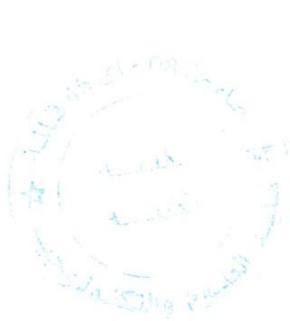


M/621.9/10

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrotechnique et Automatique



Domaine : Sciences et Technologie
Filière : Electrotechnique
**Spécialité : Protection et Contrôle des Réseaux
Electriques**

**Mémoire de fin d'études
pour l'obtention du diplôme de Master Académique**

Détection des décharges partielles dans les diélectriques

Présenté par :

Ould Oumar Nasser dine
Bokayaka Koumou Dulcy Irich

Sous la direction de :

Pr. Ahcène LEMZADMI

Juin 2016

REMERCIEMENT



Nous remercions vivement le Pr. Ahcene LEMZADMI pour sa disponibilité tout au long de ce travail, nous le remercions encore pour son aide si précieuse sur pour les conseils et les orientations, sans oublier les efforts particuliers de l'ingénieur MOURAD qui ont pleinement contribué à la réussite de ce travail.

Nous tenons tout particulièrement à remercier tout l'ensemble des enseignants du département génie électrotechnique et automatique pour leur disponibilité et encouragement, ainsi que tous les enseignants qui ont contribué à la formation.

Nous remercions aussi les membres du jury, pour l'honneur qu'ils auront fait en acceptant de juger ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents

A mes chers frères

Très chers amis, Classe de Réseaux électriques, pour leur soutien et

leurs sacrifices.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce

travail.

Ould Oumar Nasser dine

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents, ma fiancée Helena Sylvie

Et ma fille Helena

A mes chers frères

*Très chers amis, Classe de Protection et
contrôle des Réseaux électriques, pour leur
soutien et leurs sacrifices.*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de
loin pour la réalisation de ce travail.*

IRICH BOKAYAKA

Résumé

Les décharges partielles sont des phénomènes très connus qui se produisent dans les appareils à haute tension à cause de ses défauts d'isolation.

Dans ce travail nous avons réalisé un montage de détection des décharges partielles en utilisant la méthode électrique. Le dispositif de mesure se compose essentiellement du MPD 600 d'Omicron. Les mesures ont été faite dur un condensateur de 100Pf. Les résultats de mesures montrent clairement que l'activité des décharges partielles augmente avec l'augmentation de la tension appliquée. La connaissance et la détection des décharges partielles permet la prédiction des défauts qui peuvent surgirent dans un isolant et par conséquent prendre le mesure nécessaire pour faire face à cette menace.

Les décharges partielles. Ces dernières sont considérées comme un « ennemi silencieux », dans le sens où elles conduisent, une fois amorcées et si des précautions n'ont pas été prises au préalable, à la défaillance du système dans lequel elles se développent. Compte tenu des contraintes de plus en plus sévères s'exerçant sur les dispositifs et systèmes du génie électrique (électrotechnique) leur existence est de plus en plus d'actualité

L'objet de ce travail est de rappeler ce que sont ces décharges et, par des exemples concrets, de présenter quelques méthodes de mesure et les outils de diagnostic qui en résultent.

Au-delà d'une certaine tension d'alimentation, aucun dispositif électrique ne peut se prévaloir d'être exemple.

Introduction générale :

Les systèmes électriques de (production, transport distribution et consommation) émettent généralement les signaux transitoires qui sont de différentes origines peuvent être considérés comme normaux ou matérialisant un défaut, Tel est le cas des décharges partielles qui constituent une des causes les plus fréquentes de pannes dans les systèmes électriques, 30% des pannes des systèmes électriques serait dues aux défauts d'isolation.

Les décharges partielles peuvent apparaître dans tous les chaînes de production, transport et distribution, et peuvent être dues à la fatigue et l'usure du matériel, humidité, problème de fabrication, etc...

Le taux élevé de pannes dues aux décharges partielles ainsi que la problématique complexe liée à la caractérisation des décharges partielles sont les arguments pour accorder une importance particulière à ce type de phénomène transitoire. Cependant, l'architecture d'analyse des signaux transitoires mis en place doit se baser sur une méthodologie générale applicable pour d'autres phénomènes transitoire rencontrés dans les systèmes électriques.

Les phénomènes générant les décharges partielles ont été intensivement étudiés, malgré les différentes techniques mises en œuvre pour la détection des décharges partielles, elles ont à la base de leur développement, les effets du phénomène physique causant les décharges partielles. Ainsi, les décharges partielles sont générées par les dommages d'isolation.

Généralement, les décharges partielles se manifestent par l'apparition de signaux transitoires très courts couvrant une large bande spectrale ainsi que d'une signature optique. Ce sont des effets qui sont à la base des techniques existantes de détection-localisation caractérisation de décharges partielles.

Le travail de ce mémoire est organisé en trois chapitres, comme suit:

- ♣ Dans le premier chapitre, nous avons présenté une généralité sur les diélectriques.
- ♣ Le deuxième chapitre, est consacré à l'étude des décharges partielles.
- ♣ La partie expérimentale est présentée au troisième chapitre, ce dernier, se termine par la présentation des résultats et la discussion.
- ♣ Nous terminerons ce travail par une conclusion générale.

SOMMAIRE

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralité sur les diélectriques	
I.1. Définition d'un diélectrique.....	2
I.2. Rôle des diélectriques.....	2
I.4. Les matériaux diélectriques	2
I.5. Grandeurs caractéristiques des milieux diélectriques	4
I.5.1. Permittivité.....	4
I.5.1.1. Permittivité relative.....	4
I.5.1.2. Permittivité absolue.....	4
I.5.1.3. Permittivité relative complexe :.....	4
I.5.1.4. Facteur de dissipation diélectrique:.....	5
I.5.2. Rigidité diélectrique.....	5
I.6. Création d'une polarisation.....	6
I.6.1. Susceptibilité électrique	6
I.6.2. Constante diélectrique.....	7
I.7. Facteurs influençant les propriétés diélectriques de matériaux	7
I.7.1. Fréquence	7
I.7.2. Température	8
I.7.3. Humidité et autres impuretés	8
I.7.4. Structure physique et chimique :.....	8
I.7.5 Intensité du champ alternatif :.....	9
I.8. Différents types de diélectrique :.....	10
a)Solide.....	10
b)Liquide	10

c)Gazeux	11
I.8.1. Les tests diélectrique :	11
a) les facteurs physiques :	11
b) les facteurs électriques	11
C) les facteurs chimiques.....	11
I.9. Les essais de rigidité diélectrique	12
I.9.1. Facteurs d'influence :	13
a. La rupture diélectrique.....	13
b. Claquage électronique	13
c. Claquage thermique	13
I.10. Différents mécanismes de claquage :	15
I.10.1. Claquage intrinsèque :	16
I.10.2. Claquage par avalanche :	16
I.10.3. Claquage électrothermique :	16
I.10.4. Claquage électromécanique :	17
I.11. Influence du milieu :	17
I.11.1. Influence du milieu sur la tension de rupture :	17
I.11.2. Influence de la température :	18
I.11.3. Influence dans les milieux gazeux :	18
I.12. Conclusion.....	20

Chapitre II : Généralité sur les décharges partielles

II.1. Introduction :	21
II.2. Définition :	21
II.3. Différents types de décharges :	21
II.3.1. Décharges internes :	21
II.3.2. Décharges de surface :	22
II.3.3. Décharges couronnes :	22
II.3.4. Décharges en arborescence :	22
II.4. Origines d'une décharge partielle :	23

II.5. Mécanisme de décharges partielles	24
II.6. Effets des décharges partielles :	24
II.6.1. Effets d'un coup de foudre direct sur un réseau électrique :	26
II.6.2. Conséquences des décharges partielles :	26
II.6.3. Destruction de l'isolation :	27
II.6.4. Prévention :	29
II.7. Circuit équivalent des décharges partielles :	29
II.7.1. Décharges internes :	29
II.8. Mesures des décharges partielles :	31
II.8.1. Méthodes de détection :	31
II.8.1.1. Méthode lumineuse :	32
II.8.1.2. Méthode chimique :	32
II.8.1.3. Méthode acoustique :	32
II.8.1.4. Méthode électrique :	32
II.9. Analyse des mesures :	32
II.10. Données à prendre en compte :	33
II.11. Conclusion	33

Chapitre III : Dispositif experimental et resultats des mesures

III.1. Appareillage :	34
III.2. Test des décharges partielles dans le laboratoire :	34
III.3. Mesure de décharge partielle dans la capacité :	35
III.4. Procédure de mesure :	37
III.5. Les différents modes du logiciel mtronix:	38
III.6. Calibration de l'appareil Omicron(étalonnage) :	39
III.6.1 Etalonnage de la charge :	39
III.6.2. Etalonnage de la tension :	41
III.7. Test de détection des décharges partielles :	43
Premier test :	43

Deuxième test	44
Troisième test :	45
Quatrième test:.....	46
Cinquième test:.....	47
III.8. Conclusion	47
Conclusion generale	48

Liste de figure

Figure.I.1: Facteur de correction de densité.....	12
Figuer.I.2: claquage par rupture thermique polymères polaire	14
Figure.I.3 : Différents types de claquage des isolants solides.....	15
Figure.I.4: Courbe de PASCHEN pour l'air à 20°C.....	19
Figure.II.1: Types des décharges partielles : a : interne, b : de surface, c : couronne, d : en arborescence	22
Figure.II.2 : Imperfections dans un câble monophasé	23
Figure.II.3: réaction de champ électrique.....	24
Figure.II.4: décharges partielles en surface, ayant pris la forme d'une arborescence d'eau	25
Figure.II.5 : Une décharge partielle a entraîné une arborescence électrique ...	27
Figure.II.6: Destruction d'un matériau isolant.....	28
Figure.II.7: Modèle classique des capacités équivalentes d'un diélectrique avec une cavité interne.	30
Figure.II.8: Récurrence des DP dans une cavité.	30
Figure.III.1: Schéma de raccordement	34
Figure.III.2: le condensateur test où l'activité de PD se produit	35
Figure.III.3: Un diagramme linéaire des unités utilisées pour mesurer PD.....	36

FigureIII.4: Les unités de mesure réelles d'omicron.....	36
FigureIII.5: L'écran de mesure à partir du logiciel omicron	37
Figure.III.6: Configuration du matériel.....	38
Figure.III.7: Affichage des signaux de DP a phase complète et l'histogramme du capteur	39
Figure.III.8: La représentation en ellipse	40
Figure.III.9: rapport d'une mesure de calibration	40
Figure.III.10: Calibrateur de charge CAL 542.....	41
Figure.III.11: Evolution des impulsions de décharge.	42
Figure.III.12: La représentation des impulsions de décharge en d'ellipse.....	42
Figure.III.13: Evolution des décharges partielles a une tension nulle.	43
Figure.III.14: Evolution des décharges partielles à 1.179 kV.....	44
Figure III.15: Evolution des decharges partielles à 1.925kV.....	45
Figure.III.16: Evolution des décharges partielles à 5kv.....	46
Figure :III.17: Evolution des decharges partielles avec une tension (15.23kv).....	47

Les tableaux

Tableau.I.1: Représentation des différents types de polarisation.....	3
Tableau.I.2: quelques rigidités des diélectriques usuels	9

Chapitre I :
GENERALITE SUR LES DIELECTRIQUES

I.1. Définition d'un diélectrique :

Un matériau est diélectrique s'il ne contient pas de charges électriques susceptibles de se déplacer de façon macroscopique. Autrement dit, c'est un milieu qui ne peut pas conduire le courant électrique. A ce titre, on l'appelle parfois isolant électrique.

I.2. Rôle des diélectriques :

Les diélectriques étant de bons isolants électriques et thermiques, et sont donc utilisés pour gainer les câbles électriques afin d'éviter des contacts avec d'autres câbles ou des personnes. [1]

Les diélectriques sont utiles dans les condensateurs. Dans le cas, très simple, du condensateur plan, on peut rapprocher les plaques sans risque de contact ou de claquage. On insère ainsi des couches de diélectriques dans les condensateurs industriels, ce qui permet d'augmenter la capacité en diminuant l'encombrement. [4]

D'autre part, si on la soumet à un champ électrique suffisamment puissant, toute substance s'ionisera et deviendra conductrice. Les diélectriques étant plutôt difficiles à ioniser, l'air ambiant devient conducteur avant eux : on peut les employer pour des condensateurs à haute tension. [5]

I.4. Les matériaux diélectriques :

Les isolants ou diélectriques sont des matériaux ayant une résistivité très élevée : 10^8 à $10^{16} \Omega.m$, car ils contiennent très peu d'électrons libres. Un isolant est caractérisé par ses propriétés électriques, mécaniques chimiques et thermiques. Un bon isolant ne devrait pas laisser passer de courant lorsqu'il est soumis à une tension continue. Autrement dit, sa résistance en CC doit être infiniment grande. Cependant, en pratique, un courant de fuite très faible circule dans tous les matériaux isolants utilisés en HT continue. Le courant passant à travers un isolant en HT continue est également constant et est appelé courant résiduel. En HT alternative, n'importe quel matériau isolant laisserait passer un courant capacitif. [7]

Malgré l'impossibilité des milieux diélectriques de conduire le courant, ils présentent de nombreuses caractéristiques électriques. En effet les atomes qui constituent le matériau peuvent présenter des dipôles électrostatiques qui sont susceptibles d'interagir avec un champ électrique.

Cette interaction se traduit par la création d'une polarisation reliée à ce champ électrique, au niveau microscopique, par une polarisabilité, et au niveau macroscopique, par la susceptibilité électrique. [8]

Dans les matériaux hétérogènes, constitués de différentes phases avec des permittivités et des conductivités différentes; on peut observer une polarisation dite inter-faciale(ou Maxwell-Wagner) due à l'accumulation de charges aux interfaces entre ces différentes phases. Son temps de relaxation est beaucoup plus important que celui de la polarisation d'orientation. [14]

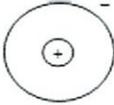
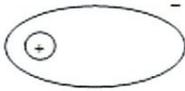
Type de polarisation	Sans champ électrique	Avec champ électrique
Électronique		
Atomique		
D'orientation		
De charge d'espace		

Tableau.1.1: Représentation des différents types de polarisation

Les électrons présents dans un milieu diélectriques ne peuvent pas, par définition, se déplacer sur des grandes distances.

