surface extérieure des parties isolantes, mesurée entre les parties métalliques.
- La ligne de contournement  $L_c$  : C'est la distance la plus courte dans l'air entre deux parties conductrices. [5]

### **I.11. Quelques définitions concernant les isolateurs :**

#### **I.11.1. Contournement :**

C'est une décharge disruptive accompagnée d'étincelles se déplaçant sur l'interface d'un isolateur d'une électrode vers une autre

#### **I.11.2. Ligne de contournement :**

La ligne de contournement ( $L_c$ ) est la distance la plus courte dans un gaz entre deux parties conductrices.

### **I.11.3. Tension de contournement :**

La tension de contournement est le niveau de tension le plus bas à partir duquel tous les arcs joignent les deux électrodes. La tension de contournement dépend :

- de la résistivité volumique moyenne de la pollution.
- de la répartition de la couche de pollution.
- de la longueur de l'isolateur.
- du profil de l'isolateur.

### **I.11.4. Tension de tenue :**

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

### **I.11.5. Ligne de fuite :**

La ligne de fuite est la distance la plus courte le long de la surface d'un isolant entre deux parties conductrices.

### **I.11.6. Courant de fuite :**

C'est un courant de faible amplitude, circulant à travers la couche polluante le long de la surface de l'isolateur, son intensité devient importante lorsqu'on s'approche de la tension de contournement. Il dépend de plusieurs facteurs tels que la nature de la couche polluante et de la longueur de la ligne de fuite [6]

## **I.12. Différent types des isolateurs :**

L'utilisation des diélectriques solides est très répandue dans les lignes aériennes et les postes. On les rencontre sous différents formes : isolateur support, de traversée et de ligne.

### **I.12.1. Isolateurs supports :**

On appelle isolateurs support, des pièces isolantes destinées à supporter, en isolant des éléments conducteurs des traverses. Ils sont utilisés par exemple comme supports de jeux de barres dans les postes de transformation. [7]

### **I.12.2. Isolateurs de traversées :**

Les isolateurs de traversées sont des pièces isolantes établies pour permettre le passage d'un câble ou d'un conducteur et se trouve aussi aux bornes des transformateurs. [7]

### I.12.3. Isolateurs des lignes aériennes :

Les conducteurs des lignes aériennes sont fixés aux supports par l'intermédiaire d'isolateurs. Ils sont en porcelaine ou en verre. Les isolateurs doivent présenter deux qualités, l'une est d'ordre électrique et l'autre d'ordre mécanique, car ils doivent posséder une rigidité diélectrique suffisante pour tenir la tension de service d'un côté et de l'autre côté ils doivent y avoir des propriétés mécanique pour résister aux sollicitations exercées sur eux. En pratique, on distingue deux types d'isolateurs de lignes aériennes : isolateurs rigides et isolateurs suspendus ou éléments de chaîne. [8]

### I.12.4. Isolateurs rigides :

La céramique et le verre sont les deux matériaux utilisés pour ce type d'isolateurs. Ces derniers sont utilisés en basse tension en comportant une cloche double ou même triple, cela a pour but d'allonger la ligne de fuite, et de se protéger contre l'influence du brouillard qui peut être salin sur les surfaces intérieures. En haute tension, les isolateurs rigides sont modifiés vis-à-vis de leur forme permettant ainsi la bonne tenue aux sollicitations électriques et l'allongement de la ligne de fuite en évasant d'avantage le corps de l'isolateur. Ce type d'isolateurs est utilisé pour les lignes aériennes qui ne dépassent pas le niveau de tension de 60 kV. [7]



**Figure I.7 : Isolateurs suspendus (éléments de chaîne) :**

Ils sont utilisés pour des tensions très élevées et sont composés de plusieurs éléments. Le type principal des isolateurs suspendus est celui à capot et tige, dont le nombre utilisé dans une chaîne dépend principalement de la tension de service de la ligne, mais il y a aussi les isolateurs à long fut. Ils sont constitués par le matériau isolant et d'une pièce métallique qui sert à réaliser la liaison entre deux isolateurs et à donner une certaine flexibilité à la chaîne d'isolateurs.

La chaîne d'isolateurs est montée sur le pylône en suspension soit verticalement (chaîne d'alignement), soit d'une façon horizontale (chaîne d'ancrage) .

Il existe deux types principaux d'éléments de chaîne :

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

### I.12.5. Isolateurs à capot et tige :

Chaque élément est constitué d'un capot, d'une partie isolante en forme de jupe et d'une tige. La forme de la tête est dessinée de sorte que les efforts de traction appliqués à l'isolateur se transforment, autant que possible, en compression des diélectriques sur les quels apparaissent, toutefois, inévitablement certaines contraintes de cisaillement. [9]



**Figure I.8 : Isolateur à capot et tige**



**Figure I.9 : Chaîne d'isolateurs à capot et tige**

### I.13. Différent profils

#### I.13.1. 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]



Figure I.10 : profil standard

#### I.13.2. Profil antibrouillard :

Plus large que le profil standard, l'écartement entre les anneaux permet un bon nettoyage par le vent ou la pluie et facilite le lavage manuel si nécessaire. L'espacement prévient également l'apparition d'arcs entre les anneaux adjacents dans des conditions sévères de pollution.[8]



Figure I.11 : profil antibrouillard

### I.13.3. Profil 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 ou l'auto lavage est peu fréquent par pluie. [8]



Figure I.12 : profil plat

### I.13.4. 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]



Figure I.13 : profil sphérique

### I.14. Le choix d'isolateur :

Les isolateurs les mieux adaptés sont ceux qui retiennent le taux de dépôt polluants le moins élevé, c'est-à-dire ceux qui possèdent les meilleures propriétés d'auto nettoyage. L'apparition d'une nouvelle usine à proximité d'un poste, la construction d'un ouvrage routier

voisin, ou un événement météorologique exceptionnel peuvent changer la sévérité de pollution d'un site, ce qui peut provoquer des incidents qui influent directement sur l'isolateur, pour cela il faut prévoir une protection pour les installations existantes contre les nouvelles sources de pollution ; et le choix des isolateurs se fait en fonction : [10]

- de la tension de service de la ligne ;
- des efforts mécaniques auxquels ils sont soumis ;
- du prix de revient (rigide ou suspendue) ;
- du degré de sévérité de la pollution du site d'utilisation.

### I.15. Défauts électriques :

Le vieillissement des isolateurs est causé par les conditions climatiques auxquelles l'isolateur est exposé ainsi que son profil. Un profil qui permet l'accumulation des agents

polluants favorise l'apparition des décharges locales menant à l'érosion et par la suite au cheminement. L'effet couronne est considéré comme agent principal de vieillissement des isolateurs.

Cet effet se caractérise par la réduction de l'hydrophobie, la décoloration de la surface de l'isolateur ainsi que l'érosion sous l'effet des gaz de décharge.

Les gouttelettes d'eau sur la surface de l'isolateur affectent la distribution du champ sur cette surface (la permittivité relative de l'eau est élevée ce qui augmente l'intensité du champ aux voisinages des gouttelettes), les gouttelettes se déforment dans la direction du champ.

