

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

## **UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET**

**FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUEES**  
**DÉPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE**



# **MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

**Pour l'obtention du diplôme de Master**

**Domaine : Sciences et Technologie**

**Filière : Génie Electrique**

**Spécialité : Réseaux Electrique et Haute Tensin**

## **THÈME**

**Comportement de l'isolateur F160D/146DC pollué sous  
tension alternative**

**Préparé par : Mr. BOUKAR Abdelmalik**  
**Mr. KOUACHE Mohammed Bachir**

**Devant le Jury :**

<b>Nom et prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
<b>A.MOKHTARI</b>	<b>MAA</b>	<b>Président</b>
<b>M.BEDOUI</b>	<b>MAA</b>	<b>Examinateur 1</b>
<b>K.BELHACEL</b>	<b>MAA</b>	<b>Examinateur 2</b>
<b>H.BOURENANE</b>	<b>MAA</b>	<b>Encadreur</b>

**PROMOTION 2016 /2017**

## Remerciements

*Nous remercions en premier lieu ALLAH le tout puissant de nous avoir accordés la volonté et la foi pour mener à bien nos études.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et notre reconnaissances à notre promoteur Hayet Bourenane de nous avoir guidés et conseillés pour accomplir ce modeste travail.*

*Nous tenons à présenter nos vifs remerciements aux personnes qui nous ont aidés durant la préparation du mémoire surtout Mr. Mokhtari abd el kader et Mme. Laribi Souad. Enseignants à l'Université IBN KHALDOUN de Tiaret.*

*Nous remercions les membres du jury d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Nous aimerons remercier l'ensemble des enseignements qui ont contribué de près ou de loin à notre formation ; sans oublier notre collègues de Master réseaux Electriques et Haute Tension.*

*À mes parents*  
*À mes sœurs et frères*  
*Et à tout mes amis*

## Sommaire

INTRODUCTION GENERALE .....	1
-----------------------------	---

### **Chapitre I : Isolateur Haute Tension et Phénomène de Pollution.**

Introduction.....	3
I. Isolateur haute tension.....	3
I. 1. Définitions.....	3
I.1.1. Isolement.....	3
I.1.2. Isolation.....	3
I.1.3. Isolateurs.....	3
I.2. Fonctionnement et constitution d'un isolateur.....	3
I.3. Principaux types d'isolateurs.....	4
I.3.1. Isolateurs de type rigide.....	4
I.3.2. Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne.....	4
I.3.2.1. Isolateur à long fût.....	5
I.3.2.2. Isolateurs à capot et tige.....	5
I.3.2.2.1. Profil standard.....	6
I.3.2.2.2. Profil antibrouillard (forme A).....	7
I.3.2.2.3. Profil antibrouillard (forme B).....	7
I.3.2.2.4. Profil plat.....	8
I.3.2.2.5. Profil sphérique.....	8
I.4. Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs.....	9
I.4.1. Céramique.....	9
I.4.2. Verre.....	9
I.4.2.1. Verre trempé.....	10
I.4.2.2. Verre recuit.....	10
I.4.3. Matériaux synthétiques.....	10
I.5. Choix des isolateurs.....	11
I.6. Pollution des isolateurs.....	11
I.7. Différents types de pollution.....	12
I.7.1. Pollution naturelle.....	12
I.7.1.1. Pollution marine.....	12
I.7.1.2. Pollution désertique.....	12
I.7.1.3. Autres types de pollution naturelle.....	12

I.7.2. Pollution industrielle.....	13
I.7.3. Pollution mixte.....	13
I.8. Conséquences de la pollution.....	13
I.8.1. Arc non localisé.....	14
I.8.2. Arc fixe.....	14
I.8.3. Contournement des isolateurs pollués.....	14
I.9. Formation et répartition de la couche de pollution.....	15
I.9.1. Non-uniformité longitudinale par groupe.....	15
I.9.2. Non-uniformité transversale.....	16
I.9.3. Non-uniformité longitudinale périodique.....	16
I.10. Mesures de la sévérité d'un site.....	16
I.10.1. Densité du dépôt de sel équivalent (DDSE).....	16
I.10.2. Conductance superficielle.....	16
I.10.3. Courant de fuite.....	17
I.11. Classification des sites pollués.....	17
I.12. Techniques de lutte contre la pollution.....	18
I.12.1. Allongement de la ligne fuite.....	18
I.12.2. Isolateurs plats.....	18
I.12.3. Graissage périodique.....	19
I.12.4. Revêtement silicones.....	19
I.12.5. Isolateurs Composites.....	19
I.12.6. Nettoyage des isolateurs.....	19
Conclusion.....	20

## **Chapitre II : Transformée en Ondelette.**

Introduction .....	21
II.1. Signal .....	21
II.2. Classification des signaux.....	21
II.3. Séries de Fourier .....	22
II.3. 1. Transformée de Fourier .....	22
II.3. 2. Application de la transformée de Fourier.....	22
II.3. 3. Transformée de Fourier rapide (FFT ou TFR) .....	22
II.3. 4. Transformée de Fourier à temps discret .....	23
II.3. 5. Echantillonnage .....	23

II.3.6. Transformée de Fourier à court terme.....	23
II.3. 7. Principe d'Heisenberg.....	24
II.4. Ondelette .....	25
II.4.1.Historique .....	25
II.4.2. Analyse par ondelettes .....	26
II.4.2.1.Transformée en ondelettes continue .....	28
II.4.2.1.1. Etapes de transformée d'ondelette continu .....	29
II.4.2.2.Transformée en ondelettes discrète .....	31
II.4.2.3.Nombre de niveaux .....	33
II.4.2.4.Paquets d'ondelettes .....	33
II.4.2.5Energie de la décomposition d'ondelette.....	34
II.4.2.6.Familles d'ondelettes .....	34
II.4.2.6.1.Haar .....	34
II.4.2.6.2.Daubechies .....	35
II.4.2.6.3.Biorthogonal .....	35
II.4.2.6.4.Coiflets .....	36
II.4.2.6.5.Symlets .....	36
II.4.2.6.6.Morlet .....	36
II.4.2.6.7. chapeau Mexican .....	37
II.4.2.6.8.Meyer .....	37
Conclusion.....	37

### **Chapitre III: Techniques expérimentales et interprétation des résultats.**

Introduction .....	38
III.1. Dispositif expérimental .....	38
III.1.1. Circuit d'essais du Laboratoire de Haute Tension .....	38
III. 1. 2. Objet d'essai .....	39
III. 2. Nettoyage du plan .....	40
III.3. Types de Pollution des Isolateurs .....	40
III.3.1. Type 1 .....	40
III.3.2. Type 2 .....	41
III.3.3. Type 3 .....	41
III.3.4. Type 4 .....	41
III. 4. Technique de pulvérisation .....	41

III.4.1 Pollution non-uniforme .....	42
III.5. Interprétation des résultats expérimentaux .....	42
III.5.1. Etude de la tension de contournement.....	42
III.5.1.1. Influence du nombre de pulvérisation.....	42
III.5.1.2. Influence de la largeur des bandes propres.....	42
III.5.1.3. Etude de l'influence du type de pollution.....	43
III .6. Courant de fuite.....	43
III .6. 1. Définition de courant de fuite.....	43
III.6.2. Courant de fuite critique.....	43
III.6.3. Mesure du courant de fuite.....	43
III.6.3.1. Influence de la largeur des bandes propres sur le courant de fuite.....	43
III.6.3.1.1. Largeur des trois bandes propres 1cm.....	44
III.6.3.1.2. Largeur des bandes propres 3cm.....	44
III.6.3.1.3. Largeur des bandes propres de 5 cm.....	44
III.6.3.1.4. Largeur des bandes propres de 1,3,5 cm.....	45
III.6.3.2. Influence de différents types de pollution sur le courant de fuite.....	45
Conclusion .....	46

## **Chapitre IV : Analyse des résultats par la technique d'ondelette**

Introduction.....	47
IV.1. Choix de l'ondelette mère (analysante) .....	47
IV.2. Choix du l'ordre (nombre de niveau) de décomposition .....	48
IV.3. Analyse par la transformé d'ondelette continue.....	48
IV.3.1. Analyse du signal de la tension parfait par CWT.....	48
IV.3.2. Analyse du signal de la tension appliquée pour une conductivité 1mS par CWT...49	
IV.3.3. Analyse de la tension par CWT pour sable de mer et sable du sol.....	50
IV.4. Analyse du courant de fuite par la transformée d'ondelette Discret (DWT).....	51
IV.4. 1. Analyse du courant de fuite pour différentes largeurs des bandes propres par DWT.....	51
IV.4. 2. Analyse du courant de fuite pour différents types de pollution par DWT.....	54
Conclusion.....	57
Conclusion Générale .....	59

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

## **Nomenclature**

**FFT** : Fast Fourier Transform

**CWT**: Continuous Wavelet Transform

**DWT**: Discrete Wavelet Transform

**STD-MRA** : Standard déviation - Multi Résolution Analyses

**db** : Daubechie

**N<sub>niv</sub>** : niveau de décomposition

**f<sub>e</sub>** : fréquence d'échantillonnage.

**f<sub>s</sub>** : fréquence du réseau

**arnd** : arrondi

**LF** : ligne de fuite

**ESDD** : Equivalent Salt deposit density

**Na Cl** : Chlorure de Sodium

**CEI** : Commission Electrotechnique Internationale

**TFD** : Transformée de Fourier à temps discret

**TFCT ou STFT** : Transformée de Fourier à court terme

**h** : la constant de Planck  $6,626 \cdot 10^{-34}$  (j.s)

**$\psi$**  : l'ondelette mère

**C** : coefficient d'ondelette

**Lbp** : largeur de bande propre

**If** : courant de fuite



**Chapitre III: Techniques expérimentales et interprétation des Résultats**

**Tableau.III.1.** Caractéristiques de l'isolateur réel (CEI 60305/2005)..... 39

**Tableau.III.2.** Dimensions du modèle plan étudié. .... 39

**Tableau.III.3.** Mesures de la tension de contournement avec 3 configurations de pulvérisation.....42

**Tableau.III.4.** Mesures de la tension de contournement avec différentes largeurs des bandes propres.....42

**Tableau.III.5.** Mesure de la tension de contournement des types de pollution.....43

**Tableau.III.6.** Evolution du courant de fuite en fonction de la tension appliquée (3 bandes de 1cm).....44

**Tableau III.7.** Evolution du courant de fuite en fonction de la tension appliquée (3 bandes de 3cm).....44

**Tableau III.8.** Evolution du courant de fuite en fonction de la tension appliquée (3 bandes de 5cm).....44

**Tableau III.9.** Evolution du courant de fuite en fonction de la tension appliquée (3 bandes de 1,3,5cm).....40

**Tableau.III.10.** Mesures du courant de fuite ( pollution avec le sable du sol).....45

**Tableau.III.11.** Mesures du courant de fuites (pollution avec le sable des dunes).....45

**Tableau III.12.** Mesures du courant de fuite (pollution avec le sable de la mer).....45

**Chapitre I : Isolateur Haute Tension et Phénomène de Pollution.**

<b>Figure I.1.</b> Vue en coupe d'un Isolateur rigide en verre.....	4
<b>Figure I.3.</b> Vue en coupe d'un Isolateur capot et tige.....	6
<b>Figure I.4:</b> Isolateur capot et tige de profil standard.....	7
<b>Figure I.5:</b> Isolateur capot et tige de profil antibrouillard (forme A).....	7
<b>Figure I.6:</b> Isolateur capot et tige de profil antibrouillard (forme B).....	8
<b>Figure I.7:</b> un isolateur capot et tige de profil plat.....	8
<b>Figure I.8:</b> Isolateur capot et tige de profil sphérique.....	9
<b>Figure I.9:</b> Profil d'un isolateurs en matériaux synthétiques.....	10
<b>Figure I.10</b> pollution très sévères .....	11
<b>Figure I.11</b> L'inconvénient de ces isolateurs .....	11

**Chapitre II : Transformée en Ondelette.**

<b>Figure . II.1.</b> Classification des signaux.....	21
<b>Figure .II.2.</b> procédé d'échantillonnage. ....	23
<b>Figure II.3.</b> pavage temps – fréquence .....	24
<b>Figure II.4.</b> Atome de Gabor.....	25
<b>Figure II.5.</b> pavage temps – fréquence avec différents échelles .....	27
<b>Figure II.6.</b> signal avec une petite discontinuité.....	27
<b>Figure .II.7.</b> l'analyse de Fourier du signal à gauche et par ondelette à droite .....	28
<b>Figure II.8.</b> la différence entre l'ondelette et l'onde sinusoïdale.....	29
<b>Figure II.9.</b> Ondelettes constituantes des différentes échelles et positions.....	29
<b>Figure II.10.</b> diagramme temps échelle.....	31
<b>Figure II.11.</b> Filtre d'approximations et détails.....	32
<b>Figure II.12.</b> l'arbre de décomposition en ondelettes.....	32
<b>Figure II.13.</b> décomposition d'un signal.....	33
<b>Figure II.14.</b> Arbre de décomposition de paquets d'ondelettes au niveau 3.....	34
<b>Figure II.15.</b> l'ondelette Haar.....	34
<b>Figure II.16.</b> l'ondelette Daubechie.....	35
<b>Figure II.17.</b> l'ondelette Biorthogonal.....	35
<b>Figure II.18.</b> l'ondelette Coiflets.....	36
<b>Figure II.19.</b> l'ondelette Symlets.....	36

<b>Figure II.20.</b> l'ondelette Morlet.....	36
<b>Figure II.21.</b> l'ondelette Mexican Hat.....	37
<b>Figure II.22.</b> l'ondelette Meyer.....	37

**Chapitre III: Techniques expérimentales et interprétation des résultats.**

<b>Figure III.1:</b> circuit d'essai.....	38
<b>Figure III.2:</b> Profil de l'isolateur réel.....	40
<b>figure III.3:</b> modèle plan.....	40
<b>Figure III.4 :</b> hauteur de modèle par rapport au sol.....	40
<b>Figure III.5 :</b> technique de pulvérisation.....	41

**Chapitre VI : Résultats et interprétations.**

<b>Figure IV.1.</b> Représentation de signal sinusoïdal parfait(a) leur scalogramme (b).....	48
<b>Figure IV.2.</b> Représentation de la tension appliquée pour une conductivité 1ms (a) et son scalogramme sous tension 15 kV (b).....	49
<b>Figure IV.3.</b> Représente Exemple des Coefficients de la CWT pour a = 16. Pour (a) isolateur propre (b) isolateur sous pollution non-uniforme (3bandes propre 1sm) de conductivité 1ms sous tension 20 kV.....	50
<b>Figure IV.4.</b> .Formes d'ondes du courant de fuite à20 kVeff pour le sable de mer (a) et sable de sol (b).....	50
<b>Figure IV.5.</b> Représente le scalogramme de (a) sable de mer (b) sable de sol sous tension 20 kV.....	51
<b>Figure IV.6.</b> Formes d'ondes du courant de fuite à50 kVeff de conductivité 1mS pour trois bandes propres de : (a) 1cm, (b) 3cm, (c) 5cm.....	52
<b>Figure IV.7.</b> Représentation de la déviation standard pour chaque détail, pour les 3 bandes propre de 1,3 et 5 cm de conductivité 1ms sous tension 30kv.....	53
<b>Figure IV.8.</b> Evolutions du détail D5à 50kVeff pour une conductivité de 1ms: (a) 3 bandes propres de 1cm, (b)3 bandes propres de 3cm, (c)3 bandes propres de 5cm.....	54
<b>Figure IV.9.</b> Formes d'ondes du courant de fuite à20 kVeff pour trois type de sable: mer(a), sol(b) et dune(c).....	55
<b>Figure IV.10.</b> Représentation de déviation standard pour chaque détail, pour les 3type de pollution de sable : dune, mer et sol à 20kv.....	56
<b>Figure IV.11 .</b> Evolutions du détail D5à 20 kVeff pour une pollution de: (a) sable de mer, (b) sable de sol, (c) sable de dune.....	57

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.

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. Le but de ces travaux est d'élaborer un modèle pouvant tenir compte des paramètres réels intervenant dans la génération et la propagation des arcs électriques sur les surfaces isolantes. Il s'agit en particulier de la forme des isolateurs, de la répartition des couches polluantes, de la résistivité des échanges thermiques, de la non-uniformité du mouillage, de l'intensité des arcs au voisinage de la surface isolante, de la formation d'arcs multiples et de la détermination de la tension de contournement.

Le présent travail consiste à étudier la sévérité de pollution sur un modèle d'isolateur plan avec différentes configurations de pollution afin de comprendre l'impact de celle-ci sur les performances électriques de l'isolateur en exploitant le signal de courant de fuite puis celui de la tension appliquée.

Dans le premier chapitre, nous entamons la présentation d'une synthèse bibliographique sur les isolateurs de haute tension, leurs caractéristiques, leurs différents types ainsi que les matériaux utilisés dans leur fabrication.

Nous citerons également les phénomènes de pollution et leurs conséquences sur le transport de l'énergie. Des méthodes de mesure de la sévérité de la pollution des sites, ainsi que des techniques de lutte contre ces phénomènes y sont présentées.

Le deuxième chapitre présente de manière succincte l'environnement du traitement du signal par la transformée de Fourier et la transformée en ondelettes. Par la suite, nous

introduisons la théorie des ondelettes discrètes et continues dans lesquelles nous décrivons les principales idées se rapportant à l'analyse multi-résolution ainsi qu'à la représentation temps-échelle, qui peuvent faire l'objet d'une surveillance de l'état de surface des isolateurs.

Dans le troisième chapitre, nous présentons les techniques expérimentales et les différents outils de manipulation exploites pour mener à bien les essais en laboratoire.

Le quatrième chapitre est consacré à l'interprétation des résultats expérimentaux et au traitement de signal du courant de fuite et de la tension appliquée

En dernier lieu, nous terminons par une conclusion générale qui est une synthèse des principales observations liées à l'attitude adoptée par l'isolateur en présence de pollution .

**Introduction**

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. Isolateur haute tension****I. 1. Définitions****I.1.1. Isolement**

On appelle isolement d'un ouvrage ou d'un appareil électrique, son aptitude à supporter la tension ou plus généralement les contraintes électriques qui lui sont appliquées.

**I.1.2. Isolation**

L'isolation est un procédé permettant de supprimer ou de réduire la propagation de rayonnement et de vibration d'un milieu à un autre, notamment celle de la chaleur (isolation thermique) et de l'électricité (isolation électrique). Un matériau qui remplit ce rôle est dit isolant.

**I.1.3. Isolateurs**

L'isolateur est un matériau isolant solide que présente une très grande Résistance au passage du courant et dont la conductibilité est pratiquement nulle. Il est utilisé pour isoler les conducteurs ou les pièces sous tension afin d'empêcher les court – circulation, les pertes de courant et les charges d'électrocution.

**I.2. 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).[1].

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, qui sont les suivants.[2] :

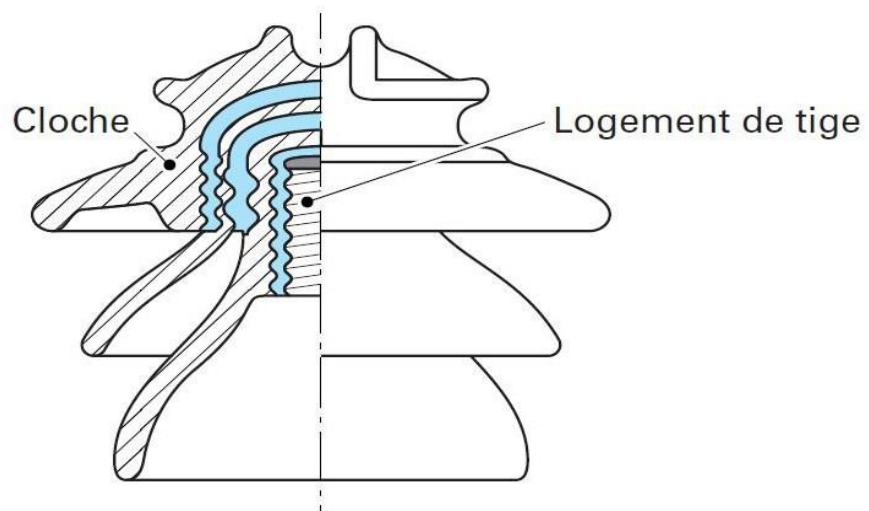
- \_ L'intervalle d'air.
- \_ Le matériau diélectrique.
- \_ L'interface air-matériau diélectrique (la longueur de l'interface constitue la ligne de fuite ligne le long de laquelle circulerait le courant de fuite).

### I.3. Principaux types d'isolateurs

On peut distinguer deux principaux types d'isolateurs : les isolateurs de type rigide et les éléments de chaîne.