Ils peuvent par contre présenter des mouvements d'amplitude très petite à notre échelle, mais qui peuvent être à l'origine de nombreux phénomènes.

Ces mouvements sont souvent des mouvements d'oscillation autour du noyau : le nuage électronique peut être déformé et ainsi créer un dipôle électrostatique.

Il en va de même pour le déplacement global des atomes au sein du matériau (ils créent également des dipôles). [9]

I.5. Grandeurs caractéristiques des milieux diélectriques :

Les matériaux diélectriques sont caractérisés en particulier par :

I.5.1. Permittivité :

I.5.1.1. Permittivité relative :

Un diélectrique est caractérisé par sa permittivité relative ou constante diélectrique ϵ_r . Dans le cas d'un diélectrique parfait, ϵ_r est le quotient de la capacité C_x entre deux électrodes, supposées noyées dans ce diélectrique, par la capacité C_v de la même configuration d'électrodes dans le vide:

$$\epsilon_r = \frac{C_x}{C_v} \quad (\text{I.1})$$

I.5.1.2. Permittivité absolue :

La permittivité absolue ϵ_0 est le produit de la permittivité relative ϵ_r par la permittivité du vide ϵ_0 ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m) :

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0 \quad (\text{I.2})$$

La permittivité absolue définit la possibilité d'être traversé par un courant électrique, sous l'action du champ électrique. Ceci résulte de diverses contributions de déplacements des charges : déplacement des électrons, déplacements des atomes et des ions, orientation des dipôles électriques et déplacement des charges d'espace. [12]

I.5.1.3. Permittivité relative complexe :

On définit également une permittivité complexe relative :

$$\epsilon_r^* = \epsilon_r' - j \epsilon_r'' \quad (\text{I.3})$$

Où ϵ_r' joue le rôle qu'avait ϵ_r dans le cas des isolants parfaits.

La permittivité complexe absolue est, de la même manière, égale au produit de la permittivité complexe relative par ε_0 .

La composante en phase que présente J avec E est à l'origine des pertes diélectriques; elle représente la dissipation d'une puissance dans le diélectrique. Ces pertes sont dues au travail nécessaire à l'établissement de la polarisation et à la conduction ohmique résiduelle σ_c du diélectrique. [12]

I.5.1.4. Facteur de dissipation diélectrique:

Le facteur de dissipation diélectrique est égal au quotient $\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}$. Ce quotient est appelé aussi tangente de l'angle de perte $\tan(\delta)$; δ est l'angle complémentaire du déphasage entre la tension appliquée au diélectrique et le courant qui en résulte :

$$\tan(\delta) = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} = \frac{\sigma}{w\varepsilon'} \quad (\text{I.4})$$

Où :

σ : La conductivité du diélectrique $[(\Omega \cdot m)^{-1}]$,

w : La pulsation de la tension appliquée $[\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}]$,

ε' : La partie réelle de la permittivité complexe $[\text{Fm}^{-1}]$,

ε'' : La partie imaginaire de la permittivité complexe $[\text{Fm}^{-1}]$.

I.5.2. Rigidité diélectrique :

Si on augmente la tension à laquelle est soumis un isolant au-delà d'une certaine valeur appelée tension de claquage, il apparaît un arc électrique dans l'isolant : courant intense traversant l'isolant ensuivant un chemin formé par l'arc lui-même. Dans ce cas, l'isolant est percé : il y a rupture diélectrique ou claquage destruction de l'isolant, irréversible pour les isolants solides (carbonisation), réversible pour les isolants gazeux et liquides (recombinaison des ions avec des électrons).

Le champ électrique (E) $[\text{kV mm}^{-1}]$ dans une géométrie d'électrodes parallèles est donné par :

$$E = \frac{V}{d} \quad (\text{I.5})$$

Où V et d sont respectivement la tension et la distance entre les électrodes.

Par rapport aux positions relatives de la direction du champ électrique et des surfaces principales de l'isolant, la rigidité diélectrique peut être transversale ou longitudinale. [7]

La rigidité diélectrique dépend de :

- la fréquence, la forme et la durée d'application de la tension ;
- la température, la pression et l'humidité de l'atmosphère ;
- la présence d'impuretés dans l'isolant (bulles d'air, humidité, ...).

I.6. Création d'une polarisation :

En soumettant le matériau à un champ électrique de tels dipôles peuvent être créés. S'ils existaient déjà, cela peut avoir comme effet de tous les aligner dans le même sens.

D'un point de vue microscopique, on peut relier l'amplitude de l'onde au dipôle créé via la notion de polarisabilité, qui est une caractéristique propre à chaque atome. Il est cependant impossible de mesurer de telles grandeurs microscopiques [10]. On préfère utiliser une grandeur macroscopique, la polarisation, qui vaut la somme de tous les dipôles du matériau. Cette polarisation vient donc de différents effets physiques [13] :

- ✓ la polarisation électronique, toujours présente, est due au déplacement et à la déformation de chaque nuage électronique,
- ✓ la polarisation atomique est due aux déplacements des atomes,
- ✓ la polarisation d'orientation existe lorsque des dipôles déjà présents sont tous alignés entre eux.

I.6.1. Susceptibilité électrique :

En électromagnétisme, la susceptibilité électrique χ est une grandeur caractérisant la polarisation créée par un champ électrique. Ce phénomène se produit uniquement par l'intermédiaire d'un milieu matériel (souvent un matériau diélectrique), et dans de nombreux cas, l'intensité du champ électrique utilisé est suffisamment faible pour que la polarisation vérifie la relation suivante. [8]

La polarisation \vec{P} est souvent proportionnelle au champ électrique qui l'a créée (ce cas est dit linéaire) :

$$\vec{P} = \varepsilon_0 x \vec{E} \quad (1.5)$$

Avec ε_0 la constante diélectrique et x la susceptibilité électrique du matériau, qui est un nombre complexe. Dans le cas d'un diélectrique anisotrope, x est un tenseur de Susceptibilité électrique.

I.6.2. Constante diélectrique :

La constante diélectrique ou constante électrique, également nommée permittivité du vide ou encore permittivité diélectrique du vide, est une constante physique [15]. Elle est notée par ε_0 . La constante diélectrique se définit comme le rapport entre la permittivité ε_0 du matériau considéré et la permittivité du vide.

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 C^2} \quad (1.6)$$

Où :

μ_0 : est la constante magnétique.

C : est la vitesse de la lumière dans le vide.

Dans le système d'unité SI ε_0 a pour valeur:

$$\varepsilon_0 = 8,854187817... \times 10^{-12} \text{ F.m}^{-1}$$

I.7. Facteurs influençant les propriétés diélectriques de matériaux :

La permittivité et le facteur de dissipation diélectriques mesurés d'un matériau sont affectés par divers paramètres physiques externes ou internes tels que fréquence, température, intensité du champ électrique, rayonnements ionisants, humidité et chimique. [6]

I.7.1. Fréquence :

En général, les propriétés diélectriques des matériaux varient considérablement avec la fréquence du champ électrique appliquée.

L'apparition des pertes diélectriques peut être expliquée comme suit: aux très basses fréquences, la polarisation suit le champ alternatif, ce qui fait que sa contribution à la constante diélectrique est maximale et les pertes n'apparaissent pas [6]. Aux fréquences très élevées, le champ alterne trop vite pour que la polarisation puisse augmenter et il n'y a aucune contribution à la constante diélectrique –aucune énergie n'est perdue dans le milieu. [1] Mais quelque part entre ces deux extrêmes, la polarisation commence à prendre du retard par rapport au champ électrique d'où dissipation de l'énergie [15]. Le facteur de pertes atteint une valeur maximale à une fréquence, liée au temps de relaxation caractéristique par la relation:

$$\tau = \frac{1}{2\pi f_m} = \frac{1}{\omega_m} \quad (I.7)$$

I.7.2. Température :

L'aptitude d'un matériau diélectrique à être polarisé dépend également de la température. Par conséquent, les fréquences correspondant aux maximum de l'indice de pertes (et ainsi à ceux du facteur de dissipation diélectrique) varient avec la température [13]. Il s'ensuit que le coefficient de température de l'indice de pertes peut être positif ou négatif selon la position du maximum de l'indice de pertes par rapport à la température de mesure. [1]

I.7.3. Humidité et autres impuretés :

Le degré de polarisation est augmenté par l'absorption d'eau ou la formation d'une pellicule d'eau à la surface du diélectrique, ce qui affecte la permittivité, le facteur de dissipation et la conductivité en courant continu [14]. Le conditionnement des éprouvettes est, de ce fait, d'une importance capitale et la régulation du degré d'humidité, tant avant que pendant l'essai, est indispensable pour l'interprétation correcte des résultats d'essai.

I.7.4. Structure physique et chimique :

La direction du vecteur champ électromagnétique par rapport à la structure de l'éprouvette exerce une forte influence sur le résultat de mesure. Des résultats de mesure différents peuvent être obtenus à cause du manque d'homogénéité (comme dans les stratifiés) ou de l'anisotropie, par exemple dans le cas des cristaux, sauf si toutes les mesures sur les éprouvettes sont effectuées en étant rapportées de la même façon à une caractéristique identifiable du matériau. [12]

I.7.5 Intensité du champ alternatif :

Généralement la permittivité et le facteur de dissipation diélectrique ne dépendent pas de l'intensité du champ tant qu'aucune décharge partielle ne se produit dans le diélectrique.

Toutefois dans le cas des matériaux ferroélectriques, un effet de variation en fonction du champ peut encore être observable aux fréquences inférieures du spectre hyperfréquence, mais il disparaît rapidement lorsque la fréquence croît. [10]

Rigidité diélectrique de quelques diélectriques usuels :

Matériau	Rigidité Diélectrique (MV/m)
Air	3
Quartz	8
Titanate de strontium	8
Néoprène	12
Nylon	14
pyrex	14
huile silicone	15
papier	16
Bakélite	24
polystyrène	24
Téflon	60

Tableau.I.2 : quelques rigidités des diélectriques usuels

I.8. Différents types de diélectrique :

a) Solide

- ✚ Le verre, utilisé pour faire des isolateurs de ligne haute tension;
- ✚ La céramique, très utilisée pour les matériels HTB des postes électriques ;
- ✚ La plupart des plastiques, en particulier polyéthylène sous sa forme réticulée (XLPE) et PVC, tous deux utilisés pour les câbles ;
- ✚ Le mica, qui n'est guère plus utilisé de nos jours dans l'industrie électrotechnique ;
- ✚ La bakélite, autrefois très utilisée pour l'appareillage électrique basse tension ;
- ✚ Le téflon, utilisé pour certaines pièces des disjoncteurs à haute tension.
- ✚ Certains matériaux sous forme cristalline perovskite comme le PZT qui sont actuellement en cours de développement pour être utilisés comme condensateur à capacité variable.
- ✚ La résine d'époxy est utilisée dans les traversées électriques par exemple.
- ✚ Le papier imprégné d'huile minérale sert à former l'isolation des transformateurs.

b) Liquide

- ✚ L'huile minérale, utilisée dans les transformateurs.
- ✚ L'huile de silicone.
- ✚ L'huile végétale, innovation récente dans l'isolation diélectrique dans les transformateurs électriques.
- ✚ Le pyralène (PCB), autrefois utilisé dans les transformateurs, mais depuis interdit dans la plupart des pays à cause de sa toxicité.
- ✚ L'eau pure. Si l'eau est habituellement conductrice, une eau parfaitement pure est un très bon isolant. La difficulté de garder une eau très pure (sans aucune impureté) rend toute utilisation industrielle difficile.
- ✚ L'azote liquide, l'hélium liquide ou le SF₆ permet d'isoler des composants supraconducteurs à très basse température.

c) Gazeux

- ✚ L'air sec, qui a l'avantage d'être abondant.
- ✚ L'hexafluorure de soufre (SF₆), qui sous pression a une meilleure rigidité diélectrique que l'air.
- ✚ Le diazote, qui n'est pas aussi isolant que le SF₆ mais, étant présent dans l'air, n'a pas d'effet néfaste sur l'environnement en cas de fuite [1].

I.8.1. Les tests diélectrique :

De très nombreux phénomènes physiques, électriques et chimiques déterminent les propriétés diélectriques des isolants et des composants ou équipements qui les utilisent.

On appelle facteurs d'influence sur les essais de rigidité et d'isolement, tous les éléments qui peuvent modifier ces propriétés. [9]

Parmi les facteurs d'influence on peut citer :

a) les facteurs physiques :

- Température,
- Humidité,
- Contraintes mécaniques,
- Vibrations, chocs, déformations, pression...

b) les facteurs électriques :

- Tensions,
- Courant continu : polarité,
- Courant alternatif: fréquence,
- Chocs électriques : impulsions,

C) les facteurs chimiques :

- Impuretés,
- Oxydation,
- etc...

Il est important de noter qu'en pratique ses facteurs n'agissent jamais seuls (sauf en laboratoire au cours d'expériences spécialement mises en œuvre pour étudier un facteur particulier), bien souvent ils interagissent en modifiant les lois qui les caractérisent et rendent ainsi plus complexes leurs analyses.

I.9. Les essais de rigidité diélectrique :

Il faut distinguer les essais effectués afin de déterminer la tension de rupture (ou claquage) d'un milieu isolant, des essais normatifs qui sont utilisés pour détecter d'éventuels défauts sur un produit. [8]

Au cours de ces essais normatifs les isolants sont soumis à des tensions généralement très en dessous de leurs limites de rupture: le rapport entre les deux tensions représente en quelque sorte le coefficient de sécurité demandé pour la conception du matériel. Il existe plusieurs types d'essais de rigidité diélectrique.

Ils se distinguent principalement par la nature des tensions d'épreuves et des conditions d'applications [8] (durée, vitesse d'évolution, forme, etc..)