Les étapes de développement du vieillissement et du processus de contournement ont été établies dans des travaux antérieurs. Un excellent isolateur est caractérisé par son hydrophobicité, cette hydrophobie peut être perdue suite à l'accumulation des agents polluants sur la surface de l'isolateur, ou même après avoir subi des chocs électriques (arcs locaux) ; certains isolateurs peuvent réacquérir leurs états hydrophobes après immigration des molécules de faible poids (Low Molar Weight) du centre de l'objet jusqu'à la surface. Le mouillage de la surface favorise l'apparition de l'effet couronne dans les régions de forte intensité de champ, d'où la perte locale de l'hydrophobie ; une quantité de pollution se dissout et forme une couche plus ou moins conductrice, par conséquent une nouvelle distribution du champ s'établit. Ce processus se poursuit et le chemin conducteur mouillé se développe à travers l'isolateur, par la suite le courant circulant à travers ce chemin cause l'assèchement des régions à forte densité de courant ce qui conduit au développement d'un arc local ; celui-ci provoque d'avantage de perte d'hydrophobie, d'érosion de surface et augmente l'amplitude du courant de fuite. Dans le cas d'un isolateur en polymère, le séchage de sa surface lui permet de réacquérir ses propriétés hydrophobes.

Dans le cas des isolateurs en verre ou en porcelaine, le mécanisme de décharge est différent de celui des isolateurs en polymère, le mouillage de la pollution accumulée sur la

surface des isolateurs en verre ou en porcelaine conduit à l'apparition d'un film d'eau continu, donc l'arc peut se développer directement. Le séchage de la partie restante et l'élongation de l'arc causent le contournement de l'isolateur. Les premières étapes sont similaires à celles des SIR. De plus, la couche de pollution développée est souvent mince, ce qui limite l'intensité du courant de fuite et par la suite, la tension de contournement augmente. [11]

### **I.16. Conclusion :**

Ce premier chapitre est consacré à des généralités sur les réseaux électriques ou nous avons donné quelques notions sur les différentes structures topologiques et les différents éléments constitutifs des réseaux électriques. Les isolateurs entrent pour un pourcentage très modeste de l'ordre de 7% dans le prix d'une ligne aérienne moyenne tension. Les mieux adaptés à un environnement donné sont ceux qui retiennent le taux de dépôts polluants le moins élevé, c'est-à-dire les isolateurs qui possèdent les meilleures propriétés d'auto-nettoyage. Les isolateurs dans ce cas on donne beaucoup d'importance au phénomène de la pollution des isolateurs qui présentent un danger particulier pour les dispositifs de haute tension qui peuvent engendrer des pertes d'énergie majeures. 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 :

Les isolateurs des lignes et de postes du réseau de transport d'énergie électrique sont le siège de dépôts de pollution. Le type de pollution est très variable et dépend en grande partie de la localisation géographique de l'isolateur : des poussières et des particules solides (conductrices ou non) pour les régions industrielles, le pollen et les poussières d'engrais pour les régions agricoles. Pour les régions urbaines ce sont les appareils de chauffage des habitations et les véhicules automobiles qui engendrent la pollution et pour les régions côtières ce sont principalement les embruns marins qui couvrent les isolateurs. Aucune région n'est donc exempte de pollution.



**Figure II.1 : réseau électrique pollue**

### II.2. Origine de pollution :

On peut classer les différentes sources de pollution en trois catégories

- Pollution naturelle (marine, désertique,...)
- Pollution industrielle
- Pollution mixte.

### II.3. Différents types de pollution :

Les principales sources de pollution pouvant être rencontrée sont la pollution naturelle, la pollution industrielle et la pollution mixte.

#### II.3.1. Pollution naturelle :

La pollution naturelle provient :

- Des sels marins dans les régions côtières.
- Des poussières du sol (notamment lors de chantiers importants).

- Des sables véhiculés par le vent en régions désertiques.

### II.3.2. Pollution marine :

Dans les installations en bordure de mer, les embruns portés par le vent déposent progressivement sur les isolateurs une couche de sel qui, à plus ou moins longue échéance, recouvre toute la surface de l'isolateur y compris les parties les mieux protégées. Cette couche de sel, humidifiée par les embruns eux même, ou par un brouillard ou simplement par condensation, devient conductrice. Un courant de fuite s'établit alors à travers la couche superficielle et des arcs électriques peuvent prendre naissance dans certaines conditions, et se développer jusqu'à provoquer le contournement total de l'isolateur. [9]



**Figure II.2 : La ligne haute tension sous pollution marine**

### II.3.3. Pollution désertique :

Dans les régions désertiques, les fréquentes tempêtes de sables déposent progressivement sur les surfaces des isolateurs une couche de pollution contenant des sels . Une fois humidifiée, cette couche devient beaucoup plus conductrice. Un courant de fuite apparaît brusquement accompagné d'arcs partiels, dont la propagation à la surface de l'isolateur peut aussi conduire à un contournement total de l'isolateur. [7]



**Figure II.3 : Isolateur pollué par le sable**

### **II.3.4. Pollution industrielle :**

Ce type de pollution est fréquent dans les zones industrielles surtout à proximité des usines, entreprises de production éjectant des fumées (raffinerie, cimenterie, .....). Par ailleurs les gaz d'échappements (centrale thermiques) et les engrais utilisés en agriculture contribuent aussi aux dépôts observés à la surface des isolateurs.

En présence d'une humidité intense, le sel contenu dans ces polluants abaisse considérablement la résistivité superficielle des isolateurs et le contournement peut parfois avoir lieu. [10]



**Figure II.4 : Lignes haute tension soumises à la pollution industrielle**

### II.3.5. Pollution mixte :

Ce type de pollution résulte de la combinaison entre deux ou plusieurs pollutions précitées, comme exemple les pollutions marine et industrielle lorsque les installations électriques sont situées en bord de mer.

### II.4 Influence des facteurs climatiques sur les isolateurs pollués.

La tenue électrique d'isolateurs dépend de plusieurs facteurs météorologiques et parmi eux on distingue: [12]

#### II.4.1. Le Vent :

Le vent joue un double rôle. Il assure d'une part le transport et la distribution des dépôts polluants formés sur les surfaces des isolateurs électriques, d'autre part il peut se comporter comme agent d'auto-nettoyage lorsque sa vitesse est élevée.

#### II.4.2. La Pluie :

Les fortes pluies permettent en général le nettoyage des surfaces polluées des isolateurs, cependant, les fines pluies peuvent mouiller les surfaces polluées, ce qui augmente le risque de contournement.

#### II.4.3. L'Humidité :

L'humidification est considérée comme un obstacle car elle influe négativement sur la tenue électrique des isolateurs puisqu'elle accroît la conductivité électrique des agents polluants déposés à leur surface et entraîne par conséquent la diminution de leur tenue.

### II.5. Répartitions de la pollution sur les chaînes d'isolateur :

La répartition d'une couche de pollution dépend du profile, la hauteur et la disposition (verticale, horizontale, inclinée) des chaînes des isolateurs par rapport au sol et du niveau de la tension qui leur est appliquée. [13]

L'étude de H.Streubel a montré que la non uniformité peut être classé en trois catégories :

- Non uniformité longitudinale non périodique ;
- Non uniformité transversale ou par secteurs ;
- Non uniformité longitudinale périodique.



Figure II.5 : disposition verticale des chaînes d'isolateur



Figure II.6 : disposition inclinée des chaînes d'isolateur



**Figure II.7 : disposition horizontale des chaînes d'isolateur**

### **II.5.1 Non uniformité longitudinale non périodique :**

La cause principale de cette géométrie est le lavage sous tension et l'effet du champ électrique. Elle se présente en bandes de pollution de conductivité différente dont la valeur est constante dans chaque bande le long de la ligne de fuite d'un isolateur mais elle peut être variable le long du périmètre de l'isolateur.