#### I.3.1. Isolateurs de type rigide

Un isolateur rigide (Figure I.1) est relié au support par une ferrure fixe. Tous les isolateurs rigides normalisés sont livrés avec une douille scellée de telle façon qu'ils puissent être vissés directement sur les ferrures correspondantes. La céramique et le verre sont les deux matériaux utilisés pour les isolateurs rigides[3]



**Figure I.1.** Vue en coupe d'un Isolateur rigide en verre.

#### I.3.2. 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 [4][5]

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:

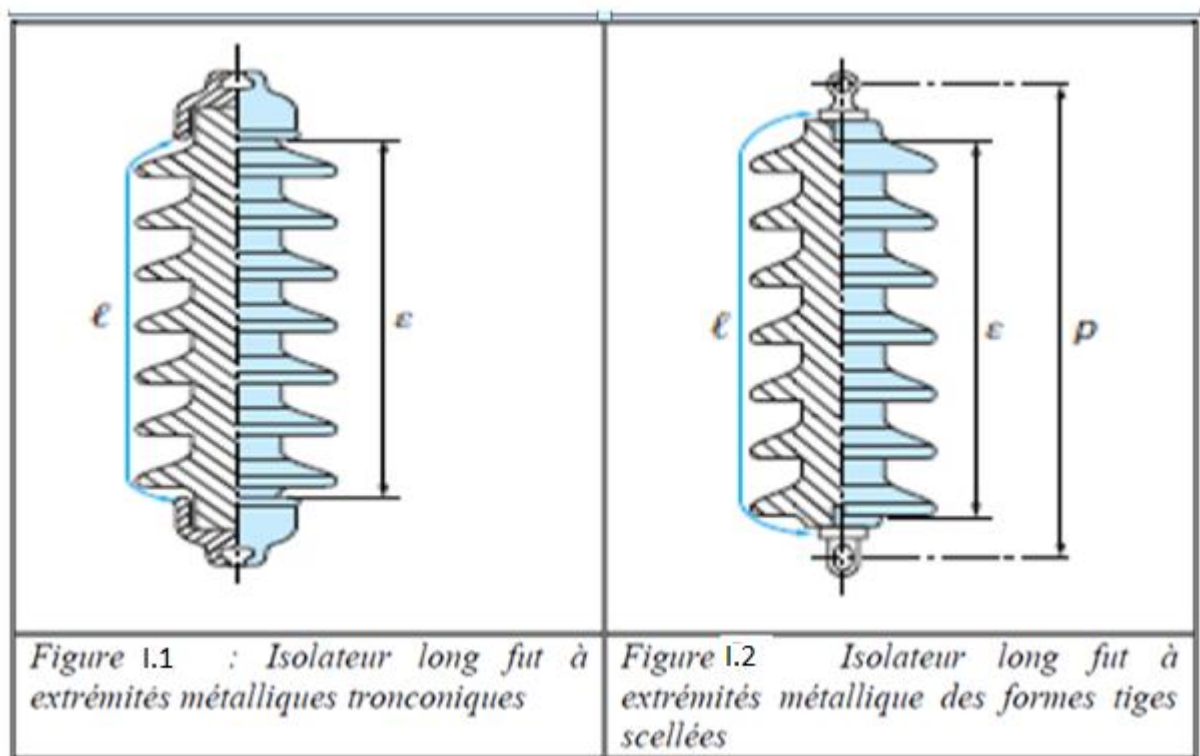
- \_ L'isolateur capot et tige.
- \_ L'isolateur long fut.

### I.3.2.1. Isolateur à long fût

Il est constitué d'un cylindre plein en céramique, en porcelaine ou en matériaux synthétiques, muni d'ailettes (Figure. I.1 ) (Figure. I.2 ). A chaque extrémité est fixée une pièce métallique de liaison.

Celle-ci peut être enveloppante en forme de capot scellé autour des extrémités tronconiques prévues sur le cylindre, ou bien en forme de tige scellée dans une cavité prévue à cet effet.

De tels isolateurs peuvent être utilisés unitairement ou en série de plusieurs éléments en fonction de leur longueur et du niveau d'isolement requis[6].



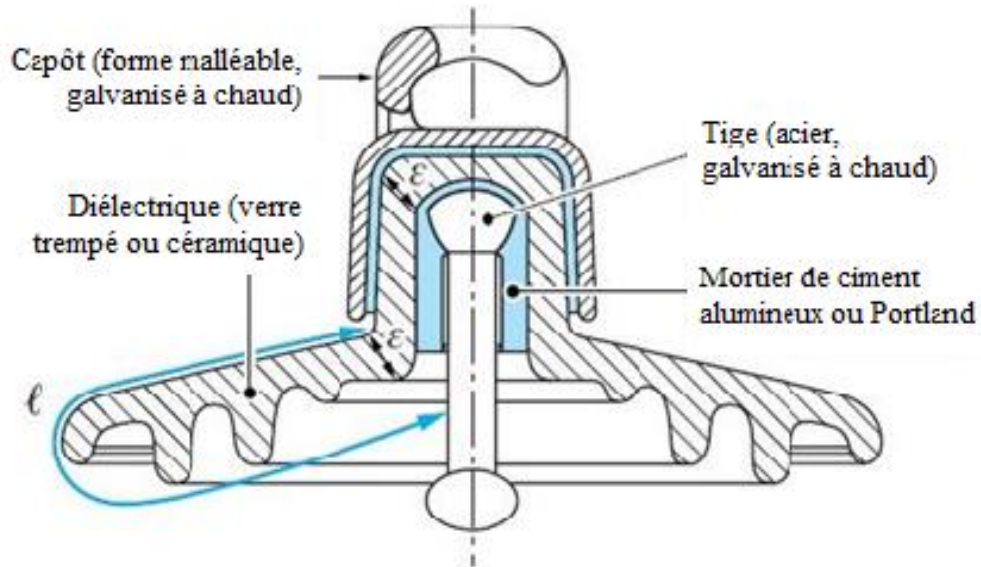
### I.3.2.2. Isolateurs à capot et tige

L'isolateur capot et tige est constitué d'un bloc isolant portant à sa partie supérieure un capot scellé en fonte malléable et à l'intérieur une tige en acier, avec cannelures et dont la tête conique est également scellée dans le verre (ou la porcelaine). L'extrémité inférieure de cette tige est arrondie et a les dimensions voulues pour pénétrer dans le capot de l'élément suivant, et y être maintenue par



une goupille[7][8]. L'assemblage consiste à effectuer un scellement du capot et du diélectrique par du ciment, puis celui de la tige et du diélectrique.

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



**Figure I.3.** Vue en coupe d'un Isolateur capot et tige

$l$  : Plus courte distance dans l'air entre le capôt et la tige :

$\varepsilon$  : Longueur du canal de perforation,  $\varepsilon \ll l/2$ .

On peut trouver plusieurs profils d'isolateurs capot et tige et ceci pour un meilleur fonctionnement

#### **I.3.2.2.1. Profil standard**

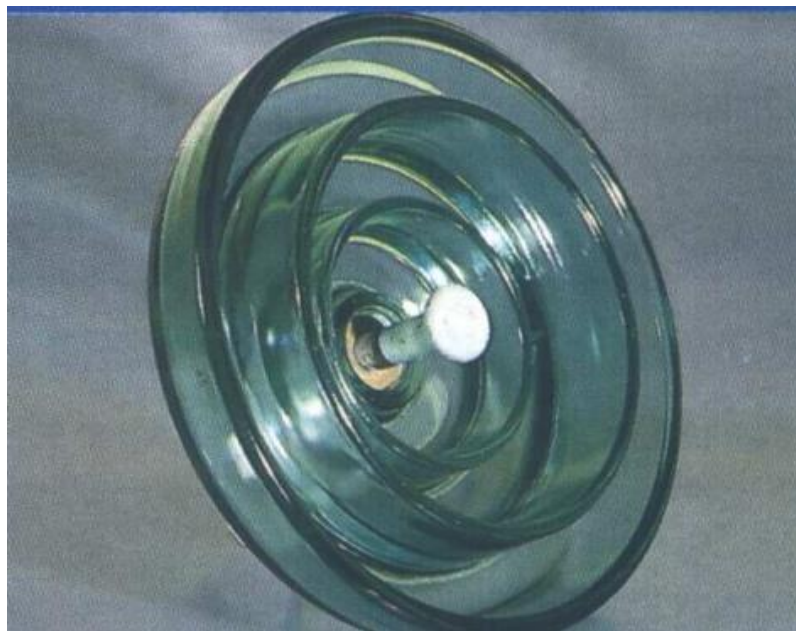
La forme et les dimensions sont en accord avec la normalisation internationale (CEI 305 1978), à cause de leur planéité, les rainures internes bien espacées et la longueur de la ligne de fuite supérieur à la demande standard. Ce type est très utilisé dans les endroits à pollution moyenne (Figure I.4)[9]



**Figure I.4:** Isolateur capot et tige de profil standard.

#### **I.3.2.2.2. 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 l'action de vent et de la pluie. Cette conception permet également un lavage manuel facile si c'est nécessaire (Figure I.5)[10][9]



**Figure I.5:** Isolateur capot et tige de profil antibrouillard (forme A).

#### **I.3.2.2.3. 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 (Figure I.6)



**Figure I.6:** Isolateur capot et tige de profil antibrouillard (forme B).

#### I.3.2.2.4. Profil plat

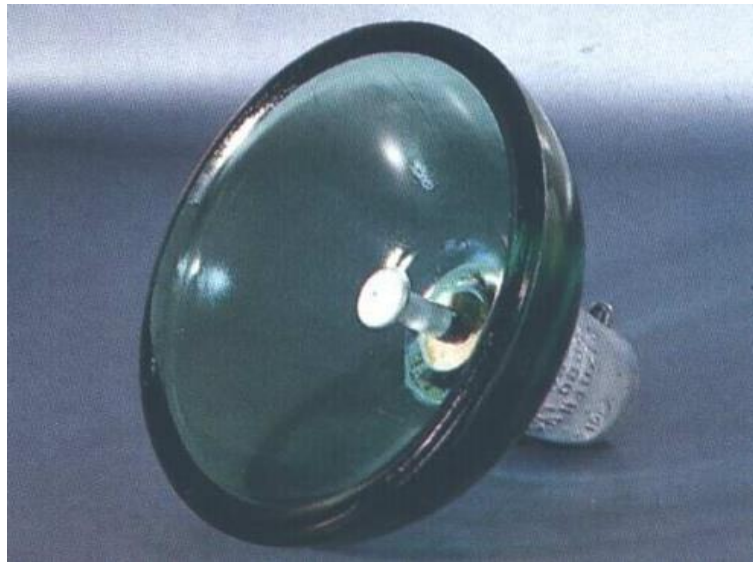
L'élimination complète des rainures internes réduit l'accumulation des agents polluants sur la surface basse, grâce au courant d'air, cette conception est particulièrement efficace dans les zones désertiques ou l'auto lavage est peu fréquent par la pluie (Figure I.7) .



**Figure I.7:** un isolateur capot et tige de profil plat.

#### I.3.2.2.5. Profil sphérique

La forme sphérique d'une longueur de fuite importante avec absence des rainures internes permet un lavage manuel facile et efficace (Figure I.8).



**Figure I.8:** Isolateur capot et tige de profil sphérique.

#### **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 des isolateurs et la difficulté de détection des amorçages.

Ces dernières années, on s'intéresse de plus en plus à l'utilisation des isolateurs en matériaux polymères[4][5].

##### **I.4.1. Céramique**

Le développement de la fabrication des céramiques date depuis longtemps à cause de leurs performances. Pour les isolateurs qui vont être utilisés dans des lieux où il y a des contraintes mécaniques très importantes, on utilise de préférence des céramiques à grains très fins. Souvent on trouve les céramiques dans les postes : isolateurs supports, couverture isolante des sectionneurs, des disjoncteurs, des transformateurs de potentiel, des bornes de traversées des transformateurs de puissance[4][9].

##### **I.4.2. Verre**

En Algérie, les isolateurs utilisés dans les lignes de moyenne haute tension sont en verre. Parmi les avantages que présentent le verre, le bas prix et l'observation des défauts est très facile.

On trouve deux types de verre pour la fabrication des isolateurs : le verre trempé et le verre recuit[4][5][10][11][12].

#### I.4.2.1. Verre trempé

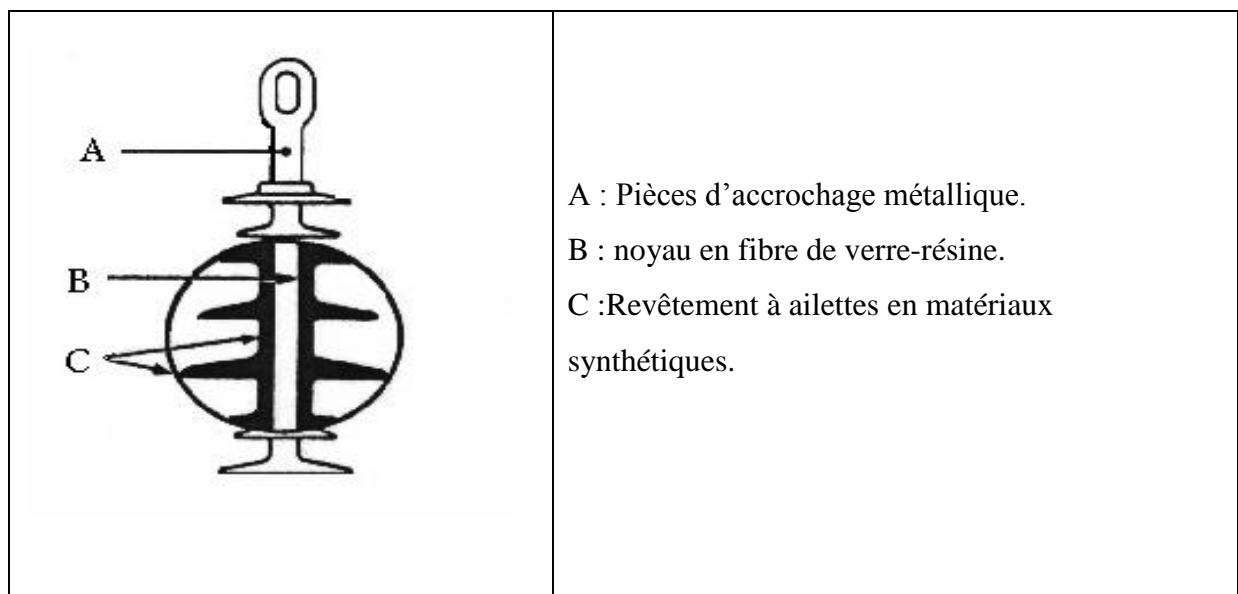
La résistance à la traction du verre trempé est environ 5 à 6 fois plus grande que le verre recuit et peut supporter des variations brusques de température pouvant atteindre 100° C[4][5].

#### I.4.2.2. 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 faible et c'est pour cette raison qu'il n'est pas utilisé pour la fabrication des isolateurs de suspension[4][9].

#### 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 (Figure. I.9)[4][5][9].



**Figure I.9:** Profil d'un isolateurs en matériaux synthétiques

Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères (Figure. I.10)[9].

L'inconvénient de ces isolateurs est le vieillissement sous l'effet des différentes contraintes auxquelles ils sont soumis (électriques, mécanique, atmosphériques...)(Figure. I.11)[9].





**Figure I.10.** pollution très sévères



**Figure I.11.** L'inconvénient de ces isolateurs

### **I.5. Choix des isolateurs**

Les isolateurs entrent pour un pourcentage très modeste de l'ordre de 7%, dans le prix d'une ligne aérienne moyenne tension. Cependant, ils sont un élément essentiel dont dépendent la sécurité d'exploitation, la qualité et la continuité de service[8].

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.

### **I.6. Pollution des isolateurs**

La pollution est un phénomène qui constitue un sérieux problème sur l'isolement des ouvrages de haute tension, dont il faut tenir compte lors du dimensionnement de l'isolement des lignes de haute tension. Ceci est dû à la formation de couches plus ou moins conductrices sur la surface des isolateurs. Ces couches peuvent engendrer une diminution considérable de la résistivité superficielle des surfaces des isolants et par suite la diminution de la tension de tenue des isolateurs.

L'échauffement de la couche polluante conductrice humidifiée, provoqué par la circulation des courants de fuite sur la surface de ces isolateurs, entraîne des assèchements locaux de la couche de la pollution et l'apparition d'arcs de petite longueur (arcs partiels).

Dans certaines conditions, ces arcs partiels peuvent se développer le contournement total des isolateurs, en connectant l'extrémité sous haute tension à celle mise à la terre, et conduisant ainsi à la mise hors service de l'ensemble de l'installation.

## **I.7. Différents types de pollution**

Les principales sources de pollution, qui peuvent être rencontrées, sont la pollution naturelle, la pollution industrielle et la pollution mixte.

### **I.7.1. Pollution naturelle**

Ce type de pollution peut être constitué par :

- \_ La pollution naturelle d'origine marine.
- \_ Les autres pollutions naturelles provenant des dépôts de poussières naturelles de sable véhiculé par les vents en régions désertiques, pluie,...etc.

#### **I.7.1.1. 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[24][26].

#### **I.7.1.2. Pollution désertique**

En régions désertiques, les fréquentes tempêtes de sable déposent progressivement sur les isolateurs une couche de pollution contenant des sels solubles; les couches de sable deviennent plus au moins conductrices à cause de l'existence de sels dans le sable[24][13].

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.

#### **I.7.1.3. Autres types de pollution naturelle**

La pluie est un phénomène naturel qui favorise l'humidification des isolateurs.

Lorsqu'elle est intense, elle est susceptible de provoquer la désagrégation des dépôts solides.

Cependant, cet auto lavage favorable à l'amélioration des qualités diélectriques des isolateurs, est contrarié par le phénomène de ruissellement.

En présence d'une pluie violente, un filme continu d'eau peut s'établir d'une extrémité à l'autre de la chaîne ou de la colonne isolante. Comme l'eau n'est jamais parfaitement isolante, ce phénomène peut entraîner le contournement de la chaîne d'isolateurs; c'est le contournement sous pluie.

Il est généralement admis que la pollution est plus contraignante que la pluie, dans la mesure où la résistivité des couches polluantes est bien inférieure à celle de la pluie.

### **I.7.2. Pollution industrielle**

La pollution industrielle provient des fumées évacuées à proximité des raffineries, des cimenteries, des complexes sidérurgiques, chimiques ou même aux abords des centrales thermiques. Pour les régions exemptes de fumées, cette pollution peut être d'origine domestique (appareils de chauffage, véhicules, automobiles, ...).

Les isolateurs se recouvrent de poussières faiblement conductrices, mais très hygroscopiques, car elles ont tendance à absorber l'humidité de l'air, Dans les conditions de forte humidité (brouillard, pluie, condensation matinale, ...), la dissolution des sels contenus dans cette poussière provoque la formation d'une couche électrolytique. Les gaz présents dans les fumées absorbés par la couche liquide, augmentent encore la conductivité superficielle. Comme dans le cas de la pollution marine, un courant de fuite circule alors dans la couche superficielle et le contournement peut survenir[14][15][16]

### **I.7.3. Pollution mixte**

Les pollutions mixtes résultent de la combinaison d'une ou de plusieurs pollutions précitées. C'est la forme de pollution la plus sévère pour l'exploitation des ouvrages électriques[8][17]

Par conséquent, quelle que soit la source de pollution, on observe la formation d'une couche électrolytique due à l'humidification d'un dépôt solide accumulé progressivement à la surface des isolateurs.

La nature et les caractéristiques des agents contaminants sont très variées.

Généralement, ils ne provoquent pas de dégradation de la rigidité diélectrique lorsqu'ils sont secs. Cependant, l'humidification d'un dépôt solide accumulé progressivement à la surface des isolateurs, quelle que soit sa nature, provoque la formation d'une couche électrolytique, caractéristique du phénomène de pollution.

## **I.8. Conséquences de la pollution**

Lorsque l'isolateur est propre ou recouvert d'une couche de pollution sèche, la résistivité à la surface est très grande et le courant capacitif circulant à la surface est très faible. Par contre, et quelle que soit sa nature, le dépôt de pollution accumulé à la surface de l'isolateur provoque, en présence de l'humidité, la formation d'une couche électrolytique augmentant ainsi la conductivité superficielle. Cette couche devient, par la suite, le siège d'un courant de conduction de valeur relativement importante. Ce qui peut conduire à la formation et au développement d'arcs électriques le long de la surface de l'isolateur.



Selon les conditions auxquelles est soumis l'isolateur, trois cas peuvent se présenter[24][2]:

### **I.8.1. Arc non localisé**

L'arc électrique s'éteint rapidement, puis se réamorçait à un autre endroit et ainsi de suite. Il y a apparition de courant de fuite entraînant des pertes d'énergie relativement petites, généralement supportable par le réseau de distribution et des échauffements locaux ou partiels, qui peuvent à long terme, conduire à une dégradation de l'isolant.

### **I.8.2. Arc fixe**

Contrairement au cas précédant, l'arc électrique se fixe sur la surface, soit en s'y maintenant (source continue), soit en se réamorçant au même endroit (source alternative). L'impédance de l'ensemble dépôt et zone propre, limite le courant de l'arc et sa longueur. Cet arc peut entraîner par effet thermique, une dégradation du support isolant, nécessitant ainsi le remplacement de l'élément défaillant.

### **I.8.3. Contournement des isolateurs pollués**

Le phénomène de contournement des isolateurs pollués résulte de la combinaison de plusieurs paramètres[2] :

- \_ Dépôts d'une couche de pollution solide (conductrice ou isolante).
- \_ Humidification de ces dépôts.
- \_ Application d'une tension (de service ou temporaire).

Lorsque les conditions électriques appropriées sont remplies [24], le contournement d'une surface isolante polluée est le résultat d'une évolution que l'on peut décrire comme suit:

- \_ L'humidification (pluie, brouillard ou rosée) associée au dépôt polluant crée une couche (électrolytique) conductrice à la surface de l'isolateur.
- \_ L'échauffement par effet joule, créé par la circulation du courant de fuite, provoque l'apparition d'une zone sèche.
- \_ Une partie importante de la tension appliquée se trouve reportée aux «bornes » de la zone sèche engendrant ainsi la rupture diélectrique et l'établissement d'arc local.
- \_ Selon les conditions électriques qui se trouvent alors réunies, cette décharge se développera jusqu'au contournement total.

L'existence de ces phases dépend de nombreux paramètres caractéristiques de l'isolateur pollué à savoir, tension appliquée, conductivité de la couche, largeur de la zone sèche, profil de l'isolateur, longueur de fuite,... etc. [2].

Notant qu'il est aussi fréquent que, plusieurs arcs naissent simultanément le long d'une chaîne ou d'une colonne isolante.

Sous tension continue, le processus global est relativement facile à décomposer. Une fois la décharge amorcée, si les conditions électriques le permettent, elle se propagera rapidement jusqu'au contournement. Dans le cas contraire, la zone sèche tendra à s'élargir jusqu'à ce que la tension appliquée ne puisse plus maintenir la décharge, qui va alors s'éteindre. La tension alternative présente à cet égard une différence importante du fait de son annulation deux fois par période. Lorsque le temps au contournement est très élevé, on pourra avoir un passage par zéro avant qu'il n'y est contournement total.

Dans ces conditions, les arcs électriques s'éteignent à chaque passage par zéro de l'onde de courant. Pour que ces arcs se réamorcent au cours de l'alternance suivante, il faut que la tension appliqué atteigne un certain seuil dit tension de réamorçage[23][24].