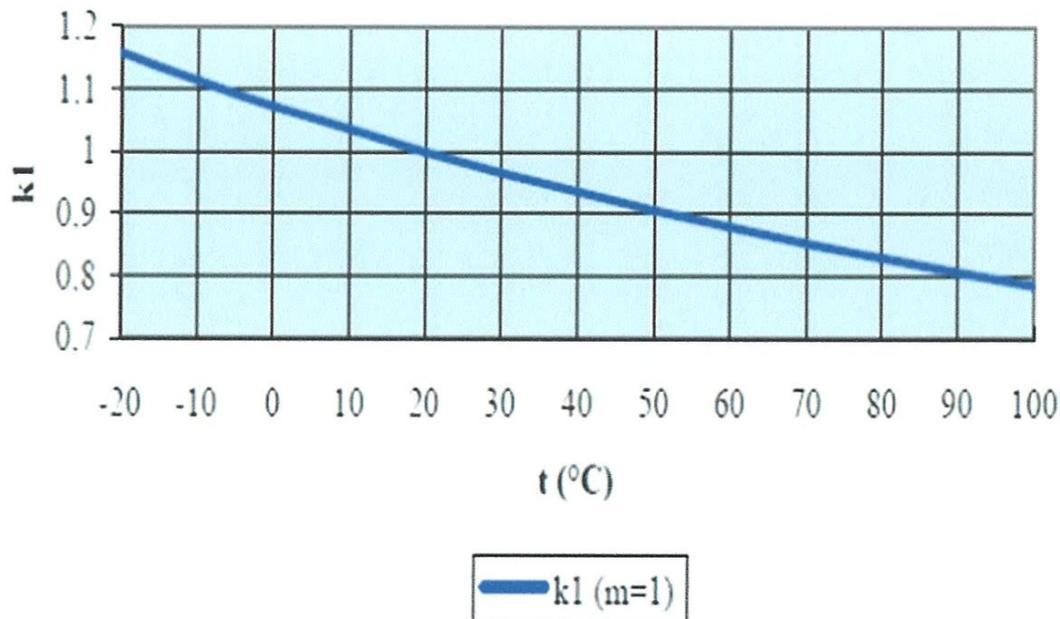


Figure.I.1: Facteur de correction de densité

I.9.1. Facteurs d'influence :

Pour comprendre les rôles respectifs de la température, de la pression et de l'hygrométrie sur la tenue en tension des isolants il est nécessaire de faire un rappel sur le mécanisme du claquage diélectrique. [13]

a. La rupture diélectrique :

Un claquage n'est jamais la conséquence directe du champ électrique appliqué au milieu isolant, (Contrairement à l'extraction des électrons par exemple).

Ce phénomène est dû à l'accumulation d'énergie (thermique, cinétique, élastique) que le matériau ne peut compenser. [1]

L'étude de la rupture diélectrique étant très complexe puisqu'elle fait appel à des lois fondamentales sur la matière, on ne regarde dans ce qui suit que les phénomènes disruptifs en tension continue. [4]

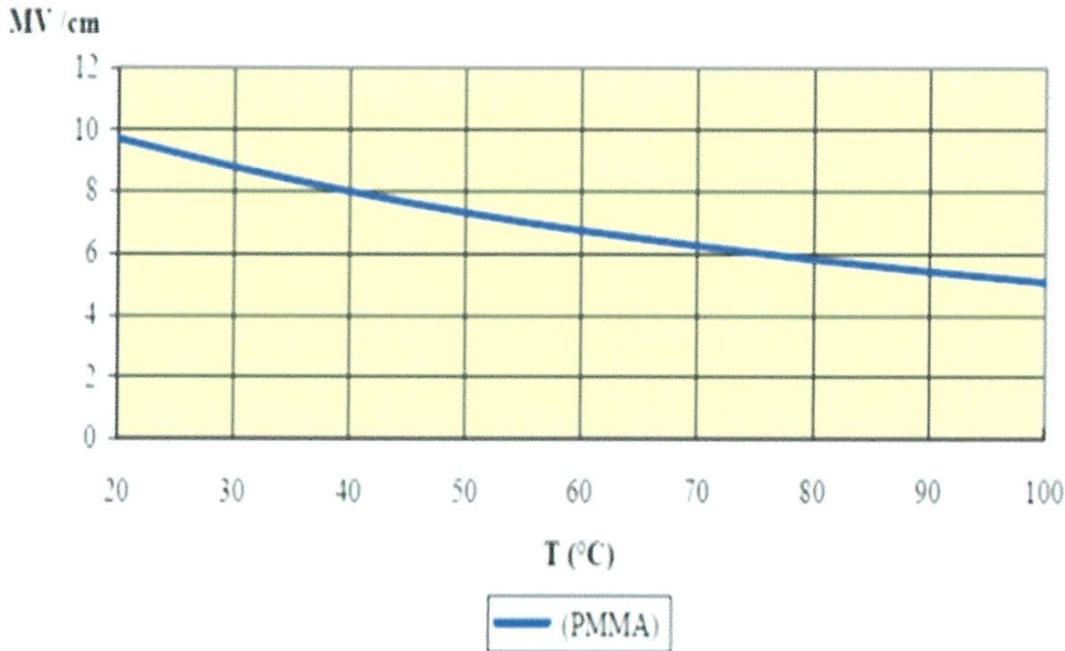
b. Claquage électronique :

La condition nécessaire mais non suffisante pour que ce type de claquage se produise est la présence dans la matière isolante d'électrons de conduction pouvant être accélérés pour atteindre l'énergie d'ionisation des atomes (soit 5 à 10 eV).

c. Claquage thermique :

Un matériau isolant présente toujours une légère conduction, le courant engendré par l'application d'une tension entraîne donc un échauffement par effet joule. [8]

La conductivité augmente avec la température et le phénomène d'échauffement tend vers un emballement thermique si l'évacuation de la chaleur n'est pas suffisante : on atteint la destruction du matériau par "claquage thermique". [7]



Figuer.I.2: claquage par rupture thermique polymères polaire

Généralement elle augmente en fonction de la température depuis les basses températures jusqu'à l'ambiance (ou légèrement au-dessus) et redescend rapidement pour les températures élevées. [12]

Dans ces milieux cristallins il semble que l'interaction électrons /phonons soit prépondérante: dans une phase cristalline parfaite, la délocalisation des électrons leur donne une mobilité élevée (accroissement d'énergie).

Un isolant soumis à des températures supérieures ambiantes pendant un temps relativement long subit un vieillissement thermique que l'on peut exprimer par une diminution de la durée de vie (et de ses caractéristiques diélectriques) suivant la loi:

$$L = Ce^{\frac{-b}{T}} \quad (I.8)$$

Avec L : durée de vie (h) et T : température (°C)

Sans oublier que la distinction n'est pas forcément évidente car un claquage électronique conduit toujours à une destruction locale du matériau par fusion thermique et inversement un claquage thermique est principalement la conséquence d'un phénomène d'injection et / ou de conduction de nature électronique.

I.10. Différents mécanismes de claquage :

Bien que de nombreux investigateurs ont étudié le claquage des isolants solides pendant presque un siècle maintenant, et qu'un certain nombre de chercheurs ont proposé des théories qui ont visé à expliquer quantitativement les processus de claquage, l'état de la connaissance actuelle dans ce domaine est toujours limité.

En pratique, le mécanisme de claquage et la rigidité diélectrique changent avec la durée d'application de la tension. Il est d'usage de classer les mécanismes de claquage suivant la durée d'application de la tension comme montré à la figue ci-dessous. [10]

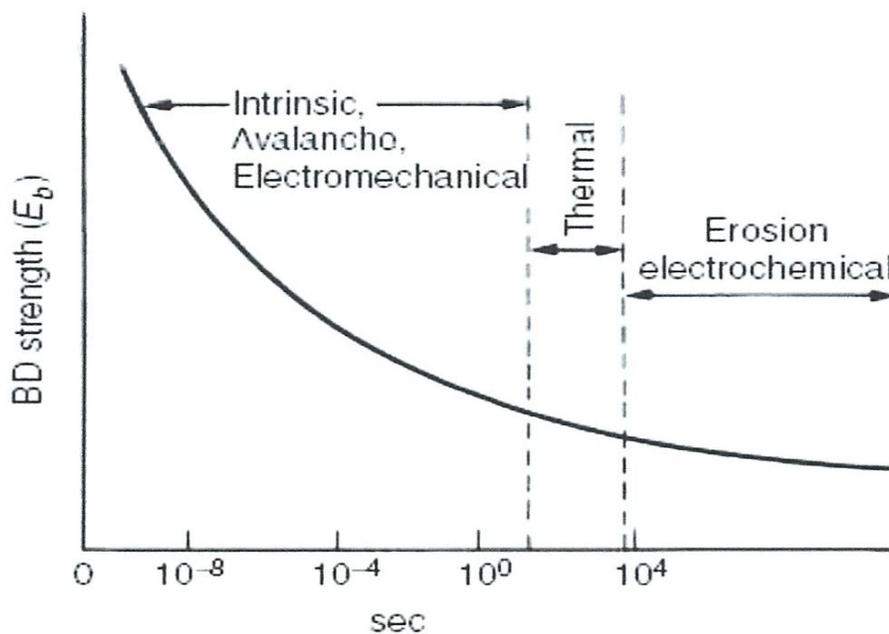


Figure.I.3 : Différents types de claquage des isolants solides

I.10.1. Claquage intrinsèque :

Ce type de claquage, appelé quelquefois « claquage électrique pur » pour le distinguer des autres type de calquage où le champ E intervient, n'est autre que la destruction de l'isolant sous l'action des forces électriques. Le claquage intrinsèque est accompli en une durée de formation de l'ordre de 10^{-8} s et a on admet que le claquage est de nature électronique [1]. Les valeurs de champ électrique nécessaires pour provoquer un claquage intrinsèque pur dépassent 10^6 V/cm.

Le claquage peut se distinguer par :

- a) un temps de développement du claquage court (de l'ordre de la μs et moins). Si le diélectrique n'est pas perforé (dans le cas d'un claquage purement électrique) peu après que la tension soit appliquée, il n'y a alors aucune raison pour présumer qu'un claquage purement électrique n'aura jamais lieu.
- b) Une petite dépendance de la tension U_c en fonction de la fréquence.
- c) Une petite dépendance de la tension U_c en fonction de la température.

I.10.2. Claquage par avalanche :

Dans certaines conditions contrôlées dans les champs uniformes seulement avec les électrodes incorporées dans l'isolant, le claquage peut être accompli après le passage d'une avalanche simple, semblable à l'avalanche dans les gaz. Quelque fois le libre parcours moyen peut être assez long pour que l'énergie cinétique acquise excède l'énergie d'ionisation qui se termine par la libération d'un électron. [1]

I.10.3. Claquage électrothermique :

Le claquage électrothermique se développe comme suit : un diélectrique soumis à une HT libère de la chaleur, la température du diélectrique augmente et les pertes croient encore plus.

Le processus s'intensifie jusqu'à ce que l'échauffement soit tel que l'isolant est endommagé. (Fondu, brûlé, percé avec des fissures...) dépendant de la nature de l'isolant et des conditions environnantes, et le claquage se produit à des valeurs très faibles. [1]

Si le facteur de pertes $\tan(\delta)$ (en CA) et la conductivité (en DC) sont faibles et leur augmentation en fonction de la température également faible, tandis que la conductivité thermique est élevée (qui aide à dégager la chaleur et à installer un équilibre stable entre l'échauffement et le dégagement de la chaleur), le claquage thermique devient difficile et l'isolant peut fonctionner pendant longtemps.

I.10.4. Claquage électromécanique :

Les substances qui peuvent sensiblement se déformer sans rupture peuvent éclater quand les forces électrostatiques de compression appliquées sur l'isolant en essai excèdent sa résistance mécanique à la pression. Les forces de compression résultent de l'attraction électrostatique entre les charges externes qui apparaissent quand la tension est appliquée. [7]

La pression exercée quand le champ atteint environ 10^6 V/cm peut être plusieurs de kN/m².

I.11. Influence du milieu :

I.11.1. Influence du milieu sur la tension de rupture :

L'étude entreprise dans ce document, dans un souci de simplification, prend en considération séparément les 3 états dans lesquels sont utilisés couramment les isolants:

- ❖ gazeux,
- ❖ liquides,
- ❖ solides.

Le comportement d'un milieu hétérogène ou du passage d'un état à un autre n'est pas traité.

Un isolant gazeux est assez fortement influencé par les 3 facteurs avec une prédominance pour la température et la pression qui en modifiant la densité ont un rôle direct et antagoniste: le champ électrique de rupture augmente avec la pression et diminue avec la température. [13]

L'hygrométrie a une influence sur le seuil du claquage et sur la tension d'apparition de la décharge couronne. [7]

Son influence exacte est difficile à apprécier: Si dans une atmosphère contrôlée en laboratoire on peut parfaitement lier par exemple l'humidité absolue de l'air et le seuil de la tension de rupture il est plus difficile de le faire en pratique dans un milieu industriel où les impuretés (taux et nature) jouent un rôle important. [14]

Un isolant liquide est peu perturbé par les variations de la pression atmosphérique mais peut l'être pour des écarts importants de l'ordre de quelques dizaines de Bars. [10]

La température, en modifiant la viscosité des liquides, a une influence très variable selon leurs natures: Elle peut-être de l'ordre de 10 % pour $-20\text{ °C} < t < +60\text{ °C}$. Un isolant solide peut être influencé par les températures qui s'écartent sensiblement de l'ambiance, assez peu par la pression (sauf pour les hautes pressions) et de façon très variable par l'hygrométrie suivant la nature de l'isolant et la durée d'application de ce facteur. [8]

I.11.2. Influence de la température :

La température est un facteur qui a une importance non négligeable pour tous les types de matériaux et un de ceux qui changent le plus dans les phases de contrôles industriels.

