

# UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication

Département d'électronique et communications



## Mémoire

MASTER PROFESSIONNEL

**Domaine :** Science et Technologie

**Filière :** Electronique

**Spécialité :** Instrumentation

**Présenté par:**

OUNIS HASSEN IBRAHIM

DJEMEL ELHABIB

## Thème

DÉTECTION DES DÉCHARGES PARTIELLES DES  
ISOLATEURS DE HAUTE TENSION PAR ANALYSE DES  
SIGNAUX DE COURANT DE FUITE

**Soutenu publiquement**

**Le : 26 /06/2018**

**Devant le jury:**

M .ZAKARIA TIDJANI	MA(A)	Président	UKM Ouargla
M .ABIMOULOUD ADEL	MA(A)	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
M .KAFI MOHAMED RADOUANE	MC(B)	Examineur	UKM Ouargla

**Année Universitaire : 2017 /2018**

## DÉDICACES

Nous dédions cette œuvre qui est l'aboutissement de plusieurs années de sacrifice, aux êtres les plus chers au monde. Nos pères et nos chères mères qui n'ont ménages aucun effort moral et matériel pour nous prêter leurs assistances indéfectibles, Et spécialement notre oncle Mr. OUNIS Med LAZEHAR.

Que Dieu les protège.

À nos frères et nos sœurs.

À nos professeurs auxquels nous rendons un grand hommage pour la science et le savoir prodigués tout au long de notre cursus universitaire. Ce qui nous a permis de réaliser ce mémoire duquel ils tireront toute leurs fierté et qui, nous espérons, sera à la hauteur de leurs espérances.

À nos amis.

A tous ceux qui nous ont aidés à réaliser ce mémoire.

# REMERCIEMENTS

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au département d'Electronique et Télécommunication de l'Université KASDI MERBAH-OUARGLA

Nos remerciements vont tout premièrement à Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.

Nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur Mr :

**Abimouloud Adel**

Pour nous avoir d'abord proposé ce thème, pour le suivi continue tout au long de la réalisation de ce travail et qui n'a pas cessé de nous prodiguer ses conseils et remarques.

Nos sincères remerciements à messieurs les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en participant au jugement de ce travail.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du département d'Electronique et Télécommunication qui ont contribué à notre formation.

Enfin ,nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour leur soutien moral et matériel.

# SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE .....	1
Chapitre I : Généralités sur la Haute Tension et les isolateurs .....	4
1. INTRODUCTION.....	4
2. HAUTE TENSION .....	5
1- Définition .....	5
2- La Haute Tension dans les réseaux électriques .....	5
3- Les Perturbations dues à la haute tension .....	6
3. LES ISOLATEURS .....	6
1- Définition .....	7
2- Différent types d'isolateurs solides .....	7
3- Critères de choix des isolateurs .....	7
4. DÉCHARGE PARTIELLE (DP) .....	9
1- Définition (DP) .....	9
2- Causes des décharges partielles .....	9
3- Effets des décharges partielles .....	10
4- Prévention des décharges partielles .....	11
5- Modèle électrique des décharges partielles .....	12
6- Unité de mesure des décharges partielles.....	13
7- Circuit de mesure .....	13
8- Coupleurs et appareils de mesure .....	14
Chapitre II : Techniques de traitement de signal .....	16
1. INTRODUCTION .....	16
2. TRAITEMENT DE SIGNAUX PAR SERIE DE FOURIER .....	17
1- Principe des séries de Fourier .....	18
3. TRAITEMENT DE SIGNAUX PAR ONDELETTE .....	19
1- Définition .....	19
2- Histoire de la décomposition en ondelettes .....	20
3- Définition mathématique .....	20
4- Transformée en ondelettes .....	21
Chapitre III : Simulation des Décharges Partielles par un modèle de Simulink.....	26
1. INTRODUCTION.....	26
2. Constitution et caractéristiques du câble.....	27

3. Modèle de simulation du système d'isolation .....	28
4. Paramètres électriques pour les emplacements vides considérés .....	30
5. Résultats de simulation .....	30
6. Analyse du courant par la technique des ondelettes.....	31
7. Analyse du courant par la technique des séries de Fourier .....	32
8. Les résultats graphiques .....	33
IV. CONCLUSION GÉNÉRALE .....	40
BIBLIOGRAPHIE.....	41

<b>Figure I.1:</b> Schémas d'une ligne de transport d'énergie électrique.....	<b>8</b>
<b>Figure I.2:</b> Isolateur en céramique.....	<b>9</b>
<b>Figure I.3:</b> Isolateur composite.....	<b>9</b>
<b>Figure I.4:</b> Décharges partielles en surface, ayant pris la forme d'une arborescence d'eau....	<b>13</b>
<b>Figure I.5:</b> Représentation d'une décharge partielle interne et modèle électrique équivalent la décharge court-circuite une capacité.....	<b>14</b>
<b>Figure I.6:</b> Montage avec capacité de couplage à la terre.....	<b>16</b>
<b>Figure I.7:</b> Montage avec objet à tester à la terre.....	<b>16</b>
<b>Figure II.8:</b> Les quatre premières sommes partielles de la série de Fourier pour un signal carré.....	<b>20</b>
<b>Figure II.9:</b> Exemples d'ondelette $\psi(t)$ .....	<b>21</b>
<b>Figure III.10 :</b> Représentation d'un câble de transport .....	<b>32</b>
<b>Figure III.11:</b> Schéma électrique.....	<b>34</b>
<b>Figure III.12 :</b> Schéma équivalent.....	<b>34</b>
<b>Figure III.13 :</b> Schémas de simulation en utilisant le logiciel SIMULINK.....	<b>34</b>
<b>Figure III.14 :</b> Résultats de simulation pour une distance de 1.5mm.....	<b>38</b>
<b>Figure III.15 :</b> Décomposition par la méthode des ondelettes du courant de fuite pour une distance de 1.5mm .....	<b>38</b>
<b>Figure III.16 :</b> Décomposition par la méthode de série de fourrier pour une distance 1.5mm.....	<b>39</b>
<b>Figure III.17:</b> Résultats de simulation pour une distance de 2 mm.....	<b>39</b>
<b>Figure III.18 :</b> Décomposition par la méthode des ondelettes du courant de fuite pour une distance de 2 mm.....	<b>40</b>
<b>Figure III.19 :</b> Décomposition par la méthode de série de fourrier pour une distance 2 mm.	<b>40</b>
<b>Figure III.20:</b> Résultats de simulation pour une distance de 2.5mm.....	<b>41</b>

<b>Figure III.21</b> : Décomposition par la méthode des ondelettes du courant de fuite pour une distance de 2.5mm.....	<b>41</b>
<b>Figure III.22</b> : Décomposition par la méthode de série de fourrier pour une distance 2.5mm.....	<b>42</b>
<b>Figure III.23</b> : Résultats de simulation pour une distance de 3 mm.....	<b>42</b>
<b>Figure III.24</b> : Décomposition par la méthode des ondelettes du courant de fuite pour une distance de 3 mm.....	<b>43</b>
<b>Figure III.25</b> : Décomposition par la méthode de série de fourrier pour une distance 3 mm.	<b>43</b>
<b>Figure III.26</b> : Représentation graphique l'énergie associée à chaque niveau de décomposition.....	<b>44</b>

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'énergie électrique n'est généralement pas produite à proximité immédiate des lieux d'utilisation. Il faut la transporter des centrales de production jusqu'aux consommateurs via des lignes de transmission qui sont généralement aériennes ou souterraines. En plus des conducteurs, les lignes de transport et de distribution de l'énergie électrique comportent d'autres éléments principaux qui sont les isolateurs. Les isolateurs de ligne ont un rôle primordial dans la fiabilité des réseaux électriques. En effet ils assurent le maintien et le soutien des conducteurs tout en fournissant, en tout temps, une isolation adéquate entre le conducteur et la mise à la terre et cela quelles que soient les conditions environnementales.

Les isolateurs de ligne sont regroupés en deux grandes familles qui sont les isolateurs en céramiques et les isolateurs non-céramiques (composites). Les isolateurs en céramiques ont leur partie isolante en porcelaine ou en verre. Ces isolateurs offrent une grande résistance aux décharges partielles et arcs électriques. Cependant, ils présentent des inconvénients liés à leur masse, aux coûts de leur assemblage et installation, à leur fragilité sous des contraintes mécaniques et de vandalisme. Les isolateurs composites, quant à eux, sont constitués principalement des matériaux composites (des élastomères spéciaux ou caoutchoucs). L'utilisation des isolateurs composites sur les lignes haute tension (H.T.) a connu une croissance exponentielle ces dernières années principalement grâce aux avantages qu'ils offrent par rapport aux isolateurs en céramique. Cependant l'application de la tension de service combinée au contraintes de diverses sources (électrique, environnementale, mécanique, thermique, etc.) et leurs interactions mutuelles provoquent des dégradations externes ou internes ces derniers. Ces dégradations conduisent à long terme à une défaillance des isolateurs composites. Toute défaillance d'un des isolateurs présents sur une ligne entraîne non seulement une interruption de la distribution en énergie électrique, mais constitue aussi un danger pour les équipes de maintenance pendant les travaux en ligne. Il est donc important pour les compagnies exploitantes et leurs équipes de maintenance de s'assurer du bon état des isolateurs de ligne qui demeure un gage de fiabilité des réseaux électriques.

Le présent projet de fin d'étude a pour but de contribuer au développement d'une méthode efficace permettant de détecter de manière précoce les défauts internes qui constituent la cause capitale de défaillance des isolateurs composites.

Dans le domaine du diagnostic des isolateurs, les techniques de détection des défauts devient beaucoup plus complexe lorsqu'il s'agit de détecter la présence des défauts internes au sein des isolateurs. Les défauts internes se forment généralement au voisinage de l'électrode soumis à la H.T. où l'activité des décharges partielles est la plus grande. Sous l'effet conjugué du champ électrique et des conditions d'exploitation, les défauts internes croissent au sein de l'isolateur conduisant, soit à un contournement interne (flash Under) complet créant un court-circuit entre la H.T. et la mise à la terre, soit à la rupture mécanique de l'isolateur.

La détection des décharges partielles a été révélée comme un moyen de diagnostic puissant de l'état de détérioration des isolateurs. Ce travail de fin d'études s'insère dans le domaine de traitement des signaux de courant de fuite. L'objectif de ce travail est d'élaborer un filtrage numérique menant à l'extraction des signaux de décharges partielles par des méthodes basées sur les transformées en ondelettes. En effet, chacun des défauts internes possède des caractéristiques temporelles et fréquentielles particulières des décharges partielles. Ces caractéristiques ne peuvent ainsi être distinguées par une technique universelle. En possession d'un tel outil, le gestionnaire de réseau serait averti à temps d'une défaillance d'isolation.

Pour mener cette étude, nous avons structuré le mémoire en quatre chapitres :

Le premier chapitre est consacré sur les généralités la haute tension les isolateurs et les phénomènes des décharges partielles.

Le deuxième chapitre est dédié aux méthodes de traitements de signaux les plus utilisées dans le domaine de détection des décharges partielles.

Le troisième chapitre est réservé à la détection des défauts internes en analysant les signaux de courant de fuites en utilisant les méthodes de traitement de signal à base de FFT et l'ondelette discrète. Le calcul de l'énergie emmagasiné dans chaque décomposition est effectué.

Enfin, une conclusion générale où on présente une synthèse des résultats obtenus ainsi que les future perspectives pour l'amélioration de ce travail.

# **Chapitre I**

## **Généralités sur la Haute Tension et les isolateurs**

## **Chapitre I : Généralités sur la Haute Tension et les isolateurs**

### **1. INTRODUCTION :**

Les isolateurs de haute tension entrent pour un faible pourcentage dans le prix des lignes électriques, mais ils sont un élément essentiel. Leur rôle est de relier les conducteurs sous tension aux supports et d'assurer l'isolement électrique entre ces deux parties constitutives de la ligne. Aussi, le choix du type d'isolateur, les contrôles de réception, la surveillance en exploitation doivent être faite avec un maximum de soin. La difficulté réside principalement dans le fait qu'aucun essai de réception ne peut jusqu'à ce jour mettre en évidence un certain défaut de l'isolateur. Dans ce chapitre, nous présentons une étude bibliographique concernant le principe de haute tension, les différents modèles d'isolateurs ainsi que les phénomènes des décharges partielles.