### **I.9. 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 inclinée) des chaînes d'isolateurs par rapport au sol et du niveau de tension qui leur est appliqué.

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

La non-uniformité de la pollution peut être classée en trois catégories [18]:

#### **I.9.1. Non-uniformité longitudinale par groupe**

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

Nous retrouvons ce type de pollution dans les cas suivants :

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

### **I.9.2. Non-uniformité transversale**

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

### **I.9.3. 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.

## **I.10. Mesures de la sévérité d'un site**

Basée sur des théories et des données expérimentales, des méthodes de mesures ont été proposées, pour caractériser la sévérité d'un site, dont certaines sont encore controversées.

Les méthodes les plus répandues sont [26][15][19][20]:

### **I.10.1. Densité du dépôt de sel équivalent (DDSE)**

La DDSE est utilisée comme un paramètre de base pour l'évaluation du comportement d'isolateurs sur site. Elle est le dépôt équivalent exprimé en mg de Na Cl par cm<sup>2</sup> de la surface d'un isolateur, qui a une conductivité électrique égale à celle du dépôt réel, lorsqu'il est dissous dans la même quantité d'eau.

Des échantillons de pollution sont prélevés à la surface d'isolateurs ou d'autres collecteurs. Le dépôt est récupéré par lavage en utilisant un matériau absorbant (coton, mouchoir en papier,...) et de l'eau distillée.

A partir de la conductivité de la solution obtenue, on peut donc calculer la DDSE. Les mesures doivent être répétées avec une fréquence suffisante.

### **I.10.2. Conductance superficielle**

La conductance superficielle caractérise l'état global de la surface isolante (niveau de pollution et degré d'humidification de la couche). Elle représente le rapport du courant électrique qui circule sur l'isolateur, à la tension appliquée :  $G = I/V$ .

La tension utilisée est inférieure à la tension de service et est appliquée pendant quelques périodes. Par contre, la conductivité superficielle des isolateurs peut être obtenue en multipliant la conductance superficielle  $G$  par le facteur de forme  $f$  de l'isolateur  $K = f G$ .

Dans le cas de couches polluantes non homogènes, la conductivité locale peut être obtenue en mesurant la conductance d'une partie de la surface à l'aide d'électrodes auxiliaires. Cette méthode peut être représentative d'un type de pollution du site étudié. En général, elle présente des résultats dispersés.

### **I.10.3. Courant de fuite**

Si deux isolateurs identiques, l'un exposé à la pollution naturelle dans site donnée et l'autre pollué artificiellement dans un laboratoire, présentent les mêmes valeurs maximales du courant de fuite, sous une même tension, on peut dire que la pollution artificielle est alors équivalente à la pollution naturelle (réelle du site).

## **I.11. Classification des sites pollués**

Il est possible de caractériser la sévérité de la pollution d'un site en utilisant par exemple, la méthode du brouillard salin équivalent. La sévérité considérée est alors exprimée en termes de salinité équivalente.

En effet, on peut faire correspondre à chaque site ou règne indifféremment une pollution naturelle, industrielle ou mixte, une solution saline équivalente.

Afin de définir l'isolement des lignes de transport et d'établir la corrélation entre la salinité équivalente et le niveau de pollution naturelle, quatre classes de sévérité ont été proposées[23] :

\_ **Classe 1** : Cette classe correspond à une pollution faible d'origine naturelle excepté marine.

Elle concerne généralement des zones non industrielles ayant une faible densité d'habitations, situées loin de la mer. Un isolement normal convient facilement pour ces zones.

La salinité équivalente maximale retenue pour cette classe correspond à une pulvérisation d'une solution de chlorure de sodium  $[Na Cl]$  à 2.5 g/l de concentration.

\_ **Classe 2** : Cette classe correspond à une pollution moyenne, naturelle (excepté marine) ou faiblement industrielle.

Elle correspond à des zones à moyenne densité d'habitation et situées loin de la mer. Ces zones nécessitent un isolement renforcé.

En classe 2, la salinité équivalente maximale retenue est de 10 g/l

\_ **Classe 3** : Elle correspond à une forte pollution marine et industrielle.

Les zones considérées possèdent une forte densité d'habitation et situées près de la mer, donc exposées à des embruns marins relativement forts. Ces sites nécessitent un isolement important. La salinité équivalente maximale, concernant cette classe, est 80 g/l

\_ **Classe 4** : Elle correspond à des zones où le niveau de pollution est exceptionnel.

La pollution dans ces zones peut être naturelle, industrielle ou mixte. Ces zones sont sujettes aux fumées industrielles et aux poussières conductrices produisant des dépôts très épais, et situées très proches de la côte et donc soumises à des vents marins très forts et très polluants.

Elles nécessitent un isolement exceptionnel. La salinité équivalente maximale est de 160 g/l.

## **I.12. Techniques de lutte contre la pollution**

Contre de nouvelles sources de pollution, le dimensionnement initial des isolateurs peut s'avérer insuffisant pour le bon fonctionnement des installations. Pour cela, plusieurs moyens sont utilisés afin de prévenir, autant que possible, les incidents lorsque la ligne est en service.

Ces moyens de lutte doivent tenir compte des données propres au site considéré et au changement possible de la sévérité de pollution due à de nouveaux facteurs (apparition d'une nouvelle usine à proximité d'un poste, ...). Les différentes méthodes utilisées sont[21]:

### **I.12.1. Allongement de la ligne fuite**

Elle permet d'adapter le dimensionnement aux nouvelles conditions de pollution. Deux techniques sont employées :

\_ Le changement de type d'isolateurs (pour allonger la ligne de fuite) : c'est une opération très coûteuse et souvent impossible à réaliser en poste.

\_ L'utilisation de prolongateurs de ligne de fuite en matériaux polymères, qui sont collés sur la surface des isolateurs existant.

\_ Sur les pylônes recevant les conducteurs en nappe, la phase centrale est la plus perturbée en raison de la limitation de sa ligne de fuite vu la distance à la masse à respecter ; c'est la raison pour laquelle on utilise pour les chaînes médianes, des chaînes en « V » ou en « V inversé ( $\wedge$ ) » de façon à augmenter la ligne de fuite et à respecter les distances à la masse imposées par le cahier des charges.

### **I.12.2. Isolateurs plats**

Tandis que les deux précédentes méthodes conduisent à allonger la ligne de fuite des isolateurs, l'utilisation d'isolateurs plats conduit à la diminuer. En effet, ces isolateurs sans nervures ont la

propriété d'accumuler moins de pollution que les isolateurs traditionnels et s'auto-nettoient très bien sous l'effet du vent. Ils sont principalement utilisés dans les régions désertiques et soumises à des tempêtes de sable où la principale source d'humidification est la condensation.

### **I.12.3. 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 regraissage est pénible, longue et coûteuse. Elle nécessite, par ailleurs, une interruption de service.

### **I.12.4. Revêtement silicones**

Cette méthode consiste à appliquer, par pulvérisation ou au pinceau, un caoutchouc silicone qui se vulcanise à température ambiante à la surface des isolateurs. Comme pour le graissage à ses propriétés hydrophobes, ce revêtement protège et améliore leur tenue sous pollution. Par contre sa longévité est, en général, nettement supérieure à celle des graissages.

### **I.12.5. Isolateurs Composites**

Ils sont constitués d'un noyau en fibres de verre imprégnées d'une résine et d'un revêtement à ailettes de type élastomère. Ces isolateurs présentent l'avantage d'une grande légèreté allié à une haute résistance mécanique que lui confrère le noyau. Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères.

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

### **I.12.6. Nettoyage des isolateurs**

\_ Le nettoyage manuel (essuyage à sec de l'isolateur) ou le lavage hors tension peuvent être utilisés de façon périodique, en particulier dans les postes. Comme ces méthodes sont utilisées hors tension, elles entraînent nécessairement des interruptions de service parfois assez longues. Aussi, il faut limiter, autant que possible, leur utilisation.

\_ Le lavage sous tension permet d'éviter ces coupures.

Dans son principe, ce type de lavage permet de garder propre l'isolateur. Ce dernier est réalisé à l'aide d'installations fixes ou mobiles. Dans ces cas, il est effectué selon des règles strictes concernant la qualité de l'eau de lavage, le processus de lavage et les distances de sécurité à respecter afin d'éliminer tout risque de contournement pendant le lavage.

\_ Le nettoyage des isolateurs à l'aide d'un abrasif pulvérisé sous pression est une technique utilisée dans certains pays (Amérique du nord en particulier). Cette technique permet le nettoyage d'isolateurs recouverts de pollution très adhérente (ciment, par exemple) et peut être utilisée pour dégraisser les isolateurs[22].

### **Conclusion**

Dans ce chapitre introductif, une synthèse des différents aspects des phénomènes de pollutions est présentée. Les principales conclusions que l'on peut tirer de cette synthèse sont : La pollution reste un facteur déterminant pour le dimensionnement des isolateurs dans les ouvrages de haute tension.

\_ 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.

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 rencontrés par les exploitants sur le réseau.





## Introduction

L'analyse d'un phénomène physique passe souvent par l'acquisition d'un signal en fonction du temps. Même si la représentation temporelle d'un signal est la plus naturelle, elle ne permet pas toujours une analyse complète.[27]

L'analyse par ondelette est une nouvelle technique pour l'analyse des signaux. Contrairement aux techniques classiques, la décomposition par ondelettes produit une famille de décompositions organisées hiérarchiquement. La sélection d'un niveau approprié de la hiérarchie dépendra du signal et de l'expérience.

L'Analyse par ondelette découle tout naturellement de l'analyse de Fourier. Il est donc naturel de commencer par celle-ci afin de saisir les bases de cette nouvelle technique.

### II.1. Signal

Un signal est la représentation physique de l'information, qu'il convoie de sa source à son destinataire. La description mathématique des signaux est l'objectif de la théorie du signal. Elle offre les moyens d'analyser, de concevoir et de caractériser des systèmes de traitement de l'information.

### II.2. Classification des signaux

On distingue les signaux à variable continue, des signaux à variable discrète ainsi que ceux dont l'amplitude est discrète ou continue.

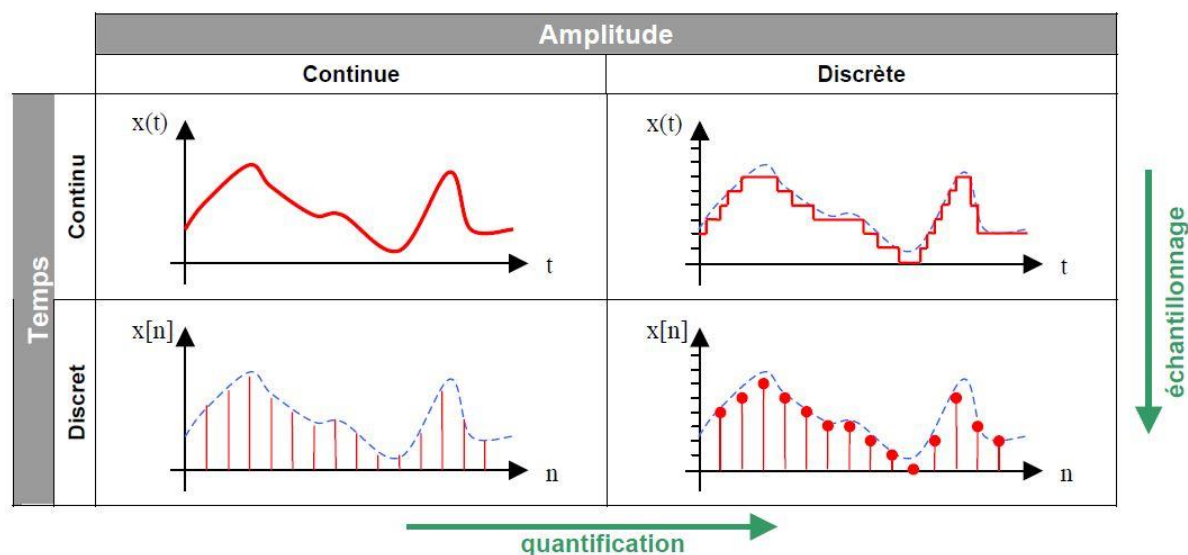


Figure . II.1. Classification des signaux

On obtient donc 4 classes de signaux :

- 1\_ Les signaux analogiques : dont l'amplitude et le temps sont continus
- 2\_ Les signaux quantifiés : dont l'amplitude est discrète et le temps continu
- 3\_ Les signaux échantillonnés : dont l'amplitude est continue et le temps discret

4\_ Les signaux numériques : dont l'amplitude et le temps sont discrets

### II.3. Séries de Fourier

Les séries de Fourier ont été introduites par Joseph Fourier en 1822, mais il fallut un siècle pour que les analyses offrent des outils d'étude adaptés : une théorie de l'intégrale pleinement satisfaisante et les premiers concepts de l'analyse fonctionnelle. Elles font encore actuellement l'objet de recherches actives pour elles-mêmes, et ont suscité plusieurs branches : analyse harmonique, théorie du signal, ondelettes, etc.

Les séries de Fourier se rencontrent dans la décomposition des signaux périodiques, dans l'étude des courants électriques, des ondes cérébrales, dans la synthèse sonore, le traitement d'images, etc.[28]

#### II.3. 1.Transformée de Fourier

La transformée de Fourier est l'un des outils, sinon l'outil fondamental du traicteur des signaux. Elle permet d'associer à la forme d'onde habituelle, la représentation d'un signal en fonction de sa variable d'évolution, une autre représentation, complémentaire, dans le domaine fréquentiel. L'utilisation de cette description fréquentielle permet de faciliter leur étude[31]

La décomposition en série de Fourier permet de décomposer un signal en somme des sinusoïdes. On utilise principalement les séries de Fourier dans le cas des signaux périodiques. Elles permettent ainsi de passer facilement du domaine temporel au domaine fréquentiel. [32] Ce qui s'écrit mathématiquement :

$$\hat{F}(w) = \int_{-\infty}^{\infty} F(t)e^{-j\omega t} dt \quad (\text{II. 1})$$

#### II.3. 2. Application de la transformée de Fourier

la Caractérisation d'un signal par son spectre de fréquence permet notamment de mettre en évidence l'importance de l'harmonique fondamental ainsi que la décroissance plus ou moins rapide de l'amplitude des harmoniques de rang plus élevé. Il peut aussi servir à déterminer le nombre d'harmoniques nécessaires pour transmettre la quasi-totalité de l'énergie du signal[33]

#### II.3. 3. Transformée de Fourier rapide (FFT ou TFR)

La transformée de Fourier rapide TFR ou FFT est simplement un algorithme permettant de réduire le nombre d'opérations, en particulier le nombre de multiplications,

pour calculer la TFD ce temps de calcul est en effet primordial pour réaliser des systèmes numériques en «temps réel».[29]

### II.3. 4. Transformée de Fourier à temps discret

La transformée de Fourier à temps discret ne s'applique que sur des signaux à temps discret non-périodiques. La transformée de Fourier d'un tel signal effectue le produit scalaire entre le signal et l'exponentielle complexe  $\exp(2\pi jFn)$  pour tout F. Sa définition est :

$$X(F) = \sum_{n \rightarrow -\infty}^{+\infty} x(n) e^{-2j\pi \frac{nF}{F_e}} \quad (\text{II.2})$$

On peut utiliser le TFD pour faire un spectrogramme d'un signal de durée illimitée.

Le spectrogramme est un diagramme associant à chaque instant t d'un signal, son spectre de fréquence.

### II.3. 5. Échantillonnage

L'échantillonnage consiste à prélever à des instants précis, le plus souvent équidistants, les valeurs instantanées d'un signal. Le signal analogique  $s(t)$ , continu dans le temps, est alors représenté par un ensemble des valeurs discrètes :

$$S_e(t) = S(n \cdot T_e) \quad (\text{II.3})$$

n: entier.

$T_e$  : période d'échantillonnage.

Cette opération est réalisée par un échantillonneur souvent symbolisé par un interrupteur.

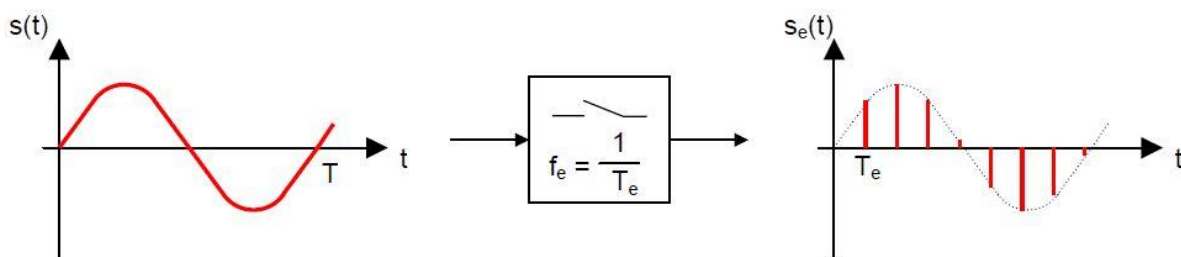


Figure .II.2. procédé d'échantillonnage.

### II.3.6. Transformée de Fourier à court terme

La transformée de Fourier à court terme (TFCT ou STFT), ou transformée de Fourier locale d'une fonction  $x(t)$  est définie à l'aide d'une fenêtre  $w$ . Par la suite, on est amené à faire glisser cette fenêtre utilisée pour localiser en temps l'analyse

On notera bien que la fenêtre que l'on fait glisser est toujours la même et a donc la même résolution en temps et en fréquence sur tout le signal.

On obtient alors une famille de coefficients  $W_x(F,\tau)$  où  $F$  représente la fréquence et  $\tau$  le déplacement.

$$STFT \{x(t)\} = X(\tau, \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)w(t - \tau)e^{-j\omega t} dt \quad (\text{II.4})$$

où  $w$  est la fonction de fenêtrage.

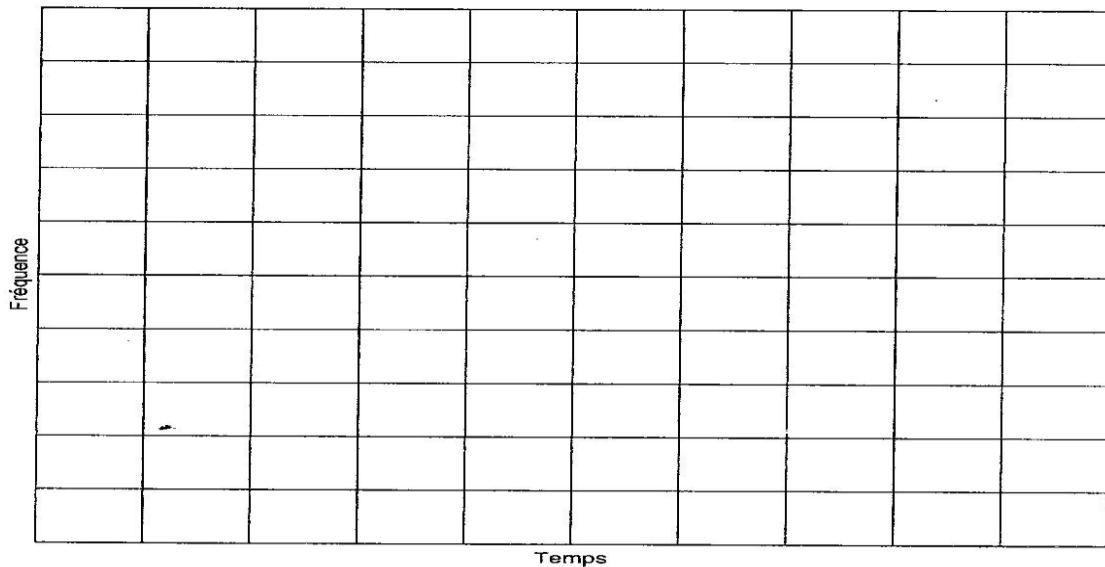


Figure II.3. pavage temps – fréquence

### II.3. 7. Principe d'Heisenberg

il existe une limite fondamentale à la précision avec laquelle il est possible de connaître simultanément deux propriétés physiques d'une même particule ; ces deux variables dites complémentaires

$$\sigma_t \sigma_\omega \geq \frac{h}{4\pi} \quad (\text{II.5})$$

$h$  : est la constant de Planck

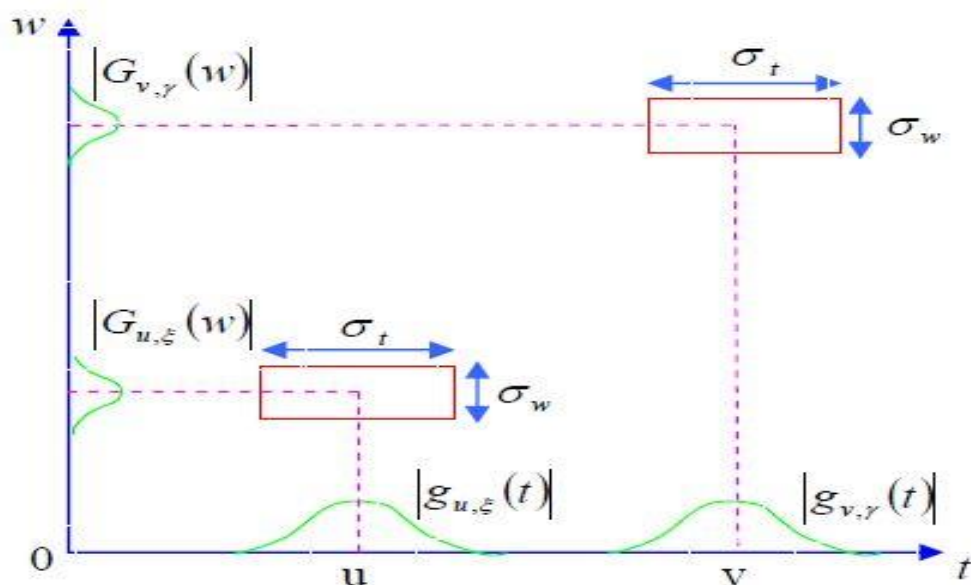


Figure II.4. Atome de Gabor

On peut noter un inconvénient majeur de la TFCT. En effet, la fenêtre est de longueur fixe ce qui est un handicap important lorsqu'on veut traiter des signaux dont les variations peuvent avoir des ordres de grandeur très variable comme c'est le cas pour les signaux musicaux.