I.11.3. Influence dans les milieux gazeux :

La tension de claquage d'un gaz varie avec la densité qui dépend elle-même de la température. La tenue en tension dans les gaz change en fonction de la pression suivant la loi de Pasch en. Cette loi n'est valable que pour une température constante et pour des champs électriques inférieurs à 100 kV/cm. [9]

Si on considère un gaz soumis à un champ électrique entre 2 électrodes planes métalliques, on obtient pour la tension de claquage V_c une relation qui est une fonction du produit (pd) de la forme :

$$V_c = f(pd) = \frac{Bpd}{(C + \ln(pd))} \quad (I.9)$$

Avec :

V_C : Tension de claquage [kV]

p : Pression du gaz [Pa]

d : Distance entre les électrodes [mm]

B, C: Constantes qui dépendent du gaz, des électrodes et autres facteurs.

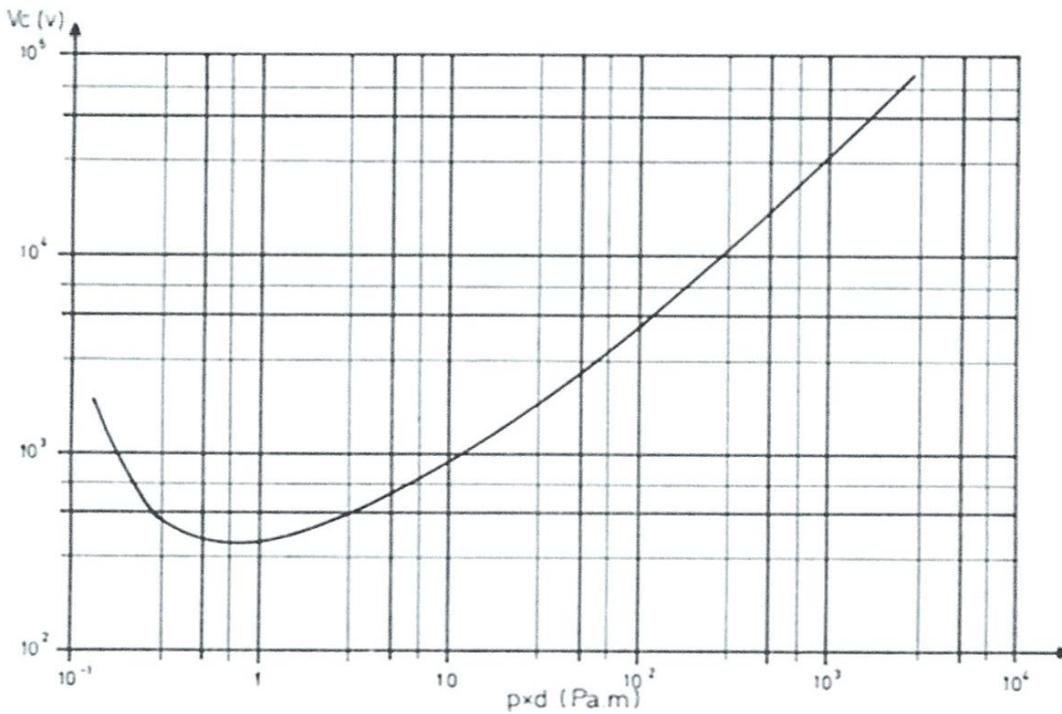


Figure.I.4: Courbe de PASCHEN pour l'air à 20°C

La courbe présente un minimum de la tension de claquage pour une valeur particulière du produit pd .

Cette tension V_C (min) est comprise entre 100 V et 500 V pour la plupart des gaz purs : Elle correspond à la valeur de $\frac{E}{P}$ où la capacité d'ionisation des électrons est maximum (correspond au point de Stoletov) avec $(\frac{E}{P})_{\min} = BE$ étant le champ électrique auquel le gaz est soumis entre les 2 électrodes.

I.12. Conclusion

D'après toutes ces études nous pouvons dire si on augmente la tension à laquelle est soumis un isolant au-delà d'une certaine valeur appelée tension de claquage, il apparaît un arc électrique dans l'isolant : courant intense traversant l'isolant en suivant un chemin formé par l'arc lui-même. Dans ce cas, l'isolant est percé : il y a rupture diélectrique ou claquage destruction de l'isolant, irréversible pour les isolants solides (carbonisation), réversible pour les isolants gazeux et liquides.

Chapitre II :
GENERALITE SUR LES DECHARGES PARTILLES

II.1. Introduction :

La fiabilité de l'appareillage électrotechnique est souvent conditionnée par la qualité de son isolation. Un enjeu permanent pour les constructeurs et utilisateurs est de détecter les défauts d'isolation, soit préexistants dès la fabrication, soit associés à des modifications induites par le vieillissement. Parmi les techniques susceptibles d'être utilisées, la détection des décharges partielles est un des outils de diagnostic les plus utilisés en laboratoire de recherche et dans l'industrie.

Les systèmes de distribution et de transport de l'énergie électrique sont constitués de lignes aériennes, des câbles souterrains et de postes, ces câbles doivent donc faire l'objet d'un diagnostic régulier ayant pour principale mission de vérifier la qualité de leur isolation. A cet égard, la mesure de décharges partielles est une technique qui a prouvé toute son efficacité depuis de nombreuses années.

II.2. Définition :

Les décharges partielles (DP) apparaissent, en général, sous l'application d'une tension élevée. Elles provoquent la dégradation du matériau et peuvent conduire au claquage de l'isolant ou du diélectrique. Les décharges partielles (DP) sont des décharges électriques qui apparaissent dans les diélectriques solides, liquides ou gazeux présentant des défauts (cavité, décollement,...) dès qu'une tension suffisante est appliquée. Ces décharges correspondent à une rupture des gaz occlus dans les défauts, et elles sont appelées "partielles" car elles ne court-circuitent pas l'ensemble de l'isolation. [5]

II.3. Différents types de décharges :

La classification des décharges partielles peut se faire selon des critères de sélection utilisés définie selon les besoin de l'opérateur [3]. On peut les classer par exemple en fonction de leur localisation. Ainsi on définit quatre catégories :

II.3.1. Décharges internes :

Ces décharges apparaissent à l'intérieur du matériau isolant, aux endroits où la rigidité diélectrique est faible, par exemple dans une cavité dans un solide ou une bulle dans un liquide (Figure II.1.a).

II.3.2. Décharges de surface :

Elles se manifestent lorsqu'un champ tangentiel important existe à la surface d'un diélectrique (Figure II.1.b).

II.3.3. Décharges couronnes :

Elles prennent naissance au niveau des points où le champ électrique est renforcé. La décharge est restreinte à une zone réduite entourant la pointe (Figure II.1.c).

II.3.4. Décharges en arborescence :

Elles se produisent suite à un défaut dans l'isolant. Une croissance des différentes branches de l'arborescence produira des conditions propices pour l'apparition d'autres DP (Figure II.1.d).

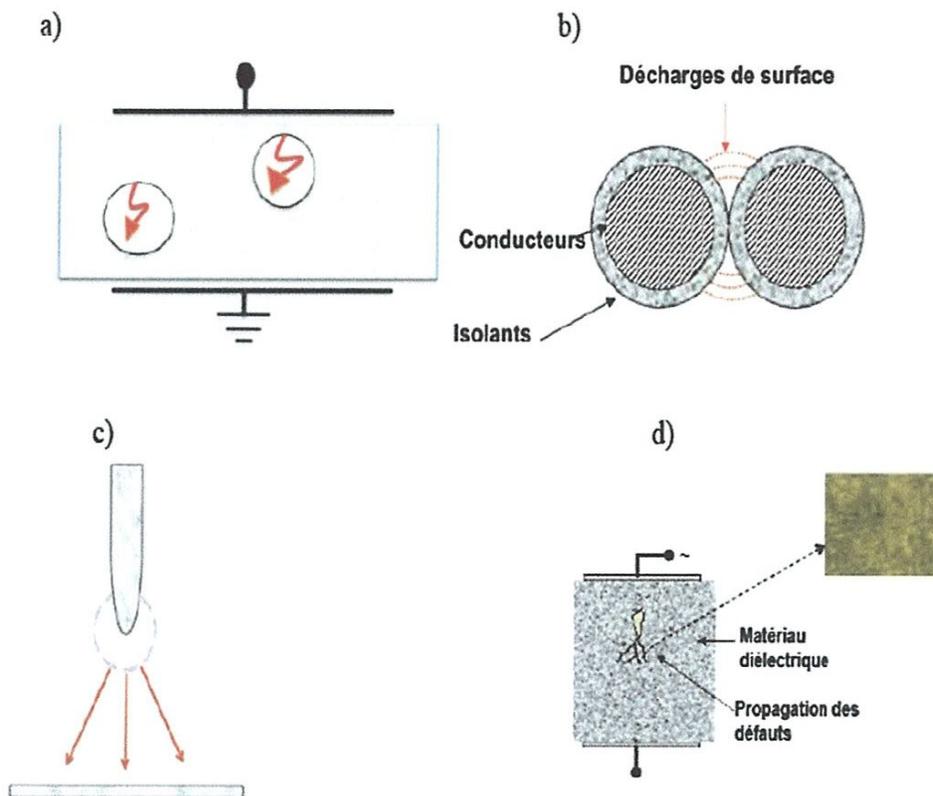


Figure.II.1: Types des décharges partielles : a : interne, b : de surface, c : couronne, d : en arborescence.

II.4. Origines d'une décharge partielle :

L'isolation d'un câble et transformateur n'est jamais parfaite. Non seulement, on y trouve des défauts qui dérivent directement de la production du câble mais en outre, l'isolation vieillit inéluctablement.

Lorsqu'un câble est en service, son isolation est le siège de contraintes thermiques, électriques, mécaniques et enfin de contraintes liées à l'environnement. Au cours du temps, ces diverses charges engendrent des modifications irréversibles de l'isolant. On parle généralement d'un vieillissement intrinsèque du câble concerné, au cours duquel l'isolation se dégrade de façon homogène. [5]

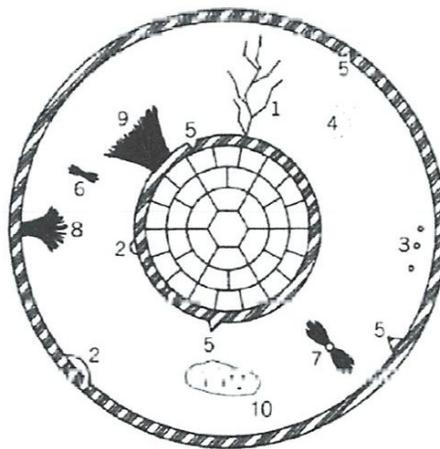


Figure.II.2 : Imperfections dans un câble monophasé

1. Arborescence électrique
2. Vide à l'interface
3. Vide dans l'isolant
4. Contaminant
5. Protubérance dans le semi-conducteur
6. Décharge à partir d'un contaminant
7. Décharge à partir d'un vide
8. Décharge à partir de l'isolant
9. Décharge à partir du conducteur
10. Humidité

II.5. Mécanisme de décharges partielles

Chaque fois que la tension $U_c(t)$ sur la cavité dépasse une tension de seuil U_s , une décharge se produit et une charge est transférée à travers la cavité. Avec le modèle ci-contre, on trouve la charge apparente Q_{app} en fonction de la charge effectivement transférée dans la cavité Q_c . [6]

Il Ya deux raisons contribuent à provoquer des décharges partielles dans isolants : $E_c > E_d$

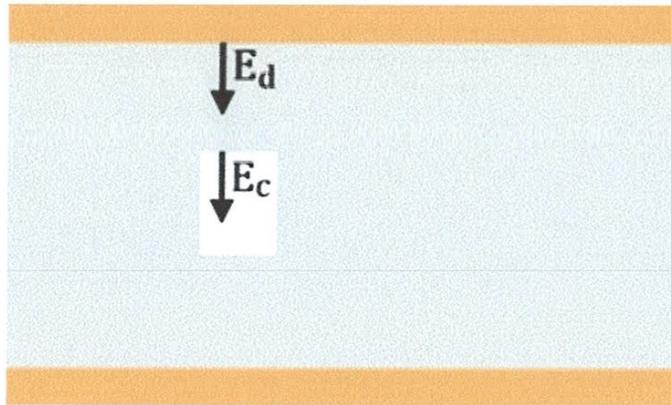
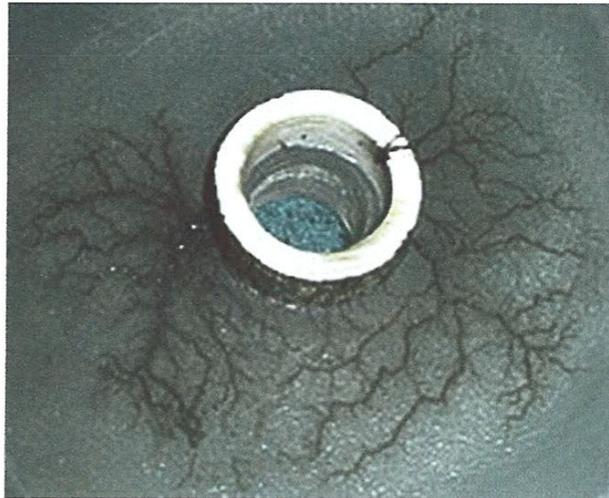


Figure.II.3: réaction de champ électrique

- Le champ électrique dans les cavités E_c est plus élevé que le champ électrique E_d dans le diélectrique.
- la rigidité diélectrique est plus faible dans les cavités que dans le diélectrique.

