

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8Mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrotechnique et Automatique

Réf:...../2022



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER Académique**

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Réseaux électriques

Par : - BELHASSEB Nedjma
- SAYOUD Radja

Thème

Génération et contrôle des décharges partielles en haute tension

Soutenu publiquement, le 18 Juin 2022 devant le jury composé de :

M. BOUDEFEL Amar	MCA	Université 8 Mai 1945- Guelma	Président/Examineur
M. BELOUCIF Faissel	MCB	Université 8 Mai 1945- Guelma	Encadreur
M. GOUAIDIA Said	MAA	Université 8 Mai 1945- Guelma	Examineur

Année Universitaire : 2021/2022

Je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents

A mes frère karim et abd elwahed

A ma sœur yassmine

Les petits mouatez et anis

A tous ceux qui j'aime et qui m'aime

A tout mes amis et mes collègues de la promotion

Belhasseb nedjma

Je dédie ce modeste travail :

A Mes chers parents

A mes frères Sohaib et Ahmed hachem

A mes sœurs khouloud et Roumaissa

A tous ce que j'aime

SAYOUD Radja

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la force et la patience durant ces années d'étude.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadreur **Dr. FAISSEL BELOUCIF**, pour ses précieux conseils, son aide et sa disponibilité.

Nous tenons tout particulièrement à remercier les enseignants du département de **Génie Électrotechnique et Automatique** de l'Université **8 Mai 1945 Guelma** pour leur disponibilité et encouragement, ainsi que tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Nos reconnaissances vont aussi à messieurs les membres de jury, pour l'honneur qu'ils auront fait en acceptant de juger ce travail.

Nous remercions enfin tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à la réussite de ce travail et qui n'ont pas pu être cités ici.

Table des matières

Dédicaces

Remerciements

Introduction générale

Chapitre I : Généralités sur les matériaux isolants utilisés en HT

I.1. Introduction	- 9 -
I.2. Classification des isolants utilisés en isolation électrique	- 9 -
I.2.1. Isolants solides	- 9 -
I.2.1.1. Isolants naturels	- 9 -
I.2.1.1.1. Minéraux	- 9 -
I.2.1.1.1.1. Verre	- 9 -
I.2.1.1.1.1.2. Céramique	- 11 -
I.2.1.1.1.1.3. Mica	- 12 -
I.2.1.1.2. Organiques	- 12 -
I.2.1.1.2.1. Papiers	- 12 -
I.2.1.1.2.2. Textiles	- 13 -
I.2.1.1.2.3. Caoutchouc	- 13 -
I.2.1.1.2. Isolants synthétiques	- 13 -
I.2.1.1.2.1. Nature	- 13 -
I.2.1.1.2.2. Fabrication	- 13 -
I.2.1.1.2.3. Caractéristiques	- 13 -
I.2.2. Isolants liquides	- 14 -
I.2.2.1. Huiles minérales	- 14 -
I.2.2.2. Huiles synthétiques	- 14 -
I.2.2.3. Vernis	- 14 -
I.2.3. Isolants gazeux	- 14 -
I.2.3.1. Définition	- 14 -
I.2.3.2. Classification	- 14 -
I.2.3.3-Propriétés et caractéristiques	- 15 -
I.2.3.3.1. L'air :	- 15 -
I.2.3.3.2. L'hexafluorure de soufre	- 15 -
I.2.3.3.3. L'azote	- 16 -
I.2.3.4. Utilisation du gaz isolant	- 16 -
I. 2. 3.4.1. Domaines d'application du SF6	- 16 -

I.3.Caractéristique diélectrique des isolants.....	-18-
I.3.1.Permittivité relative.....	-18-
I.3.2.Rigidité diélectrique.....	-18-
I.3.3. Facteur de perte diélectrique.....	-19-
I.4. Conclusion	
Chapitre II : Phénomènes d’ionisation et de conduction dans les matériaux isolants	
II.1. Introduction	- 21 -
II.2. Processus d’ionisation	- 21 -
II.2.1. Ionisation par collision :	- 21 -
II.2.2. Photo-ionisation :	- 22 -
II.2.3. Ionisation thermique :	- 22 -
II.2.4. Ionisation par les atomes métastables :	- 23 -
II.3. Régime de décharges électrique :	- 23 -
II.3.1 Caractéristiques tension courant entre deux électrodes planes	- 23 -
II.3.2. Régimes de la décharge.....	- 24 -
II.4. Loi de Paschen :	- 25 -
II.5. Phénomène de l’avalanche :	- 26 -
II.6. Différents Mécanismes de claquage des isolants solides	- 27 -
II.6.1. Conduction électrique	- 27 -
II.6.1.1. Bandes d’énergie	- 27 -
II.6.1.2. Polarisation du solide	- 28 -
II.6.1.3. Conduction dans les solides	- 29 -
II.6.1.3.1. Conduction ohmique	- 29 -
II.6.1.3.2. Conduction électronique	- 29 -
II.6.1.3.3. Conduction ionique	- 30 -
II.6.2. Mécanismes de claquage des solides	- 31 -
II.6.2.1. Claquage intrinsèque :	- 32 -
II.6.2.2. Claquage par avalanche :	- 32 -
II.6.2.3. Claquage thermique :	- 33 -
II.6.2.4. Claquage électromécanique :	- 34 -
II.6.2.5. Claquage par Décharges partielles :	- 34 -
II.7. Conclusion	- 35 -