Par ailleurs, on remarque qu'il pourrait être intéressant de faire varier la taille de la fenêtre non seulement par translation mais également par dilatation et contraction en fonction des caractéristiques du signal et de ce que l'on veut mettre en évidence. C'est précisément ce qui nous amène à la représentation de technique d'ondelettes. [34]

## II.4. Ondelette

### II.4.1. Historique

D'un point de vue historique, l'analyse par ondelettes est une nouvelle méthode, bien que ses fondements mathématiques remontent aux travaux de Joseph Fourier au dix-neuvième siècle.

Progressivement, l'attention des chercheurs fait passer de l'analyse axée sur la fréquence d'analyse comparative à l'échelle quand il a commencé à devenir clair qu'une approche moyennes fluctuations à différentes échelles de mesure pourrait être moins sensible au bruit. La première mention de ce que nous appelons maintenant un « ondelette » semble être en 1909, dans une thèse par Alfred Haar.

Le concept des ondelettes dans sa forme actuelle théorique a été proposé par Jean Morlet et l'équipe du centre de physique théorique de Marseille travaillant sous Alex Grossmann en France.

Les méthodes d'analyse par ondelettes ont été développés principalement par Y. Meyer et ses collègues, qui ont assuré la diffusion des méthodes. L'algorithme principal remonte le travail de Stéphane Mallat en 1988. Depuis lors, les recherches sur les ondelettes sont devenue internationale. Cette recherche est particulièrement active aux Etats-Unis, où il est dirigé par le travail des scientifiques comme Ingrid Daubechies, Ronald Coifman et Victor Wickerhauser.

#### **II.4.2. Analyse par ondelettes**

Nous avons vu précédemment que la TFCT présente un inconvénient majeur. Qui est la résolution temporelle et fréquentielle fixe. La transformée en ondelettes va nous permettre de pallier cet inconvénient. On peut distinguer deux intérêts principaux des ondelettes en tant qu'outil mathématique d'analyse et de représentation des signaux.

Le premier est, comme dit précédemment, centré autour de l'idée de construire un outil d'analyse local en temps. Nous introduirons alors la transformée continue en ondelettes et nous verrons comment elle résout les problèmes posés par les outils classiques. La transformée en ondelettes est non seulement une analyse locale mais, de plus, sa résolution temporelle est variable. Elle permet donc de d'écrire le comportement local des signaux a différentes échelles de temps.

Le second est celui du problème de reconstruction et de la recherche de représentations pratiques. En effet, cette transformée nous permet bien de reconstruire le signal de départ et présente des avantages d'un point de vue numériques.

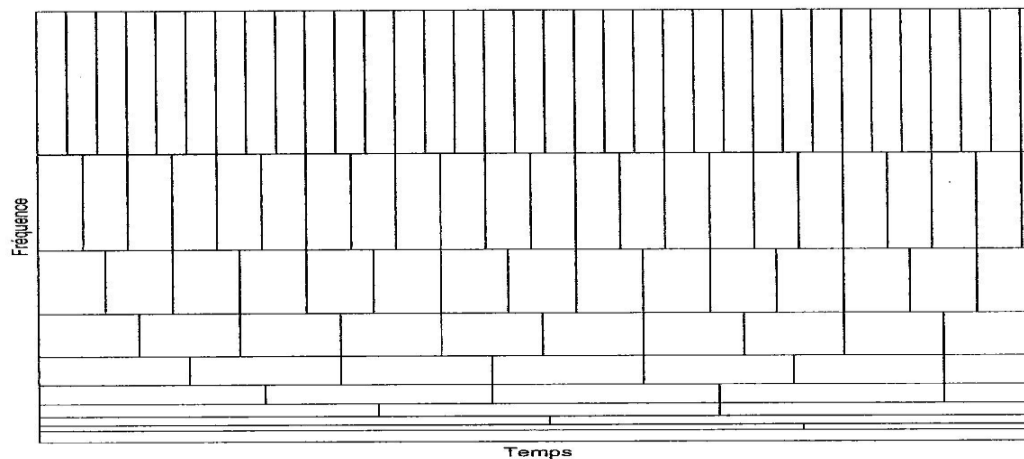


Figure II.5. pavage temps – fréquence avec différents échelles

Un avantage d'ondelettes est la capacité à effectuer des analyses locales.

Considérons un signal sinusoïdal avec une petite discontinuité qu'elle soit à peine visibles. Cette discontinuité peut-être générée par une fluctuation de puissance ou un interrupteur bruyant.

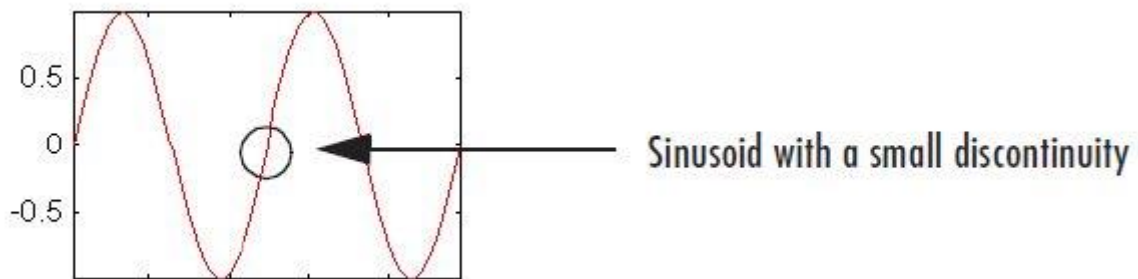
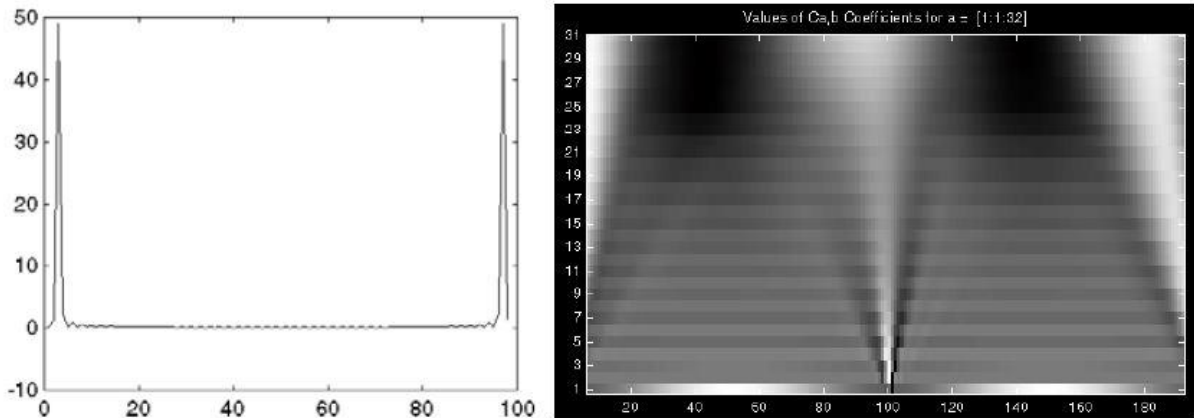


Figure II.6. signal avec une petite discontinuité

L'analyse de Fourier de ce signal ne montre qu'un spectre de deux pics mais son analyse par ondelette montre clairement l'emplacement exact de la discontinuité dans le temps.



**Figure II.7.** l'analyse de Fourier du signal à gauche et par ondelette à droite .

Donc l'analyse par ondelette est capable de montrer les aspects des données comme les tendances, les points de pannes...

#### II.4.2.1. Transformée en ondelettes continue

La transformation en ondelettes continu consiste à créer, à partir d'une ondelette mère notée  $\psi$  (qui ressemble à une petite onde) ou encore appelée ondelette analysante, une famille d'ondelettes : Ce qui s'écrit mathématiquement:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (\text{II. 6})$$

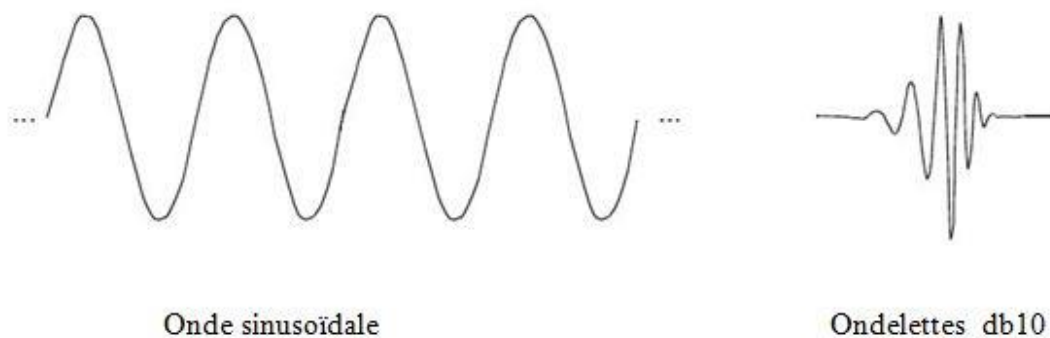
l'analyse par ondelettes est la rupture de l'ondelette par le décalage et mise à échelle de la version original (ou mère). On introduit alors les facteurs de translation  $u$  et d'échelle  $s$  :

$$\psi_{u,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-u}{s}\right) \quad (\text{II. 7})$$

La transformée en ondelette d'une fonction  $F$  continue s'écrit donc comme une décomposition en fonctions  $\psi_{u,s}$  de  $f$  :

$$w F(u, s) = \int_{-\infty}^{\infty} F(t) \psi_{u,s}(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} F(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-u}{s}\right) dt \quad (\text{II. 8})$$

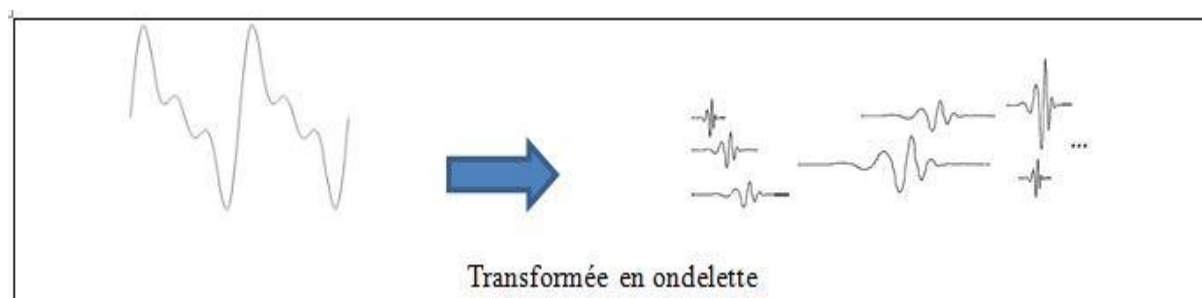




**Figure II.8.** la différence entre l'ondelette et l'onde sinusoïdale

Juste en regardant les images des ondelettes et des ondes sinusoïdales, nous pouvons voir intuitivement que les signaux avec fortes variations pourraient être mieux analysés avec une ondelette irrégulière qu'avec une sinusoïde lisse, il est également logique que les caractéristiques locales peuvent être décrit mieux avec les ondelettes qui ont une étendue locale.

Les résultats du CWT sont de nombreux coefficients d'ondelettes  $C$ , qui sont en fonction d'échelle et position.



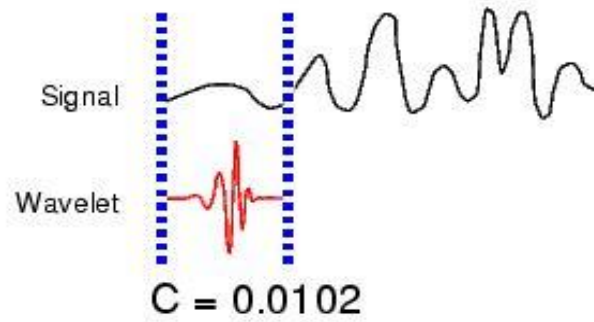
**Figure II.9.** Ondelettes constituantes des différentes échelles et positions

#### II.4.2.1.1. Etapes de transformée d'ondelette continu

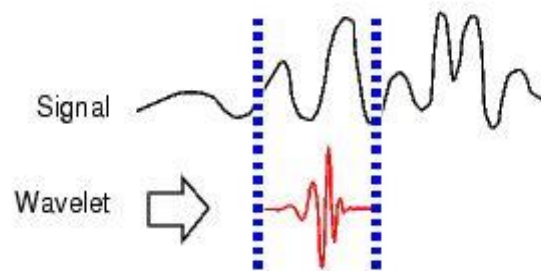
La transformée en ondelettes continue est la somme au-dessus de tous les temps du signal multiplié par des versions à l'échelle, décalées de l'ondelette. Ce processus produit des coefficients d'ondelettes qui sont fonction de l'échelle et la position.

Les cinq étape de la transformée d'ondelette sont :

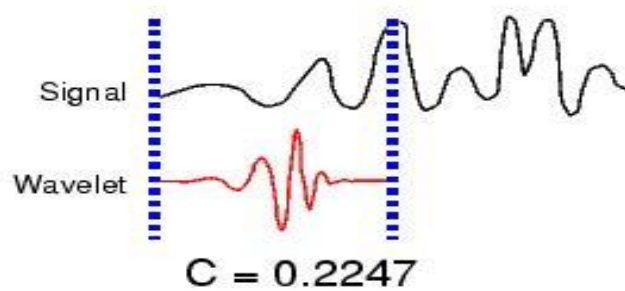
- 1\_ choisir une ondelette et comparer la à une section au début du signal original.
- 2\_ calculer un certain nombre,  $C$ , que représente la corrélation d'ondelette avec cette section du signal. Plus  $C$  est élevé, plus la similitude est élevé .



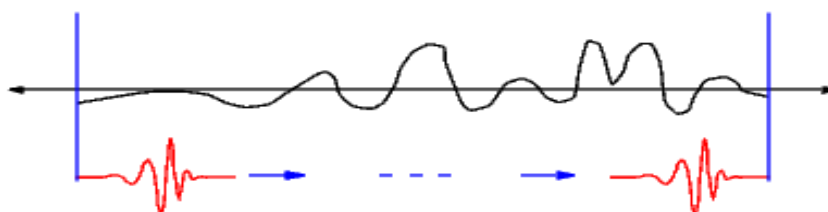
3\_ passer l'ondelettes à droite et répéter les étapes 1 et 2 sur tout le signal.



4\_ étendue l'ondelette et répétez les étapes 1 à 3.



5\_ Répétez les étapes 1 à 4 pour tous les échelles.



le scalogramme obtient après ces cinq étapes (Figure II.10)

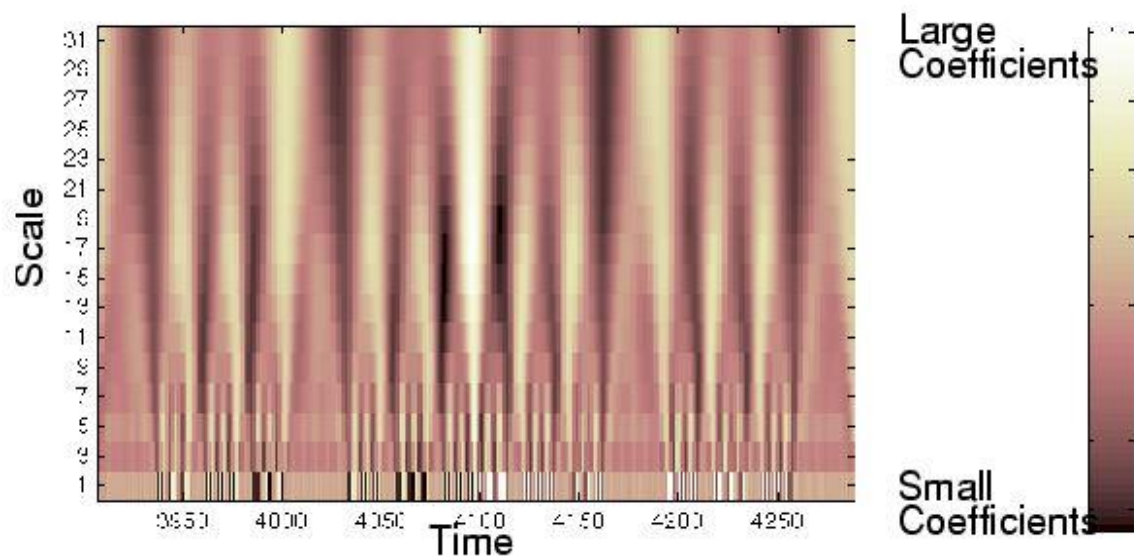


Figure II.10. diagramme temps échelle

#### II.4.2.2. Transformée en ondelettes discrète

Calcul des coefficients d'ondelettes à toutes les échelles possibles est une bonne quantité de travail, et il génère énormément des données.

Il s'avère plutôt remarquable, que si nous choisissons des échelles et des positions issues des puissances de deux, ce qu'on appelle dyadique échelles et positions--alors notre analyse sera beaucoup plus efficace et tout aussi précis. Nous obtenons une telle analyse de la transformée en ondelettes discrète (DWT).

Un moyen efficace de mettre en œuvre ce régime à l'aide de filtres a été développé en 1988 par Mallat [30] L'algorithme de Mallat est en fait un schéma classique connu dans la communauté de traitement du signal comme un codeur de sous-bande de deux canaux [27]. Cet algorithme de filtrage très pratique conduit à une transformation en ondelettes rapide. Le processus de filtrage le plus élémentaire est montré par Figure II.11

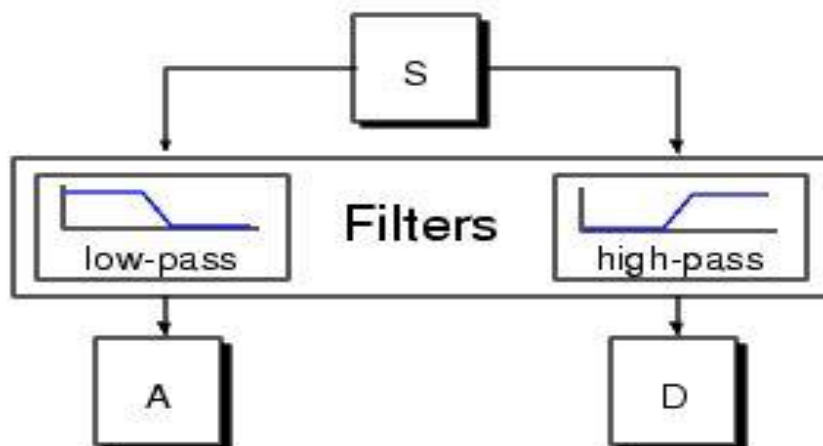


Figure II.11. Filtre d'approximations et détails

Le processus de décomposition peut être itéré, avec des approximations successives étant décomposées à son tour, alors qu'un seul signal est décomposé en plusieurs composantes de résolution inférieures. C'est ce qu'on appelle l'arbre de décomposition des ondelettes.

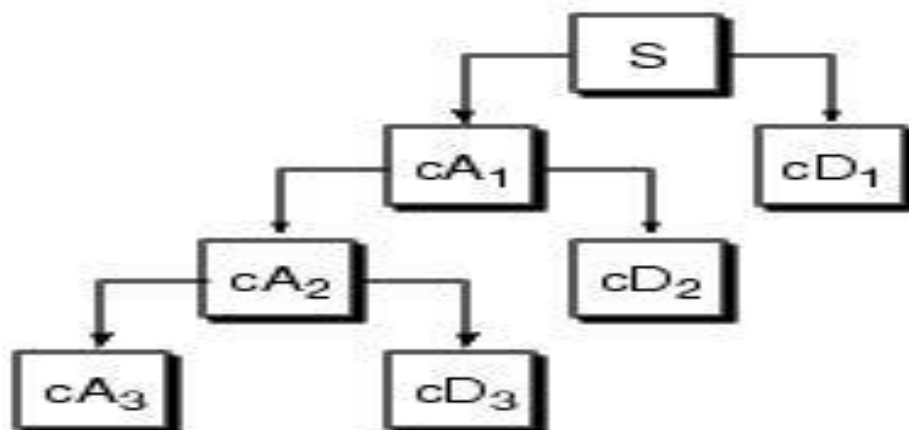


Figure II.12. l'arbre de décomposition en ondelettes

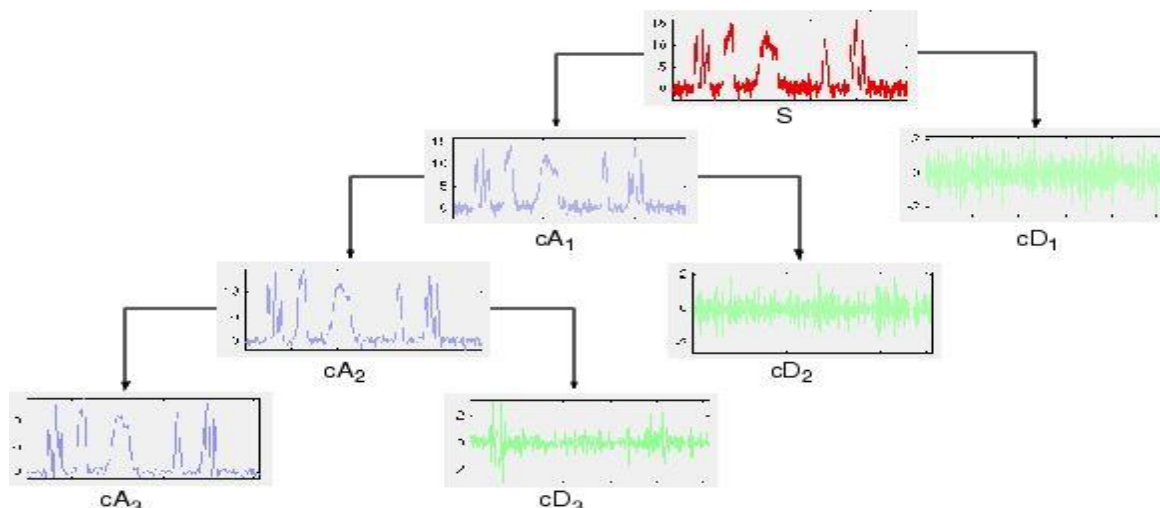
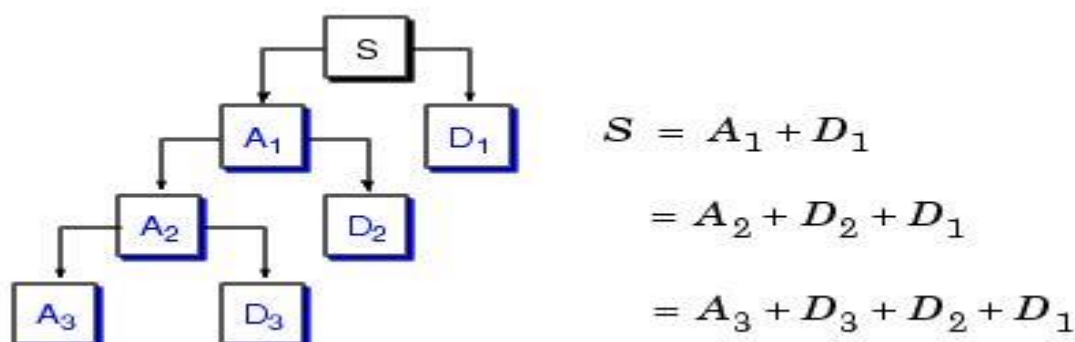


Figure II.13. décomposition d'un signal

Étendre cette technique aux composants d'une analyse à plusieurs niveaux, nous trouvons que des relations similaires tiennent pour tous les composants de signal reconstruit. Autrement dit, il y a plusieurs façons de remonter le signal original :



### II.4.2.3. Nombre de niveaux

Étant donné que le processus d'analyse est itératif, en théorie, qu'il peut se prolonger indéfiniment. En réalité, la décomposition peut procéder uniquement jusqu'à ce que les détails individuels sont constitués d'un seul échantillon ou pixel. Dans la pratique, vous allez sélectionner un nombre adéquat de niveaux basés sur la nature du signal ou sur un critère approprié comme l'entropie.