II.6. Effets des décharges partielles :

La présence de DP constitue un mécanisme de dégradation, et leur détection constitue une méthode de diagnostic très utilisée. L'effet des DP est variable selon leur intensité et le milieu où elles se déroulent [5]. La décharge partielle est souvent accompagnée d'une génération de gaz (formation de cavités dans le solide), de nouvelles espèces atomiques et moléculaires excitées, de radicaux qui peuvent générer à leur tour des acides attaquant les matériaux. Elles produisent également une érosion mécanique, une carbonisation des surfaces par bombardement d'ions, une élévation de température très localisée. Ces effets engendrent une dégradation irréversible des matériaux diélectriques, en particulier dans le cas des solides, et donc une diminution de la durée de vie de l'ensemble du système électrique. [4]



Figurc.II.4: décharges partielles en surface, ayant pris la forme d'une arborescence d'eau

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 allemand, on décrit les décharges ayant lieu à l'extérieur de l'isolation comme des décharges partielles « externes », à opposer aux décharges à l'intérieur de celle-ci qui sont « internes ». Dans les gaz les décharges partielles sont souvent externes, dans les liquides et solides internes, les DP 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 est augmentée, la décharge peut franchir l'espace la séparant de la terre et donc se transformer en claquage. [2]

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

II.6.1. Effets d'un coup de foudre direct sur un réseau électrique :

Lorsqu'un coup de foudre frappe un conducteur d'une ligne, tout se passe comme si l'arc en retour se comportait comme un courant injecté dans le conducteur. Ce courant se répartit par moitié de part et d'autre du point d'impact, et chacune de ces moitiés va se propager le long du conducteur [3]. Les lois de propagation des ondes mobiles enseignent qu'à toute onde de courant est nécessairement associé une onde de tension, et réciproquement. Dans le cas d'un foudroiement direct d'un conducteur d'une ligne aérienne, compte tenu des fortes intensités des courants de foudre, l'onde de tension associée se caractérise par des amplitudes considérables, de l'ordre de quelques MV. [4]

Aucune isolation économiquement acceptable ne peut supporter de pareilles surtensions : dans le cas des lignes, ce sont les chaînes d'isolateurs, auxquelles sont suspendus les conducteurs, qui constituent les points d'isolement les plus faibles, de sorte qu'un amorçage va inmanquablement se produire au niveau de la première chaîne rencontrée par l'onde de tension. Cet amorçage est une violente étincelle, qui n'est autre chose qu'un canal ionisé conducteur, et par lequel va pouvoir passer le courant d'arc en retour, puis un intense courant alimenté par le réseau : ce courant que l'on désigne par « courant de suite », est en fait un courant de court-circuit, et le seul moyen dont on dispose pour l'éliminer est l'ouverture des disjoncteurs aux deux extrémités de la ligne. [7]

II.6.2. Conséquences des décharges partielles :

Les décharges partielles conduisent à une dégradation des matériels sous l'action de diverses contraintes :

- Contrainte thermique générée localement par la décharge qui peut entraîner un farinage puis une carbonisation de l'isolant.
- Contrainte chimique due aux produits de dégradation générés par la décharge (ozone, oxydes d'azote et acide nitrique notamment).
- Erosion mécanique due au bombardement par des espèces chargées et aux attaques acides.

Ces contraintes provoquent une dégradation du matériau isolant les parties sous tension. Lorsque l'isolant est trop abîmé, un arc électrique complet se produit entre deux phases ou entre une phase et le neutre, on dit alors qu'il y a amorçage. En général, cet amorçage conduit à la mort du matériel. [3]

Le phénomène de décharges partielles crée localement à la fois une érosion et une oxydation de l'isolant (par réactions chimiques). Une décharge partielle entraîne donc un vieillissement local qui a de grandes chances de s'étendre en fonction du temps. Il est même admis à ce jour que le phénomène de décharges partielles peut entraîner la destruction du matériel après un certain temps d'usage. [5]

II.6.3. Destruction de l'isolation :

La détection de l'activité des DP est d'un intérêt capital pour prévenir toute dégradation d'un isolant. La figure.II.3 illustre un site de DP, photographié grâce à un microscope. Une décharge partielle y a créé une arborescence électrique. [4]



Figure.II.5 : Une décharge partielle a entraîné une arborescence électrique.

Une arborescence électrique est un réseau de fins canaux carbonisés qui se propagent relativement vite dans l'isolation et qui finissent par la détruire. Autre ennemi juré des câbles extrudés et de leurs accessoires (joints) : l'arborescence d'eau (figure 2.10.b). En soi, une arborescence d'eau n'engendre pas de décharges partielles. Par contre, elle provoque localement un accroissement du champ électrique, donnant lieu avec le temps à une arborescence électrique. Cette dernière est alors responsable des nombreuses décharges partielles associées à ce type d'imperfection. [2]

Enfin, nous devons noter que les décharges partielles n'engendrent pas systématiquement la destruction de l'isolation du câble. En effet, certaines sources de DP peuvent être actives pendant des années sans pour autant causer de dommages catastrophiques. Néanmoins, quelle que soit la situation, le suivi de l'activité des DP nous renseignera avec intérêt sur l'état d'un isolant. [5]

En guise de conclusion, nous pouvons dire que les décharges partielles sont d'une part un symptôme (signe précurseur) de la dégradation d'un isolant mais sont également responsables de cette dégradation. [3]

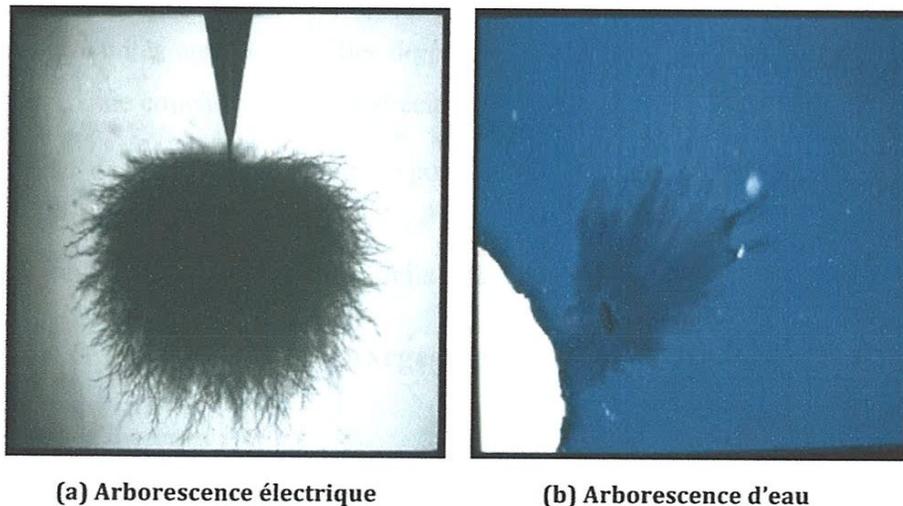


Figure.II.6: Destruction d'un matériau isolant.

Les décharges partielles sont une conséquence d'un stress diélectrique dans un isolant lors de l'application de haute tension. Les causes sont de plusieurs natures, parmi lesquelles la répartition non homogène du champ électrique, la présence de bulles dans les isolants, les effets de pointes sur le matériau isolant, la présence d'humidité ou de fissures, la présence de contaminants en surface des isolants. [3]

Les décharges partielles sont présentes lors de défauts d'isolation sur les joints de câbles de type XLPE / EPR, les coudées et les terminaisons de câbles dans les appareillages électriques MT et HT sous enveloppes métalliques (cellules haute tension) et les transformateurs de distribution, ou encore dans tous équipements industriels tels que des systèmes de commutation de puissance (transistors en ponts moulés), des bobinages de machines tournantes (machines synchrones & asynchrones) ...

Lorsque la tension dans la cavité (V_c) dépasse une certaine valeur critique U^+ (tension d'ignition), une décharge partielle apparaît. V_c chute à une valeur d'extinction V^+ et la décharge disparaît. Cette chute de tension se produit sur une durée très courte (quelque nanosecondes) par rapport à la période de la tension sinusoïdale appliquée (50Hz). Ensuite, la tension aux bornes de la cavité augmente à nouveau, et s'effondre lorsque la valeur U^+ est atteinte, une nouvelle décharge se produit [2]. Ce phénomène perdure jusqu'à ce que la tension appliquée V_a n'augmente plus (phase $\varphi=90^\circ$). Le même phénomène se produit pendant l'alternance négative (arrêt des décharges à 270°) avec des seuils d'apparition et d'extinction de décharges à U^- et V^- . Ces décharges dans la cavité produisent des impulsions de courant rapides (quelque nanosecondes) dans l'échantillon et le circuit externe. [13]

II.8. Mesures des décharges partielles :

Les décharges partielles (DP), telles que définies par la norme CEI 60270, sont des décharges diélectriques localisées dans une partie d'un système isolant diélectrique. Les décharges partielles survenant dans un transformateur dégradent son isolation et peuvent entraîner la défaillance du transformateur.

Les mesures et le diagnostic de DP sont recommandés lorsque la mesure de certaines grandeurs pose problème, comme l'augmentation des valeurs du gaz dissous dans l'huile ou après l'échec des mesures de DP pendant les tests de réception. [3]

Une décharge partielle est un phénomène rapide (de quelques nanosecondes à quelques microsecondes) qui provoque des courants transitoires hautes fréquences. La quantité considérée en électrotechnique pour caractériser une décharge partielle est l'intégrale de ce courant, appelée charge réelle de la décharge partielle. Cependant, comme on n'a pas accès aux bornes de la décharge, on ne peut mesurer que la charge qui circule dans le circuit extérieur, appelée charge apparente [5]. Cette grandeur est exprimée en pico-Coulomb.

II.8.1. Méthodes de détection :

Les décharges partielles sont souvent accompagnées d'une émission de son, de lumière, d'énergie et de réactions chimiques. Il est donc possible de détecter ces décharges partielles de plusieurs manières. [2]

II.8.1.1. Méthode lumineuse :

Elle consiste à obtenir une image dans l'ultraviolet et le visible des décharges partielles surfaciques ou à effets couronnes. Cela impose la vision du phénomène de décharges partielles se produisant sur l'isolant. [2]

II.8.1.2. Méthode chimique :

On observe que différents régimes de décharge sont traversés au cours du temps, Marqués par la formation d'ozone, puis sa destruction, et enfin par l'apparition d'oxydes d'azote, preuve de la montée en température du milieu et de l'imminence d'un claquage (passage à l'arc). Il est postulé qu'un défaut d'isolement induit un tel changement de régime, détectable par l'apparition quasi-simultanée d'oxydes d'azote type NO et NO₂. Ces oxydes d'azote réagissent avec l'eau présente dans l'air et donnent de l'acide nitrique. [3]

II.8.1.3. Méthode acoustique :

La méthode acoustique consiste à mesurer les émissions acoustiques des décharges partielles par voie aérienne ou par voie solide dans le domaine ultrasonore. Cette méthode a l'avantage d'éviter la mise hors tension du transformateur, et d'être non intrusive. [3]

II.8.1.4. Méthode électrique :

Cette méthode consiste à mesurer une charge globale qui circule dans le circuit et qui est due aux décharges partielles. Cela nécessite le branchement d'un appareil de mesure sur le circuit électrique du transformateur sous test. Cette intervention nécessite également la mise hors tension de ce dernier. Ces mesures sont très délicates et doivent se faire en laboratoire. Cependant, c'est la seule méthode connue qui donne un diagnostic sûr et précis. [6]

Cette méthode est bien rendue délicate par la présence de différentes interférences externes, ou « bruit », provenant des équipements proches, et dues à des sources de radio fréquences(RF) ou de couronne. Intégrant différentes technologies de pointes, le MPD 600 garantit des mesures précises, fiables et reproductibles, et ce même dans des conditions extrêmes. [11]

II.9. Analyse des mesures :

La mesure des valeurs des décharges partielles est importante pour connaître la qualité de l'isolation.

En cas d'apparition de DP, et en particulier si elles dépassent un certain niveau, il est utile de poursuivre l'analyse pour savoir : quels types de DP apparaissent, l'emplacement de celles-ci, leurs gravités, l'impact qu'elles pourraient avoir sur la durée de vie de l'appareil. [15]

II.10. Données à prendre en compte :

Pour l'interprétation des décharges partielles plusieurs éléments sont à prendre en compte :

- ❖ Déphasage de la DP par rapport à la tension appliquée.
- ❖ Polarité de la DP.
- ❖ Périodicité de la DP.
- ❖ Influence de la valeur de la tension sur la valeur de la DP.
- ❖ Rapport tension d'apparition/ tension d'extinction de la DP

II.11. Conclusion

Les décharges partielles sont des phénomènes très connus qui se produisent dans les appareils à haute tension à cause de ses défauts d'isolation. Une fois apparaître, ces phénomènes peuvent endommager ou pire détruire le système.

Dans ce chapitre nous avons en particulier présenté les fondements théoriques permettant de déboucher et rappelles sur les expressions correctives, aussi nous avons énoncé les notions de base des classes de décharges partielles et leurs localisations.

Chapitre III :

DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET RESULTATS DE MESURES

III.1. Appareillage :

Le système d'analyse des décharges partielles MPD 600 est un instrument d'acquisition et d'analyse servant à détecter, enregistrer et analyser les décharges partielles survenant dans de nombreuses applications. Il convient aux mesures effectuées en laboratoire et sur site sur les des composantes moyennes et hautes tensions. Il est commandé par le logiciel intégré mtronix comprenant des options d'analyse et de visualisation en temps réel des paramètres système et de détection des DP. [11]

III.2. Test des décharges partielles dans le laboratoire :

Dans cette section, les tests de DP réelle qui sont effectués dans le laboratoire seront décrits en détail, comment le système est mis en place et les résultats seront présentés. Le système est connecté comme indiqué sur la figure.III.1.