### **II.5.2. Non uniformité par secteurs :**

L'existence d'une direction privilège des vents et des pluies fait que cette répartition soit ainsi, c'est-à-dire on trouve des secteurs au bande de pollution de différente largeur dont la conductivité superficielle est variable d'un secteur à l'autre le long du périmètre de l'isolateur mais elle reste constante dans le même secteur le long de la ligne de fuite.

### **II.5.3. Non uniformité longitudinale périodique :**

Ce type de pollution est peut fréquent. Il est caractérisé par la variation périodique de la conductivité de la couche de pollution le long de la ligne de fuite de l'isolateur et constante le long du périmètre. Ses principales spécifications sont :

- La face inférieure de l'isolateur présente une conductivité plus forte 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.

Ce type de regroupement concerne une accumulation progressive de la pollution et ne peut pas rendre compte des accumulations aléatoires en cas de conditions atmosphériques exceptionnelles.

II.6. Les classes de pollution. [8]

Niveau de pollution		Environnement	Pollution artificielle : sévérité équivalente		
			Brouillard salin (Salinité g/l)	Couche solide (Densité de NaCl équivalente mg/cm <sup>2</sup> )	Couche liquide conductivité µS
1	Léger	<p>-Zones sans industrie et avec faible densité de maisons équipées d'installations de chauffages.</p> <p>-Zones avec une faible densité d'industries ou de maisons, mais soumises a des vents ou des pluies fréquentes.</p> <p>-Toutes les régions agricoles.</p> <p>-Toutes ces zones doivent être situées loin de la mer (10 à 20 km) ou à haute altitude et ne doivent en aucun cas être exposées aux vents venant de la mer.</p>	<7	0.05 à 0.1	5 à 10
2	Moyen	<p>-Zones avec des industries ne produisant pas de fumée particulièrement polluante, ou avec une densité moyenne de maisons équipées de chauffages.</p> <p>-Zones avec forte densité de maisons ou d'industries, mais soumises a des vents fréquents et propres, ou à des pluies.</p> <p>-Zones exposées au vent de mer, mais pas trop proches de la cote (distantes d'au mois 1 km).</p>	7 à 20	0.1 à 0.2	10 à 15

3	Fort	-Zones à forte densité d'industries et banlieues de grandes villes avec forte densité d'appareils de chauffage polluants.  -Zones proches de la mer, ou en tout cas exposées à un vent relativement fort venant de la mer.	20 à 80	0.2 à 0.6	15 à 30
4	Très fort	-Zones généralement peu étendues, soumises à des poussières conductrices et à des fumées industrielles produisant des dépôts conducteurs particulièrement épais.  -Zones généralement peu étendues, très proches de la côte et exposées à des vents forts et très polluants venant de la mer.	112 à 225	0.6 à 1.1	30 50

### **II.7. Conséquence de la pollution :**

Lorsque l'isolateur est propre ou recouvert d'une couche de pollution sèche, un très faible courant capacitif circule à sa surface. Ceci est dû aux très faibles valeurs des conductivités volumiques de l'air, de l'isolant solide et de la couche de pollution. On obtient ainsi une répartition électrostatique du potentiel électrique. Par contre, lorsque la couche de pollution est humidifiée, elle devient le siège d'un courant de conduction de valeur relativement importante et la répartition du potentiel électrique diffère de la répartition électrostatique.

La rupture diélectrique de l'air peut être atteinte entre deux points de la surface isolante entraînant l'amorçage d'un arc électrique qui court-circuite une partie de la ligne de fuite. Trois cas peuvent se présenter selon les contraintes auxquelles est soumis l'isolateur. [12]

#### **II.7.1. Arc non localisé :**

L'arc électrique s'éteint rapidement, puis se réamorçage aléatoirement à un autre endroit et ainsi de suite. Il y a apparition d'un courant de fuite intermittent entraînant une perte d'énergie relativement faible et généralement supportable par l'installation.

#### **II.7.2. Arc fixe :**

Sur la surface de l'isolateur, soit en s'y maintenant (courant continu), soit en s'y réamorçant au même endroit (courant alternatif). Il peut provoquer une dégradation de l'isolation par son effet thermique.

### II.7.3. Court-circuit :

Dans ce cas, l'arc électrique atteint l'électrode opposée. Ainsi, la formation d'un pont conducteur sur la surface isolante polluée favorise le passage d'un fort courant, ce cas engendre la rupture totale de l'isolation.

## II.8. Effets de la pollution sur les équipements électriques.

### II.8.1. Effets de la pollution sur les équipements électriques :

Les irrégularités dans la distribution des dépôts polluants sur la surface des isolateurs conduisent évidemment à une diminution des performances des isolateurs sous pollution. Ce problème a toujours entraîne et engendre encore des défauts d'isolation au niveau de ces réseaux électriques, il en résulte parfois des défaillances des équipements, des installations des consommateurs d'énergies électriques, une diminution de la fiabilité des réseaux électriques ainsi qu'un manque à gagner pour les exploitants de ces structures électriques.

Des statistiques établies par les exploitants de réseau électrique algérien ont montre qu'environ 60% des incidents électriques enregistrés sur ces structures électriques sont dus à l'industrialisation de l'Algérie et à l'inexistante d'information à l'échelle national sur le niveau de pollution des différentes régions traversées par le réseau électrique de la Sonelgaz et le manque de moyen de lutte contre la pollution. [14]

### II.8.2. Corrosion des isolateurs :

#### II.8.2.1. Mécanisme de la corrosion des ferrures des isolateurs :

La corrosion des isolateurs ne se produit que si la surface des isolateurs est polluée, et en présence d'humidité. Lorsque la surface des isolateurs est recouverte d'un dépôt conducteur de pollution humide, un courant de fuite prend alors naissance. Son amplitude est fonction du degré de pollution (quantité de sels solubles).

Le passage du courant de fuite sur la surface polluée du diélectrique entre les ferrures crée une corrosion électrolytique de ces pièces métalliques. Les effets du courant de fuite sont d'autant plus nocifs que la fréquence et la durée des périodes humides sont élevées (climat tropical humide) et que la pollution a l'aptitude à être hygroscopique (importance des contaminants inertes qui absorbe ou retiennent l'humidité).

Cette corrosion est plus importante en courant continu qu'en courant alternatif pour un même site, du fait du courant unidirectionnel et des phénomènes électrostatique qui entraînent la formation de dépôts de pollution plus importants.

Pour les isolateurs aux effets dominants de la corrosion électrolytique, s'ajoutent ceux de la corrosion atmosphérique et ceux dus à la formation d'agents oxydants (ex :  $O_3$ ) causé par la présence d'arcs près des ferrures. Ces derniers peuvent être initiés et se maintenir pendant les périodes d'humidification et de séchage qui précède et succède aux conditions

critiques ou l'isolateur est le plus humide. La présence des accessoires de protection répartiteur de champ peut être bénéfique pour limiter ces phénomènes pendant les périodes d'humidification et de séchage qui sont un facteur d'accélération de la corrosion des ferrures des isolateurs les plus contraints électriquement.

Ces phénomènes de corrosion se traduisent par :

- Une attaque de la galvanisation ;
- Une attaque de la structure interne de l'acier ou de la fonte avec formation d'un dépôt de rouille conductrice qui peut couler sur le diélectrique.

Les cas de corrosion les plus sévères intéressent surtout les zones tropicales très proches de la mer ou la pollution marine et la pollution par poussières (latérites provenant du sol, cendres volantes après brûlage des champs) qui s'accumulent pendant de longues périodes sans pluie, s'ajoutent à la forte humidité ambiante.