## **2. HAUTE TENSION :**

### **1- Définition :**

Une haute tension est toute tension qui engendre, dans les composants d'un système, des champs électriques suffisamment intenses pour modifier, de manière significative, les propriétés de la matière, en particulier des matériaux isolants. Alors, l'étude de la haute tension aboutit à la conception et à la réalisation de produits, appareils et systèmes aptes à générer et à supporter des champs électriques élevés. Les systèmes à haute tension sont souvent le siège de phénomènes non linéaires et complexes, qui se produisant à partir d'un seuil. Exemple : l'arc électrique, effet couronne, claquage des matériaux isolants (solides, liquide), etc... [AGU82] [LAN82]

### **Seuils de tensions :**

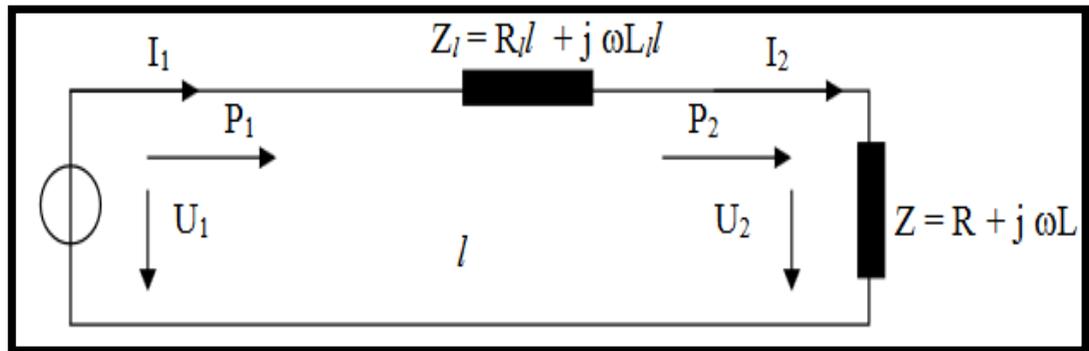
- Basses tensions : au-dessous de 1 kV.
- Moyennes tensions : 1 ~ 33 kV.
- Hautes tensions : 33 ~ 230 kV
- Très hautes tensions : 230 ~ 800 kV
- Ultra hautes tensions : au-dessus de 800 kV

### **2- La Haute Tension dans les réseaux électriques :**

Le développement des réseaux électriques a constitué la première utilisation, à grande échelle, des hautes tensions. Les centrales de production d'énergie électrique sont fréquemment situées à de grandes distances de lieux de consommation. Dans ces conditions, on recourt au transport de l'énergie électrique à moyenne de 20 à 100 km et grandes distances de 100 à 1000 km.

Soit une ligne de transport monophasée où l'on néglige en première approximation les capacités et les conductances transversales. La puissance délivrée en un point de consommation située à une distance  $l$  vaut:

$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cos\varphi$  avec  $I_1 = I_2 = I$  et  $\varphi$  : est l'angle de déphasage (tension, courant)



**Figure I.1:**schémas d'une ligne de transport d'énergie électrique

$R_l$  et  $L_l$  sont respectivement la résistance linéique et l'inductance linéique de la ligne. On constant d'après la relation de la puissance que deux variables entre en jeu afin d'augmenter la puissance électrique transporté soit [DJI 15]:

○ **l'élévation du courant :**

- augmentation de l'échauffement (maximum admis: 60°C)
- augmentation de la section
- augmentation du poids

○ **L'élévation de la tension :**

- augmentation du champ électrique
- augmentation des distances d'isolement
- apparition de phénomènes potentiellement perturbants

**3- Les Perturbations dues à la haute tension :**

Différents phénomènes potentiellement perturbants sont propres à la haute tension (champs électriques élevés) [DJI 15] :

- Claquage diélectrique qui est une détérioration provisoire ou définitive des spécifications de l'isolant. L'effet de couronne qui engendre des perturbations sonores, rayonnement électromagnétique et des pertes d'énergie active.

Décharges partielles qui détérioration et le vieillissement des isolants .

**3. LES ISOLATEURS :**

## 1- Définition :

Les isolateurs sont des composants indispensables au transport et à la distribution de l'énergie électrique. Leur fonction est de réaliser une liaison entre des conducteurs HT et la terre.

## 2- Différent types d'isolateurs solides :

On peut distinguer deux types principaux d'isolateurs les isolateurs de types céramiques et les isolateur de types composites [AVR 74][ARC 79]

### Isolateur en céramique :

Ils sont constitués d'un bâton cylindrique plein en céramique, muni d'ailettes (**figure I.2**). À 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 bâton, ou bien en forme de tige scellée dans une cavité prévue à cet effet.

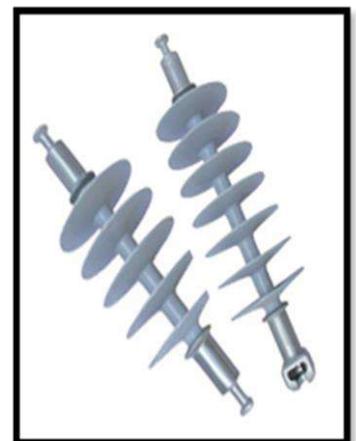
De tels isolateurs peuvent être utilisés unitairement ou en série de plusieurs éléments en fonction de leur longueur et du niveau d'isolement requis. [XAV14] [ATI 14]



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

### Isolateur composite :

Depuis la fin du XXe siècle, les matériaux composites sont de plus en plus utilisés pour fabriquer des isolateurs en réalisant un axe central en fibre de verre et en surmoulant par-dessus une Tapi des styles se-papiers Police Paragraphe Style matière silicone ou EPDM. Les isolateurs composites sont plus légers et présentent une excellente hydrophobicité. Sont en particulier prisés pour les zones fortes polluées et dans les zones urbaines où ils résistent mieux au vandalisme



**Figure I.3:** Isolateur composite

## 3- Critères de choix des isolateurs :

On choisit les isolateurs :

- ❖ En fonction de la tension de service de la ligne
- ❖ En fonction des efforts mécaniques auxquels ils sont soumis (poids des conducteurs et du givre, action du vent, tension mécanique des conducteurs éventuellement)
- ❖ En ce qui concerne leur nature (rigides ou suspendus), en fonction du prix de revient de la ligne et de son importance en général dans les petites sections (50 mm<sup>2</sup>), une ligne sur isolateurs rigides est moins coûteuse qu'une ligne sur isolateurs suspendus, tout au moins dans des régions peu sujettes à des surcharges climatiques importantes.
- ❖ En fonction de la pollution du site. **[ATI 14]**

## **4. DÉCHARGE PARTIELLE (DP) :**

### **1- Définition (DP) :**

Dans le domaine de l'électricité, une décharge partielle(DP) est une « décharge électrique localisée qui court-circuite [MDI 18] partiellement l'intervalle isolant séparant des conducteurs » sous l'effet d'une forte tension. Leur présence conduit à une dégradation accélérée de l'isolation qu'elle soit liquide, par oxydation, ou solide, par érosion. Les décharges ayant des valeurs de charges très faibles. D'où la nécessité de dispositifs de mesure complexes qui doivent être mis en œuvre. Des méthodes de traitement du signal sont en général utilisées dans ces appareils de mesure.[MDI 18]

### **2- Causes des décharges partielles :**

Sous l'effet de la tension alternative aux bornes d'un composant électrique naît un champ électrique alternatif au sein de l'isolant. La répartition instantanée du champ n'est pas homogène, l'ensemble des isolants constituant en général un milieu hétérogène, qui n'est, de plus, pas toujours isotrope.

Les décharges partielles dans un diélectrique ont le plus souvent lieu dans une bulle gazeuse, où la permittivité du gaz étant très inférieure à celle du matériau environnant, un champ électrique beaucoup plus important que celui existant sur une distance équivalente au sein de l'isolant apparaît. Si cette tension dépasse la limite de rigidité diélectrique pour le gaz contenu par la bulle, une décharge partielle a lieu. À l'inverse la présence d'une particule conductrice dans l'isolant peut également mener à une décharge.

D'autres causes de décharges partielles sont la présence d'une pointe sur un conducteur, ou d'un angle si celui-ci est très fin. Le champ devient alors localement très élevé, ce qui conduit dans les gaz à des décharges de type corona.

Un champ électrique tangentiel élevé peut aussi être la cause de décharges partielles en surface. Ce phénomène se rencontre souvent sur la surface des isolateurs.

Les décharges partielles peuvent avoir lieu dans tous types d'isolant, qu'ils soient gazeux, liquide ou solide. Dans les solides, les phénomènes liés à la forme du conducteur et à la présence d'une particule conductrice sont prépondérants. Dans les liquides, la présence de bulles de gaz ou de gaz sous forme de couche à une frontière solide/liquide, la présence d'humidité, particulièrement dans l'huile pour transformateur qui est associée aux déchets de cellulose produit par le papier d'isolation des appareils électriques forment des « ponts » électriques dans le liquide, la forme des conducteurs et de l'isolation solide adjacente sont autant de cause de décharges partielles . Dans les solides, les causes sont relativement similaires : bulles de gaz, humidité, fissures, arborescence d'eau, forme de la zone d'interface avec le conducteur.

### **3- Effets des décharges partielles :**

Les décharges partielles dans le gaz se manifestent par la lumière qu'elles émettent et leurs grésillements. Elles ne posent en général pas de problème particulier. En général, on décrit les décharges ayant lieu à l'extérieur de l'isolation comme des décharges partielles (externes), à l'opposé des décharges à l'intérieur de celle-ci qui sont dites internes. Dans les gaz les décharges partielles sont souvent externes. Par contre, dans les liquides et solides elles sont internes. Les décharges partielles en surface sont équivalentes à des décharges internes parce qu'elles interagissent avec l'isolation. Le danger peut provenir du fait que si la tension augmente, la décharge peut pénétrer progressivement à l'intérieur du corps de l'isolateur et atteindre la mise à terre et donc se transformer en claquage.

De manière générale, les décharges partielles se manifestent des façons suivantes :

- ❖ Impulsion de courant
- ❖ Perte diélectrique
- ❖ Radiation (lumière)
- ❖ Bruit
- ❖ Augmentation de la pression du gaz
- ❖ Réaction chimique

Les matériaux solides, à la différence des matériaux liquides, ne se régénèrent en général pas après une décharge, elles vont donc progressivement détériorer l'isolant par érosion, d'abord à la surface de la cavité, puis plus en profondeur, pouvant conduire finalement à un claquage aux bornes du diélectrique et à la destruction de l'installation. Dans les liquides c'est le phénomène d'oxydation qui est prépondérant. Dans le liquide isolant le plus courant : l'huile pour transformateur, les décharges partielles conduisent à la formation de dihydrogène. La présence de décharges partielles réduit ainsi drastiquement la durée de vie d'un appareil électrique. [WIK 18]



**Figure I.4:**Décharges partielles en surface, ayant pris la forme d'une arborescence d'eau

#### **4- Prévention des décharges partielles :**

Ce phénomène peut être limité lors de la fabrication de l'équipement par sa conception, par la qualité des matériaux utilisés, et par la qualité de la fabrication. Elle doit veiller à l'absence de bulle, d'humidité que ce soit dans les liquides ou les solides, la bonne tenue des fibres de celluloses de l'isolation solide. Pour cela, des procédés sous vide sont utilisés. L'imprégnation de l'isolation papier avec de l'huile doit être très soignée : bien séchée, élimination des cavités entre les feuilles de papier. Par ailleurs les pans de cellulose doivent être recouverts d'une couche protectrice par salinisation.

À cause de ce lien entre soin apporté à la fabrication de l'appareil électrique et décharges partielles, la mesure des décharges partielles est un des tests non destructifs les plus répandus pour évaluer la qualité des appareils électriques.

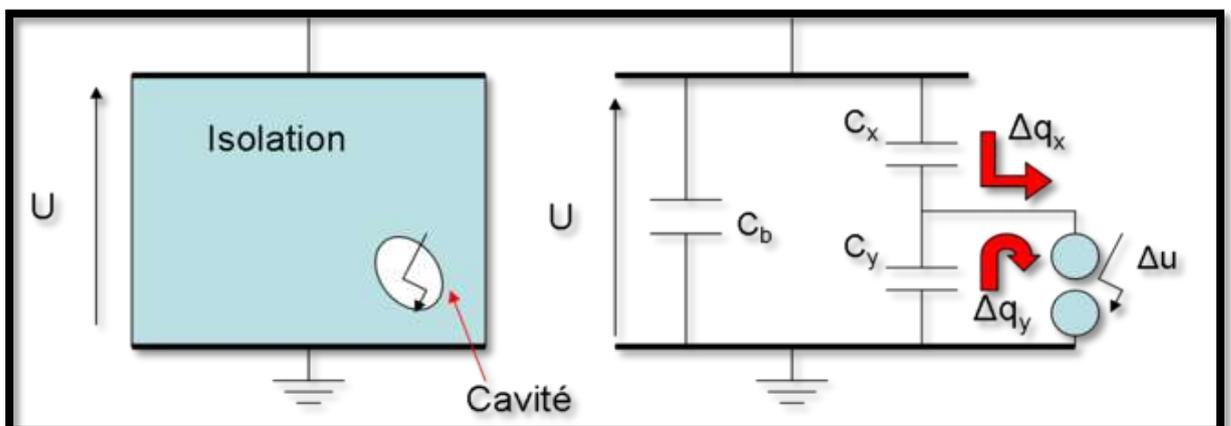
## 5- Modèle électrique des décharges partielles :

On peut modéliser une cavité à l'aide d'une capacité et la DP qui en résulte par la décharge de cette capacité. Elle se trouve en série et en parallèle avec d'autres capacités modélisant l'isolation saine **voir figure I.5**. Au niveau des ordres de grandeur  $C_b$  a une valeur beaucoup plus élevée que  $C_y$  qui est lui-même beaucoup plus grand que  $C_x$ . Dans le cas d'une décharge partielle externe le schéma équivalent est le même mais sans capacité  $C_b$ . Quand la tension aux bornes de la capacité  $C_y$  devient suffisamment grande, une décharge a lieu et la tension tombe à zéro sur cette portion.