### II.4.2.4. Paquets d'ondelettes

La méthode de paquet d'ondelettes est une généralisation de la décomposition en ondelettes qui offre une gamme plus riche des possibilités pour l'analyse du signal. Dans l'analyse en ondelette, un signal est décomposé en approximation et détail. L'approximation est alors elle-

même coupée en approximation et détail de deuxième-niveau, et le processus est répété. Pour une décomposition de  $n$ -niveau, il y a  $(n+1)$  manières possibles de décomposer ou coder le signal [35].

Dans l'analyse en paquet d'ondelettes, les détails aussi bien que les approximations peuvent être décomposés. Ceci rapporte plus de  $2^{2^{n-1}}$  de différentes décompositions du signal. L'arbre de décomposition en paquet d'ondelettes est représenté dans la figure

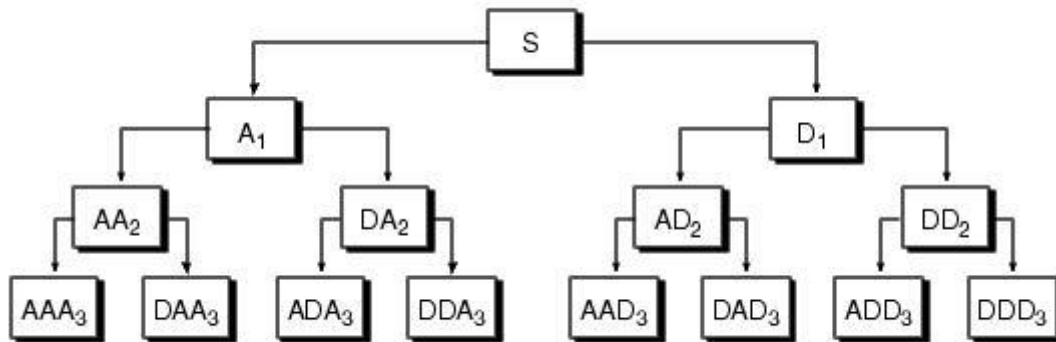


Figure II.14. Arbre de décomposition de paquets d'ondelettes au niveau 3

**II.4.2.5.Énergie de la décomposition d'ondelette**

La valeur propre d'énergie de chaque bande de fréquence est définie par :

$$E_j = \sum_{k=1}^{k=n} D_{j,k}^2(n) \tag{II. 9}$$

**II.4.2.6.Familles d'ondelettes**

Ce qui suit est une introduction à certaines familles d'ondelettes.

**II.4.2.6.1.Haar**

Toute discussion des ondelettes commence par ondelettes de Haar, le premier et le plus simple. Ondelettes de Haar est discontinue et ressemble à une fonction en escalier. Il représente le même ondelettes comme Daubechies db1.

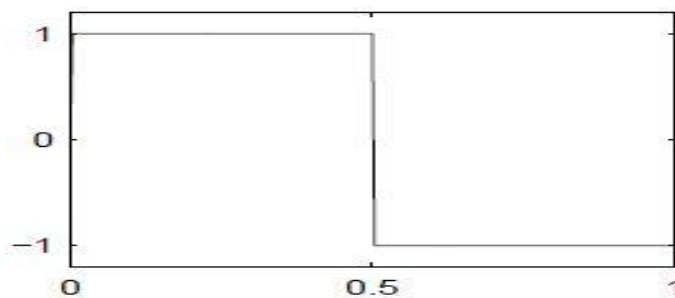


Figure II.15.l'ondelette Haar

**II.4.2.6.2. Daubechies**

Ingrid Daubechies, une des étoiles plus brillantes dans le monde de la recherche par ondelettes, inventé ce qu'on appelle des ondelettes orthonormale compacte pris en charge, ce qui rend l'analyse par ondelettes discrètes possible.

Les noms des ondelettes de Daubechies familiales sont rédigés db N, où N est l'ordre et le db le « nom » de l'ondelette.

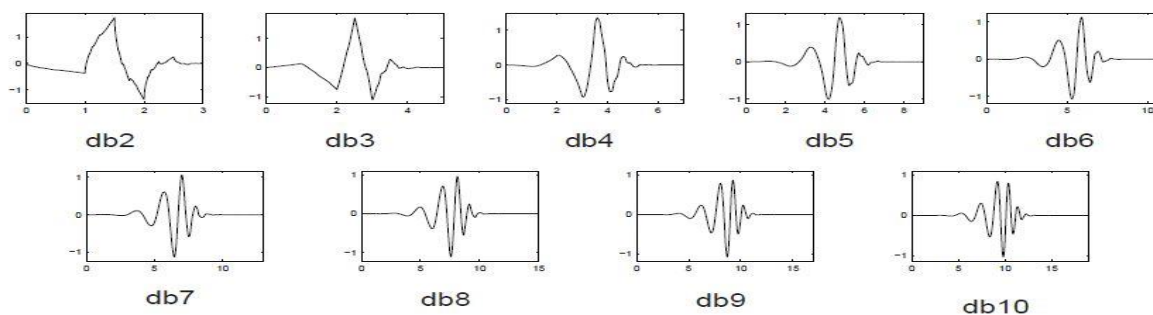


Figure II.16. l'ondelette Daubechie

**II.4.2.6.3. Biorthogonal**

Cette famille des ondelettes expose la propriété de phase linéaire, ce qui est nécessaire pour la reconstruction de signaux et d'images. En utilisant deux ondelettes, une pour la décomposition (à gauche) et l'autre pour la reconstruction (du côté à droite) au lieu de la seule même, des propriétés intéressantes sont dérivées.

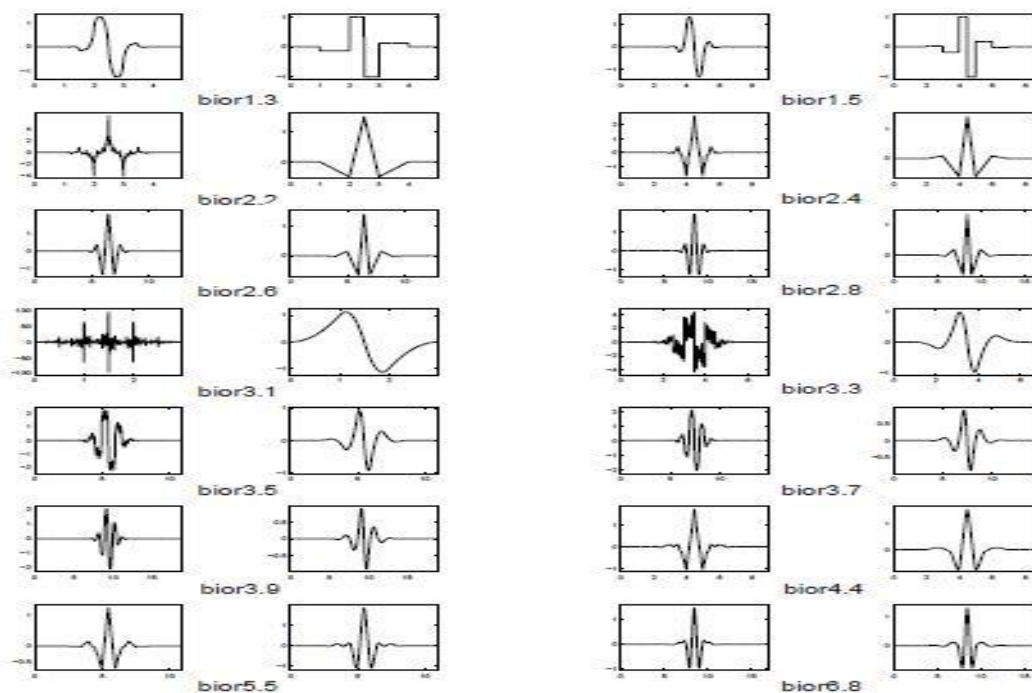


Figure II.17. l'ondelette Biorthogonal

**II.4.2.6.4.Coiflets**

Construit par I. Daubechies à la demande de R. Coifman. La fonction d'ondelettes a  $2N$  moments égaux à 0 et la fonction de mise à l'échelle a  $2N-1$  moments égaux à 0. Les deux fonctions ont un support de longueur  $6N-1$ .

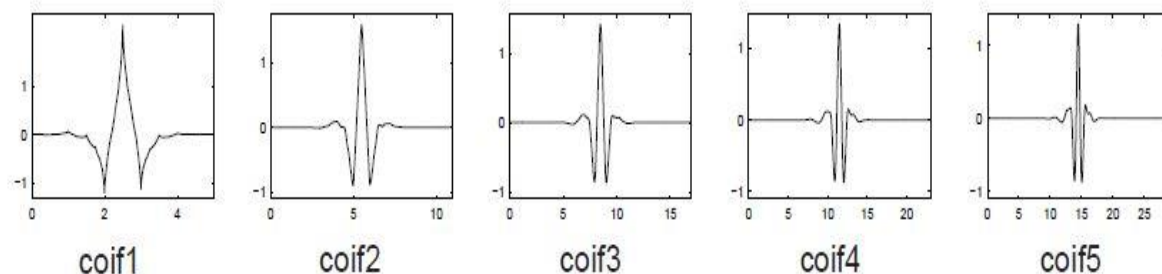


Figure II.18.l'ondelette Coiflets

**II.4.2.6.5.Symlets**

Les Symlets sont presque symétriques ondelettes proposés par Daubechies comme des modifications à la famille de db. Les propriétés des deux familles ondelettes sont similaires.

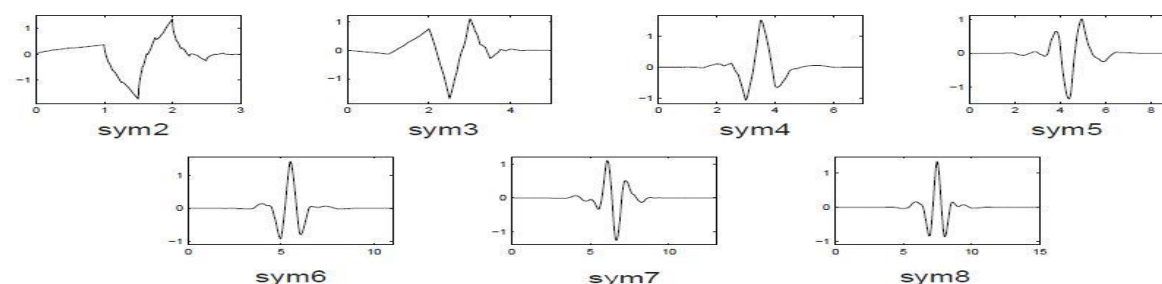


Figure II.19.l'ondelette Symlets

**II.4.2.6.6.Morlet**

Cette ondelette n'a aucune fonction de mise à l'échelle, mais il est explicite.

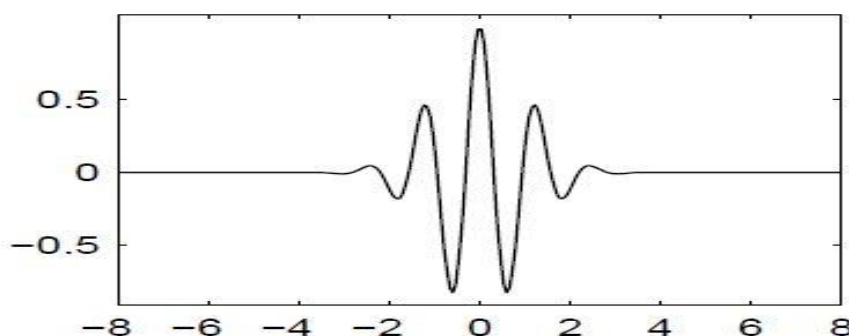


Figure II.20.l'ondelette Morlet



#### II.4.2.6.7. chapeau Mexican

Cette ondelette n'a aucune fonction de mise à l'échelle et est dérivée d'une fonction qui est proportionnelle à la fonction dérivée seconde de la fonction de densité de probabilité gaussienne.

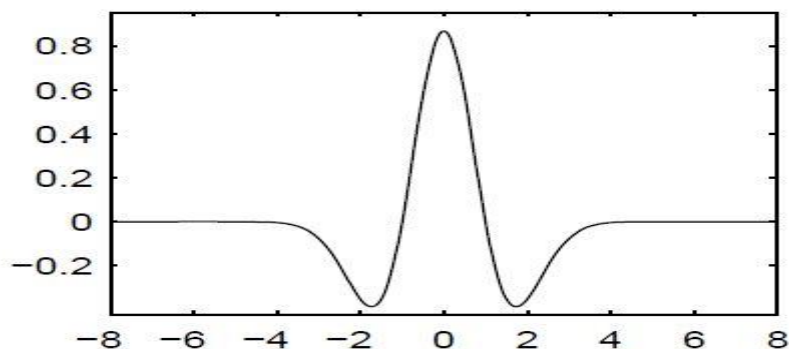


Figure II.21. l'ondelette Mexican Hat

#### II.4.2.6.8. Meyer

Les ondelettes de Meyer et mise à l'échelle de fonction sont définies dans le domaine fréquentiel.

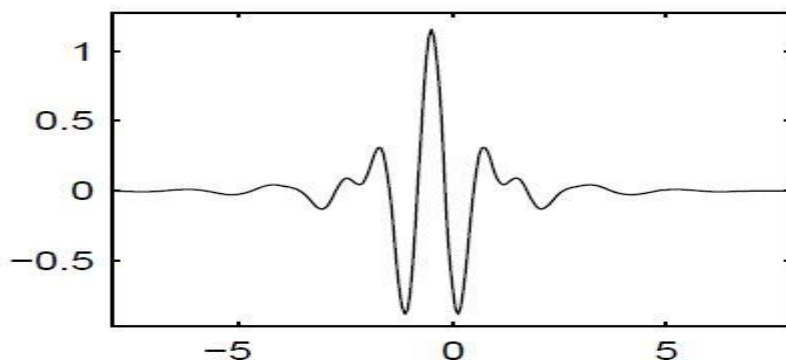


Figure II.22. l'ondelette Meyer

### Conclusion

Dans cette partie, nous avons présenté de manière succincte la transformée de Fourier, la transformée de Fourier à court terme, la transformée en ondelette continue (CWT), la transformée en ondelette discrète (DWT), la transformée en paquet d'ondelette et certaines familles d'ondelettes à cause des propriétés dont chacune d'elle dispose pour le traitement local des signaux .

L'analyse en Ondelette est une solution de plusieurs problèmes en décomposant le signal sur une base de signaux élémentaires obtenus par dilatation et décalage d'une Ondelette de base.

## Introduction

Afin d'étudier le comportement du modèle plan de l'**isolateur plat F160D/46 DC** dans le cas d'une pollution non-uniforme, des essais ont été effectués au laboratoire de Haute Tension de l'Université de Tiaret. Ce type d'isolateur a été choisi car il est utilisé en Algérie par la SONELGAZ pour les lignes de haute tension (400 kV) entre Bechar et Naama.

Pour la pollution non-uniforme, nous nous sommes intéressés à l'influence de la largeur des bandes propres et le type de pollution, sur la tension de contournement et le courant de fuite pour plusieurs niveaux de tension appliqués.

### III.1. Dispositif expérimental

#### III.1.1. Circuit d'essais du Laboratoire de Haute Tension

La station d'essai à fréquence industrielle du Laboratoire de Haute Tension de Tiaret est de marque "Messwandler-Bau". Cette station contient les équipements suivants (Figure III.1) :

- \_ Un transformateur d'essai : 220V/200kV, 50 Hz
- \_ Des appareils de mesures et de protection.
- \_ Un oscilloscope numérique « GWINSTEK GDS-2062 » de bande passante 200 MHz permet l'acquisition des signaux du courant de fuite et de la tension appliquée de notre modèle.
- \_ Une caméra numérique SONY DCR-SX34 sert à suivre le phénomène des décharges.

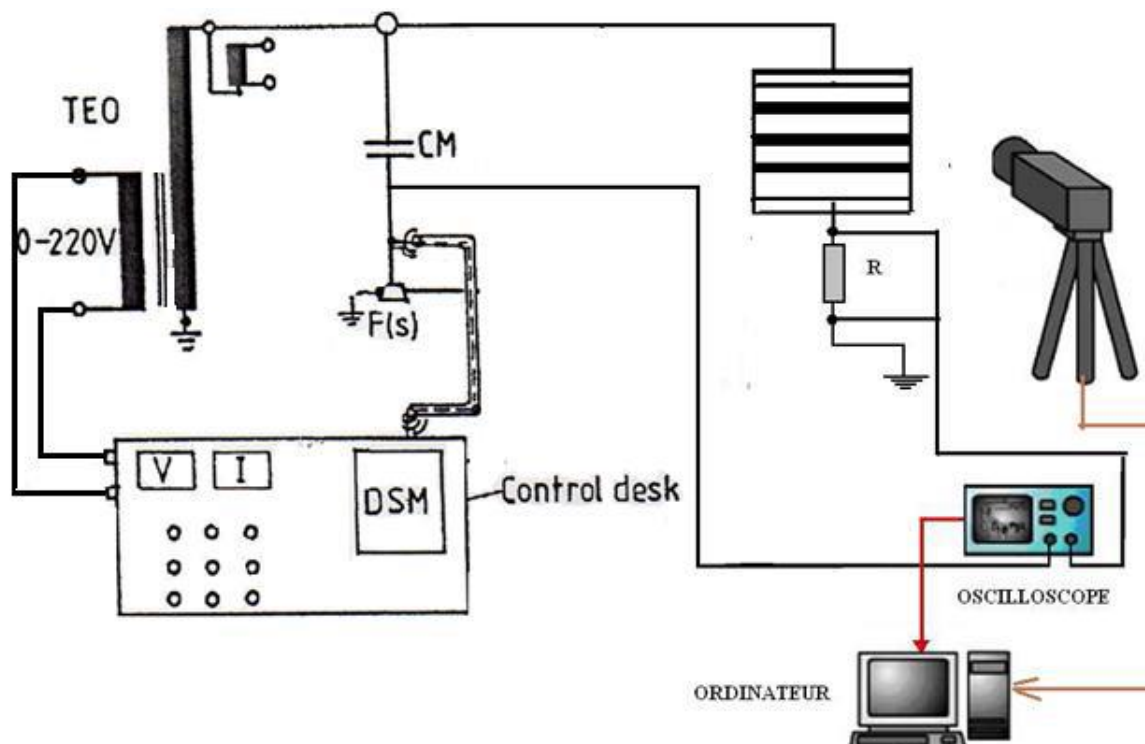


Figure III.1: circuit d'essai.

### III. 1. 2. Objet d'essai

C'est un modèle plan d'isolateur standard **F160D\_146 DC** (Figure III.2) ..

Ils ont utilisé deux bandes conductrices en aluminium découpées de manière à ne pas avoir de pointes à leurs extrémités, et il les ont collé sur le modèle plan à l'aide du gessoil de manière à éviter les couches d'air qui ont tendance à se former entre le plan et les bandes conductrices, pouvant engendrer des petites décharges, ce qui risque d'erreur les mesures pendant les expériences (Figure III.3)

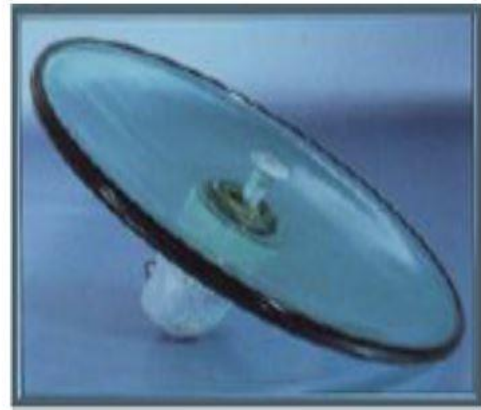
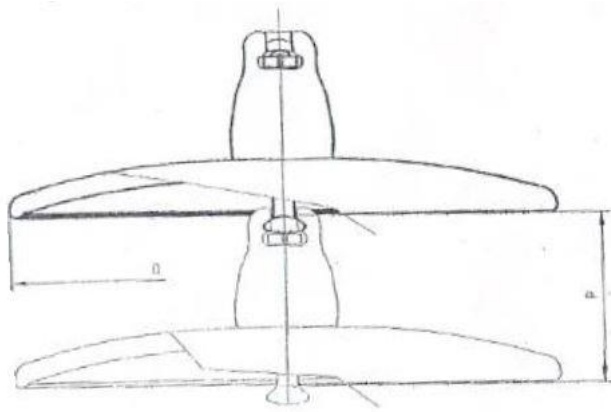
Le modèle est posé à une hauteur de 175 cm du sol (Figure III.4), afin de limiter l'effet des capacités parasites qui peuvent altérer la mesure de la tension appliquée et du courant de fuite. Les principales dimensions du modèle plan étudié et de l'isolateur réel **F 160 D\_146 DC** sont données dans les tableaux III.1 et III.2 après avoir mesuré les différentes grandeurs à l'aide d'un mètre ruban.