### **II.8.2.2. Phénomènes liés à la corrosion des pièces métalliques :**

La corrosion des ferrures des isolateurs peut avoir pour effets :

- D'affecter la résistance mécanique de l'isolateur : cela s'applique particulièrement aux isolateurs du type capot tige lorsque la section de la partie corrodée devient réduite (ex : réduction du diamètre de la tige).
- D'affecter la tenue électrique du fait de la formation d'un dépôt de rouille sur la surface isolateur. En outre, ce dépôt peut entraîner des dommages à la partie isolateur du fait d'une concentration du champ électrique autour de cette nouvelle électrode.
- D'entraîner la rupture du diélectrique du fait de l'expansion de la tige corrodée. Ce phénomène reste spécifique aux isolateurs capot tige en porcelaine. [12]

### **II.8.2.3. Altération de la surface des isolateurs :**

L'observation des isolateurs en service depuis plusieurs années dans les zones de forte pollution montre en générale une altération de surface du diélectrique (partie isolante).

Celle-ci est souvent concentrée au voisinage des électrodes que constituent les ferrures de l'isolateur, c'est-à-dire dans les zones où le champ électrique est le plus élevé ou prédominent les zones sèches et les arcs qui y sont associés.

Plusieurs étapes successives peuvent être notées sur des isolants de bonne qualité :

- Dépoussiérage de la surface qui devient plus mate ;
- Traces d'arcs sous forme d'arborescence ;
- Erosion de la matière isolante sur plusieurs dixièmes de millimètres avec pertes de masses sans réduction notable de la tenue de l'isolateur.

Les matériaux de moindre qualité peuvent être sujets à un cheminement, c'est-à-dire à la formation irréversible d'un chemin conducteur.

La présence d'une activité électrique sur le revêtement des isolateurs composites est un facteur d'augmentation de la dureté de surface et de la rugosité par élimination partielle de la base du revêtement en élastomère chargé.

En conséquence, la formulation du revêtement doit être optimisée, non seulement pour minimiser l'influence du vieillissement UV, mais surtout pour éviter toute dégradation carbonée lors de la fixation des arcs de surface.

Seule une érosion minimale et contrôlée est acceptable pour garantir une tenue à long terme convenable.

Hormis le choix des matériaux fiables et durables, hormis la quantité des interfaces entre tous les matériaux et surtout avec les ferrures d'extrémité, la conception de l'isolateur doit être telle que les contraintes électriques locales soient les plus réduites possibles et en tout cas inférieures au seuil de vieillissement.

### II.9. 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  $80\text{kg/m}^3$ . 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.



Figure II.8 : entretien des chaînes d'isolateurs (lavage)

### II.9.1. 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. [8]



**Figure II.9 : Nettoyage des isolateurs de ligne haute tension**

### II.9.2. 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. [8]



**Figure II.10 : travaux d'entretien sur la ligne de haute tension.**

### **II.10. 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. [12]

#### **II.10.1. Allongement de la ligne de fuite :**

Utiliser de longs isolateurs avec des lignes de fuite plus longues possibles (jusqu'à 10m pour les réseaux THT). Cette solution est très efficace et présente seulement des problèmes dans les régions à forte pollution. [12]

#### **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. [12]

#### **II.10.3. Les isolateurs composites :**

Ils ont des bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisées dans des conditions de pollution très sévères. Cependant, ces isolateurs, revêtus d'un polymère voient leurs caractéristiques changer au cours du temps ; ils peuvent vieillir sous l'effet des différentes contraintes (électriques et climatiques) auxquelles ils sont soumis en service. [12]

#### **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. [12]

### 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 des 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'isolateur. La meilleure définition de degré de pollution d'un site est d'obtenir la salinité équivalente du site.

Les techniques de lutte contre la pollution actuellement connues (graissage, lavage, nouveau type d'isolateurs, revêtements hydrophobes) permettent de disposer aujourd'hui de solutions curatives à la plupart des problèmes de pollution.

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

Dans le but de déterminer l'influence de la sévérité de la couche de pollution sur le comportement diélectrique des 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 des notions théoriques permettant la décomposition des signaux du courant de fuite en se basant sur la transformée en ondelettes. 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 en se basant sur l'analyse du signal du courant de fuite correspondant à chaque cas de pollution.

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

Nous montrons dans cette partie l'équipement et la 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.



### **III.4. Procédures de test :**

#### **III.4.1 Préparation des chaînes d'isolateurs :**

Le nettoyage des chaînes 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 NaCl diluées dans un litre d'eau distillée.

La préparation des solutions polluantes ainsi que le choix de leurs conductivités volumiques sont fait en se basant sur les recommandations de la CEI 60060-1.

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

Les solutions polluantes sont composées de 100 g de 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.

#### **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.

### **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.

#### **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 kHz et les données sont stockées dans un ordinateur pour une exploitation ultérieure. Chaque test est répété entre six et dix fois pour vérifier la reproductibilité des conditions initiales.

### III.6. Transformée en ondelettes :

#### III.6.1. Introduction :

Il est bien connu que la transformée de Fourier donnée comme étant une généralisation de la série de Fourier caractérisant les signaux périodiques a l'inconvénient majeure d'ignorer complètement la contribution temporelle exacte d'une fréquence dans un signal. En pensant à résoudre ce problème, GABOR en 1946 a introduit la transformée de Fourier à court terme. Cette dernière se base sur le fenêtrage (Windowing). Il s'agit de segmenter en tranche de temps fixes le signal à analyser pour appliquer par la suite la TF à chaque tranche. Cette manière d'analyse à mener à un compromis difficile à satisfaire. Ce critère à mener aux constatations suivantes :

- Fenêtre de temps longue  $\Rightarrow$  une bonne résolution fréquentielle contre une résolution temporelle pauvre.
- Dans le cas inverse, une fenêtre de temps courte  $\Rightarrow$  une résolution fréquentielle pauvre contre une résolution temporelle plus ou moins précise.

La suite logique qui devrait résoudre ce problème a été l'élaboration de l'outil puissant dénommé par la transformée en ondelettes (wavelets).

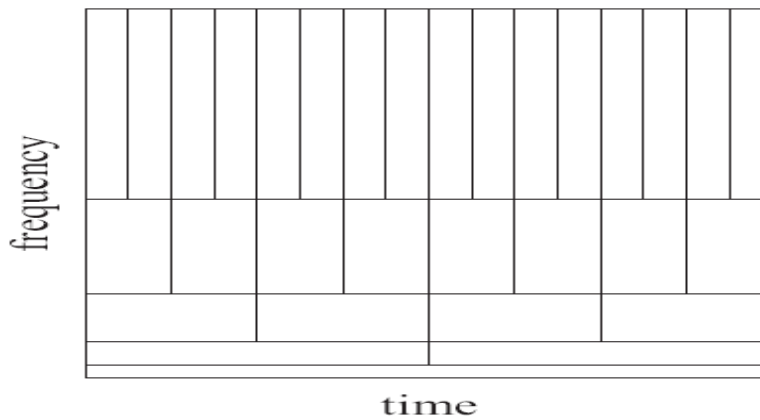
Les domaines d'applications qui ne cessent des 'accroître, depuis la télécommunication à la médecine en passant par l'analyse des divers phénomènes physiques tels que : les signaux sismiques, l'océanographie, la prospection géologique, démontrent d'une manière concluante la puissance de cet outil.

On ce qui suit, des définitions mathématiques essentielles seront présentées.