Une des difficultés de la mesure des DP provient du fait qu'on ne mesure pas la décharge réelle qui se produit dans la cavité, on ne peut mesurer que la décharge apparente qui vaut :

$$q_{apparente} = \frac{C_y}{C_y + C_x} \cdot q_{reelle}$$

La valeur réelle ne peut être retrouvée car on ne connaît pas le lieu de la DP. Au-delà de ce problème de mesurabilité, la charge apparente a les avantages d'être proportionnelle à l'énergie de la DP, à la taille de la cavité et au potentiel d'endommagement pour l'appareil électrique.



**Figure I.5:** Représentation d'une décharge partielle interne et modèle électrique équivalent. La décharge court-circuite une capacité.

## 6- Unité de mesure des décharges partielles:

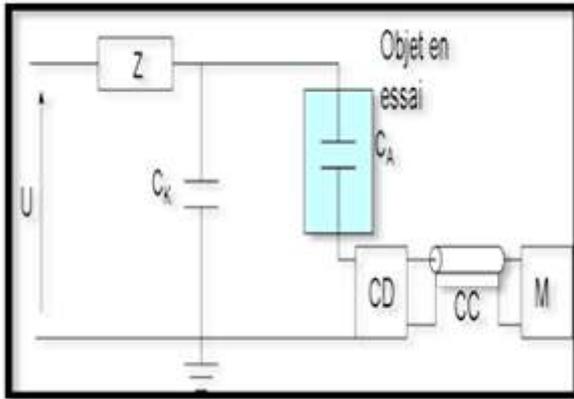
Une décharge partielle peut être détectée par de très faibles variations dans le courant traversant l'équipement sous tension. De faible intensité et de durée réduite, environ 1,5 ns , ces courants sont difficiles à mesurer. On exprime en général la valeur des décharges partielles en pico coulomb en donnant la valeur de la charge apparente. Les seuils de tolérance vont de quelques pico coulombs pour les traversées isolées à 500 PC pour les transformateurs de puissance qui sont constitués de tout un assemblage d'isolants. [HAN 01]

## 7- Circuit de mesure :

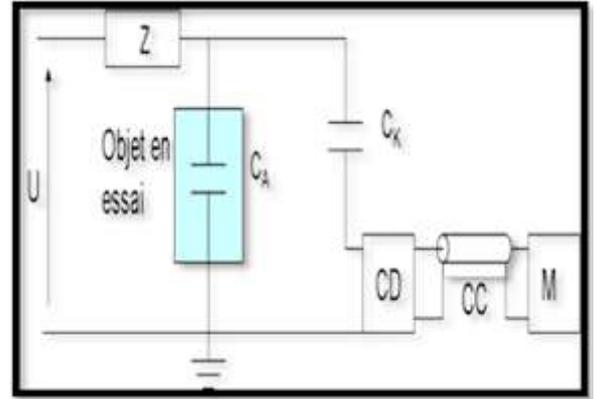
### ➤ Composants :

La mesure de décharges partielles est difficile car très sensible aux perturbations : qu'elles viennent de l'extérieur sous forme d'interférences ou des DP dans le circuit de mesure. La norme CEI 60270 présente les circuits de mesures classiques. Ils sont constitués de :

- ❖ L'objet à tester (CA sur **figure I.7** le circuit ci-contre).
- ❖ Un condensateur de couplage présentant un faible niveau de PD ( $Ck$ ).
- ❖ Un coupleur (Couplingdevice, CD), d'impédance notée  $Z_{mi}$  .
- ❖ Un appareil de mesure (M).
- ❖ Une source de tension ayant un bruit de fond suffisamment bas (U).
- ❖ Des connexions haute tension ayant un bruit de fond suffisamment bas (CC).
- ❖ Un filtre placé côté haute tension pour réduire le bruit de fond provenant de l'alimentation (Z).
- ❖ Un oscilloscope pour afficher les décharges partielles (non représenté) .
- ❖ Un dispositif d'enregistrement (non représenté).



**Figure I.6:** montage avec capacité de couplage à la terre



**Figure I.7:** Montage avec objet à tester à la terre

Le filtre séparant l'alimentation du circuit de mesure, la capacité de couplage permet de maintenir la tension stable côté mesure. Dans le cas idéal elle maintient la tension constante lors des décharges partielles, pour cela elle devrait être supérieure à  $C_b$ . Toutefois ce n'est pas toujours possible, une approximation est alors à faire.

## 8- Coupleurs et appareils de mesure :

La difficulté de la mesure des décharges partielles vient à la fois de leur courte durée et de la faible amplitude du courant créé. Il faut, en effet, intégrer le courant pour retrouver la charge. Un dispositif de mesure de type shunt est théoriquement possible, mais sa faible sensibilité le rendrait très limité. Un amplificateur est donc utilisé pour augmenter la valeur du signal. L'insertion d'une simple capacité pour intégrer le courant mène à une forte déformation et à un retard du signal. Par ailleurs, à cause de la courte durée des DP et de leur caractère aléatoire, la résolution des appareils de mesures doit être très élevée. Si elle est trop faible on peut avoir des erreurs de superposition, deux DP apparaissent dans un court intervalle de temps et l'appareil n'est pas capable de les différencier, il livre alors un résultat erroné. Le temps de résolution des impulsions,  $T_r$ , d'un appareil de mesure est le temps nécessaire entre deux impulsions pour qu'il arrive à les traiter de manière correcte, c'est-à-dire que la valeur délivrée ne diffère pas de plus de 10 % de celle enregistrée si la DP avait été unique. [GHU 08]

## **Chapitre II**

### **Techniques de traitement de signal**

## Chapitre II : Techniques de traitement de signal

### 1. INTRODUCTION :

L'atout lié à la connaissance de l'état d'un équipement haute tension en fonctionnement a incité et continue de motiver les recherches dans le domaine de mesure des DP. Jusqu'à présent, de nombreuses techniques de traitement de signal ont été développées et améliorées, certaines toujours à l'état théorique, dans l'optique d'obtenir à partir des données brutes, les informations de localisation des différentes sources de DP. Plusieurs techniques sont alors nécessaires à l'extraction des signaux d'intérêt tout comme la suppression du bruit, la capacité de distinguer différentes sources de DP, le choix d'outils adéquats déterminant la localisation des sources de DP ainsi que l'implémentation de critères d'alarmes [WAR14]. Dans ce qui suit, on présente brièvement les transformées de Fourier et la transformée en ondelettes.

## 2. TRAITEMENT DE SIGNAUX PAR SERIE DE FOURIER :

En analyse, les séries de Fourier sont un outil fondamental dans l'étude des fonctions périodiques. C'est à partir de ce concept que s'est développée la branche des mathématiques connue sous le nom d'analyse harmonique.

Un signal périodique de fréquence  $f$  et de forme quelconque peut être obtenu en ajoutant à une sinusoïde de fréquence  $f$  (fondamentale), des sinusoïdes dont les fréquences sont des multiples entiers de  $f$ . Ces signaux ont des amplitudes et des positions de phase appropriées.

De même, on peut décomposer toute onde récurrente en une somme de sinusoïdes (fondamentale et harmoniques).

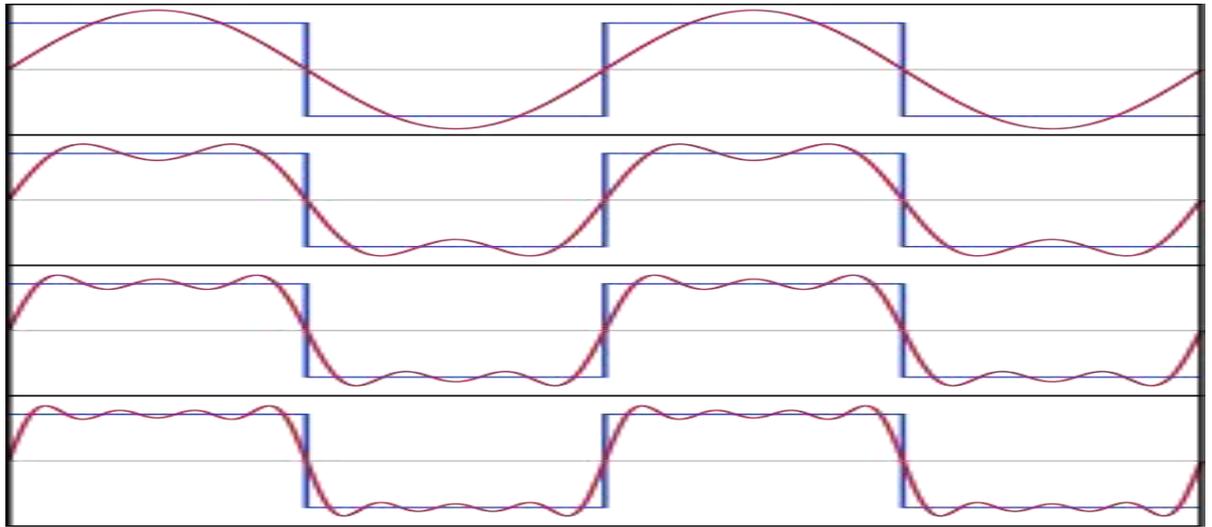
L'étude d'une fonction périodique par les séries de Fourier comprend deux volets :

- L'analyse, qui consiste en la détermination de la suite de ses coefficients de Fourier ;
- La synthèse, qui permet de retrouver, en un certain sens, la fonction à l'aide de la suite de ses coefficients.

Au-delà du problème de la décomposition, la théorie des séries de Fourier établit une correspondance entre la fonction périodique et les coefficients de Fourier. De ce fait, l'analyse de Fourier peut être considérée comme une nouvelle façon de décrire les fonctions périodiques. Des opérations telles que la dérivation s'écrivent simplement en partant des coefficients de Fourier. La construction d'une fonction périodique solution d'une équation fonctionnelle peut se ramener à la construction des coefficients de Fourier correspondants.

Les séries de Fourier ont été introduites par Joseph Fourier en 1822, mais il fallut un siècle pour que les analystes dégagent les 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 nouvelles : analyse harmonique, théorie du signal, ondelettes, etc.

Les séries de Fourier se rencontrent dans la décomposition de signaux périodiques, dans l'étude des courants électriques, des ondes cérébrales, dans la synthèse sonore, le traitement d'images. [FAU ; AIF 08]



**Figure II.8:** Les quatre premières sommes partielles de la série de Fourier pour un signal carré [JIM09]

### 1- Principe des séries de Fourier :

L'idée de base des séries de Fourier est de pouvoir obtenir une fonction de période  $T$  comme une somme de fonctions sinusoïdales :

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} c_n(f) e^{i2\pi \frac{n}{T} x}$$

avec les coefficients  $c_n(f)$ , appelés coefficients de Fourier de  $f$ , définis par

$$c_n(f) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-i2\pi \frac{n}{T} t} dt.$$

Il s'agit cette fois-ci d'une véritable somme infinie, c'est-à-dire d'une limite de somme finie, ce qui correspond au concept de somme de série.

De nombreux calculs se traduisent de façon très simple sur les coefficients des polynômes trigonométriques, comme le calcul de dérivée. Il est possible de les généraliser au niveau des coefficients de Fourier généraux. [JAC 12]

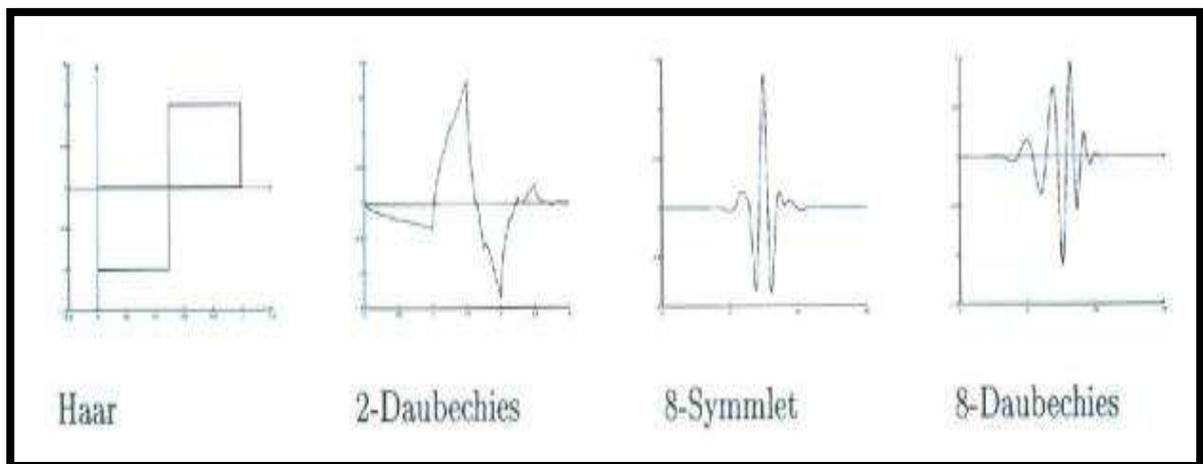
### 3. TRAITEMENT DE SIGNAUX PAR ONDELETTE :

#### 1- Définition :

Une ondelette est une fonction à la base de la décomposition en ondelettes, décomposition similaire à la transformée de Fourier à court terme, utilisée dans le traitement du signal. Elle correspond à l'idée intuitive d'une fonction correspondant à une petite oscillation, d'où son nom. Cependant, elle comporte deux différences majeures avec la transformée de Fourier à court terme :

- elle peut mettre en œuvre une base différente, non forcément sinusoïdale ;
- il existe une relation entre la largeur de l'enveloppe et la fréquence des oscillations : on effectue ainsi une homothétie de l'ondelette, et non seulement de l'oscillation.