Caractéristiques de l'isolateur	Grandeurs
Résistance mécanique	160 kN
Diamètre du disque	420 mm
Poids approximatif	8 kg
Pas (P)	146 mm
Accrochage suivant CEI 60120	20 mm
Ligne de fuite	375 mm

**Tableau III.1.** Caractéristiques de l'isolateur réel (CEI 60305/2005).

Caractéristiques de l'isolateur	Grandeurs
Longueur de la plaque	435 mm
Largeur de la plaque	435 mm
Épaisseur de la plaque	5 mm
Distance inter-électrode à l'état propre	375 mm

**Tableau III.2.** Dimensions du modèle plan étudié.



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



**figure III.3.** modèle plan.



**Figure III.4.** hauteur de modèle par rapport au sol

### III. 2. Nettoyage du plan

Le nettoyage du plan est tout d'abord fait avec de l'eau du robinet ; puis il est séché avec des serviettes en papier pour éliminer le maximum d'impuretés déposées. Un deuxième nettoyage est effectué à l'aide d'un bout de coton trempé d'alcool chirurgical à 700 afin d'assurer une propreté quasi-totale du modèle plan.

### III.3. Types de Pollution des Isolateurs

#### III.3.1. Type 1

La pollution artificielle est appliquée en pulvérisant le modèle par une solution saline (Na Cl mélangé avec l'eau distillée) de conductivité volumique 1mS/cm.

### III.3.2. Type 2

La pollution est réalisée en couvrant le modèle par le sable relevé de sol de Ain Safra à proximité de la zone où notre modèle d'isolateur réel **d'isolateur standard F 160 D\_146 DC** est installé. Le sable du sol est uniformément réparti sur le modèle plan avec une quantité de 10g dans chaque couche polluée, ensuite la pulvérisation est effectuée avec l'eau distillée.

### III.3.3. Type 3

La même procédure est répétée avec le sable des dunes provenant de la même région.

### III.3.4. Type 4

la pollution artificielle est faite de la même manière précédente en utilisant le sable de la mer de Bordj Elkifane (Alger).

## III. 4. Technique de pulvérisation

La pulvérisation est utilisée pour obtenir une couche de pollution artificielle. La méthode de pulvérisation doit être la même pour les différents essais à fin de minimiser les erreurs de mesure.

L'humidification de la surface est obtenue après six pulvérisations de chaque côté de l'isolateur à une distance de 0.5m qui est gardée constante pendant toutes l'expérimentation (Figure III.5).

Dans l'intention de déterminer l'influence de nombre de pulvérisation sur la tension de contournement, les essais sont effectués en variant le nombre de pulvérisation d'une manière régulière 3, 6 et 9 pulvérisation de chaque côté du modèle.

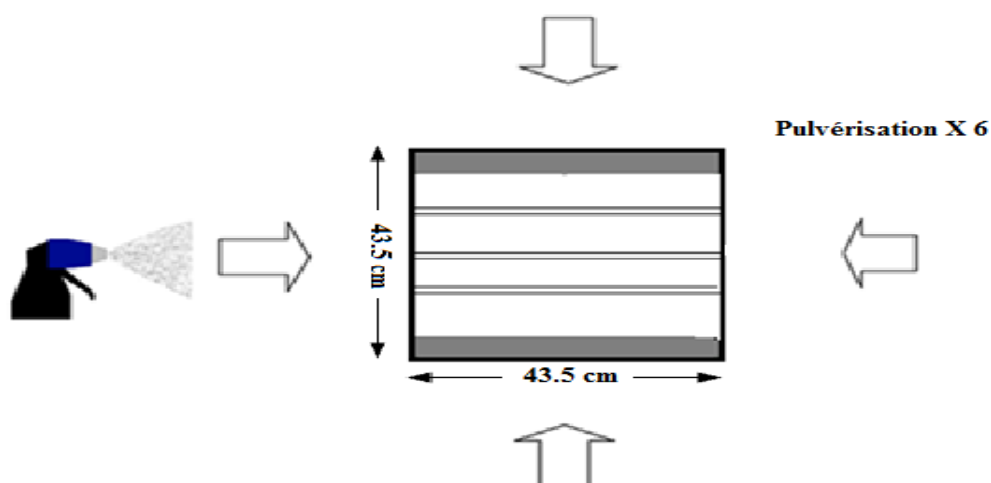


Figure III.5. technique de pulvérisation.

### III.4.1 Pollution non-uniforme

Dans l'intention de déterminer l'influence de la pollution non-uniforme sur le comportement du modèle plan du laboratoire, les essais sont effectués en variant la largeur des couches de pollution et le type de pollution de façon régulière.

Pour ce cas de figure, l'humidification de la surface est faite en cachant les parties qu'on veut garder sèche avec du nylon (Figure III.5).

## III.5. Interprétation des résultats expérimentaux

### III.5.1. Etude de la tension de contournement

La tension de contournement est un paramètre essentiel pour l'isolateur, elle permet de définir la rigidité diélectrique du système. Dans notre cas, avant de procéder aux enregistrements du courant de fuite nous avons mesuré la tension de contournement pour les différentes configurations de conductivité et de pollution.

#### III.5.1.1. Influence du nombre de pulvérisation

Les résultats obtenus pour les essais concernant modèle de J. Danis, conductivité est 1mS/cm, largeur de chaque bande propre  $L_{bp} = 1\text{cm}$  sont donnés dans le tableau III.3.

N° d'essai		Essai N°1	Essai N°2	Essai N°3	Moyen
Uc (KV <sub>eff</sub> )	3 pulvérisation	144	148	134	142
	6 pulvérisation	124	112	110	115.33
	9 pulvérisation	77	90	86	84.33

**Tableau III.3.** Mesures de la tension de contournement avec 3 configurations de pulvérisation

#### III.5.1.2. Influence de la largeur des bandes propres

Les résultats obtenus pour les essais concernant modèle de J. Danis, conductivité est 1mS/cm, six pulvérisations sont donnés dans le tableau III.4

N° d'essai		Essai N°1	Essai N°2	Essai N°3	Moyen
Uc (KV <sub>eff</sub> )	1 cm	124	112	110	115.33
	3cm	128	124	132	128
	3 cm à coté HT	104	113	108	108.33
	5 cm	114	108	116	112.66
	1,3 et 5	104	108	100	104

**Tableau III.4.** Mesures de la tension de contournement avec différentes largeurs des bandes propres

### III.5.1.3. Etude de l'influence du type de pollution

Le tableau III.5. montre les résultats obtenus pour les essais concernant modèles de J. Danis, largeur des bandes propres 1cm, six pulvérisations.

N° d'essai		Essai N°1	Essai N°2	Essai N°3	Moyen
Uc (KV <sub>eff</sub> )	Sable de sol	124	130	126	126.66
	Sable des dunes	126	134	140	133.33
	Sable de mer	61	55	60	58.66

**Tableau III.5.** mesure de la tension de contournement des types de pollution.

## III .6. Courant de fuite

### III .6. 1. Définition de courant de fuite

C'est un courant de faible amplitude circulant à travers la couche polluante humide 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

### III.6.2. Courant de fuite critique

Le courant de fuite critique  $I_{max}$  est le courant minimal nécessaire pour provoquer un contournement. Sa valeur est obtenue dans la dernière demi-période avant le contournement.

### III.6.3. 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 de marque « GWINSTEK GDS-2204 ». Pour évaluer le courant de fuite, nous récupérons le signal de la tension aux bornes d'une résistance de  $1k\Omega$  insérée en série entre l'objet d'essai et le retour de la terre.

#### III.6.3.1. Influence de la largeur des bandes propres sur le courant de fuite

les tableaux III.6, III.7, III.8 et III.9, montrent les courants de fuites mesurés pour différentes tensions appliquées et une conductivité de  $1mS/cm$ .

**III.6.3.1.1. Largeur des trois bandes propres 1cm**

$U_{App}$	1	2	3	4	$I_{moyen} (\mu A)$
10	48	38	45.1	64.2	48.825
15	82	88	89.9	85.6	86.375
	100	129	108	121	114.5
20	235	174	214	207	207.5
30	382	359	383	357	370.25
40					
50	1190	1150	1150	1220	1177.5

**Tableau III.6.** Mesures de la tension de contournement avec différentes largeurs des bandes propres**III.6.3.1.2. Largeur des bandes propres 3cm**

$U_{App} (kV)$	1	2	3	4	$I_{moyen} (\mu A)$
10	45.3	43.2	41.1	41.7	42.825
20	64.6	64.6	72.8	64.2	66.55
30	82	89	84	89.7	86.175
40	112	118	118	115	115.75
50	145	144	142	142	143.25

**Tableau III.7.** Evolution du courant de fuite en fonction de la tension appliquée (3 bandes de 3cm).**III.6.3.1.3. Largeur des bandes propres de 5 cm**

$U_{App} (kV)$	1	2	3	4	$I_{moyen} (\mu A)$
10	28	33.5	29	33.6	31.025
20	56.1	51.3	53.9	62	55.825
30	115	119	108	119	115.25
40	147	148	155	140	147.5
50	221	226	221	208	219

**Tableau III.8.** évolution du courant de fuite en fonction de la tension appliquée (3 bandes de 5cm)



**III.6.3.1.4. Largeur des bandes propres de 1,3,5 cm**

$U_{App}$ (kV)	1	2	3	4	$I_{f\text{ moyen}}$ ( $\mu A$ )
10	50	53	56	55	53.5
20	116	109	113	118	114
30	197	206	205	206	203.5
40	242	241	248	236	241.75
50	379	375	373	377	376

**Tableau III.9.** évolution du courant de fuite en fonction de la tension appliquée (3 bandes de 1,3,5cm).**III.6.3.2. Influence de différents types de pollution sur le courant de fuite**

Les tableaux III.10, III.11 et III.12 montrent le courant de fuite en fonction de tension appliquée pour le sable de sol, des dunes et de la mer avec  $L_{bp}$  est 1 cm.

$U_{App}$ (kV)	1	2	3	4	$I_{f\text{ Moyen}}$ ( $\mu A$ )
10	120	114	109	118	115.25
15	111	123	120	123	119.25
20	134	137	134	127	133

**Tableau III.10.** Mesures du courant de fuite ( pollution avec le sable du sol).

$U_{App}$ (kV)	1	2	3	4	$I_{f\text{ Moyen}}$ ( $\mu A$ )
10	61	54	58	61.8	58.7
15	69.1	64.3	65.3	69.9	67.15
20	125	124	119	111	119.75

**Tableau III.11.** Mesures du courant de fuites (pollution avec le sable des dunes).

$U_{App}$ (kV)	1	2	3	4	$I_{f\text{ Moyen}}$ ( $\mu A$ )
10	117	121	121	108	116.75
15	227	291	224	268	252.5
20	741	716	735	618	702.5

**Tableau III.12.** Mesures du courant de fuite (pollution avec le sable de la mer).

**CONCLUSION**

Afin de bien réussir notre étude, nos essais sont effectués sur le model plan pour simulé l'isolateur réel **F 160 D\_146 DC** dans le cas d'une pollution non uniforme, le modèle plan a été choisi pour plusieurs raisons :

- \_ Ce modèle donne des résultats très proches du modèle réel.
  
- \_ L'utilisation d'une plaque isolante transparente nous permet de bien visualiser l'activité des décharges parallèles sur la surface.
  
- \_ L'application de la couche de pollution non-uniforme est facile et plus précise que sur l'isolateur réel.
  
- \_ Le nettoyage de la plaque est simple

## Introduction

Dans ce chapitre, l'utilisation de la technique des ondelettes a pour objectif de caractériser l'état de surface du modèle. Nous exploitons en premier lieu le signal de la tension appliquée pour les différents types de conductivité utilisant la **CWT**. En deuxième lieu le signal du courant de fuite est décomposé par la **DWT** pour différentes largeurs des bandes propres et pour différents types de pollution.

### IV.1. Choix de l'ondelette mère (analysante)

L'extraction des informations des signaux transitoires ou permanents nécessite des choix judicieux pour certains paramètres tels que le type de l'ondelette, l'ordre de l'ondelette et le niveau de décomposition.

Le choix de l'ondelette analysante joue un rôle primordial pour la compréhension des phénomènes transitoires comme les impulsions de décharges électriques observées sur le courant de fuite pour un état de pollution d'isolateurs sous des conditions humides. Il est cependant connu que les ondelettes **db4** et **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 .

Dans notre travail, nous choisissons d'utiliser l'ondelette de Morlet pour le traitement des signaux par la **CWT** car elle procure une bonne résolution temporelle et fréquentielle pour le calcul des coefficients de la transformée en ondelette. Ces derniers nous renseignent sur le "degré" de corrélation qui existe entre le signal original et l'ondelette analysante à partir de leurs valeurs numériques pour des échelles données.

Le scalogramme d'un signal constitue un formidable outil pour la représentation des coefficients d'un signal dans le domaine temps-échelle et permet une meilleure étude du contenu fréquentiel du signal pour une possible interprétation du phénomène observé.

L'ondelette de Daubechies4 est choisie pour appliquer la **DWT** sur le signal du courant de fuite qui affiche des pics de hautes fréquences pour 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. A cet effet, la détermination du niveau de décomposition est importante pour récupérer de bonnes informations sans trop de calculs .

## IV.2. Choix de l'ordre (nombre de niveau) de décomposition

Le nombre approprié de niveaux de la décomposition ( $N_{niv}$ ) dépend de la fréquence d'échantillonnage ( $f_e$ ) du signal à analyser. Pour chacune des approches de diagnostic basées sur la décomposition en ondelettes, le nombre de niveau doit être choisi judicieusement afin de permettre aux signaux à niveau élevé (approximation et détails) de couvrir toute la gamme des fréquences.

Le niveau de décomposition nécessaire est calculé d'après la relation:

$$N_{niv} = arnd\left(\frac{\log\left(\frac{f_e}{f_s}\right)}{\log 2}\right) + 2 \quad (IV.1)$$

Avec  $f_s$  : fréquence du réseau,  $f_e$  : fréquence d'échantillonnage.

Connaissant  $f_s=50\text{Hz}$  et  $f_e=2.5\text{kHz}$ , on peut calculer le nombre de décompositions appropriés qu'est égales à :

$$N_{niv} = arnd\left(\frac{\log\left(\frac{2500}{50}\right)}{\log 2}\right) + 2 = 8 \text{ niveaux} \quad (IV.2)$$

## IV.3. Analyse par la transformé d'ondelette continue

### VI.3.1. Analyse du signal de la tension parfait par CWT

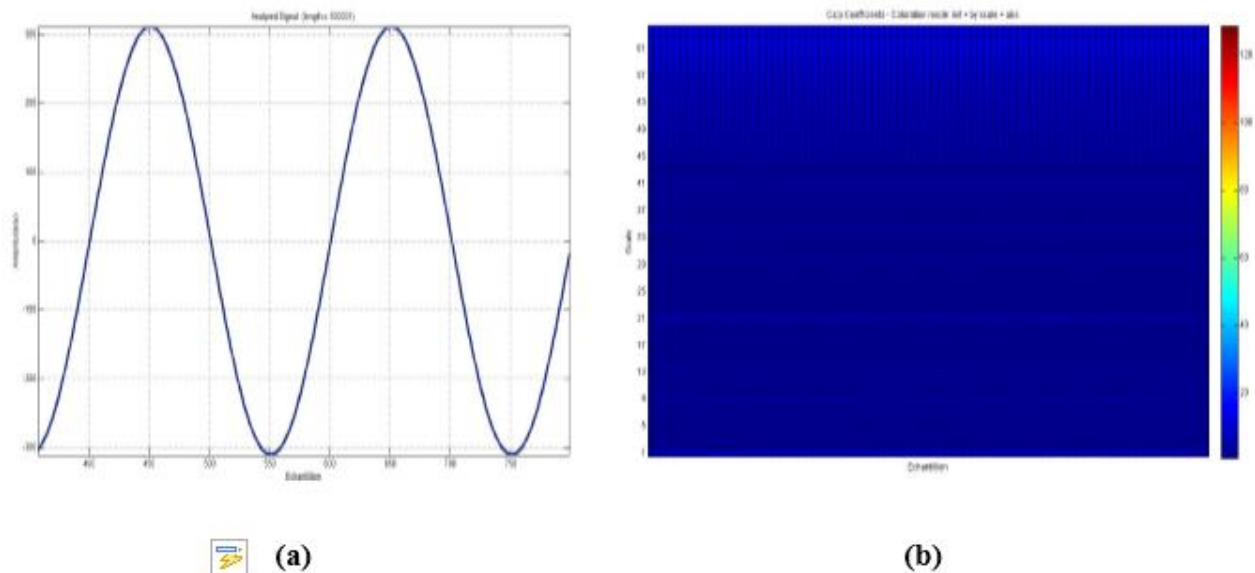
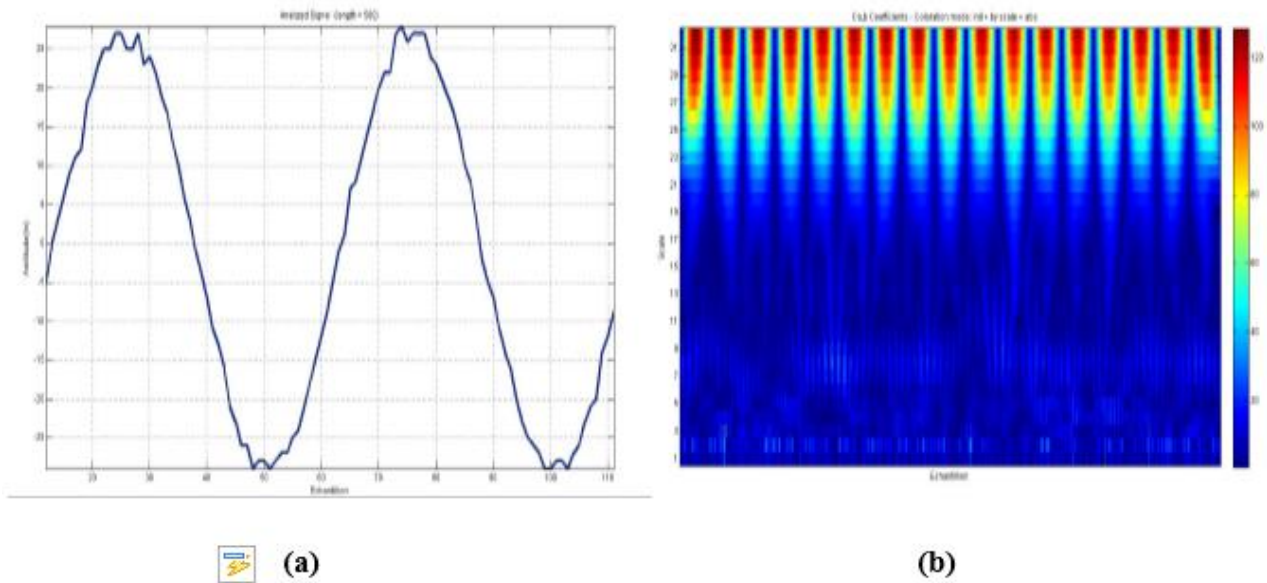


Figure IV.1. Représentation de signal sinusoïdal parfait(a) leur scalogramme (b)

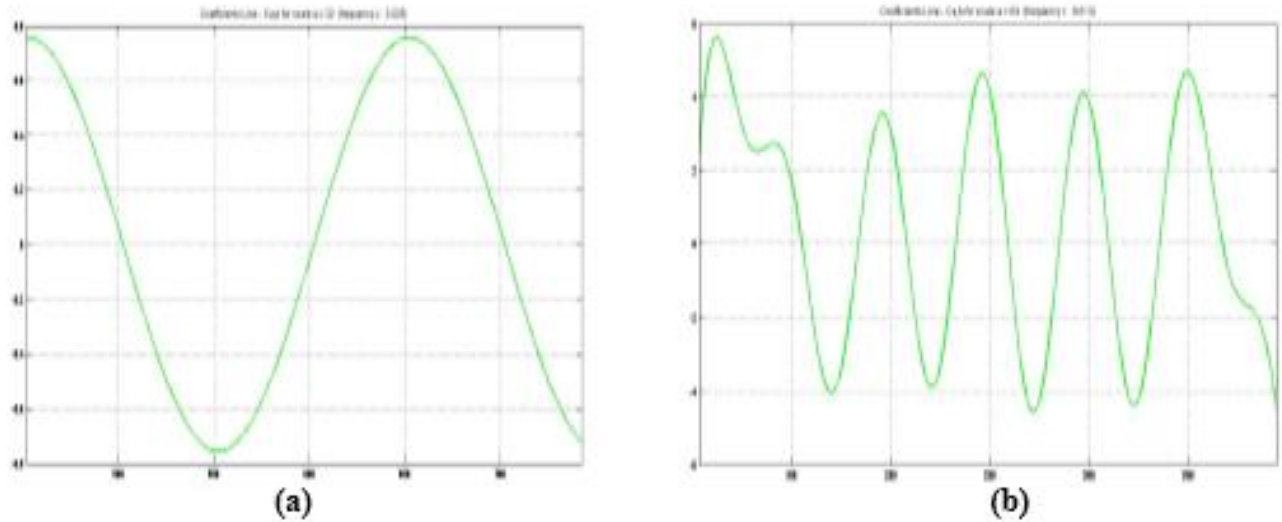
La **Figure IV.1** représente une tension sinusoïdale parfaite de l'isolateur et son scalogramme. D'après cette figure nous constatons que les coefficients sont nul (la couleur bleu). Cela signifie qu'il n'y a aucune perturbation oscillante et qu'il n'y a pas d'activité des décharges parallèles à la surface d'isolateur.