#### III.6.2. 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.3) impose par le principe d'incertitude de Heisenberg. L'analyse par la technique des ondelettes fournit de meilleurs résultats pour le traitement local qui à pour

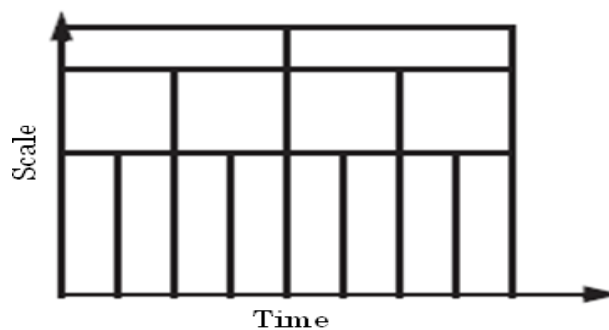
objectif de détecter les points de discontinuités ou les zones déformées du signal, qui sont souvent de hautes fréquences.



**Figure III.3: Représentation de la multi-résolution temps-fréquence pour la transformée de Fourier Rapide**

On constate d'après la représentation temps-fréquence (Figure III.3) 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.4: Représentation de la multi-résolution temps-échelle pour l'analyse par les ondelettes**

**III.7. Transformée en ondelette continue :**

**III.7.1. Définition :**

Les ondelettes (wavelets) sont issues de ce qu'on appelle onde mère (motherwave). On aboutira à représenter n'importe quel signal par une base d'ondelettes qui ne sont que des versions dilatées et translattées de l'onde mère. La représentation d'un signal continu  $x(t)$  par une base d'ondelettes est donnée par :

$$X(t) = \sum W(a, b) \cdot \psi_{a,b}(t) \quad \text{III.1}$$

Où  $W(a, b)$  est la pondération (le poids) de la contribution de l'ondelette  $\psi_{a,b}$  liée à l'onde mère par :

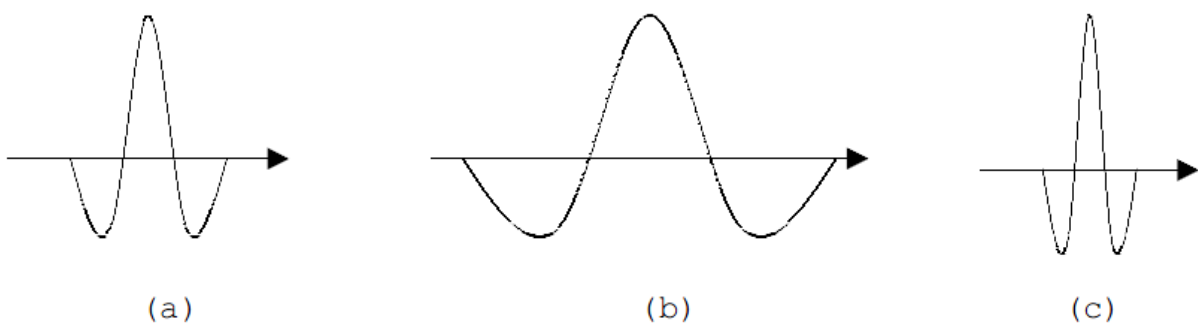
$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad \text{III.2}$$

$\Psi$  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 :

$$W(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot \psi_{a,b}^*(t) dt \quad \text{III.3}$$

**III.7.2. 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.5: 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.7.3. 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 calcul 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 l'ondelette sont relativement proches, le coefficient  $W$  peut être interprété comme un facteur de corrélation.

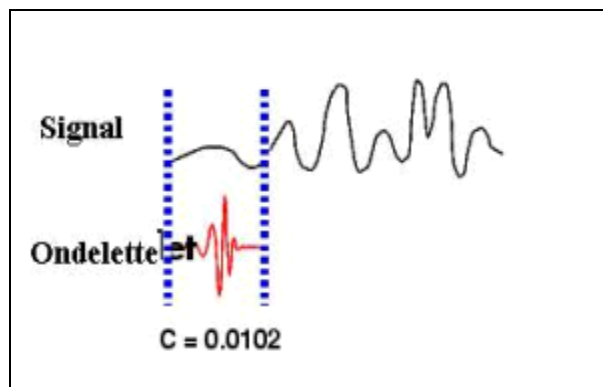


Figure III.6: Comparaison de l'ondelette à une portion du signal.

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

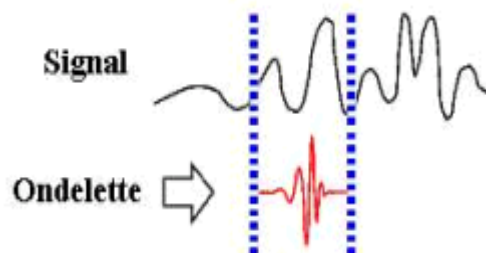
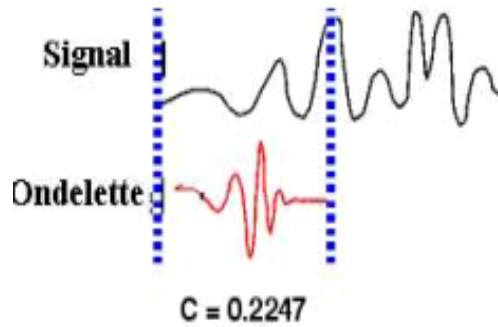


Figure III.7: Balayage du signal par l'ondelette.

- 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.8: 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.8. Transformée en ondelette discrète (DWT) :

#### III.8.1. 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.8.2. Expression mathématique :

La transformée en ondelette discrète à pour expression mathématique :

$$DWT_{\Psi} f(m, k) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_n x(n) \Psi \left( \frac{k - nb_0 a_0^m}{a_0^m} \right) \quad \text{III.4}$$

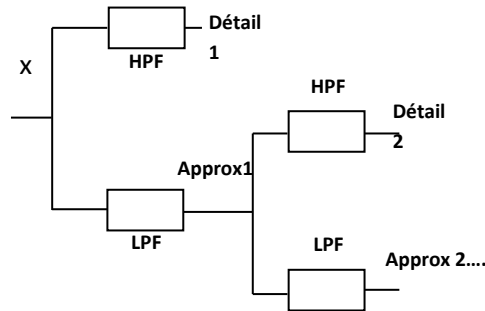
$\Psi$  est l'ondelette mère dilatée par le paramètre  $a_0^m$  et translatée via le paramètre  $n, b_0, a_0^m, a_0$  et  $b_0$  sont des valeurs fixées tel que  $a_0 > 1$  et  $b_0 > 0$ ;  $m$  et  $n$  sont des entiers naturels.

#### III.8.3. 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 II.7, le résultat de la DWT est constitué de plusieurs détails et d'une approximation pour un niveau de décomposition donné.