Toutefois, il ne s'agit pas d'un formalisme différent de la transformée de Fourier, mais complémentaire, car la décomposition en ondelettes utilisent le formalisme de Fourier.[STE00]



**Figure II.9:**Exemples d'ondelette  $\psi(t)$

## 2- Histoire de la décomposition en ondelettes :

Les ondelettes ont vu le jour lorsque certains sujets d'étude ont nécessité une analyse en fréquence et en temps. Au XIX<sup>e</sup> siècle, l'analyse de Fourier était la seule technique permettant la décomposition d'un signal et sa reconstruction sans perte d'information; malheureusement elle fournit une analyse en fréquence mais ne permet pas la localisation temporelle de changements abrupts, comme l'apparition d'une deuxième note de musique après qu'une première note a été jouée. En 1909, Alfréd Haar définit une fonction composée d'une courte impulsion négative suivie d'une courte impulsion positive, connue pour être la première ondelette (Ondelette de Haar). En 1946, Dennis Gabor, mathématicien hongrois, inventa une transformation de fonction analogue à celle de Joseph Fourier, appliquée sur une fenêtre temporelle exprimée par une fonction gaussienne. Finalement, le terme d'ondelette fut introduit dans le langage mathématique par Jean Morlet et Alex Grossmann en 1984. Terme initialement français, il fut traduit en anglais par wavelet, à partir des termes wave (onde) et le diminutif *let* (petite). Yves Meyer (prix Abel 2017), reconnu comme un des fondateurs de la théorie des ondelettes, rassembla en 1986 toutes les découvertes précédentes (il en dénombra 16) puis définit les ondelettes orthogonales. La même année, Stéphane Mallat fit le lien entre les ondelettes et l'analyse multi résolution. Enfin, Ingrid Daubechies mit au point en 1987 des ondelettes orthogonales appelées ondelettes de Daubechies, faciles à mettre en œuvre, et utilisées dans le standard [JIA 08]

## 3- Définition mathématique :

En mathématiques, une ondelette  $\Psi$  est une fonction de carré sommable de l'espace de Hilbert  $L^2(\mathbb{R})$  le plus souvent oscillante et de moyenne nulle, choisie comme outil d'analyse et de reconstruction multi-échelle. Les ondelettes se rencontrent généralement par familles, constituées d'une ondelette mère et de l'ensemble de ses images par les éléments d'un sous-groupe  $\Lambda$  du groupe des transformations affines de  $\mathbb{R}^n$  On définit ainsi une famille  $\psi_{S, T}$  (ou  $(S, T) \in \mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}$ ) d'ondelettes à partir de l'ondelette mère :

$$\forall t \in \mathbb{R}, \psi_{s, \tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi \left( \frac{t - \tau}{s} \right)$$

Par extension, des familles de fonctions sur des sous-variétés de  $\mathbb{R}^n$  invariantes par un groupe de transformation localement isomorphe au groupe affine peuvent également être qualifiées de familles d'ondelettes. [ROB 01]

#### **4- Transformée en ondelettes :**

La transformée en ondelettes est similaire à la transformée de Fourier (et encore plus à la transformée de Fourier locale) avec une fonction de mérite complètement différente. La différence principale est la suivante : la transformée de Fourier décompose le signal en sinus et en cosinus, c'est-à-dire en fonctions localisées dans l'espace de Fourier ; contrairement à la transformée en ondelettes qui utilise des fonctions localisées à la fois dans l'espace réel et dans l'espace de Fourier. De manière générale

Comme on peut le voir, la transformée en ondelettes est en fait un ensemble infini de diverses transformées, dépendant de la fonction de mérite utilisée pour la calculer. C'est la raison pour laquelle nous pouvons entendre parler de la « transformée en ondelettes » dans des contextes et applications très divers. Il existe aussi de nombreuses manières de classer les types de transformées en ondelettes. Nous ne présentons ici que la division basée sur l'orthogonalité des ondelettes. Nous pouvons utiliser les ondelettes orthogonales pour le développement en ondelettes discret et les ondelettes non-orthogonales pour le développement en ondelettes continu. Ces deux transformées possèdent les propriétés suivantes :

- 1.** La transformée en ondelettes discrète retourne un vecteur de données de même longueur que les données d'entrée. Généralement la plupart des valeurs de ce vecteur sont pratiquement nulles. Cela vient du fait qu'elle décompose en un ensemble d'ondelettes (fonctions) orthogonales par translation et par homothétie. On décompose ainsi le signal en un nombre égal ou inférieur de coefficients du spectre d'ondelettes que le nombre de points de données du signal. Un tel spectre d'ondelettes est très bon pour le traitement du signal et la compression, par exemple, car nous n'obtenons ici aucune information redondante.

2. La transformée en ondelettes continue retourne quant à elle un vecteur de dimension supérieure de un à celle des données d'entrée. Pour des données 1D nous obtenons une image du plan temps-fréquence. On peut ainsi aisément visualiser l'évolution fréquentielle pendant la durée du signal et comparer son spectre avec ceux d'autres signaux. Comme on utilise ici un ensemble d'ondelettes non-orthogonales, les données sont hautement corrélées, on a donc dans ce cas une redondance élevée [BUL 95]

**a. Transformée en ondelettes discrète :**

La transformée en ondelettes discrète (DWT, Discrete Wavelet Transform) est une implémentation utilisant un ensemble discret d'échelles et de translations d'ondelettes obéissant à certaines règles. En d'autres termes, cette transformée décompose le signal en un ensemble d'ondelettes mutuellement orthogonales, ce qui constitue la différence principale avec la transformée en ondelettes continue, ou son implémentation en séries discrètes dans le temps parfois appelée transformée en ondelettes continue discrète dans le temps (DT-CWT, discrete-time continuous wavelet transform).

L'ondelette peut être construite à partir d'une fonction d'échelle décrivant les propriétés d'échelle du signal. La restriction d'orthogonalité avec les translations discrètes implique certaines conditions mathématique

Après introduction de conditions supplémentaires (les restrictions précédentes ne produisent pas une solution unique) nous pouvons obtenir le résultat de toutes ces équations, c'est-à-dire un ensemble fini de coefficients  $a_k$  définissant la fonction d'échelle ainsi que l'ondelette. L'ondelette est obtenue à partir de la fonction d'échelle grâce à  $N$  où  $N$  est un entier pair. L'ensemble des ondelettes forme alors une base orthogonale que nous utilisons pour décomposer le signal. Notez qu'en général seuls quelques coefficients  $a_k$  sont non nuls, ce qui simplifie les calculs.

Il existe plusieurs types d'implémentation de l'algorithme DWT. Le plus connue et aussi le plus ancien est l'algorithme (pyramidal) de Malaat. Dans celui-ci deux filtres – un lissant et un non-lissant – sont construits à partir des coefficients d'ondelette, puis utilisés de manière récurrente pour obtenir les données pour toutes les échelles. Si le nombre total de données  $D = 2^N$  est utilisé et que la longueur du signal est  $L$ , les premières  $D/2$  données d'échelle  $L/2^{N-1}$  sont calculées, puis les  $(D/2)/2$  données d'échelle  $L/2^{N-2}$ , ... pour obtenir finalement 2 données d'échelle  $L/2$ . Le résultat de cet algorithme est un ensemble de même longueur que celle des données d'entrée, dans lequel les données sont généralement classées de la plus grande à la plus petite échelle.

La transformée en ondelettes discrète peut être utilisée pour débruiter facilement et rapidement un signal. Si nous ne prenons qu'un nombre limité des coefficients les plus élevés dans le spectre de la transformée, et que nous appliquons la transformée inverse (en utilisant la même base d'ondelettes) nous pouvons obtenir un signal plus ou moins débruité. Il existe plusieurs façons de choisir les coefficients qui seront conservés. [CHA 00]

#### **b. Transformée en ondelettes continue :**

La transformée en ondelettes continue (CWT, Continuous Wavelet Transform) est une implémentation de la transformée en ondelettes utilisant des échelles arbitraires ainsi que des ondelettes pratiquement arbitraires. Les ondelettes utilisées ne sont pas orthogonales et les données obtenues par cette transformée sont hautement corrélées. Nous pouvons aussi utiliser cette transformée pour les séries discrètes dans le temps, avec la limitation que les translations des plus petites ondelettes soient égales au pas d'échantillonnage des données. Cette transformée est parfois appelée transformée en ondelettes continue discrète dans le temps (DT-CWT, Discrete-Time ContinuousWaveletTransform), et il s'agit de la façon la plus répandue de calculer la CWT pour des applications réelles.

En principe la transformée en ondelettes continue fonctionne en utilisant directement la définition de la transformée en ondelettes, c'est-à-dire en calculant la convolution du signal par l'ondelette mise à l'échelle. Nous obtenons de cette manière pour chaque échelle un ensemble de longueur  $N$  identique à celle du signal. En utilisant  $M$  échelles choisies arbitrairement nous obtenons une matrice  $N \times M$  représentant directement le plan temps-fréquence. L'algorithme utilisé pour ce calcul peut être basé sur une convolution directe ou par une convolution réalisée par une multiplication dans l'espace de Fourier (aussi appelée transformée en ondelettes rapide).

Le choix de l'ondelette utilisée pour la décomposition temps-fréquence est le point le plus important. Celui-ci a une influence sur la résolution en temps et en fréquence du résultat. Nous ne pouvons modifier de cette manière les caractéristiques de la transformée en ondelettes (les basses fréquences ont une bonne résolution fréquentielle mais une mauvaise résolution temporelle ; les hautes fréquences ont une bonne résolution temporelle et une mauvaise résolution fréquentielle), mais nous pouvons toutefois augmenter la résolution fréquentielle totale ou la résolution temporelle totale. Ceci est directement proportionnel à la largeur de l'ondelette utilisée dans l'espace réel et dans l'espace de Fourier. Si nous utilisons par exemple l'ondelette de Morlet (partie réelle – fonction cosinus amortie) nous pouvons espérer une haute résolution fréquentielle car cette ondelette est très localisée du point de vue des fréquences.

A l'inverse, l'utilisation d'une ondelette de type dérivée gaussienne (DOG, Derivative of Gaussian) donnera une bonne résolution temporelle, mais une mauvaise résolution fréquentielle. **[CLE 04]**

## **Chapitre III**

### **Simulation des Décharges Partielles par un modèle de Simulink**

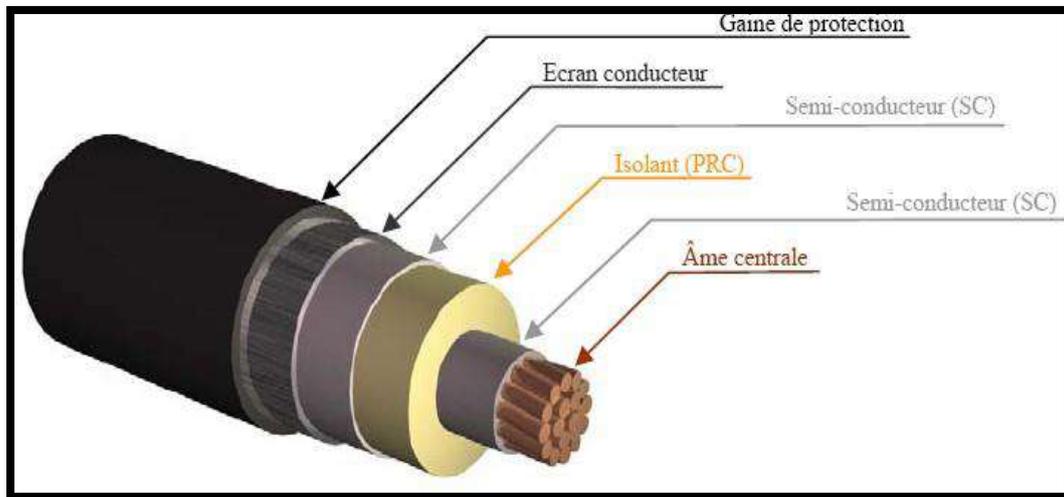
## **Chapitre III : Simulation des Décharge Partielles par un modèle de Simulink**

### **1. INTRODUCTION :**

Dans cette partie on va essayer d'étudier l'activité des décharges partielles dû à un défaut. Ce défaut est une cavité au sein d'un câble XLPE. En utilisant le circuit électrique équivalent, on va essayer de déterminer l'influence de la position de la cavité sur l'activité des décharges partielles. La variation de la position de la cavité par rapport au centre se manifeste par la variation des paramètres électriques du circuit équivalent de l'isolateur.