### IV.3.2. Analyse du signal de la tension appliquée pour une conductivité 1mS par CWT



**Figure IV.2.** Représentation de la tension appliquée pour une conductivité 1ms (a) et son scalogramme sous tension 15 kv (b)

D'après la **figure IV.2.** nous remarquons des multiples distorsions au niveau des crêtes du signal de la tension appliquée. Son scalogramme montre que les coefficients ont une valeur maximale (couleur rouge intense) pour l'échelle (de 26 à 52). Cela signifie que ces perturbations oscillent à des fréquences très faibles indiquant que l'activité des décharges parallèles à la surface est moindre .

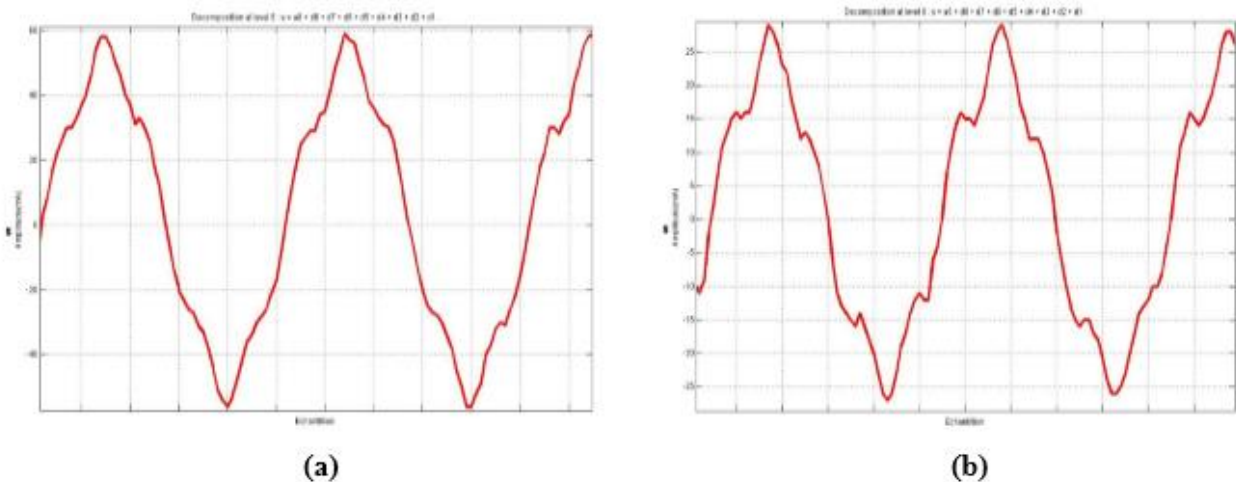


**Figure IV.3.** Représente Exemple des Coefficients de la CWT pour  $a = 16$ . Pour (a) isolateur propre (b) isolateur sous pollution non-uniforme (3bandes propre 1sm) de conductivité 1ms sous tension 20 kv

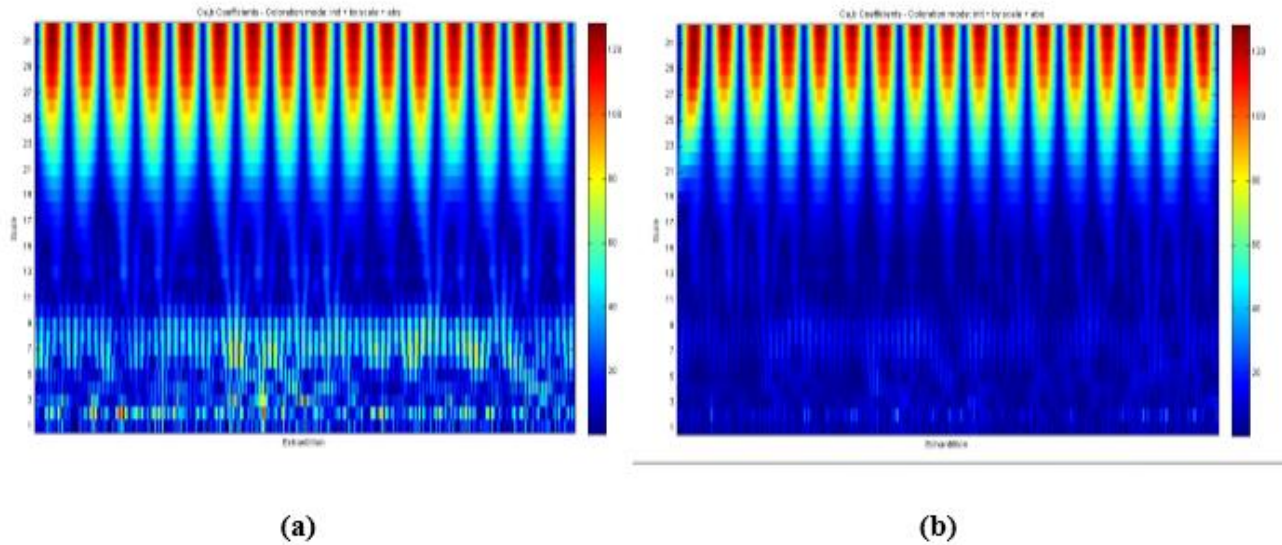
Les coefficients de la **CWT** pour l'échelle  $a = 16$  montre que la corrélation entre l'oscillation de l'ondelette de Morlet et celle de la transformée en ondelette de la tension est quasi inexistante vue la faible activité des décharges. Le choix de cette échelle nous permet de bien différencier les conductivités volumiques et donc de caractériser la sévérité de pollution.

D'après l'analyse faite par la **CWT** sur l'onde de tension, le diagnostic de la sévérité de la pollution peut se faire soit par l'intermédiaire du scalogramme qui est une projection des coefficients calculés pour des échelles données sur un plan orthogonal, soit par l'intermédiaire des coefficients d'une échelle bien déterminée.

**IV.3.3. Analyse de la tension par CWT pour sable de mer et sable du sol**



**Figure IV.4.** Formes d'ondes du courant de fuite à 20 kVeff pour le sable de mer (a) et sable de sol (b)



**Figure IV.5.** Représente le scalogramme de (a) sable de mer (b) sable de sol sous tension 20 kv

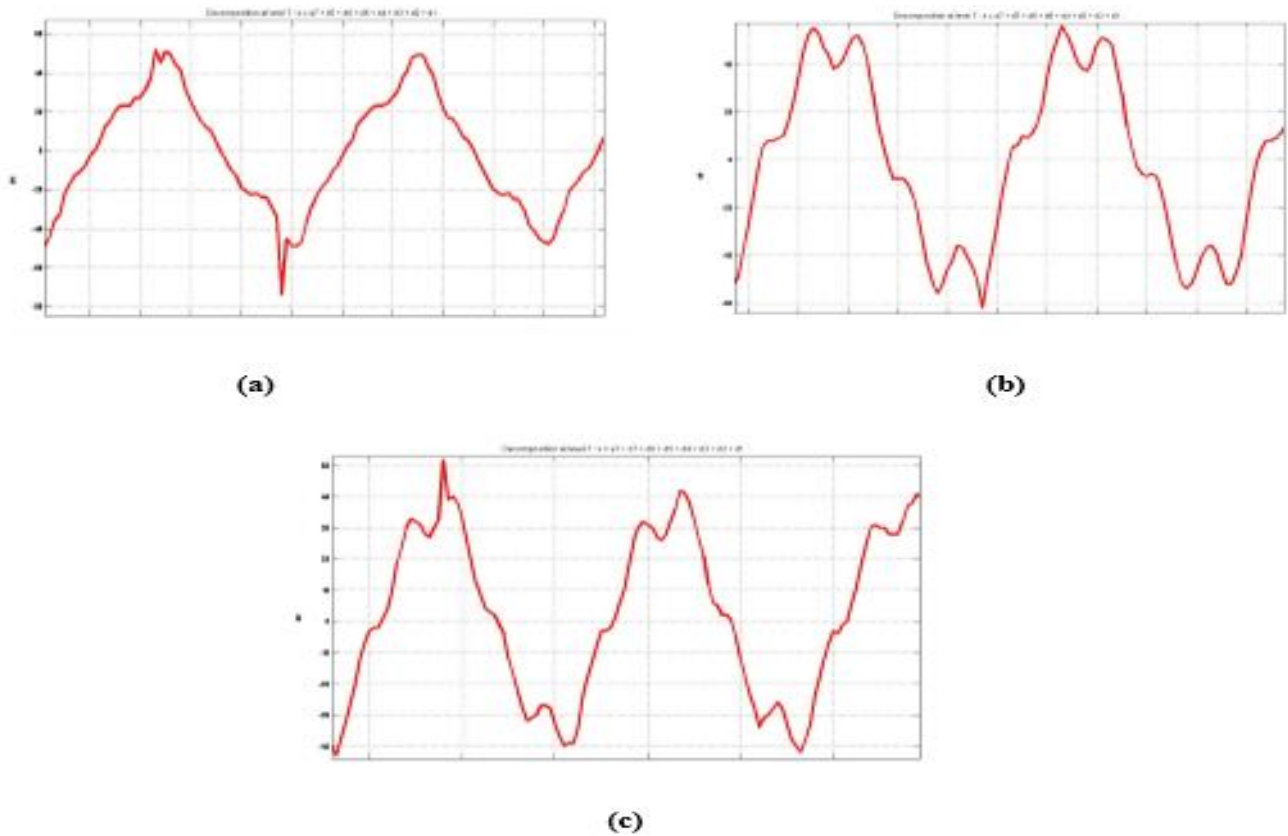
Le scalogramme (a) montre que les coefficients ont une valeur maximale (couleur rouge intense) pour de grandes échelles (25-56) mais Le scalogramme (b) montre que les coefficients ont une valeur maximale (couleur rouge intense) pour de grandes échelles (27-54). Cela signifie que les décharges parallèles deviennent de plus en plus remarquables à la surface de l'isolateur. Concernant l'analyse par le scalogramme, l'augmentation de la conductivité de la couche polluée (sable de mer) est détectée grâce aux décharges qui ont lieu à la surface de l'isolateur. Cette augmentation peut être observée par la couleur des coefficients qui spécifient leurs valeurs selon qu'elles soient faibles ou élevées

#### IV.4. Analyse du courant de fuite par la transformée d'ondelette Discret (DWT)

##### IV.4. 1. Analyse du courant de fuite pour différentes largeurs des bandes propres par DWT

La **Figure IV.4** montre les différentes formes d'onde obtenues pour les trois largeurs des bandes propres à 50 kVeff. Nous remarquons que la distorsion de ces signaux est très importante et due à l'amplification des harmoniques de tension par l'intermédiaire de la surface de l'isolateur partiellement polluée. Nous constatons également la présence de pics sur tout le signal du courant de fuite ; leur amplitude augmente avec l'élargissement de la couche polluée.

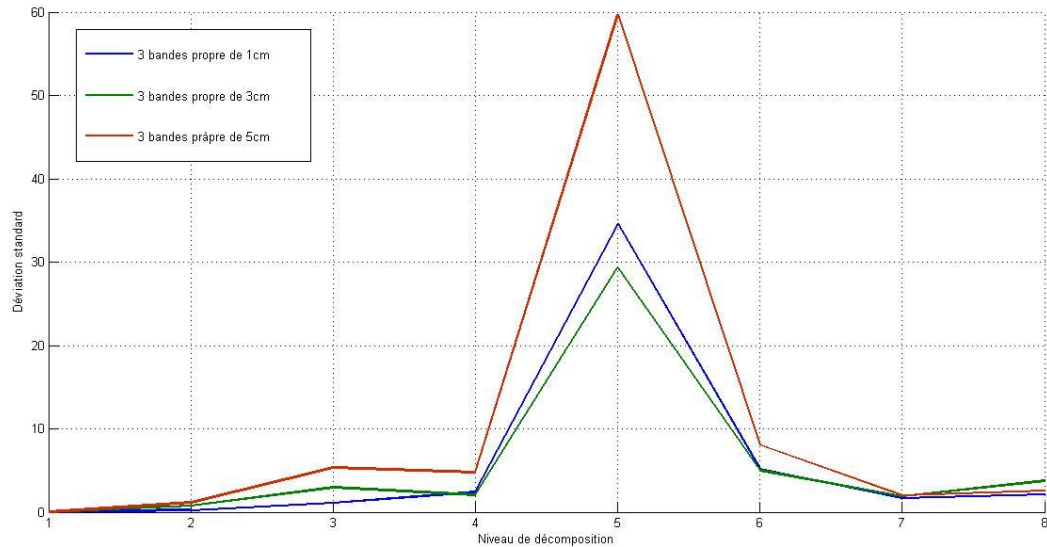




**Figure IV.6.** Formes d'ondes du courant de fuite à 50 kVeff de conductivité 1mS pour trois bandes propres de : **(a)** 1cm, **(b)** 3cm, **(c)** 5cm.

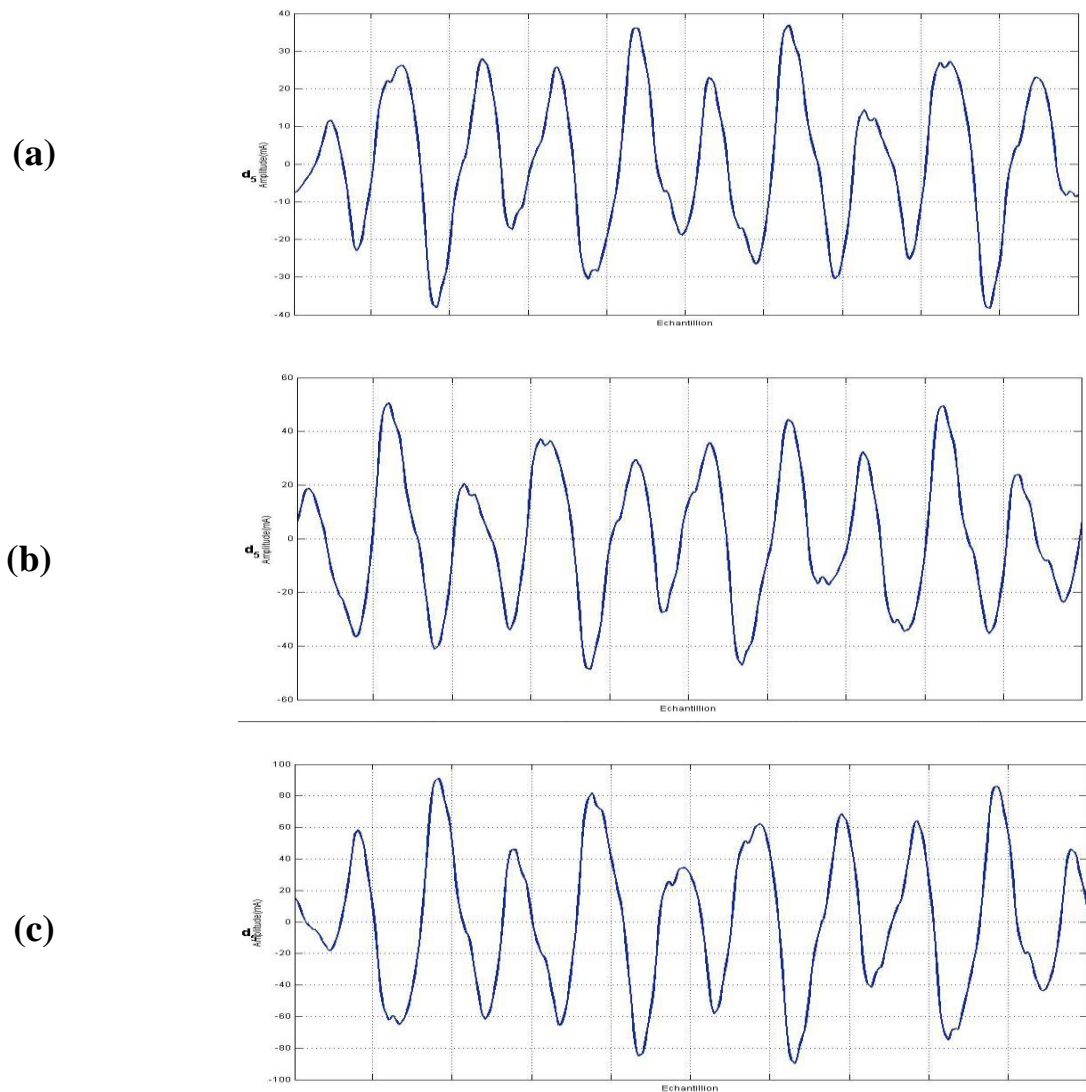
La **Figure IV.10** représente la valeur de la déviation standard (l'énergie) pour chaque détail correspondant, pour les trois types de pollution : sable de dune, de mer et du sol à 20kv. Autrement dit, cette représentation va permettre de cibler le détail intéressant pour le diagnostic. La déviation standard est calculée à l'aide du logiciel MATLAB®.





**Figure IV.7.** Représentation de la déviation standard pour chaque détail, pour les 3 bandes propre de 1,3 et 5 cm de conductivité 1ms sous tension 30kv

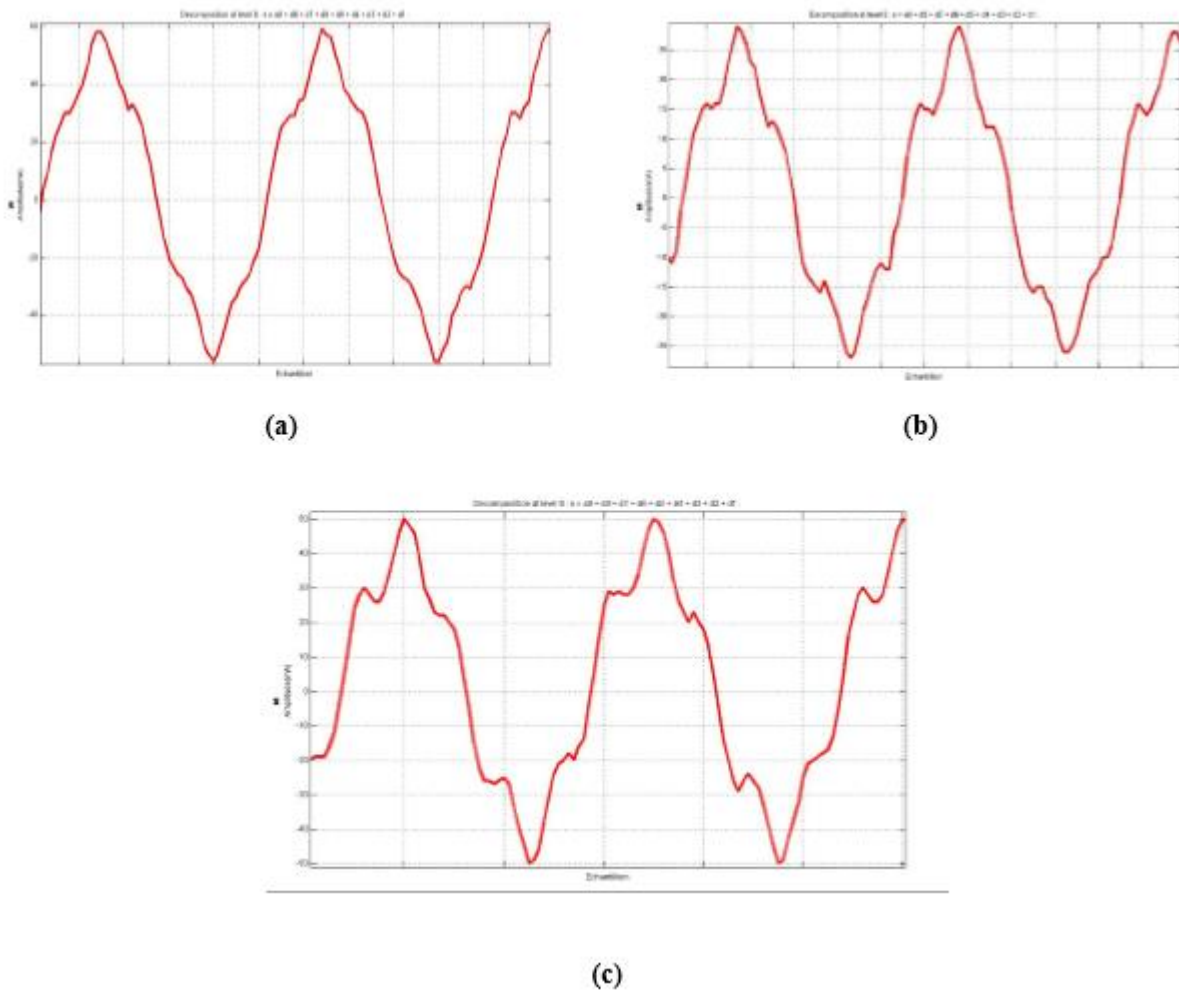
D'après la représentation précédente, nous remarquons que la composante **D5** a une énergie qui augmente avec l'agrandissement de la couche propre. Le détail **D5** pourrait éventuellement servir au diagnostic de la pollution du modèle plan lorsque celle-ci non-uniformément pollué. Les variations du détail **D5** pour chaque largeur de la couche polluée sont montrée à la **Figure IV.8.**



**Figure IV.8.** Evolutions du détail D5 à 50kVeff pour une conductivité de 1ms: (a) 3 bandes propres de 1cm, (b) 3 bandes propres de 3cm, (c) 3 bandes propres de 5cm

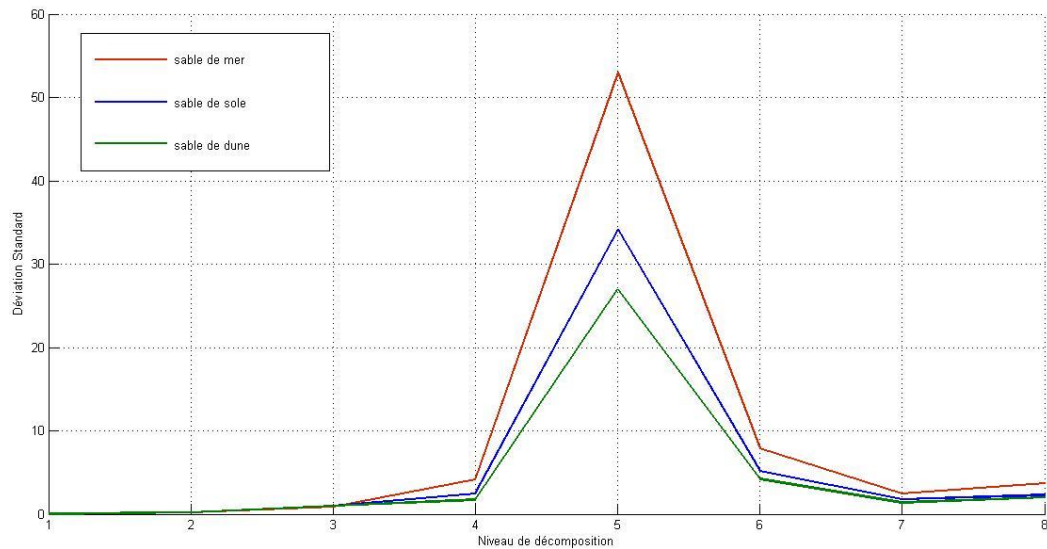
#### IV.4. 2. Analyse du courant de fuite pour différents types de pollution par DWT

La **Figure IV.9.** montre les différentes formes d'onde obtenues pour les trois types de pollutions (sable de mer, dunes et sol) pour une largeur de bande propre de 1cm des à 20 kVeff.