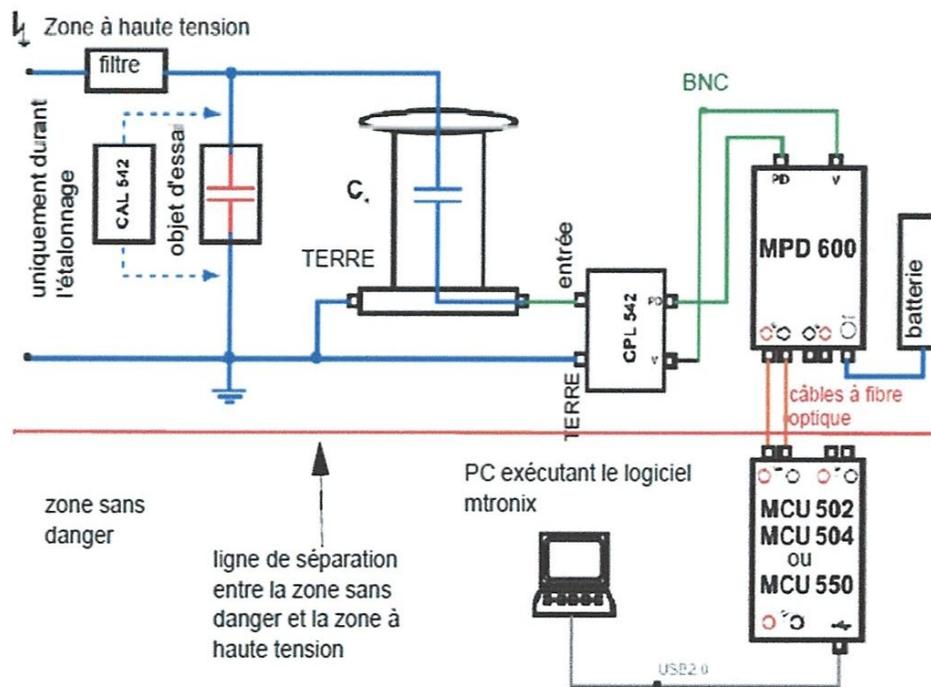


Figure.III.1: Schéma de raccordement

III.3. Mesure de décharge partielle dans la capacité :

L'objet test utilisé dans notre cas est un condensateur de 100 Pf. Les tensions en alternatives appliquées varient entre de 0 kV à 15 kV, pour visualiser des décharges partielles correspondante.



Figure.III.2: le condensateur test où l'activité de PD se produit

Toutes les activités de PD se produisant pendant 30 secondes sont stockées. Cela se fait dès que les pointes PD apparaissent sur l'écran lors de l'augmentation des tensions.

L'équipement qui est utilisé pour effectuer les mesures de DP est le MPD 600 de Omicron.

Il se compose de trois modules différents qui seront listés ci-dessous avec leur fonction:

- ❖ MCU 502
- ❖ MPD 600
- ❖ couplage quadripôle

Le MCU 502 est l'unité de commande et est relié à l'ordinateur avec un câble USB. Ceci est le module de qui se connecte à l'unité de mesure 600 DPV. Le MCU 502 est aussi le lien entre le haut et bas côté de la tension du circuit de mesure. Quadripôle de couplage est une impédance de mesure. Dans la figure III. 3 est un schéma d'une ligne de la façon dont la les unités sont reliées entre elles, suivie de la figure III.4, qui est une photo réelle des trois unités qui sont utilisé. [11]



FigureIII.3: Un diagramme linéaire des unités utilisées pour mesurer PD



FigureIII.4: Les unités de mesure réelles d'omicon

Le MCU 502 est connecté à l'ordinateur et il communique avec le logiciel de mesure Omicron. L'image illustrée ci-dessous dans la figure.III.5 Une capture d'écran de l'écran principal de mesure.



FigureIII.5: L'écran de mesure à partir du logiciel omicron

Sur le côté droit, de la figure.III.5, est l'endroit où le logiciel est étalonné et configuration pour différents usages. Le côté gauche montre les mesures. La boîte rouge sur le côté droit de la figure.III.5 montre que l'appareil est réglé selon la norme IEC-60270. Les mesures sont effectuées en conformité avec la norme.

III.4. Procédure de mesure :

La configuration du système se fait hors tension comme on peut le voir sur la figure 6.

1. Connectez le capteur d'acquisition (2) du MPD 600 à l'unité de commande MCU 502/504/550 (1) à l'aide des câbles à fibre optique (6).
2. Connectez le bloc-batterie MPP 600 (3) au capteur d'acquisition du MPD 600 à l'aide du câble de batterie (8). La LED rouge du capteur MPD 600 commence à clignoter pour indiquer que le capteur d'acquisition est prêt à l'emploi.
3. Connectez le quadripôle/appareil de mesure de l'impédance CPL 542 (5).

À l'aide de deux câbles BNC courts (7), connectez les sorties DP et V du CPL 542 aux entrées DP et V du MPD 600.

4. Connectez l'unité CPL 542 à un condensateur de couplage haute tension puis reliez le système à la terre. Assurez-vous que les câbles sont les plus courts possible.
5. Connectez l'unité MCU à l'ordinateur à l'aide du câble USB (9).
6. Etalonnage : à des fins d'étalonnage uniquement, connectez l'unité du calibrateur CAL 542 (4) à l'objet d'essai.

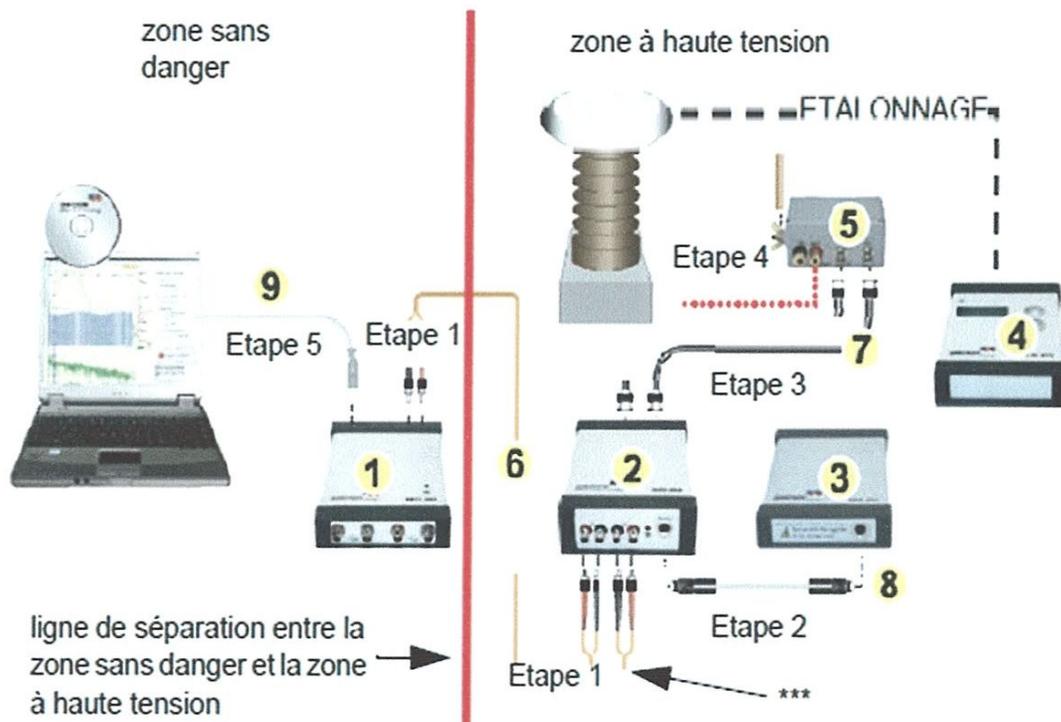


Figure.III.6: Configuration du matériel

III.5. Les différents modes du logiciel mtronix:

Le logiciel peut s'utiliser sous 3 modes :

- ✚ Mode Basique
- ✚ Mode Câble
- ✚ Mode Expert

Notre travail est basé sur le mode basique, parce que ce mode est utilisé pour les mesures en laboratoire des composantes moyennes et hautes tensions.

III.6. Calibration de l'appareil Omicron(étalonnage) :

Avant les mesures de DP l'unité doit être étalonné pour la configuration de test, un nouvel étalonnage doit être effectuée chaque fois que la configuration change.

Pour calibrer la charge il faut connecter le calibrateur de charge au condensateur de couplage et réglé pour produire des impulsions de -1000 pC a 1000 pC.

Le calibrage de la tension s'effectue a 10 % de la tension nominale pour ne pas endommager l'objet d'essai [11].

III.6.1 Etalonnage de la charge :

Pour calibrer le logiciel d'une calibration de PD est connecté au condensateur de couplage et configuré pour produire des impulsions de 20 pC. Il conviendrait de noter que la terre temporaire doit être supprimé à partir de l'installation avant l'étalonnage se déroule. Le logiciel doit alors être dit qu'il mesure 20 pc, les résultats de l'étalonnage sont présentés dans la figure.III.7.

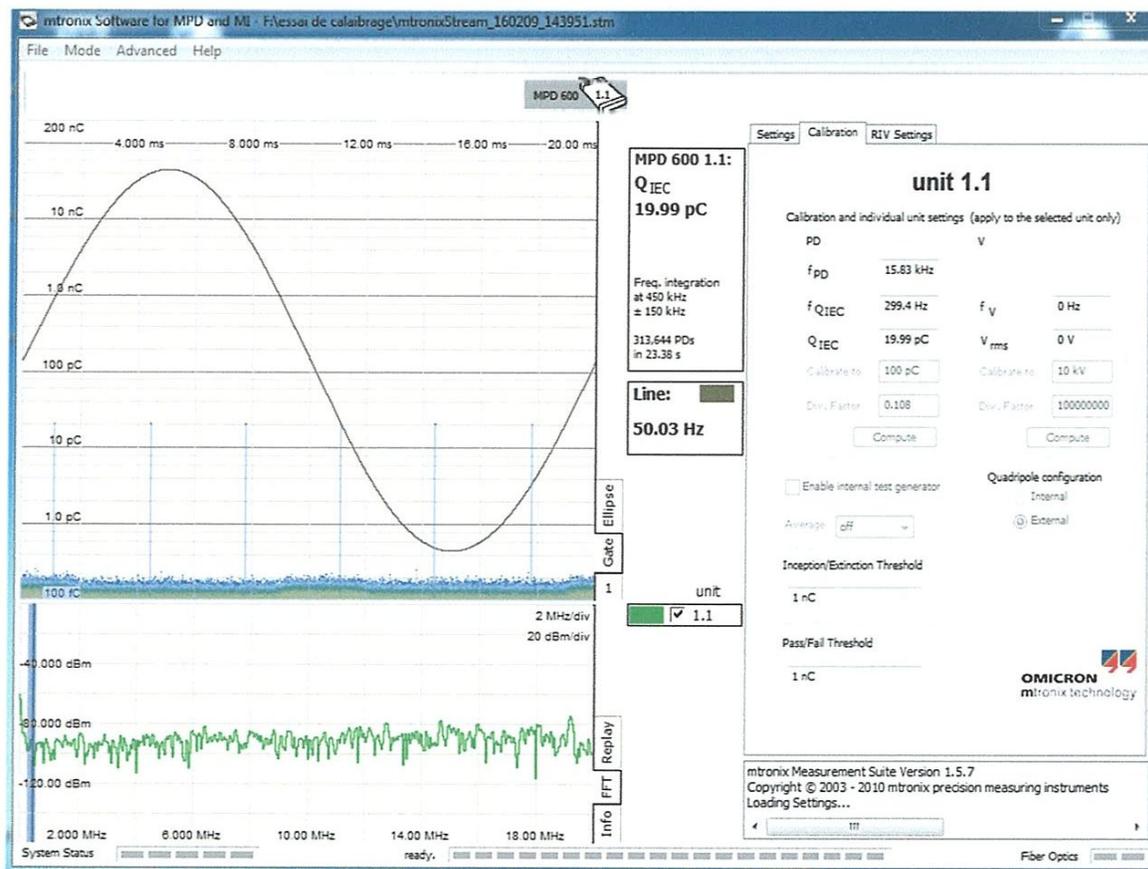


Figure.III.7: Affichage des signaux de DP a phase complète et l'histogramme du capteur

- ✚ La vue Ellipse affiche une courbe de Lissajous (“ellipse”) similaire aux détecteurs de DP analogiques.

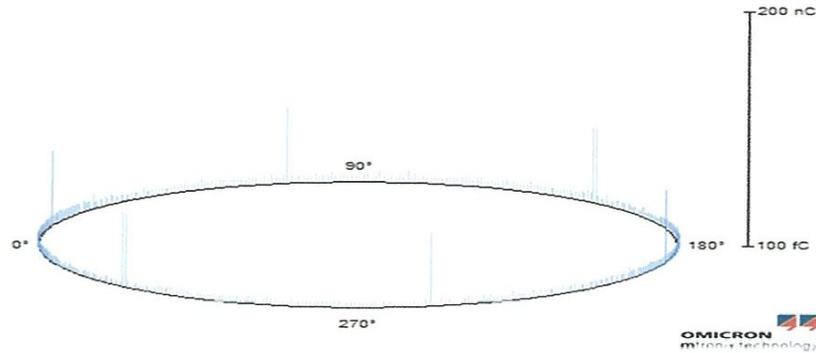


Figure.III.8: La représentation en ellipse

- ✚ Rapport d’une mesure de calibration

PD Measurement Report

Order No.
 Specimen No. and Type
 Customer
 Operator **nasser**
 Test Date 02/09/2016
 Test voltage 1.0 V
 Test Duration 30 s



	measurement duration: 17.4 s
	MPD 600-EC450C(device #1.1)
Time	QIEC
February 9, 2016, 13:43:03 (UTC)	Average: 19.99 pC
+ 0.05 s	19.99 pC ✓
+ 0.35 s	19.99 pC ✓
+ 0.65 s	19.99 pC ✓
QIEC(t) VRMS(t)	
QIEC(VRMS)	

Figure.III.9: rapport d’une mesure de calibration

Connectez le calibrateur CAL 542 à l'objet d'essai. Retirez la mise à la terre temporaire de la configuration de l'essai.

Procédez maintenant à l'étalonnage de la charge. A la fin de l'étalonnage, déconnectez le calibrateur de l'objet d'essai [11].

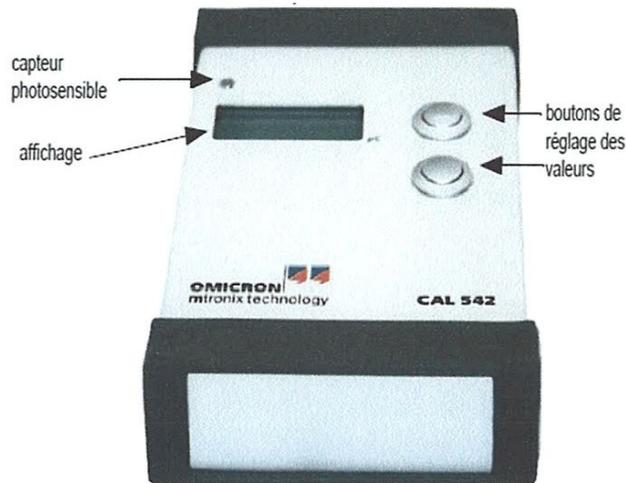


Figure.III.10: Calibrateur de charge CAL 542

III.6.2. Etalonnage de la tension :

Le circuit est sous tension à 10 kV et le logiciel est dit qu'il est la mesure de 10 kV similaire à l'impulsion calibration de 20 nC. Il conviendrait de noter que le circuit ne soit pas sous tension lors de l'étalonnage d'impulsion, uniquement pour le calibrage de la tension.