## 2. Constitution et caractéristiques du câble:

La figure suivante montre bien un schéma de configuration classique d'un câble



**Figure III.10 :** Représentation d'un câble de transport

L'âme centrale conductrice est composée de plusieurs conducteurs habituellement en cuivre ou en aluminium. Autour de cet ensemble de conducteurs se trouve un matériau semi-conducteur (SC) destiné à homogénéiser le champ électrique à l'interface entre le semi-conducteur et l'isolant. Puis, se trouve la partie essentielle qui est le matériau isolant. Dans notre exemple, ce dernier est un polyéthylène haute densité (XLPE). Le tout ainsi formé est recouvert d'une seconde couche de matériau semi-conducteur. L'ensemble est recouvert d'un écran conducteur relié à la terre, dont le rôle est multiple : il sert de blindage afin d'empêcher la propagation du flux électromagnétique, il assure également le retour du courant en cas de court-circuit, et il permet aussi d'éviter l'intrusion d'humidité. La dernière couche est une gaine de protection qui est généralement faite à partir de polyéthylène haute densité. Sa fonction est double: elle isole l'environnement de la partie conductrice extérieure et elle protège le câble des agressions extérieures telles que la corrosion ou bien l'usure mécanique.

Habituellement, la fabrication des câbles haute tension se fait en co-extrudant l'ensemble des trois couches SC/PRC/SC sous forte pression, de façon à obtenir un matériau le plus homogène possible et surtout exempt de cavités.

L'isolation du câble est en polyéthylène haute densité. Les caractéristiques physiques du câble choisi, sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau III.1 : les paramètres d'un câble isolant**

Valeur efficace de la tension nominale	12 kV
Rayon de l'âme	3 mm
Epaisseur de la couche S/C sur l'âme	1 mm
Epaisseur de l'enveloppe isolante	7 mm
Epaisseur de la couche S/C sur l'isolant	1 mm
Ecran métallique	20x0.1 mm
Epaisseur de la gaine de protection en PVC	2.5 mm
Facteur de pertes diélectriques	$4 \cdot 10^{-3}$
Conductivité électrique	$10^{-12} \Omega \text{ cm}^{-1}$
Conductivité thermique	0.286 W/(m.°K)
Chaleur spécifique	2.08 J/(cm <sup>3</sup> .°K)

### **3. Modèle de simulation du système d'isolation :**

Pour modéliser le système d'isolation globale nous avons utilisé le logiciel Simulink. Ce logiciel est muni d'une interface graphique pour la modélisation, la simulation et l'analyse des systèmes dynamiques. Etant intégré à MATLAB, les deux environnements sont parfaitement compatibles et les différentes fonctionnalités de ce dernier sont alors directement accessibles. Simulink est basé sur une interface graphique qui permet une construction aisée et conviviale de schémas-blocs. Chaque bloc composant le système est sélectionné depuis un ensemble de bibliothèques prédéfinies.

Dans le logiciel Simulink , nous nous sommes intéressés à la rubrique SimPowerSystems utilisée dans les domaines de l'électronique, l'électronique de puissance et l'électromécanique. Contrairement à Simulink, basé sur la notion de fonction de transfert ou des entrées-sorties d'un système, SimPowerSystems fournit des éléments de puissance comme les composant à semi-conducteur de puissances (diodes, thyristors, transistors, MOS, IGBT et GTO), les machines triphasées (synchrones, asynchrones, etc.), les systèmes de production d'énergie (éoliennes, alternateurs, pile à combustible etc.), les systèmes de lignes de transmission pour la modélisation et la simulation des circuits et des systèmes électriques de puissance.

Le circuit équivalent d'un isolant, contenant une seule cavité est représenté dans

la figure III.12 :

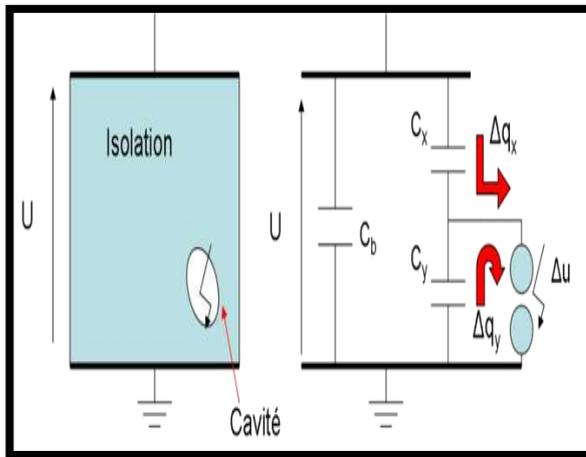


Figure III.11: Schéma électrique

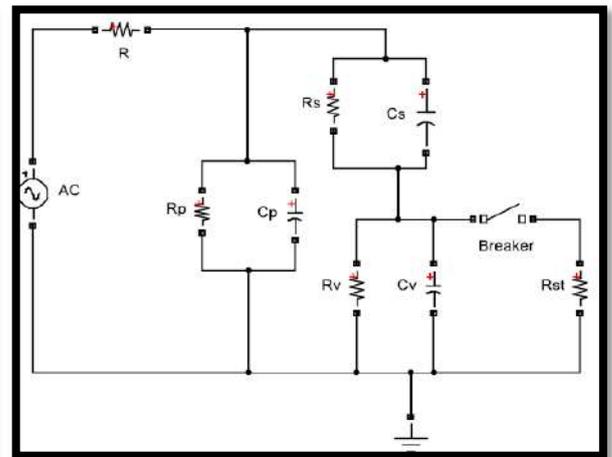


Figure III.12 : schéma équivalent

En utilisant les composants électriques et électroniques disponibles dans la bibliothèque de Simulink, nous avons imaginé le circuit équivalent reporté à la figure III.13

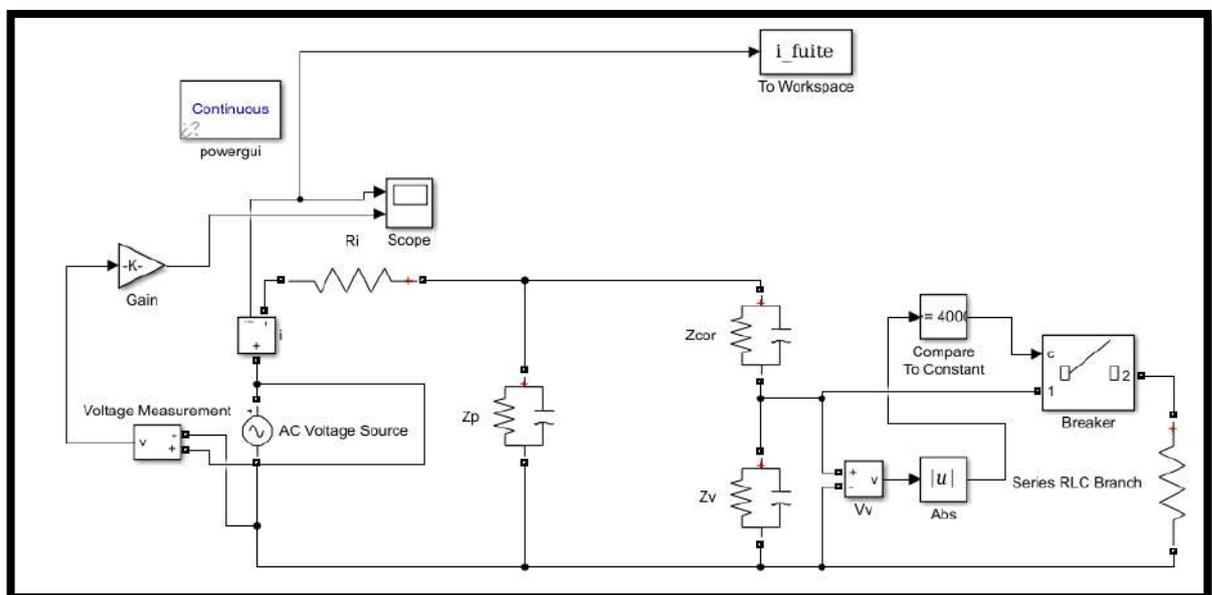


Figure III.13 : schéma de simulation en utilisant le logiciel SIMULINK

#### 4. Paramètres électriques pour les emplacements vides considérés :

Sachant qu'il est très difficile de trouver ou calculer les paramètres du circuit et qui représentent réellement les propriétés de l'isolant ainsi que le défaut, cela nous mène à opter pour des valeurs issue de la référence [KEH14]. Les valeurs des grandeurs choisies sont dans le tableau suivant :

**Tableau III.2** : représente la distance de cavité au centre

Paramètres Calculés		La distance de la cavité au centre			
		1.5 mm	2.0 mm	2.5 mm	3 mm
$Z_p$	$C_p$ (F)	$4.69 \times 10^{-7}$	$4.69 \times 10^{-7}$	$4.69 \times 10^{-7}$	$4.69 \times 10^{-7}$
	$R_p$ ( $\Omega$ )	$3.24 \times 10^7$	$3.24 \times 10^7$	$3.24 \times 10^7$	$3.24 \times 10^7$
$Z_c$	$C_{scor}$ (F)	$2.045 \times 10^{-2}$	$2.045 \times 10^{-3}$	$2.045 \times 10^{-4}$	$2.045 \times 10^{-7}$
	$R_{scor}$ ( $\Omega$ )	$1.2 \times 10^2$	$1.2 \times 10^3$	$1.2 \times 10^4$	$1.2 \times 10^7$
$Z_v$	$C_{void}$ (F)	$1.86 \times 10^{-6}$	$1.86 \times 10^{-6}$	$1.86 \times 10^{-6}$	$1.86 \times 10^{-6}$
	$R_{void}$ ( $\Omega$ )	$1.56 \times 10^6$	$1.56 \times 10^6$	$1.56 \times 10^6$	$1.56 \times 10^6$

#### 5. Résultats de simulation :

On peut très bien voir dans les figures l'activité des décharges partielles. **La figure III.20** montre clairement que lorsque le courant de fuite est proche de son maximum, des décharges partielles apparaissent. On peut très bien distinguer les impulsions du courant des décharges partielles.

Pour une distance de la cavité égale à 1.5mm on obtient les courbes de **la figure III.14** Dans ce cas on trouve que le nombre de décharges est égal à trois. Ces décharges sont sous forme d'impulsion. Une impulsion élevée d'environ 22% de la valeur max du courant. Cette impulsion apparait au moment où le courant de fuite atteint la valeur max. les deux autres sont

de valeurs réduite d'environ 11% localisé de part et d'autre du moment de la précédente impulsion.

Pour une distance de la cavité égale à 2.0mm on obtient les courbes de **la figure III.17**. Dans ce cas on trouve que le nombre de décharges est toujours égal à trois mais avec des amplitudes très proches. Ces décharges sont sous forme d'impulsion qui apparaît quand le courant est proche de sa valeur crête avec des amplitudes d'environ 33% de la valeur max du courant.

Dans le cas d'une distance de la cavité égale à 2.5mm on obtient les courbes de **la Figure III.20** le nombre d'impulsions est réduit à deux avec des amplitudes d'environ 33% de la valeur max du courant.

Pour une distance de la cavité égale à 3.0 mm les résultats sont dans **la Figure III.23**

Dans ce cas en remarque que le nombre d'impulsion se réduit à un mais avec une amplitude beaucoup plus importante qui atteint environ plus que 52% de la valeur max du courant.

Après avoir recueilli ces résultats, On peut conclure que le nombre des décharges partielles diminue pour une distance croissante de position de la cavité. Par contre, l'amplitude de l'impulsion augmente quand la distance par rapport au centre de la cavité augmente. Cela nous mène à dire qu'il y a une grande dépendance entre la distance par rapport au centre et l'activité des décharges partielles.

## **6. Analyse du courant par la technique des ondelettes :**

Les signaux du courant de fuite pour les différentes positions de la cavité ont été décomposés en 5 niveaux en utilisant la transformée en ondelette de symmlet, afin d'identifier n'importe quelle transition dans le signal du courant de fuite due aux hautes fréquences. Les détails de la décomposition par ondelette sont donnés dans **les Figures III. (15-18-21-24)**. Le diagnostic du défaut est basé sur l'observation et la comparaison entre les niveaux de décomposition qui contiennent l'information du défaut pour différentes positions de la cavité.

L'information du signal du courant est incluse dans chaque bande de fréquence résultante de la décomposition en ondelettes. En calculant l'énergie associée à chaque niveau ou à chaque nœud de décomposition, on peut construire un outil de diagnostic utile.

La valeur de l'énergie de chaque niveau en fonction de la position de la cavité est donnée dans **la Figure III.26**. D'après cette figure, on constate que seulement le niveau de décomposition No 4 qui se manifeste par une variation monotone décroissante de l'énergie en fonction de la position de la cavité. Ce qui permet de le considérer comme un index fiable pour détecter la position de la cavité.

## **7. Analyse du courant par la technique des séries de Fourier :**

L'utilisation de la transformation de Fourier rapide pour l'analyse du signal du courant de fuite a donné les résultats **des Figure III. (16-19-22-25)**. Les résultats montrent que les harmoniques d'autre supérieur sont négligeable par rapport au fondamentale. Le taux de distorsion THD est aussi très faible. Le THD ne dépasse pas 0.52% et sa variation n'est pas régulière. Cela ne permet pas d'en déduire des conclusions concernant la position de la cavité.