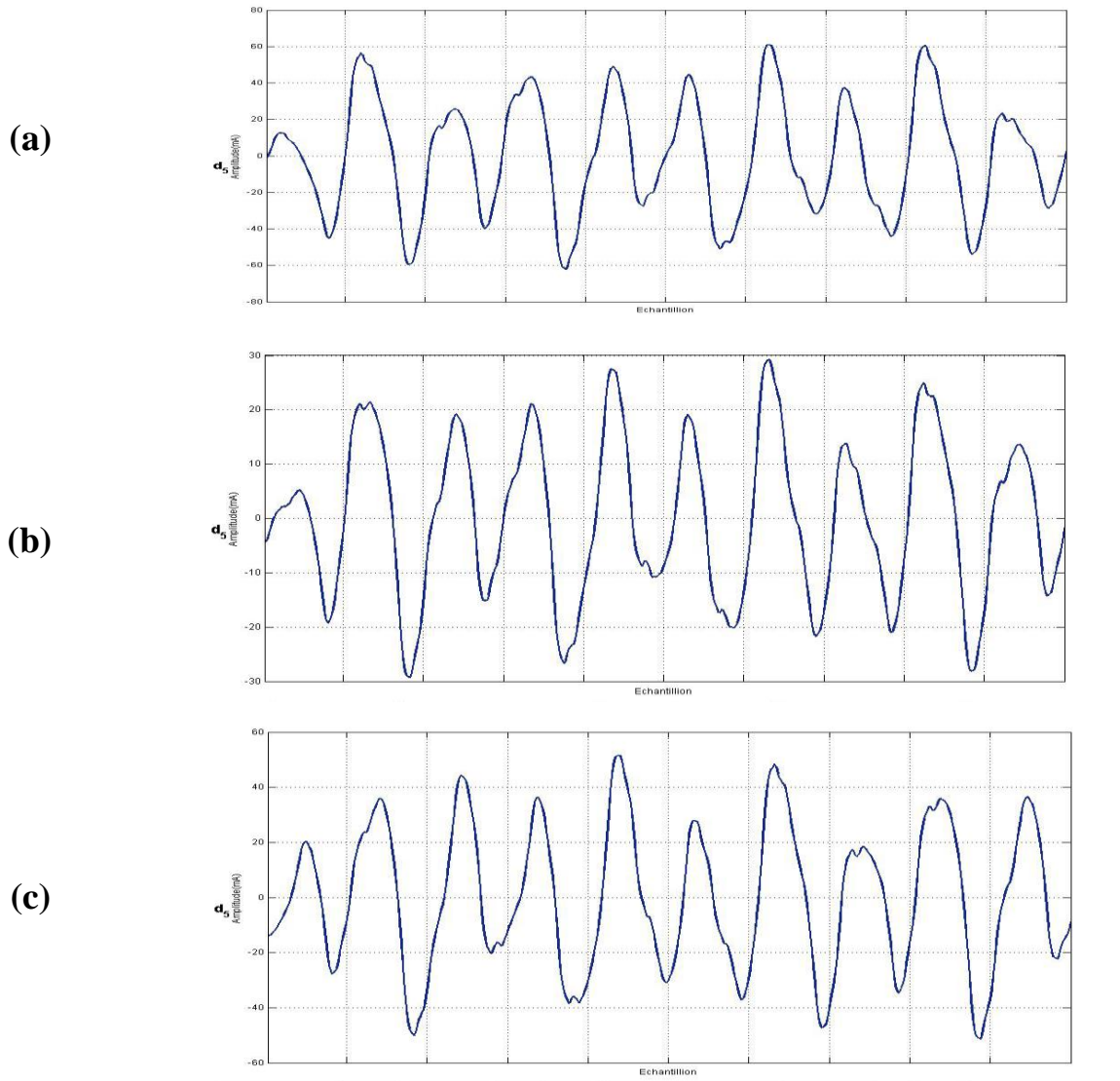
**Figure IV.9.** Formes d'ondes du courant de fuite à 20 kVeff pour trois type de sable: mer(a), sol(b) et dune(c)

La **Figure IV.10.** représente la valeur de la déviation standard (l'énergie) pour chaque détail correspondant, pour les trois types de pollution : sable de dune, de mer et du sol à 20kv. Autrement dit, cette représentation va permettre de cibler le détail intéressant pour le diagnostic. La déviation standard est calculée à l'aide du logiciel MATLAB®.



**Figure IV.10.** Représentation de déviation standard pour chaque détail, pour les 3type de pollution de sable : dune, mer et sol à 20kv

D'après la représentation précédente, nous remarquons que la composante **D5** a une énergie qui augmente avec la conductivité du sable. Le détail **D5** pourrait éventuellement servir au diagnostic de la pollution du modèle plan lorsque celle-ci non-uniformément polluée. Les variations du détail **D5** pour chaque largeur de la couche polluée sont montrées à la **Figure IV.11**.



**Figure IV.11** . Evolutions du détail D5 à 20 kVeff pour une pollution de: **(a)** sable de mer, **(b)** sable de sol, **(c)** sable de dune

## Conclusion

D'après l'analyse faite par la CWT sur l'onde de tension, le diagnostic de la sévérité de la pollution peut se faire soit par l'intermédiaire du scalogramme qui est une projection des coefficients calculés pour des échelles données sur un plan orthogonal, soit par l'intermédiaire des coefficients d'une échelle bien déterminée.

Concernant l'analyse par le scalogramme, l'augmentation de la conductivité de la couche polluée est détectée grâce aux décharges qui ont lieu à la surface de l'isolateur. Cette augmentation peut être observée par la couleur des coefficients qui spécifient leurs valeurs selon qu'elles soient faibles ou élevées. Un coefficient élevé pour une grande échelle indique une

oscillation du signal à basse fréquence et inversement pour une échelle de plus petite valeur. Dans notre cas, la fréquence des perturbations occasionnées sur la tension augmente avec la sévérité de la conductivité du milieu. Cela montre que le diagnostic de l'état de surface de l'isolateur est possible grâce à la tension appliquée mais pendant l'occurrence des décharges électriques et pour une pollution uniforme.

Ce diagnostic peut également être fait à travers une échelle bien déterminée (16 dans notre cas) qui nous renseigne sur la pollution du milieu grâce aux coefficients de cette même échelle. Lorsque la corrélation entre la CWT du signal et l'ondelette analysante est quasi inexistante avec une faible amplitude, la conductivité de la surface est faible. Cette corrélation est autant plus apparente avec l'augmentation de la conductivité volumique qui fait augmenter l'amplitude des coefficients de la CWT ainsi que le nombre d'oscillations qui ressemblent beaucoup à celles de l'ondelette choisie (Morlet dans notre cas).

La décomposition du courant de fuite par la DWT a pu identifier la presque totalité de ses composantes fréquentielles pour étudier l'attitude de ces dernières vis-à-vis du type de pollution non uniforme. La STD-MRA (l'énergie) plot est une représentation de la déviation standard en fonction du niveau de décomposition qui permet d'identifier les bandes fréquentielles dont l'énergie augmente avec la largeur de la couche propre, afin d'optimiser l'étude du courant de fuite en fonction de l'état de surface de l'isolateur considéré.

Pour la pollution 1ms, la STD-MRA plot indique que le détail D5 distingue entre les différentes bandes propres. En effet, plus la bande propre s'élargit et plus l'énergie du détail D5augmente.

Ce mémoire a été consacré à la modélisation et à l'utilisation des méthodes de diagnostic en vue de la surveillance des entraînements électriques, et plus particulièrement l'isolateur.

L'étude est basée sur deux objectifs principaux, le premier est la visualisation et la mesure des tension de contournement, tension appliquée et courants de fuite, et le deuxième c'est l'utilisation de la méthodes d'analyse des signaux basé sur la transformation d'ondelette (TOD) en vue du diagnostic.

Le présent travail nous a permis de voir l'impact de la répartition de la couche polluée (non-uniforme) sur le comportement d'un modèle plan, qui a été choisi pour faciliter l'étude du développement des décharges parallèles sur sa surface conductrice.

Dans un premier temps, l'étude de la tension de contournement pour le cas de pollution de sable(non-uniforme),la tension de contournement diminue avec l'augmentation de la conductivité de la couche polluée. Le modèle est plus rigide lorsque la couche conductrice de conductivité volumique est faible.

L'étude du courant de fuite montre que son amplitude maximale croit avec l'agrandissement de la largeur de la couche polluée et l'augmentation de la tension appliquée.

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

Pour mieux dimensionner les 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. Il n'en demeure pas moins que trois années sont au minimum nécessaires pour déterminer la sévérité d'un site. La connaissance de ce degré de pollution est par conséquent, une condition préalable et indispensable pour apprécier le niveau de l'isolement des ouvrages installés sur site, en vue de dimensionner convenablement l'isolation.

D'après l'analyse faite par la CWT sur l'onde de tension, le diagnostic de la sévérité de la pollution peut se faire soit par l'intermédiaire du scalogramme qui est une projection des coefficients calculés pour des échelles données sur un plan orthogonal, soit par l'intermédiaire des coefficients d'une échelle bien déterminée.

La décomposition du courant de fuite par la DWT a pu identifier la presque totalité de ses composantes fréquentielles pour étudier l'attitude de ces dernières vis-à-vis du type de pollution non uniforme.

## *CONCLUSION GENERALE*

---

La STD-MRA (l'énergie) plot est une représentation de la déviation standard en fonction du niveau de décomposition qui permet d'identifier les bandes fréquentielles dont l'énergie augmente avec la largeur de la couche propre.

Le travail élaboré dans notre étude, laisse les portes ouvertes devant d'éventuel recherche future. Ainsi, nous proposons nos perspectives de recherche sur :

- \_ Prédiction du contournement d'une chaine d'isolateur Polluée artificiellement par la logique Floue.
- \_ Analyse de courant de fuite et de la tension appliquée par la RP5(recurrence plot)



## *Bibliographie*

---

- [1] G. Riquel et E. Span genberg, De la céramique au synthétique. EDF-Epure N° 58 Avril, 1998.
- [2] P. Claverie et Y. Porcheron, Les phénomènes de pollution des isolateurs et l'isolement des ouvrages en régions polluées, RGE, Tome 82, No. 3 pp 166-194. Paris, France, 1973.
- [3] D. DUMORA, Matériaux isolants céramiques en électrotechnique, Technique de l'ingénieur D275. .
- [4] M. TERKMANI et M. BABOUAMER, Contournement des Isolateurs des Lignes de Haute Tension. USTO, 2005.
- [5] L. ARRABIY, Visualisation et Traitement de Signal de Courant de Fuite sur une Surface Isolante Polluée, PFE, Département de Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique. d'Alger (E.N.P.),, 1999.
- [6] Y. PORCHERON, « Lignes aériennes : Matériels entrant dans la constitution d'une ligne aérienne », Technique de l'ingénieur D4425., .
- [7] M. A.B. EL KOSHARE, et F. A. M RIZK., « comportement des isolateurs des lignes de transport a très Haute tension dans les conditions de pollution désertique », Paris,, CIGRE, rapport 33-05,, 1970.
- [8] F. AMIDI, et K. OUERDANE,, « Les effets de la pollution sur les ouvrages électriques à 30kV en régions littorales », Projet de Fin d'Etude,, Département d'Electrotechnique, Université des Sciences et Technologies Houari Boumediene, Bab Ezzouar,, juin, 1998.
- [9] M. TEGUAR, et A. BOUBAKEUR,, « Pollution des Isolateurs de Haute Tension », Laboratoire de Haute Tension, Département de Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger (E.N.P.).
- [10] L. CHOUGUI et R. BELAICHA,, « Contribution à l'Etude de la Pollution des Isolateurs de Haute Tension dans la Région d'Arzew », Janvier, PFE, Département de Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger (E.N.P.),, 1983.
- [11] S. LOTFI, et S. DJAFRI,, « Contribution à l'Etude de la Pollution des Isolateurs des Lignes Ariennes de Haute Tension dans la Région de l'Arbaa », juin, PFE, Département d'électronique et d'électrotechnique, université des sciences et de la technologie d'Alger,, 1992.
- [12] Z. DJEMAI, et F. BENNAI,, « Essais sur Site et au Laboratoire d'Isolateurs Contamines par la Pollution Industrielle au Bord de la Mer », juin, PFE, Département de Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger (E.N.P.),, 1986.

- [13] Z. SAHLI,, « Etude de la Non Uniformité de la Pollution sur les Caractéristiques de Contournement des isolateurs Réels sous Tension Continue », Thèse de Magister,, Département d'électrotechnique, Université Abederrahmane Mira de Bédjaia.
- [14] A. EL-ARABATY, A. NOSSEIR, S. EL-DEBEIKY, E. NASSER, et A. EL-SARKY, « Choix d'isolateurs utilisables dans des ambiances polluées et notamment dans les régions désertiques », CIGRE Rapport 33-11, 1982.
- [15] A. MEKHALDI, « Etude du développement d'un arc électrique sur des surfaces isolantes contaminées par la pollution désertique », Thèse de magister, ENP, 1990.
- [16] R. SUNDARARAJAN et R. . GORUR, « Role of non soluble contaminants on the flashover voltage of Porcelain insulator», IEEE, Trans. on diel. and elect. Insul., vol. 3 N°2, pp.121-127. 1997.
- [17] L. . ALSTON et S. ZOLEDZIEWSKI, «Growth of discharges on polluted insulators», IEEE, Trans. PAS., vol. 110, N° 7, pp. 1260-1266,. Juillet, 1963.
- [18] G. TALAL, « comportement d'un modèle d'isolateur sous tension impulsionelle », Thèse de magister,, département d'électrotechnique de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger,, 2008.
- [19] CIGRE groupe de travail 04 du comité d'étude n°33, « Mesure de la Sévérité de Pollution des Sites et Application au Dimensionnement des Isolateurs pour les Réseaux à Courant Alternatif », Electra n°64, Paris, France, Mai, 1979.
- [20] CIGRE groupe de travail 04 du comité d'étude n°33,, « Comparaison Critique des Méthodes d'Essais d'Isolateurs Haute Tension sous Pollution Artificielle », électra N°64, Paris, France, Mai, 1979.
- [21] W. Heise,, G. F. luxa,, G. Revrery,, et M. P. Verma,, « Estimation de la méthode d'essais sous pollution artificielle par couche solide », CIGRE, Rapport 33-09, Paris. France,, 1982.
- [22] A. Cimador, et S. Vitet,, « La pollution des isolateurs », EDF-Epure, No. 27, Juillet, 1990.
- [23] J. L.Rafnoumanana,, « Modélisation par la Méthode des Equations Intégrales de Frontière de Phénomènes de Conduction Surfaiques sur les Isolateurs Pollués », Thèse de Doctorat d'état., Ecole Centrale de Lyon., Mai, 1992.
- [24] A. Mekhaldi, « Etude des Phénomènes de Conduction et de Décharge Electrique sur des Surfaces Isolantes Polluées sous Tension Alternative 50 Hz », Thèse de Doctorat d'Etat,,

Département de Génie Electrique, Laboratoire de Haute Tension, Ecole Nationale Polytechnique,, Alger, Décembre, 1999.

[25] M. Tegar, « Modélisations d'Isolateurs Pollués Soumis à Divers Paramètres électro géométriques », Thèse de Doctorat d'Etat, Département de Génie Electrique, Laboratoire de Haute Tension, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2003.

[26] M. Tegar., « Etude Mathématique des Mécanismes de Développement des Décharges Electrique sur des Isolateurs Installé en Régions Polluées », Thèse de Magister, Département de Génie Electrique, Laboratoire de Haute Tension, Ecole Nationale Polytechnique,, Alger, Algérie, Juillet, 1993.

[27] TRAITEMENT DU SIGNAL et TELECOMUNICATIONS. Jean-Christophe Cexus

[28] « Série de Fourier », Wikipédia. 02-mai-2017.

[29] Francis cottet et al, AIDE-MEMOIRE TRAITEMENT DU SIGNAL. dunod, paris, 2005.

[30] Mallat, S. (1989), "A theory for multi résolution signal decomposition: the wavelet representation," IEEE Pattern Anal. and Machine Intel., vol. 11, no. 7, pp. 674-693.

[31] ÉLÉMENTS DE TRAITEMENT DU SIGNAL G. B AUDOIN et J.-F. B ERCHER  
École Supérieure d'Ingénieurs en Électrotechnique et Électronique Septembre 1998

[32] T.Dumartin, Rappels Traitement du Signal, livre, Année 2004 – 2005.

[33] [www.futura-sciences.com](http://www.futura-sciences.com) cite

[34] Sonia HAMNANE, Traitement et représentation temps-fréquence des sons avec résolution adaptative, Rapport de stage, Université Pierre et Marie Curie/Ircam, Juin 2006

[35]. M. Misiti Y. Misiti G. Oppenheim J. M. Poggi. « Wavelet Toolbox » User's Guide For Matlab, Version 2.1, MATHWORKS.

[36] K.Dinesh,S.Ashwin,V.Harish,E.VarathKanth, C.Venkatasashaiah, R. Sarathi, «Understanding the surface condition of Insulation Material Using Wavelets »,CBIP – International Conference in Maintenance Technologies of EHV Transmission Lines, New Delhi, India, April 2002.

[37] R.Sarathi, S.Chandrasekar, N. Yoshimura, « Investigations into the Surface Condition of the Silicone Rubber Insulation Material using Multi-resolution Signal Decomposition», IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 21, pp.243-252, 2006.

[38] R. Sarathi, S. Chandrasekar, « Diagnostic study of the surface condition of the insulation structure using wavelet transform and neural networks», Electric Power Systems Research, Elsevier, Vol. 68, pp. 137-147, 2004.

## *Bibliographie*

---

[39] Mohammed Adnane DOUAR, Mohamed Chérif BOUZIDI, Caractérisation de l'état de surface d'un isolateur pollué à l'aide des signaux du courant de fuite et de la tension appliquée, Mémoire du projet de Fin d'Etudes, Pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique, ECOLE NATIONALE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE, ENSP, Promotion JUIN 2009.

## الملخص:

في هذا العمل قمنا بدراسة شدة التلوث تحت تيار متناوب ذو توتر 50 هرتز على نموذج سطحي يمثل العازل F160D/146DC ولهذا الغرض اجريت عدة تجارب للتلوث المنتظم والغير منتظم بالمخبر علي التوتر لجامعة ابن خلدون بتيارت لتميز حالة سطح النموذج اعتمادا على اشارة كل من تيار التسرب و التوتر المطبق اولا ركزنا على توتر الاحاطة ,سعة تيار التسرب . ثانيا قمنا بعرض نتائج معالجة اشارة كل من التوتر المطبق و تيار التسرب بتقنية التحويل المويجي المستمر والمنفصل .

الكلمات المفتاحية: التلوث غير المنتظم , نموذج سطحي , تيار التسرب , توتر الاحاطة , فرق الصفحة , التفريغات المتوازية , التحويل بالمويجات

## Résumé :

Dans le présent travail, l'étude de la sévérité de pollution est effectuée en tension alternative 50 Hz sur un modèle plan qui simule l'isolateur (F160D/146DC). Pour cela, plusieurs essais en pollution non-uniforme sont accomplis au Laboratoire de Haute Tension de l'université IBN-KHALDOUNE de TIARET pour caractériser l'état de surface du modèle à travers les signaux du courant de fuite et de la tension appliquée. En premier lieu, nous nous intéressons à la tension de contournement, à l'amplitude du courant de fuite. En deuxième lieu, nous présentons les résultats du traitement des signaux de la tension appliquée et du courant de fuite par la technique de la transformé d'ondelette continue(CWT) et par transformé d'ondelette discret (DWT).

Mots-clés: pollution non-uniforme, modèle plan, courant de fuite, tension de contournement, déphasage, décharges parallèles, transformée en ondelette.

## Abstract:

In this work, pollution severity under 50 Hz applied voltage is studied on plan model which simulates (F160D/146DC). outdoor insulator. Many tests at High Voltage Laboratory of the IBN-KHALDOUNE university of TIARET are carried out in non-uniform pollution in order to characterize conditions of insulating surface, by using leakage current and applied voltage waveforms. First, we study flashover voltage, leakage current magnitude. Secondly, we present the result of treatment of applied voltage waveforms and leakage current by CWT and DWT.

Key- words: non-uniform pollution, plan model, leakage current, flashover voltage, phase angle, parallel discharges, wavelet transform.