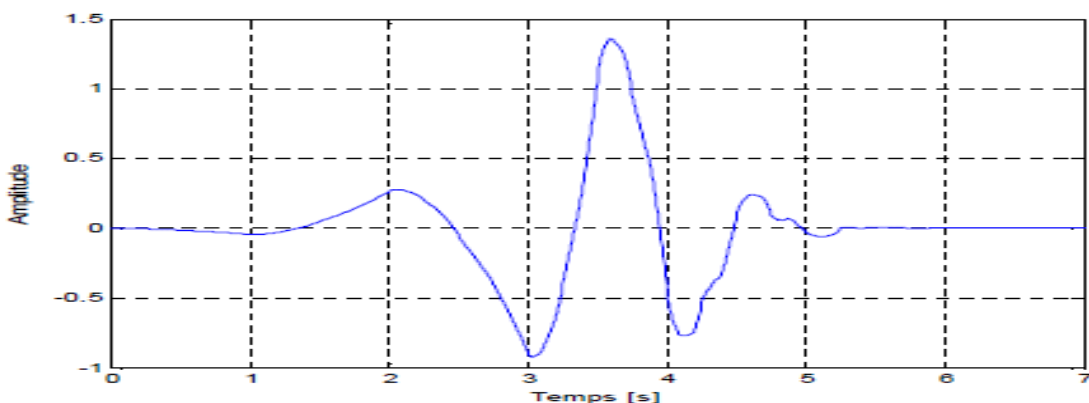
**Figure III.9: principe de l'analyse multi-résolution.**

**III.8.4. Choix de l'ondelette analysante :**

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

$$\Psi(t) = e^{-\frac{t^2}{2}} * (e^{-j\omega t} - e^{-\frac{\omega^2}{2}}) \quad \text{III.5}$$



**Figure III.10: 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

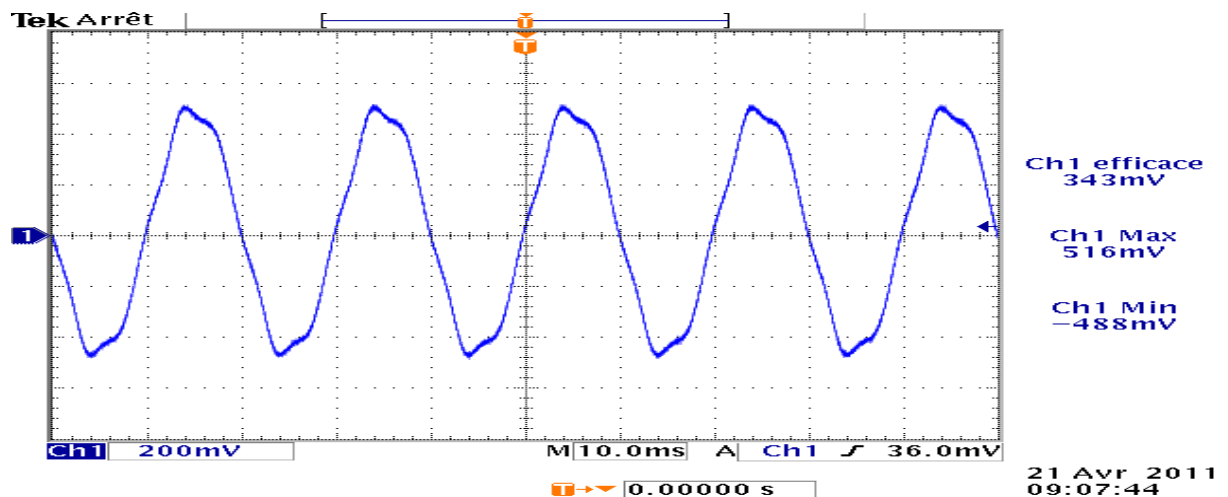
ondelette semble adéquate pour la détermination des bandes fréquentielles qui caractérisent les perturbations de hautes fréquences via l'analyse multi-résolution.

### III.9. Prédiction de la sévérité de pollution par la décomposition en paquet d'ondelettes :

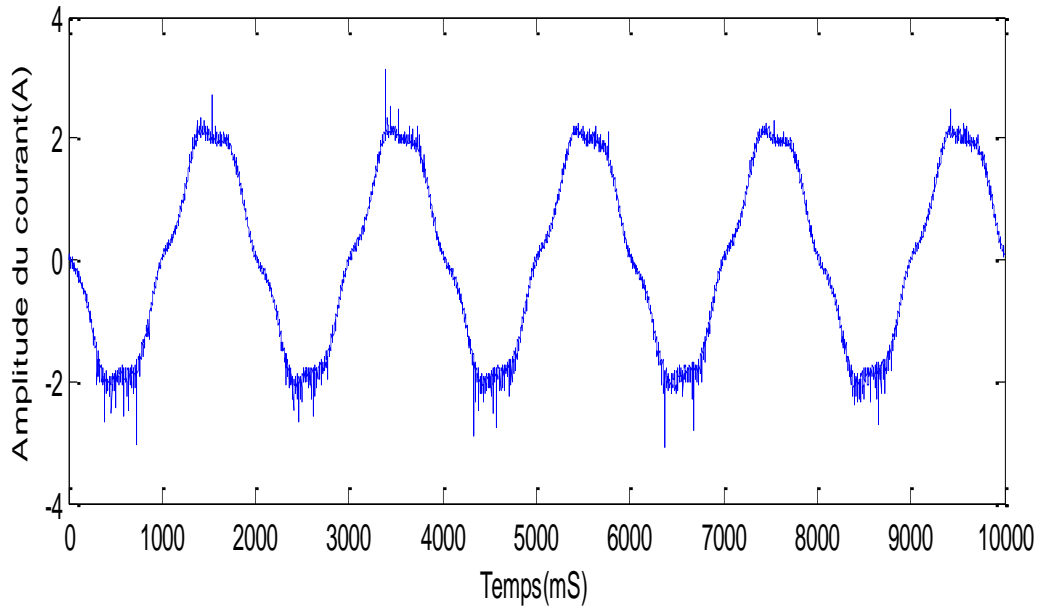
Dans cette section, nous nous intéressons à l'étude de l'influence de la concentration en kaolin sur le comportement diélectrique de notre isolateur. Pour cela nous fixons respectivement la tension appliquée et la conductivité volumique à  $42 \text{ kV}_{\text{eff}}$  et  $1.2 \text{ mS/cm}$ . Par ailleurs, nous étudions le comportement de l'isolateur pour trois concentrations en kaolin distinctes à savoir 0, 10 et 40 g/l. Les signaux du courant de fuite présentés subissent une décomposition en paquet d'ondelettes jusqu'au niveau 10 en utilisant l'ondelette db4 comme ondelette analysante. La décomposition en paquet d'ondelette présente une analyse multi-résolutions très fine du signal original. Cette résolution nous permet d'avoir dans la bande fréquentielle [0- 100000 Hz] le comportement des différents nœuds correspondant au signal.

Le passage par ces opérations va nous permettre d'obtenir le nœud (approximation ou détail) qui représente le mieux notre signal sans pertes d'informations et qui pourra servir au diagnostic de l'état de surface du modèle de l'isolateur. Dans notre cas, le niveau 3 est observé comme étant le niveau optimal de décomposition.