## 8. Les résultats graphiques :

Distance = 1.5mm

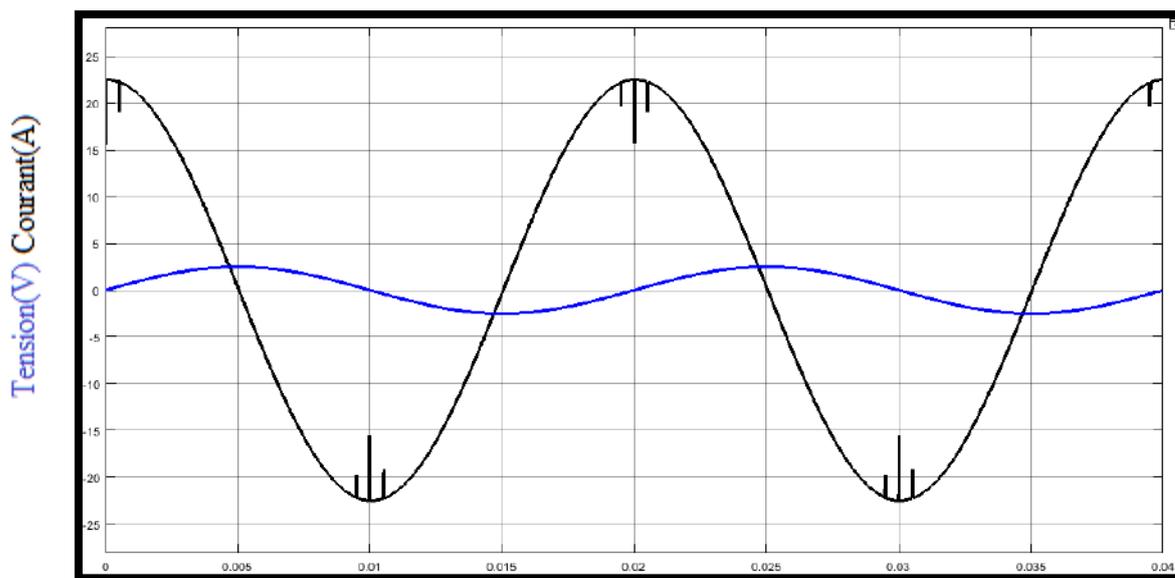


Figure III.14 : Résultats de simulation pour une distance de 1.5mm

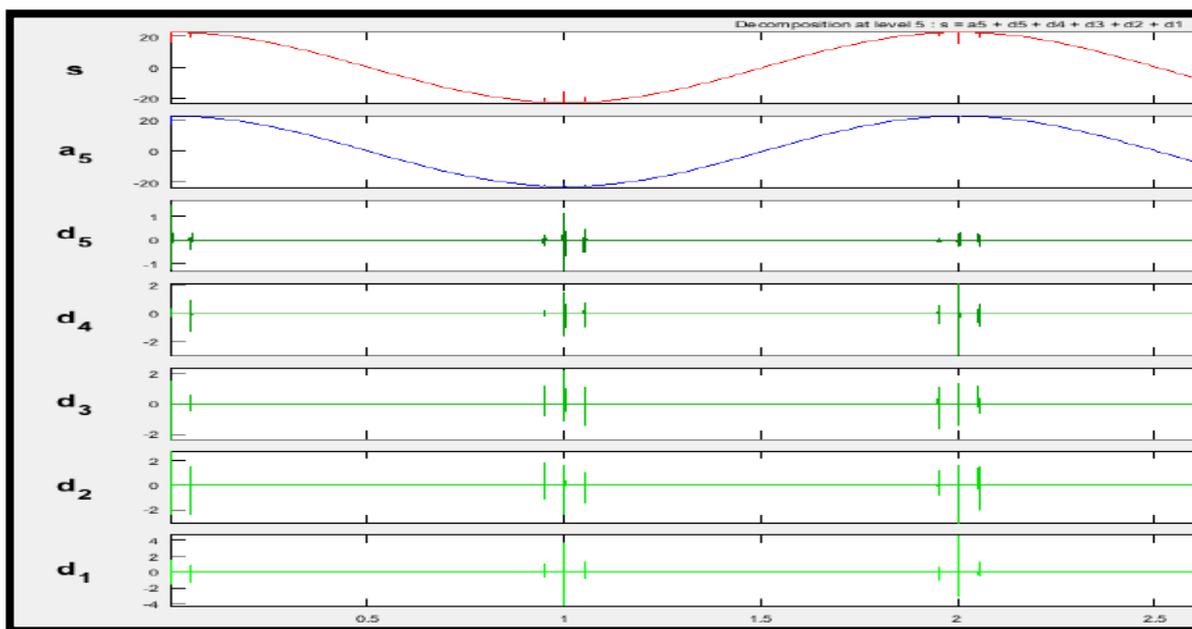
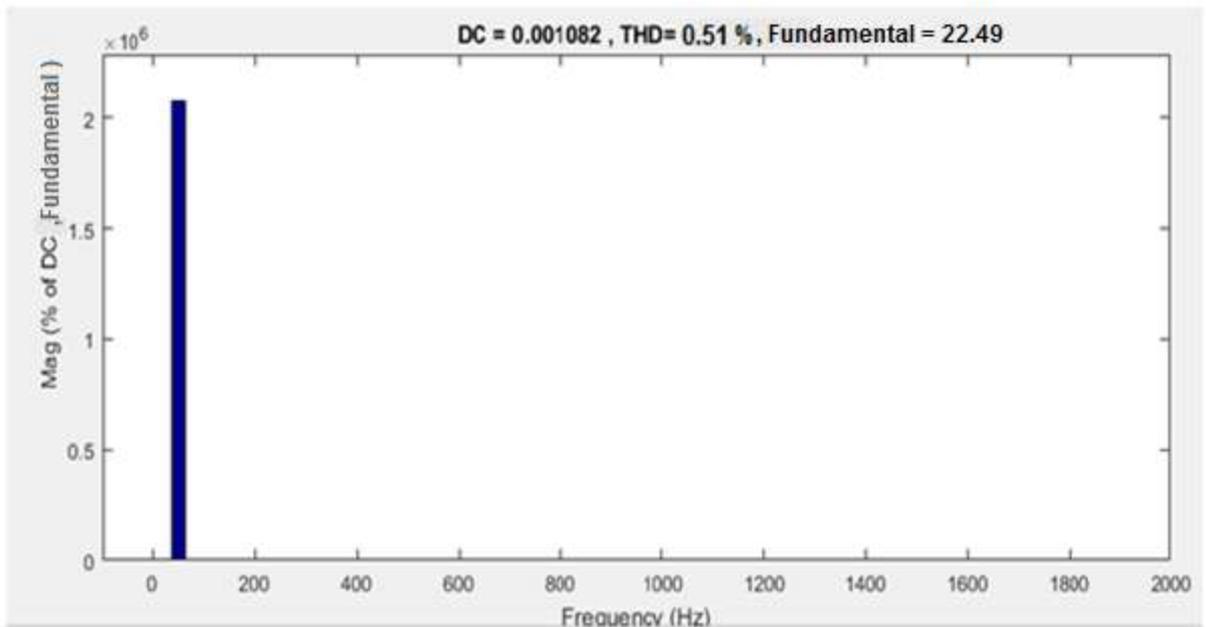
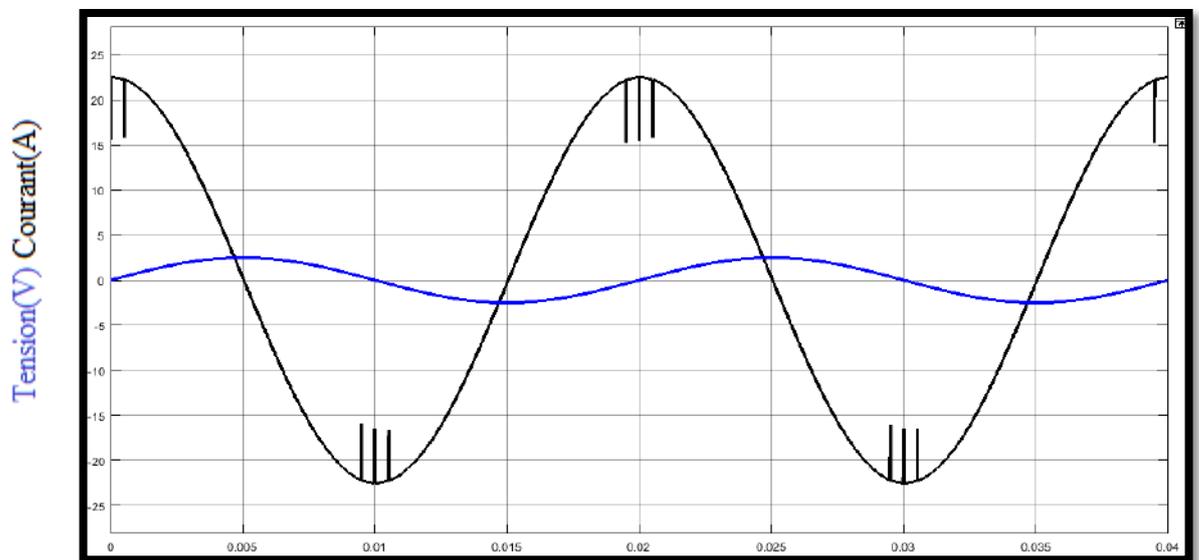


Figure III.15 : Décomposition par la méthode des ondelettes du courant de fuite pour une distance de 1.5mm