On active l'alimentation haute tension, ensuite on réglé la tension à un niveau connu (max 10 % de la tension nominale pour ne pas endommager l'objet d'essai) [11].

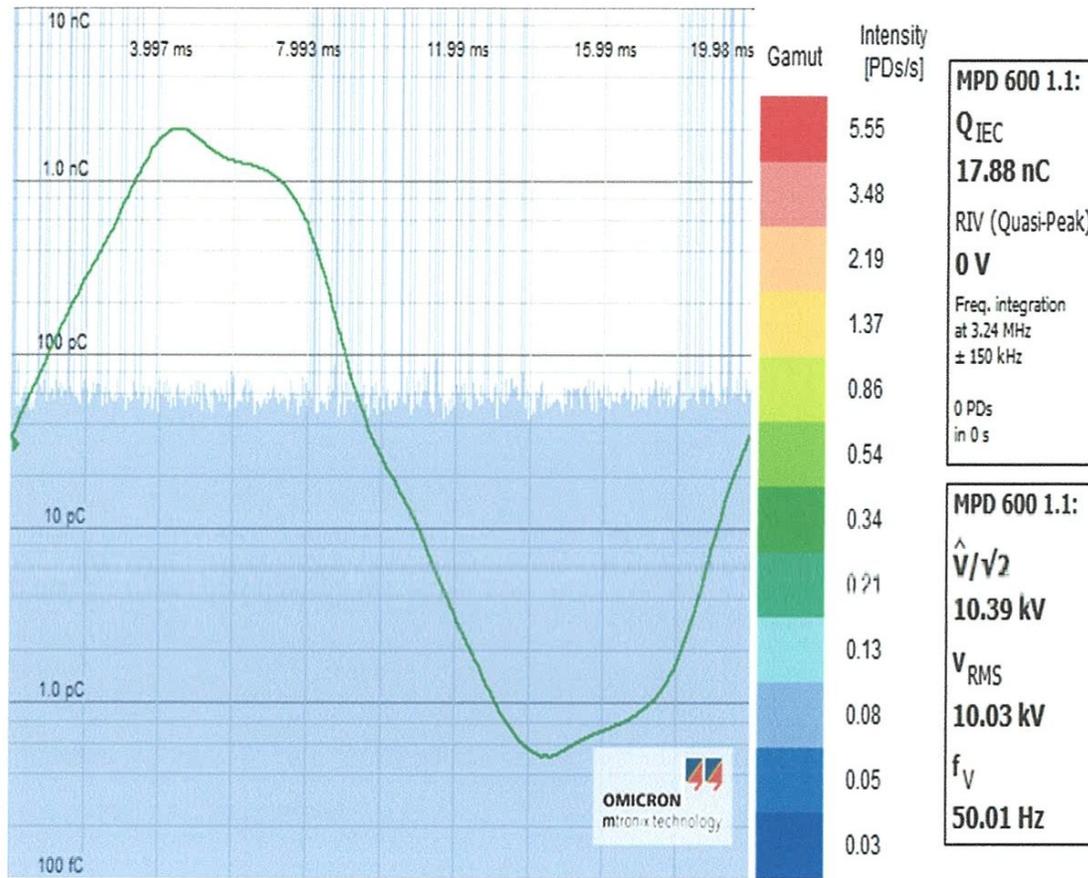


Figure.III.11: Evolution des impulsions de décharge.

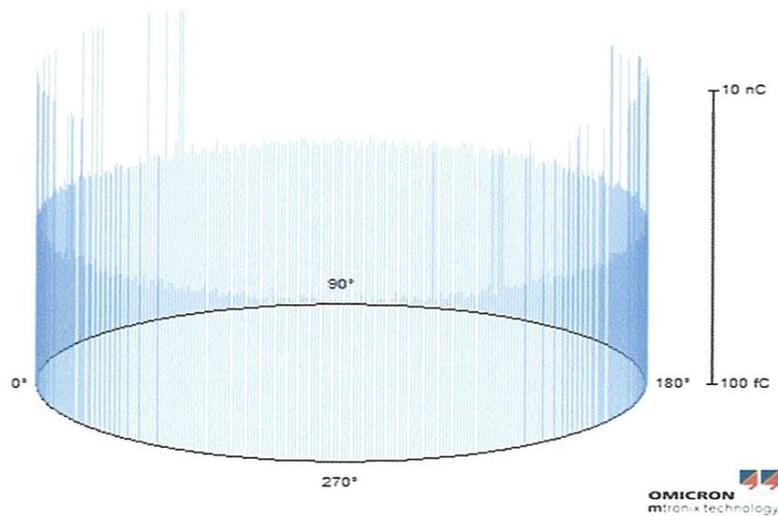


Figure.III.12: La représentation des impulsions de décharge en d'ellipse.

III.7. Test de détection des décharges partielles :

a) Premier test :

Le premier test est réalisé à une tension nulle Figure III.13, on constate aucune activité anormale c'est-à-dire pas de DP.

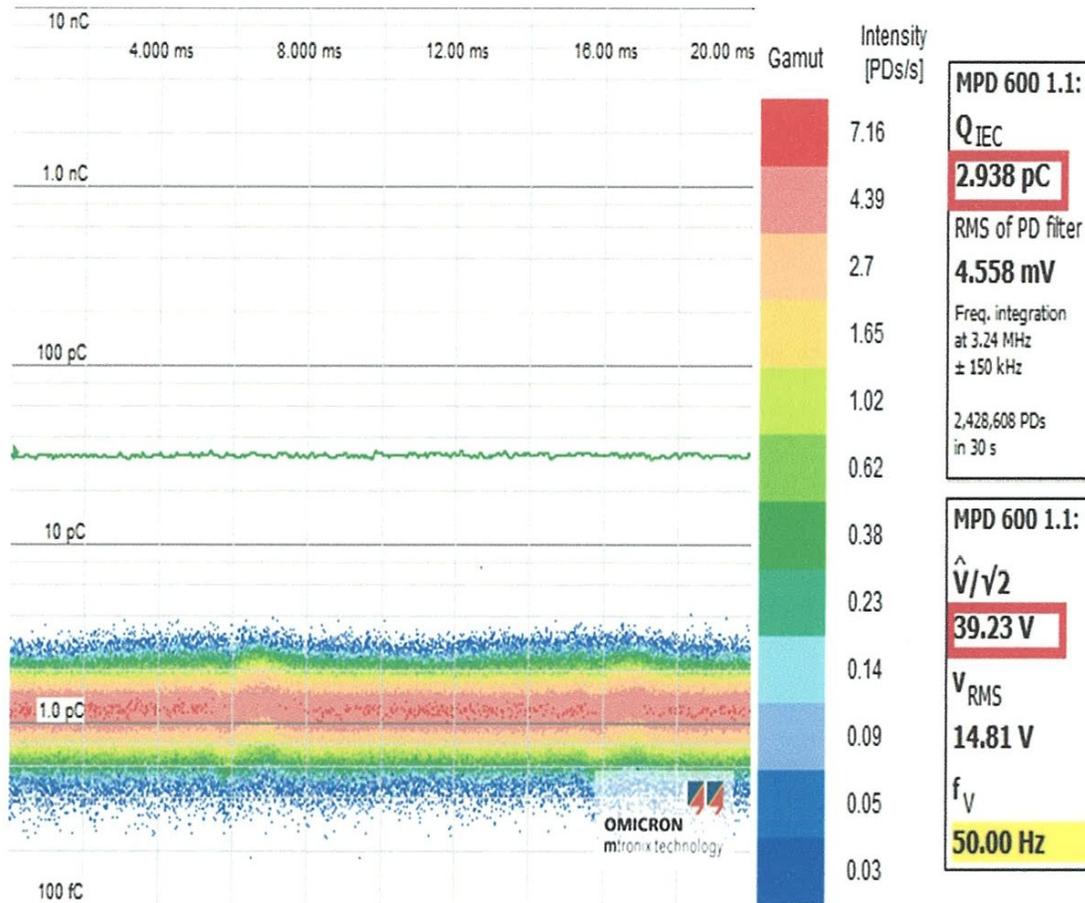


Figure.III.13: Evolution des décharges partielles a une tension nulle.

Remarque : La tension appliquée n'est pas totalement nulle le transformateur nous donne une tension de 39,23V, nous remarquons une disparition totale de caractéristique des activités DP, avec une valeur de 2.938 pC.

b) Deuxième test :

Pour mesurer le niveau de tension exacte de l'activité de PD, les tensions sont élevées lentement jusqu'à ce que l'appareil commence à détecter les DP comme on peut voir sur la figure.III.14. Il y a pratiquement peu d'activités des DP.

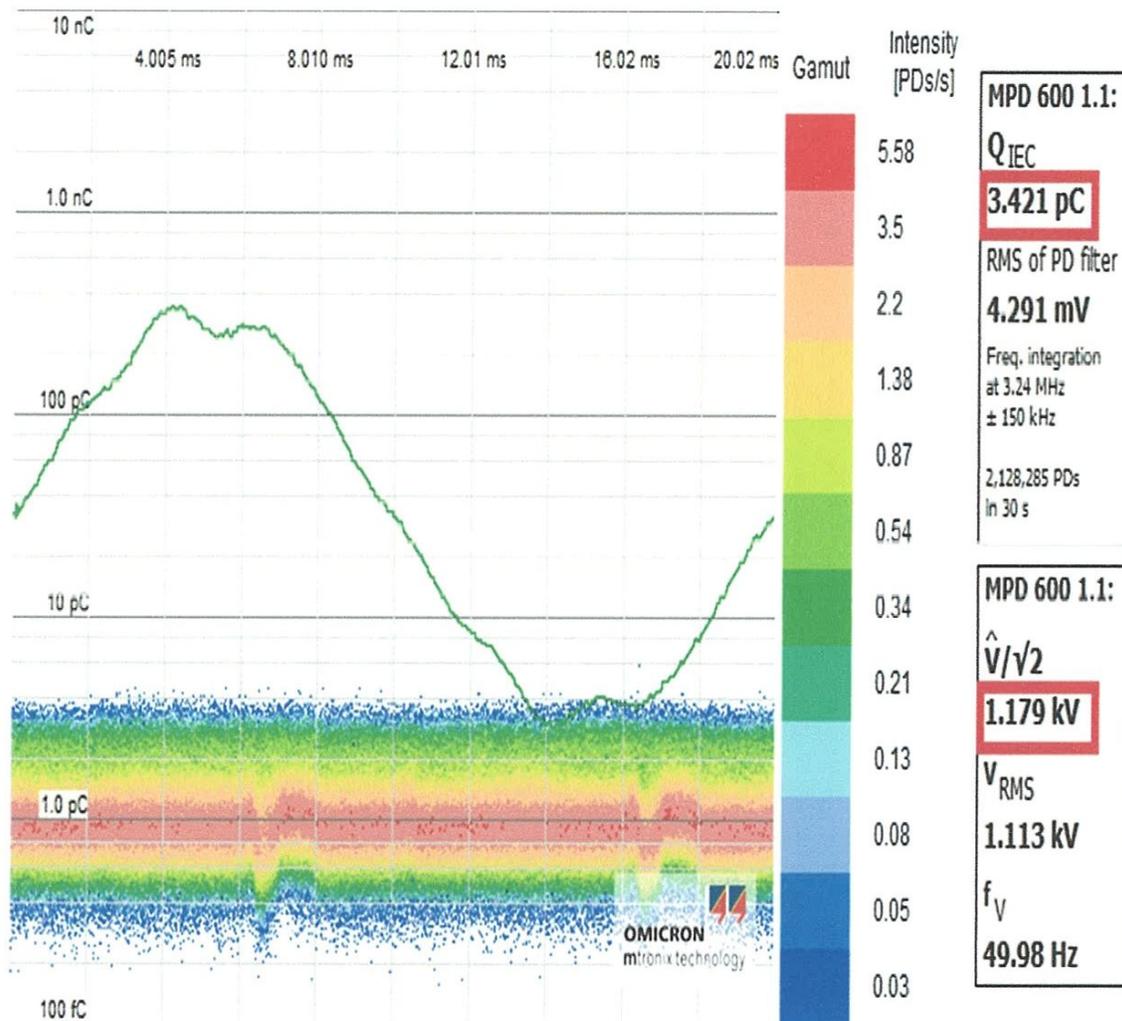


Figure.III.14: Evolution des décharges partielles à 1.179 kV

C) Troisième test :