Nous nous intéressons dans cette section au degré de sévérité de pollution déposé sur une chaîne d'isolateur haute tension. Les trois signaux du courant de fuite ont été enregistrés pour trois cas de pollution distincts à savoir un niveau de pollution faible, moyen et fort :

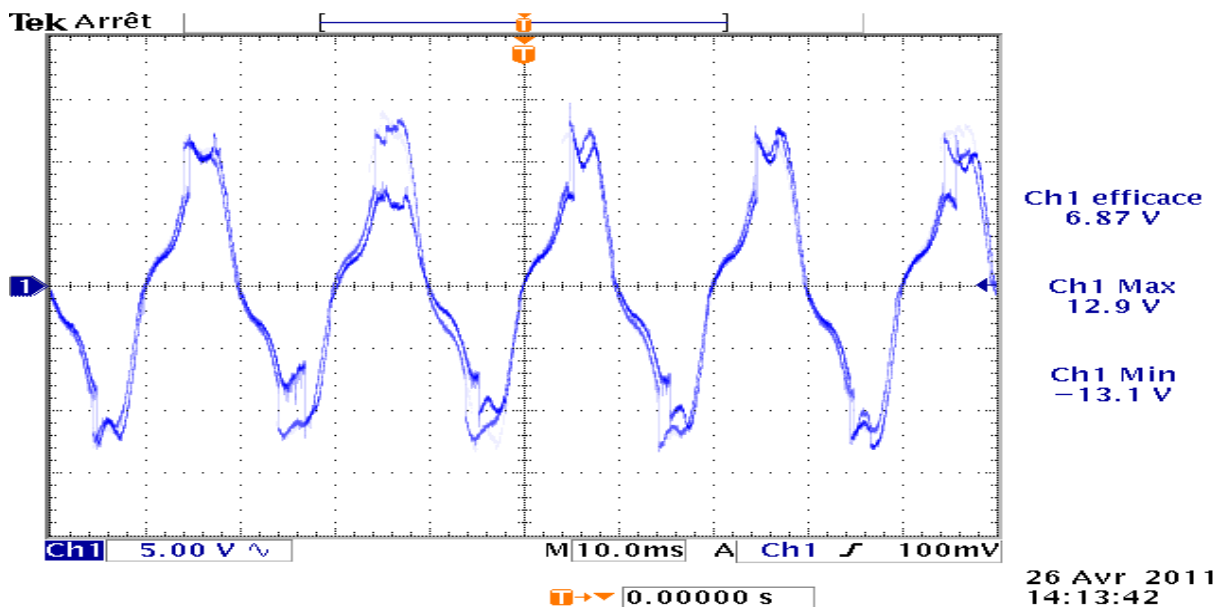


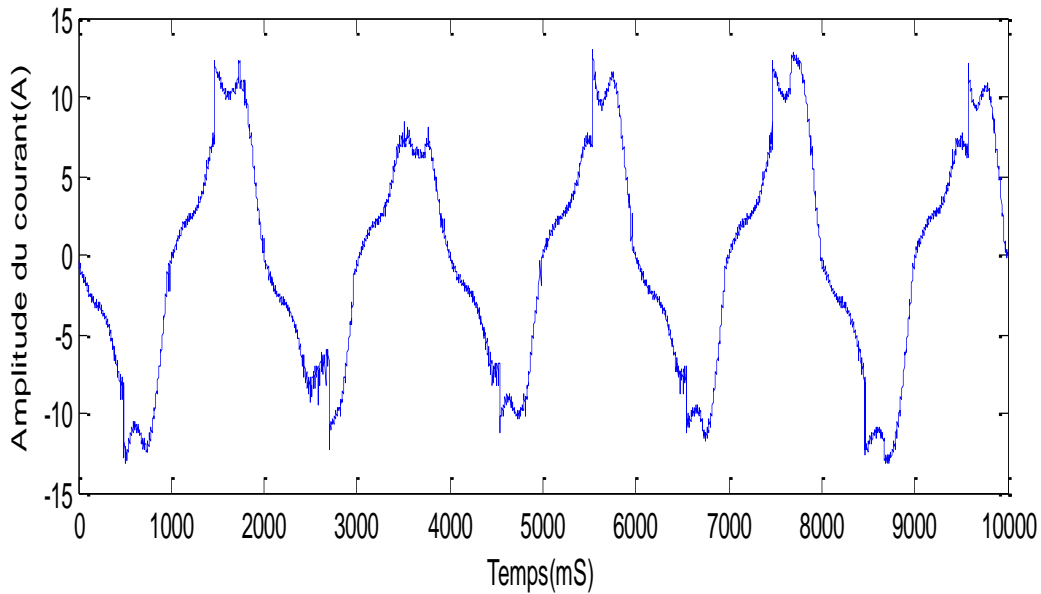




**Figure III.12:Evolution du signal du courant de fuite en fonction du temps à la surface d'une chaîne isolateur moyennement pollué. La courbe représente le signal correspondant à la moyenne pollution.**

La courbe montre la forme d'onde du signal du courant de fuite correspondant à un niveau moyen de pollution déposé sur la surface de la chaîne d'isolateur. Nous notons que cette forme commence à perdre sa forme sinusoïdale. 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 de signal.



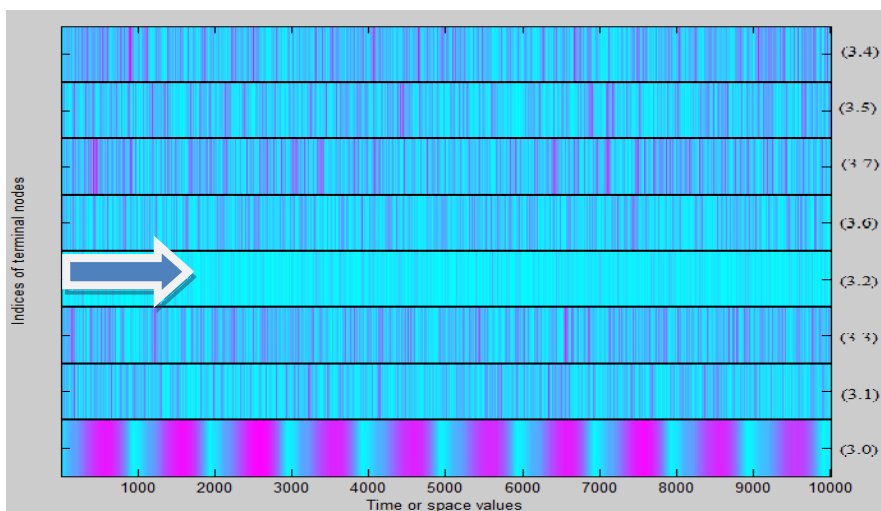


**Figure III.13: Evolution du signal du courant de fuite en fonction du temps à la surface d'une chaîne isolateur fortement pollué. La courbe représente le signal correspondant à la forte pollution.**

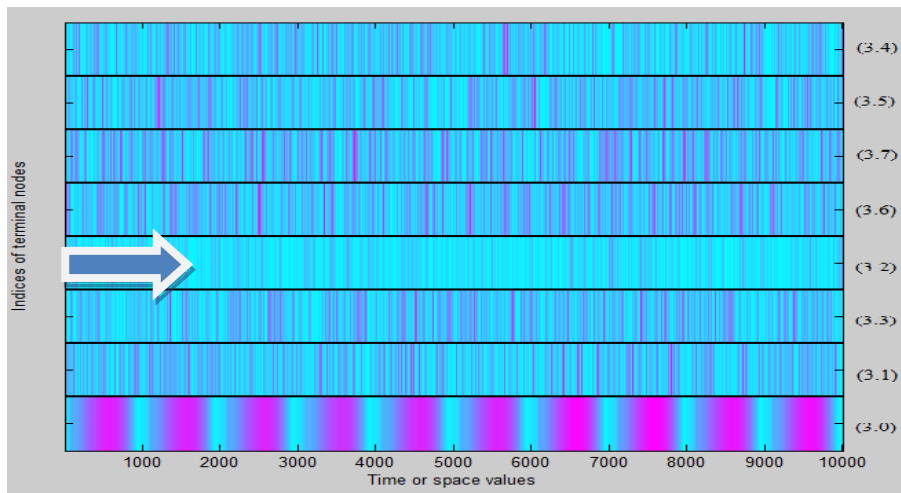
La courbe présente le signal du courant de fuite relatif au cas le plus défavorable de pollution. C'est le cas de pollution le plus fort. Nous remarquons que ce signal est complètement déformé, sa forme se ressemble à peine à celle d'une sinusoïdale, on observe aussi la présence de forte distorsion. Nous remarquons aussi spécialement pour ce cas de figure des distorsions sur les bases de deux alternances.