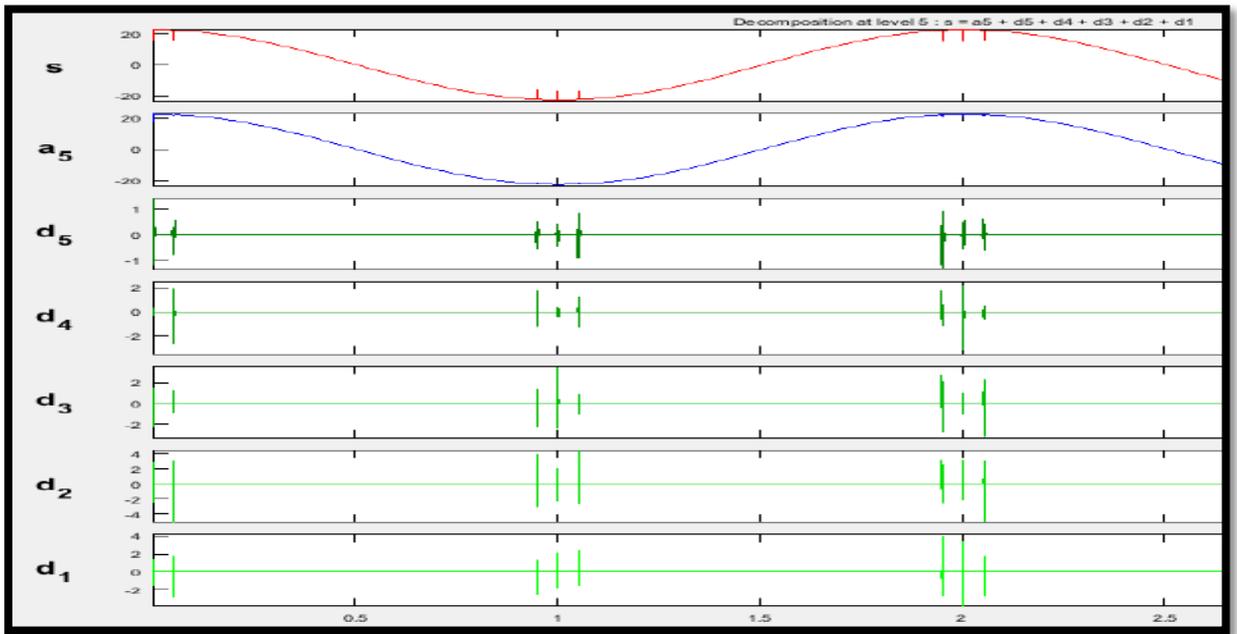


**Figure III.16 :** Décomposition par la méthode de série de fourier pour une distance 1.5mm

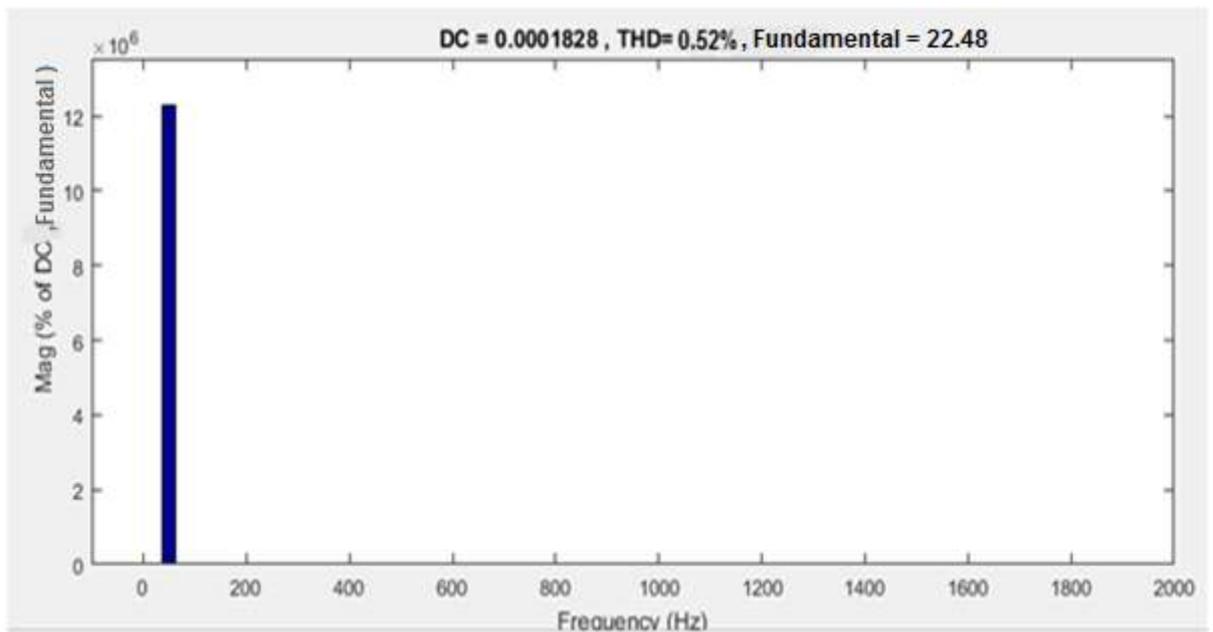
**Distance = 2mm**



**Figure III.17:** Résultats de simulation pour une distance de 2 mm



**Figure III.18 :** Décomposition par la méthode des ondelettes du courant de fuite pour une distance de 2 mm



**Figure III.19 :** Décomposition par la méthode de série de fourier pour une distance 2 mm

Distance = 2.5mm

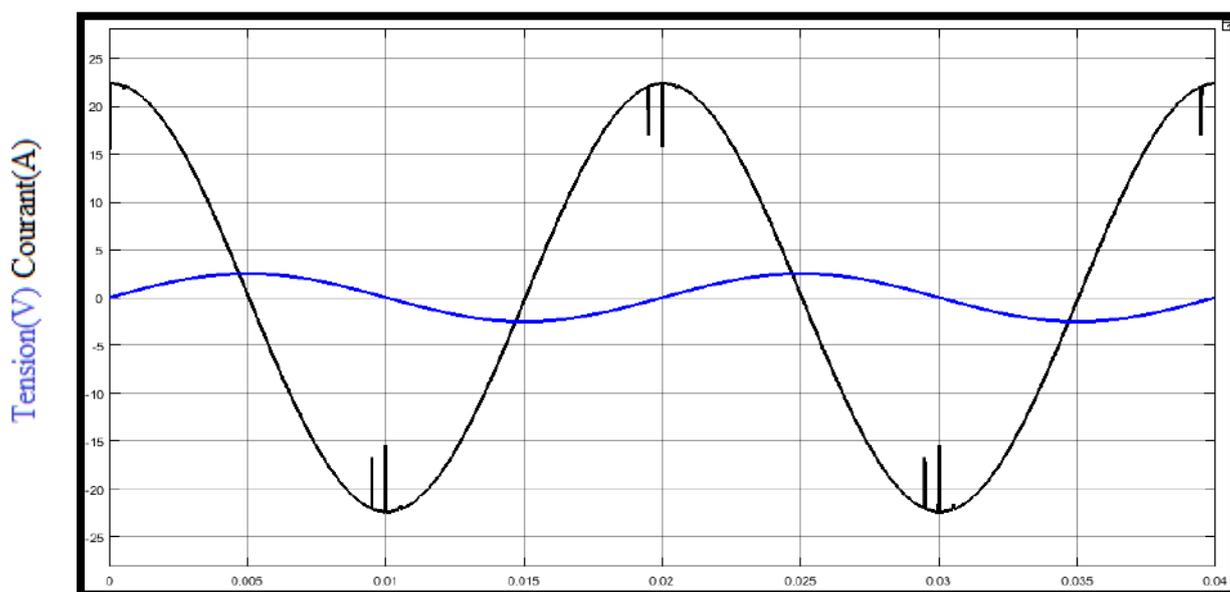


Figure III.20: Résultats de simulation pour une distance de 2.5mm

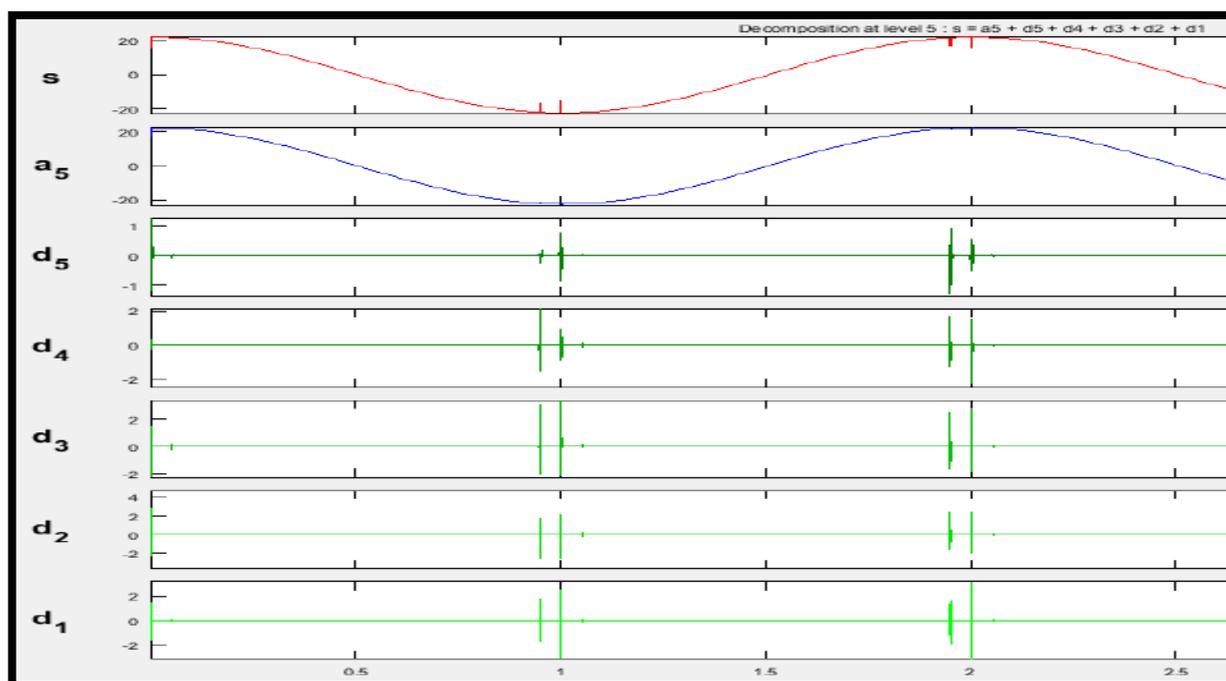
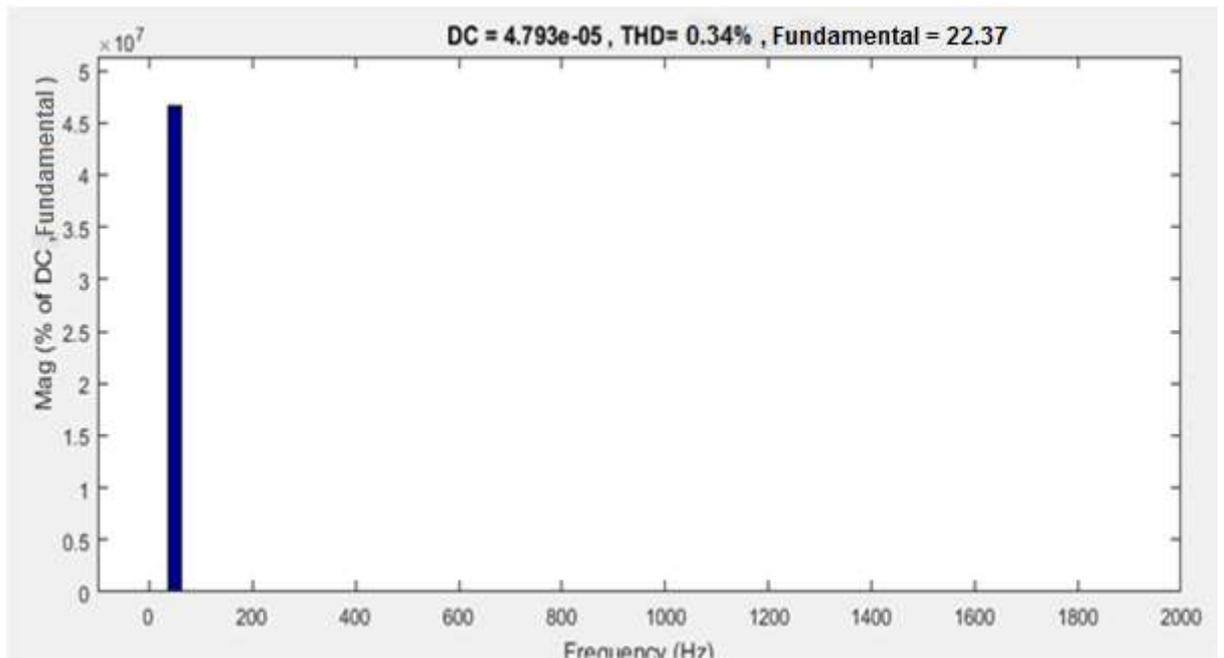
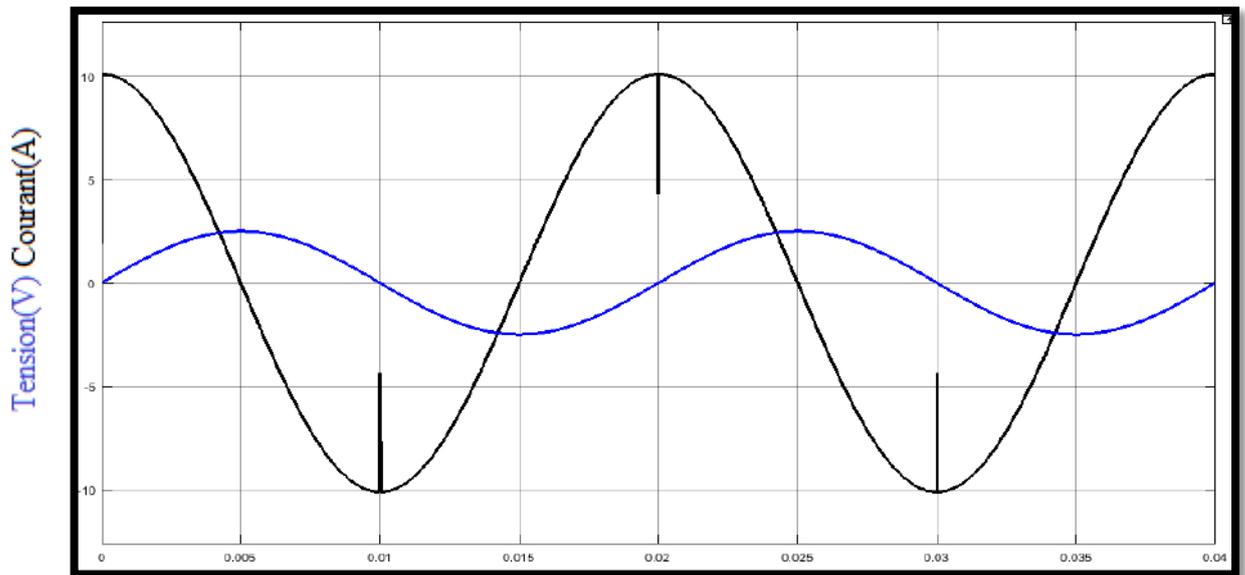


Figure III.21 : Décomposition par la méthode des ondelettes du courant de fuite pour une distance de 2.5mm