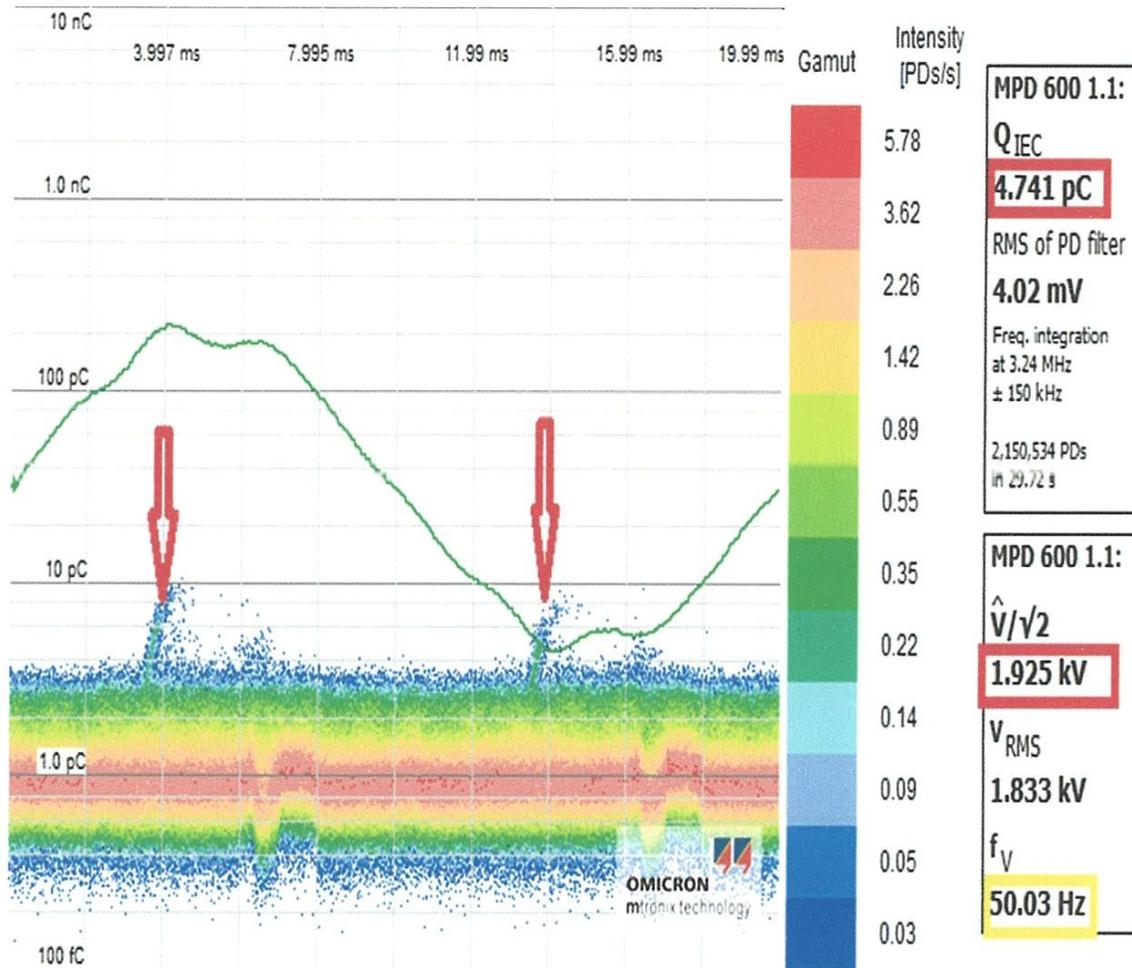


Figure III.15: Evolution des décharges partielles à 1.925kV.

Sur la figure III.15 nous avons détecté une présence très faible de PD avec une tension de 1.925kV. Nous avons eu également des faibles impulsions suivies des bruits très fin presque rien. Les flèches indiquent une légère présence de PD de 4.74 pC, et une diminution réelle des impulsions et une déformation de la sinusoïde de la tension.

d) Quatrième test:

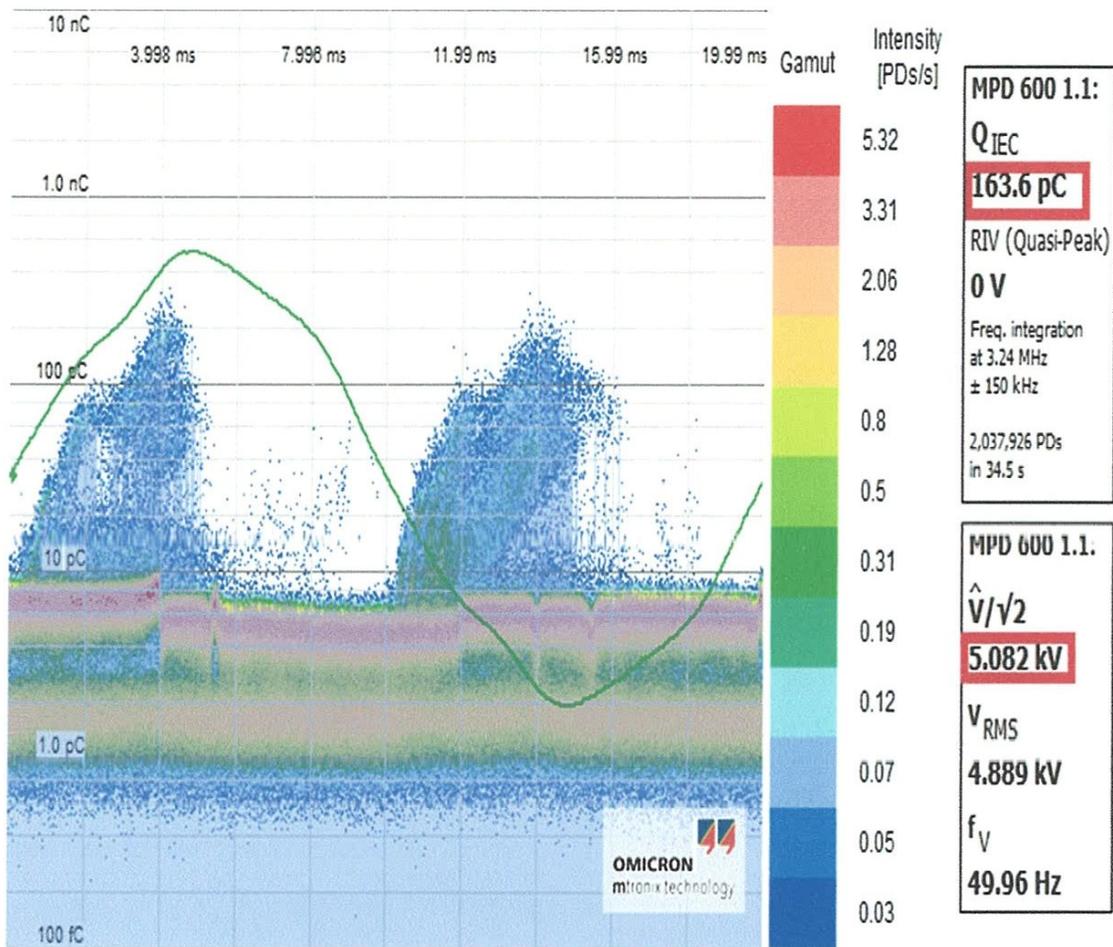


Figure.III.16: Evolution des décharges partielles à 5kv.

A partir de cette valeur de tension nous avons détecté une présence plus au moins importante de PD, Nous avons eu également des impulsions suivies des bruits, avec une valeur de 163.6 pC.

e) Cinquième test:

Il ressort de la figure.III.17 que l'activité de PD augmente avec des tensions plus élevées. A 15 kV nous avons des grandes impulsions suivies des bruits largement élevés. Les flèches indiquent une légère augmentation sur le sommet de la courbe de tension soit dans la polarité négative ou positive sur l'écran, et une déformation de la sinusoïde de la tension, avec une valeur de 317.4 pC.

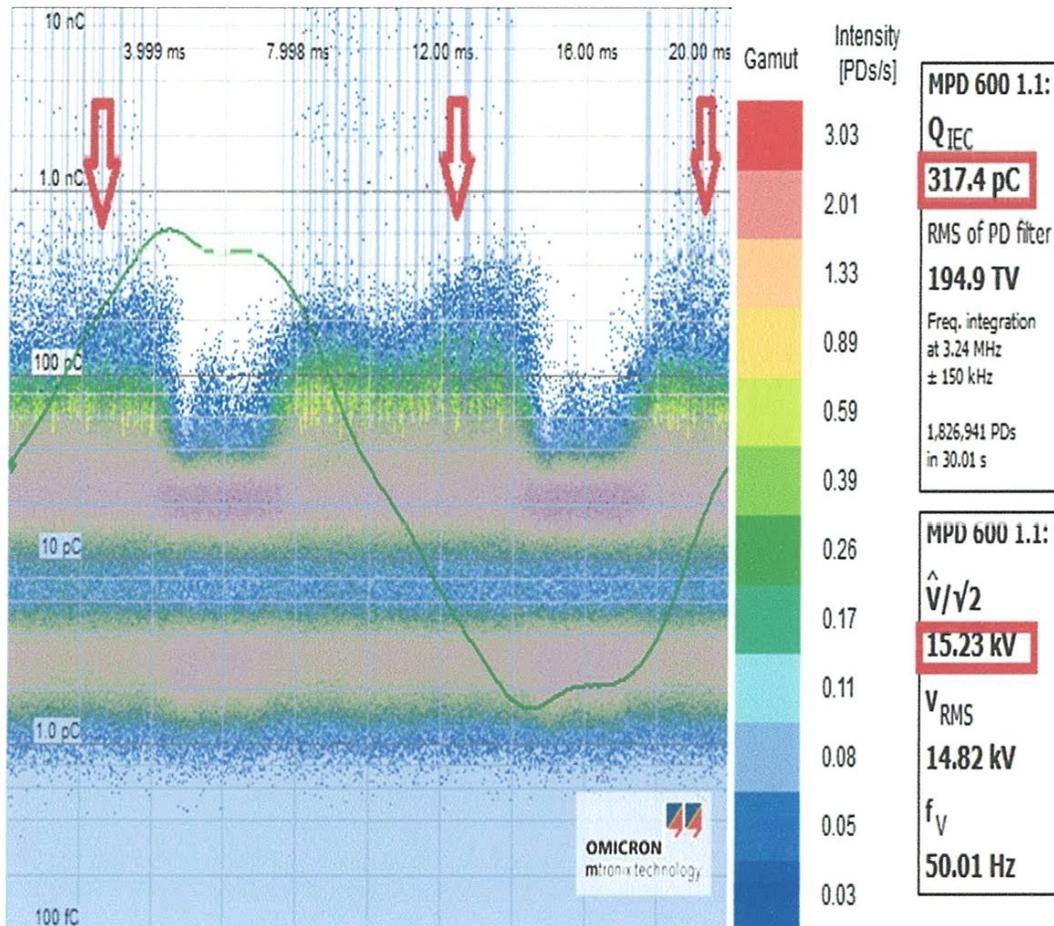


Figure :III.17: Evolution des décharges partielles avec une tension (15.23kv)

III.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats des effets des décharges partielles et le comportement des matériaux vis-à-vis la haute tension.

Les mesures ont été faite sur un condensateur de 100Pf. Les résultats de mesures montrent clairement que l'activité des décharges partielles augmente avec l'augmentation de la tension appliquée.

Conclusion générale :

Ce travail nous a permis de mesurer et de présenter les informations détaillées, sûre, adéquate et efficace sur les phénomènes sur les diélectriques et des décharges partielles.

Nous avons obtenu particulièrement des résultats logiques sur les décharges partielles, ils donnent les correctes valeurs de différents essais. La localisation des défauts et l'interprétation de certain évènement de décharge partielle réalisée, à l'aide de différents tests présenté, nous avons remarqué qu'il est très difficile de détecter les activités de DP dans les basses tensions, mais elles se manifestent avec l'augmentation de la tension. Ce phénomène n'est apparemment pas bien assimilé par les fabricants, les installateurs, et les responsables maintenance.

Et souvent, il n'est pas identifié comme étant la source de défauts. Pourtant une défaillance de ceux-ci entraîne des arrêts de production et des pertes d'exploitation qui peuvent être colossales dans certains cas...

Notre travail décrit aussi l'importante de mesure de sécurité liée à l'utilisation des systèmes électriques conçu pour la haute tension. L'observation des instructions fournies dans ce travail nous ont permis d'éviter des situations dangereuses, des frais de réparation et d'éventuelles pannes dues à une utilisation incorrecte.

Références bibliographiques

- [1] Lucian Caliap « **Etude de l'optimisation des isolants d'un point de vue diélectrique pour les contraintes du GI** » thèse de doctorat, Université de Grenoble, Submitted on 13 Apr 2011.
- [2] TAYEB MEDJEDI « **Identification des sources de décharges partielles dans les appareils à haute tension** » Thèse de doctorat - février 2004.
- [3] Claus Leth Bak « **Electric field optimization to reduce corona in AAU/ET's 200 kV High Voltage laboratory setup** » Professor at Aalborg university, 01.04.2013 to 12.09.2013
- [4] Ahcène LEMZADMI « **ETUDE DES PROPRIETES DIELECTRIQUES DES GAZ ISOLANTS SOUS PRESSION EN VUE DE NOUVELLES APPLICATIONS** » thèse de doctorat, 03 Juillet 2006.
- [5] Pierre LEBAS « **Diagnostic des câbles souterrains par détection de décharges partielles** », travail de fin d'études en vue de l'obtention du grade d'ingénieur civil électromécanicien (mécatronique-productive), Faculté des Sciences Appliquées - Université de Liège, Année académique 2007-2008.
- [6] A. Tilmatine « **TECHNIQUES DE LA HAUTE TENSION** », cours donné à l'université DJILLALI LIABES.
- [7] Théodore WILDI et Gilbert SYBILLE « **Electrotechnique** », 4ème édition.
- [8] Michel STOLIDI « **Matériaux en Electrotechnique** », IUFM AIX-MARSEILLE, CAPET et PLP2 Electrotechnique.
- [9] Fouzia MEBARKI « **Caractérisation des propriétés diélectriques de matériaux composites à base de polyéthylène téréphtalate recyclé** », mémoire l'obtention de la maîtrise en génie mécanique m. Inge, université du Québec, Juin. 2012.
- [10] Jean-François MOREL « **Matériaux diélectriques** », 10 janvier 1978.
- [11] Manuel d'utilisation du MPD600 ; OMICRON electronics 2009.
- [12] Med Abdelhafid Bouhamla « **CARACTERISATION DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION PAR LES METHODES ELECTRIQUES CAS DES INCLUSIONS DANS LES PATES PURES** » mémoire, option Mâtereaux.
- [13] Amar TILMATINE « **Matériaux diélectriques** ».

[14] Ngoc Minh NGUYEN «Caractérisation de matériaux écologiques en vue du remplacement du SF6 dans les systèmes d'isolation moyenne tension», thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université de Grenoble, Août. 2006.

[15] Chafé CHEBALLAH «Étude des mécanismes physiques à l'origine de la permittivité colossale observée dans certaines céramiques »THESE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, jeudi 13 décembre 2012.