### III.10. Décomposition du signal du courant de fuite en paquet d'ondelettes :

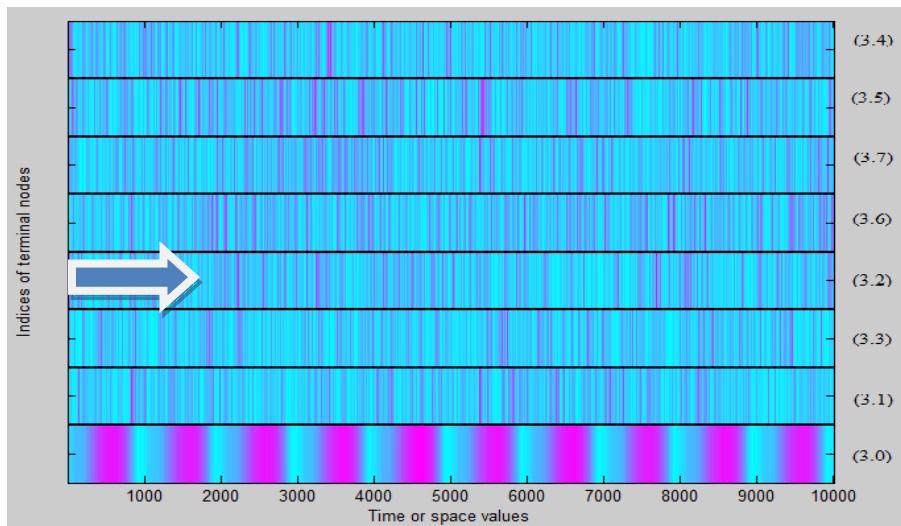
La figure suivante montre les représentations fréquentielles des coefficients des nœuds correspondants au niveau 3 obtenus via la décomposition en paquet d'ondelettes. Les représentations suivantes serviront pour cibler le nœud intéressant qui nous permettra une éventuelle différentiation.



**(A) Concentration en kaolin (0g/l)**



(B) Concentration en kaolin (10g/l)



(C) Concentration en kaolin (40g/l)

**Figure III.14: Représentation fréquentielle des nœuds du niveau 3 obtenus par la décomposition en paquet d'ondelettes des trois signaux du courant de fuite : (A) 0 g/l de kaolin, (B) 10 g/l de kaolin, (C) 40 g/l de kaolin.**

D'après la représentation de la figure (III.14), nous constatons une variation au niveau d'un nœud (3.2) correspondant dans ce cas à un détail. Cette variation est caractérisée par un changement de couleur pour les trois concentrations en kaolin étudiées. Les résultats obtenus montrent que pour la plus grande concentration en kaolin à savoir 40 g/l, La couleur du nœud (3.2) était en bleu hachurée en violet. En diminuant la concentration du kaolin à 10g/l, le nombre d'hachures constaté précédemment diminue. Finalement et pour le cas où la solution ne contient pas du kaolin, nous constatons pratiquement la disparition totale de ces hachures.

Par conséquent, nous pouvons conclure que le nœud (3,2) est susceptible de prédire la sévérité de pollution déposée sur la surface de l'isolateur.

**III.11. Conclusion :**

Le diagnostic réalisé via la décomposition en paquet d'ondelettes a donné des résultats très satisfaisant. Cette décomposition a montré dans notre cas que l'évolution fréquentielle du nœud (3.2) permet un excellent diagnostic de l'état de surface polluée.

Dans le premier chapitre on a parlé sur les généralités des réseaux électriques et les types de ligne, les différents types des chaînes d'isolateurs et leurs utilités.

Dans le deuxième chapitre est consacré sur la pollution qui reste un facteur déterminant pour le dimensionnement des isolateurs dans les ouvrages de haute tension. 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.

La connaissance de degré de pollution est une condition indispensable, pour prévoir une isolation externe convenable. La nature et la sévérité de pollution dépendent, en grande partie, de la localisation géographique et de l'industrialisation du site. La meilleure définition de degré de pollution d'un site est d'obtenir la salinité équivalente du site.

Dans le troisième chapitre nous avons consacré notre étude à la décomposition du signal du courant de fuite en paquets d'ondelettes a permis d'identifier la totalité de ses composants fréquentiels et d'étudier l'attitude de ces derniers vis-à-vis du degré de sévérité de pollution.

Après avoir examiné les concepts fondamentaux et les informations d'ordre générale sur les isolateurs et le phénomène de pollution ainsi que l'influence du milieu extérieur sur l'état des isolateurs on a trouvé que l'analyse faite sur le signal du courant de fuite par la technique des paquets d'ondelettes permet d'effectuer un diagnostic de la sévérité de pollution déposée sur le modèle de l'isolateur. Ce diagnostic se fait par l'intermédiaire de la représentation temps/fréquence du nœud correspondant au meilleur niveau de décomposition.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] N.SAIM, BESSEGHIR.L, CHETOUANE.S <Restructuration du réseau électrique moyenne tension 30kV de la région AZAZGA>, Mémoire d'ingénieur d'Etat en Electrotechnique .UMMTO 2010
- [2] T-WILDI , G-Sybille <Théorie de Wildi>, livre d'Électrotechnique , 3eme Edition ,Ingénieur institut de recherche, d'hydro-Québec.
- [3] K.BOUFERGUENE, O.AKLI < Prédiction de la sévérité de pollution sur un isolateur réel sous tension alternative 50Hz > Mémoire de fin d'études 2015
- [4] H.SI TAYEB, K.TITOUCHE.< Influence de la pollution sur la tension de contournement des isolateurs sous tension alternative > Mémoire de fin d'études, 2016
- [5] A.AMEUR<Mesure de la pollution distribution du potentiel électrique sur la surface d'un isolateur en verre pollué et soumis à une haute tension> Mémoire de fin d'études DEUA 2010
- [6] Site web [www.google.dz](http://www.google.dz); <Isolateur suspendu des chaines d'isolateurs>
- [7] T.MERAGHNI-I.GUIA<L'effet de la pollution désertique sur l'isolateur de haute tension>Mémoire master II université D'El Oued
- [8] Le Roy, Gary, Hutzler, Lalot, Dubanton, <Les propriétés diélectrique de l'air et les très hautes tensions>, chapitre 15, Eyrolles,1984
- [9] L.BEKDACHE,S. BELHACHIME< étude du contournement des isolateurs sous pollution marine> Mémoire de fin d'études 2014
- [10] A. Cimador, S. Vitet,< La Pollution des Isolateurs>, EDF-Epure, No . 27, Juillet 1990
- [11] F.AOUABED <Contribution à l'étude d'un circuit équivalent des isolateurs synthétiques sous pollution en utilisant l'EMTP> Mémoire de fin d'études
- [12] P. J. Lambeth, H. Auxel et M. P. Verma, < Méthode de mesure de la sévérité de la pollution compte tenu de son influence sur le comportement des isolateurs à haute tension >
- [13] S. Medjahed, M. Iblaiden, <Etude de l'évolution temporelle de la sévérité de pollution d'un site > U, mémoire de fin d'étude DEUA, en électrotechnique Bejaia, promotion 2005.
- [14] N.Feddag, S.Houcine < Modélisation des différents paramètres de dimensionnement des isolateurs sous pollution > Université MMTTO, Ingénieur 2008