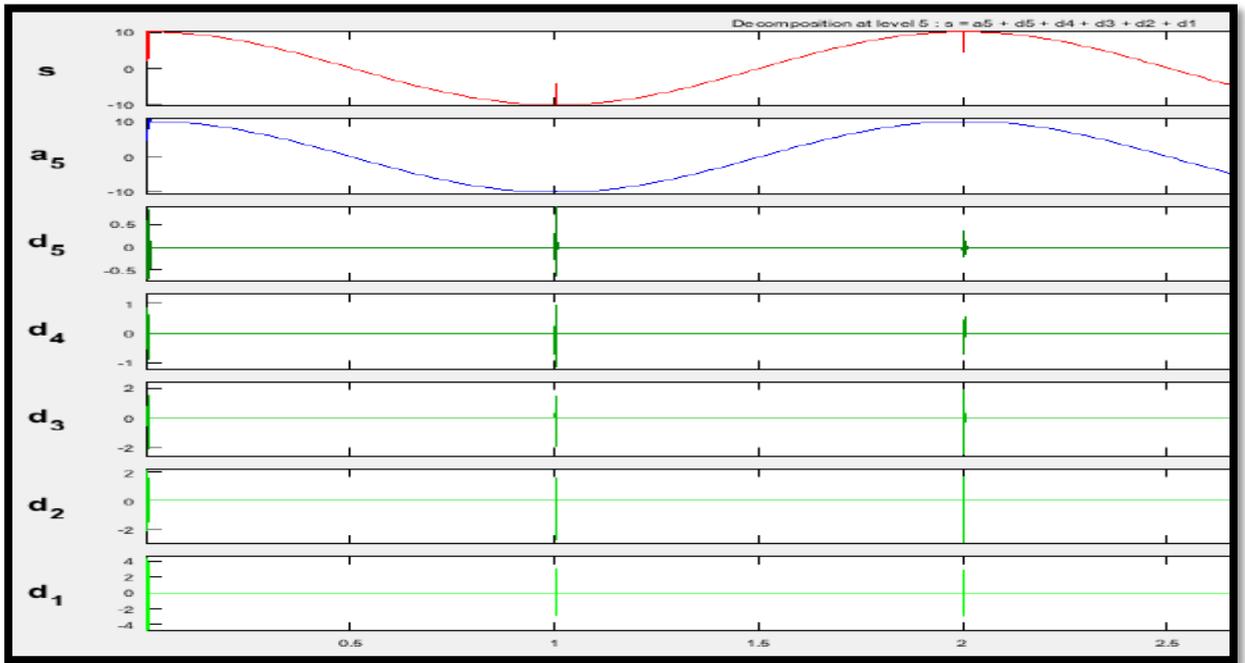


**Figure III.22 :** Décomposition par la méthode de série de fourier pour une distance 2.5mm

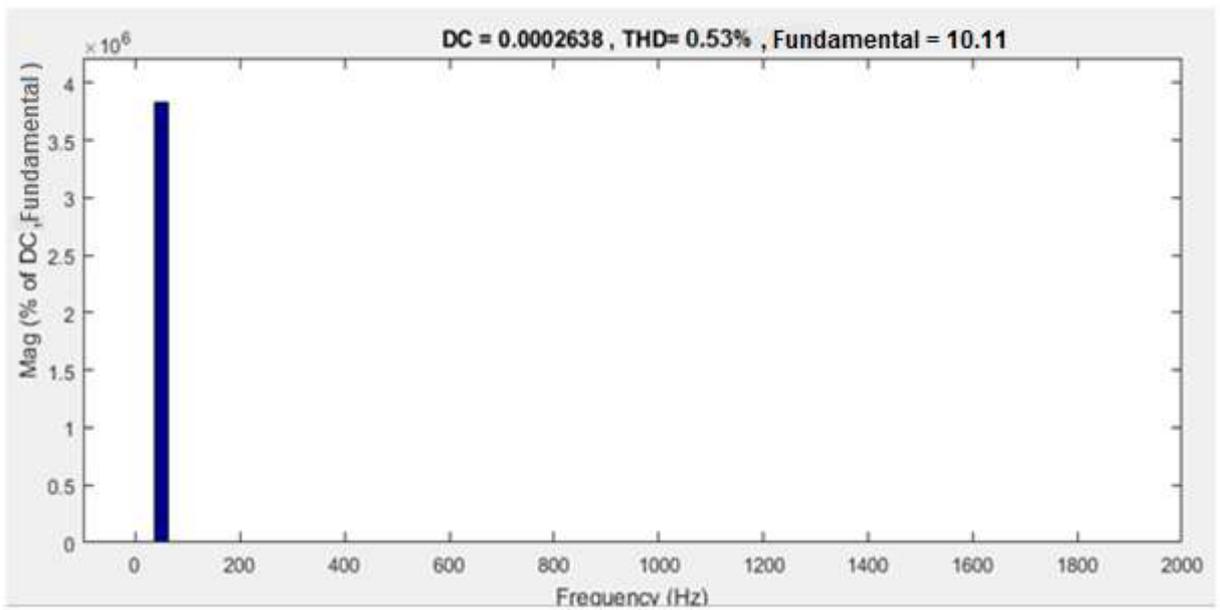
**Distance = 3 mm**



**Figure III.23 :** Résultats de simulation pour une distance de 3 mm



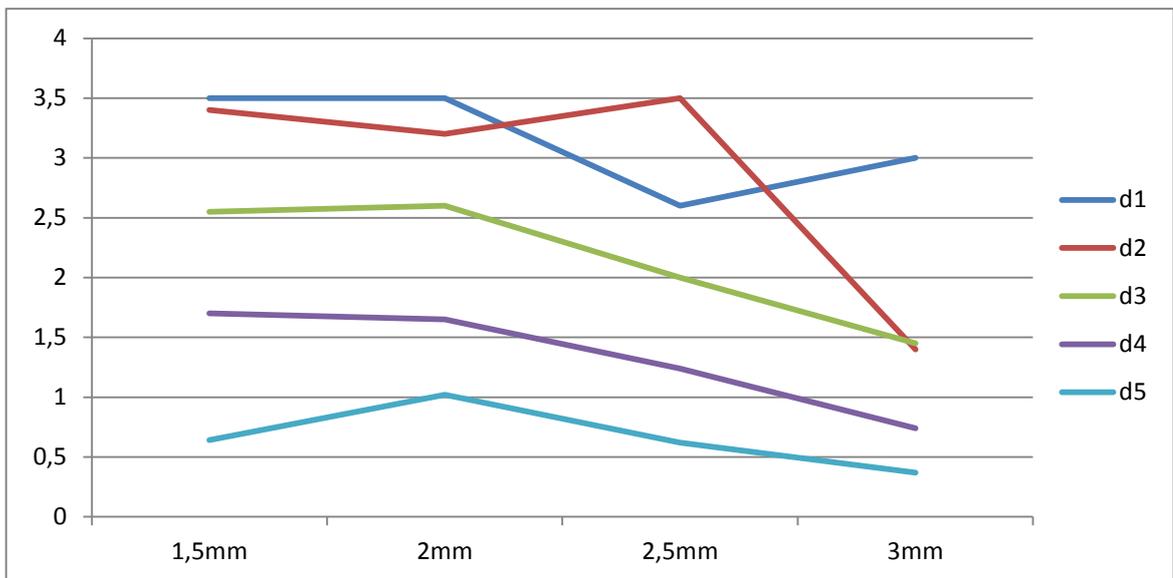
**Figure III.24** : Décomposition par la méthode des ondelettes du courant de fuite pour une distance de 3 mm



**Figure III.25** : Décomposition par la méthode de série de fourrier pour une distance 3 mm

**Tableau III.3** : l'énergie associée à chaque niveau de décomposition par la méthode des ondelettes

	1.5 mm	2 mm	2.5 mm	3 mm
<b>d1</b>	3.5	3.5	2.6	3
<b>d2</b>	3.4	3.2	3.5	1.4
<b>d3</b>	2.55	2.6	2	1.45
<b>d4</b>	1.7	1.65	1.24	0.74
<b>d5</b>	0.64	1.02	0.62	0.37



**Figure III.26** : Représentation graphique de l'énergie associée à chaque niveau de décomposition

#### **IV. CONCLUSION GÉNÉRALE :**

Ce travail de fin d'études a pour objectif de développer un système de diagnostic d'isolateur de ligne de haute tension utilisée dans la distribution d'énergie électrique. A cette fin, la détection de décharges partielles a jadis prouvé toute son efficacité pour apprécier la qualité d'un system d'isolation. Il est donc naturel de mettre à profit cette technique pour remplir les objectifs du projet.

Ce travail a permis d'étudier avec succès les activités de DP dans une cavité située à différents points de l'isolation d'un câble XLPE. Un modèle de simulation a été développé dont les paramètres électriques sont spécifiés selon les caractéristiques géométriques de la cavité dans le câble. Les distances des cavités ont été variées afin d'analyser l'occurrence et les activités des DP. Il est à noter que la distance de la cavité par rapport au centre du câble ont un effet significatif sur l'activité DP car les cavités constituent une situation critique si elles sont situées près de l'électrode haute tension.

Le modèle de simulation de l'isolateur développé à l'aide du logiciel SIMULINK est basé sur un circuit constitué par des capacités et des résistances. Ce modèle nous a permis de conclure que la position de la cavité influence sur l'activité des décharges partielles. Cette influence se manifeste, notamment dans le nombre des décharges partielles et leurs amplitudes. L'activité des DP devient plus importante pour des positions proches du centre du câble. Pour quantifier cette activité nous avons utilisé la méthode des ondelettes et la méthode de série de Fourier pour analyser le signal de courant de fuite. La décomposition par la méthode des ondelettes a permis d'obtenir un indicateur fiable qui permet de déduire la position de la cavité par rapport au centre du câble. Cet indicateur est l'énergie du niveau 4 de la décomposition du signal du courant de fuite. L'énergie devient plus grande quand la cavité est proche du centre du câble.

L'utilisation de la méthode de série de Fourier n'a pas permis d'en déduire grande chose car les harmoniques créés par l'activité de DP est très négligeable par rapport au fondamentale.

En perspective, pour améliorer notre étude du diagnostic des défauts du câble, l'étude pourrait être élargit en considérant d'autre caractéristique du défaut comme le volume de la cavité et sa forme et d'autre outil de diagnostic et de détection avancées (réseaux neurones, logique floue, neuro flou).

## **BIBLIOGRAPHIE**

- [AGU82]: AGUET, Michel et LANOVICI, Mircea. Traité d'Electricité. Haute tension. Volume XXII, première édition, Edition Georgi.1982
- [ARC79] : M. Archambault : « Les isolateurs.», deuxième partie, chronique pour bien ce comprendre, Hydro presse, mi-novembre 1979.
- [AVR74] :C. Avril et M. Mafez : « Les isolateurs et leurs accessoires, deuxième partie, construction des lignes aériennes à haute tension. », édition EYROLLES, Paris, France, 1974
- [AGU90] :M. Aguet et M. Lanoz : « Isolant, isolation et système d'isolation, Traité d'électricité. ». Volume XXII, Haute Tension, presses polytechniques et universitaires romandes ; 1990
- [ATI 14] :ATIK Maryam faculté des sciences et techniques. Université Hassan I. Juillet 2014
- [Bul 95] : A. Bultheel: Bull. Belg. Math. Soc.: (1995)
- [CHA 00] :S. G. Chang, B. Yu, M. Vetterli: IEEE Trans. Image Processing, (2000) 9 p. 1532
- [CHA 00] :S. G. Chang, B. Yu, M. Vetterli: IEEE Trans. Image Processing, (2000) 9 p. 1522
- [CLE 04] :Clemens Valens, A ReallyFriendly Guide to Wavelets [archive], 2004
- [DJI 15] : Dr. Djilali Benyoucef (Haute Tension) 05/09/2015
- [FAU, ALF 08] :Alfio Maria Quarteroni, Riccardo Secco et Fausto Saleri, Méthodes Numériques, Springer Science & Business Media, 2008 ( série de Fourier )
- [GHU 08] :GhulamMurtazaHashmi, Partial discharge detection for condition monitoring of covered-conductor overhead distributions networks using rogowski coil, Helsinki, Université technique de Helsinki, coll. « Thèse », 2008
- [HAN 01] :Hans Edin, Partial discharges studied with variable frequency of the applied voltage, Stockholm, KTH, coll. « Thèse », 2001
- [JAC 12] : Jacques Peyrière, Convolution, séries et intégrales de Fourier, Ellipses, 2012

- [**JIA 08**] : Jian-Jiun Ding, Time-Frequency Analysis and Wavelet Transform [archive], 2008
- [**JIM 09**] : Jim.belkFile: Fourier Series.svg Création : 31 octobre 2009
- [**KEH14**] : Kehinde Oluwaseyi Ehineni « Partial Discharge Modeling by Simulink » Master Thesis, Eastern Mediterranean University, Sep 2014.
- [**MDI 18**] : mdl énergie 2018 décharge partielle
- Pierre Zweiacker, <http://www.surprises.ch/HT/cours.html>
- [**ROB 01**] : Robi Polikar, The Wavelet Tutorial [archive], 2001
- [**STÉ 00**] : Stéphane Mallat, Une exploration des signaux en ondelettes, Éditions de l'École polytechnique, 2000
- [**WIK 18**] : «[https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Décharge\\_partielle&oldid=141730579](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Décharge_partielle&oldid=141730579) ».mars 2018
- [**WAR14**] : LAURA WARNANT « Filtrage par Ondelettes de Signaux de Décharges Partielles-Application aux Lignes de Transport d'Énergie Électrique » Mémoire Master, Université de Liège 2014
- [**XAV14**] : Xavier DUCOURET 2014 | Techniques de l'Ingénieur

**Résumé :** L'objectif de ce travail est d'extraire un nombre important d'informations après l'utilisation de la méthode d'ondelette sur le MATLAB sur les décharges partielles DP de l'isolateur de la haute tension (câble XLPE). Ces informations constituent des outils indéniables dans l'étude de l'état de dégradation des isolateurs. Elles seraient par conséquent fort utiles dans l'élaboration d'un système de surveillance en temps réel pouvant prédire l'imminence d'une coupure électrique.

**Mots clés :** MATLAB ,DP, XLPE

**ملخص :** الغرض من هذا العمل هو استخراج كمية كبيرة من المعلومات بعد استخدام طريقة الموجات على MATLAB على التصريف الجزئي DP للعوازل ذات الجهد العالي (كابل XLPE). أدوات لا يمكن إنكارها في دراسة حالة تدهور العوازل. وبالتالي سيكون من المفيد جدًا تطوير نظام مراقبة في الوقت الفعلي يمكنه التنبؤ بقرب حدوث انقطاع كهربائي.

**الكلمات المفتاحية:** برنامج مخبر رياضي . التفريغ الجزئي . نوع السلك الكهربائي

**Abstract :** The objective of this work is to extract a large amount of information after the use of the wavelet method on the MATLAB on DP partial discharges of the high voltage insulator (XLPE cable). constitute undeniable tools in the study of the state of degradation of insulators. They would therefore be very useful in developing a real-time monitoring system that can predict the imminence of an electrical outage.

**Key words :** MATLAB ,DP, XLPE