Chapitre III : Décharges partielles – Analyse et contrôle–

III.1. Introduction	- 37 -
III.2. Définition	- 37 -
III.3. Naissance des décharges partielles	- 37 -
III.4. Classification.....	- 38 -
III.5. Récurrence des décharges partielles	- 39 -
III.5.1. Décharges internes	- 39 -
III.5.2. Décharges couronne	- 40 -
III.6. Causes des décharges partielles	- 41 -
III.7. Effet des décharges partielles.....	- 41 -
III.8. Caractérisation électrique des décharges partielles.....	- 42 -
III.8 .1. Décharge partielle dans une cavité	- 42 -
III.8.2. Décharge couronne	- 43 -
III.9. Calcul du champ électrique en tension alternative à l'intérieur d'une isolation à deux composants homogènes	- 44 -
III.10. Détermination de la tension aux bornes de la cavité.....	- 46 -
III.11. Méthode de détection et de mesure des décharges partielles.....	- 48 -
III.11.1. Détection électrique	- 48 -
III.11.1.1. Mesure individuelle des impulsions de décharge	- 48 -
III.11.1.2. Mesure par Analyse de la séquence d'impulsions.....	- 49 -
III.11.1.3. Étalonnage – un mot d'avertissement.....	- 50 -
III.11.2. Analyse du bruit et des ondelettes	- 50 -
III.11.3. Mesure par caméra thermographique.....	- 52 -
III.11.4. Détection chimique	- 52 -
III.12. Conclusion	- 53 -
Conclusion générale.....	- 54 -
Références bibliographiques.....	- 55 -

Introduction générale

Introduction générale

En raison de la demande croissante pour l'utilisation de l'énergie électrique dans différents pays, il est devenu nécessaire de produire des grandes quantités d'énergie et de les transporter en toutes sécurités à travers des systèmes avancés avec des hautes tensions où ces systèmes sont économiques et ont une longue durée de vie de fonctionnement.

Les constructeurs cherchent toujours d'assurer une bonne fiabilité en assurant une bonne qualité de tous les éléments de ce système ; afin de garantir une fourniture, transport et une distribution d'énergie électrique de manière continue et dans des meilleurs conditions aux différents clients, mais cette qualité du système dépend de nombreuses contraintes, électriques, mécanique, chimique et thermique et d'autres contraintes environnementales lors de l'exploitation et le fonctionnement de ce système.

Par conséquent, la recherche sur les hautes tensions conduit à la conception et à la production de produits, d'équipement et des systèmes capables de supporter des champs électriques élevés.

En particulier les matériaux isolant solides utilisés dans ce système peuvent subir lors de son exploitation en haute tension autrement dit en champs électriques très élevés, c'est à dire en présence des contraintes électrique des apparitions des décharges électriques à l'intérieure de son structure et sous l'effet de plusieurs facteurs ces dernières se propagent de manière précoce et entrainer ainsi la perte partielle ou totale de l'isolant solide ; ces décharges sont appelées les décharges partielles.

A cet effet notre travail, se divise en trois chapitres :

Le premier chapitre, nous avons fait un rappel sur les différents isolants solide, liquide, et gazeux, et en étudiant leur propriétés physico-chimiques et diélectrique pour pouvoir toutes les caractéristiques fondamentales.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons le phénomène d'ionisation et les différents mécanismes de décharge dans les gaz, pour bien comprendre le phénomène et le principe de claquage.

Enfin, dans le troisième chapitre, est consacré à étude le phénomène des décharges partielles, leurs définitions, leurs caractérisations et méthode de mesure et de détection.

Chapitre I

**Généralités sur les matériaux isolants
utilisés en HT**

I.1. Introduction

Les isolants ou diélectriques sont des matériaux ayant une résistivité très élevée : 10^8 à $10^{16} \Omega \text{ m}$, dont la conductivité électrique est faible car ils contiennent très peu d'électrons libres. Un isolant est caractérisé par ses propriétés électriques, mécaniques, chimiques et thermiques. Un bon isolant ne doit pas laisser passer de courant lorsqu'il est soumis à une des tensions faibles, à moins qu'ils soient soumis à des champs électriques fortement élevés et à l'action des facteurs ionisants externes provoquant la perte de leurs propriétés diélectriques.

Parmi les différents isolants utilisés en isolation électrique on peut citer le verre, la céramique, le mica ainsi que les diélectriques fluides...

Les isolants sont utilisés pour :

- ☞ Assurer une séparation électrique entre des conducteurs portés à des potentiels différents afin de diriger l'écoulement du courant dans les conducteurs désirés protection des personnes et des équipements.
- ☞ Supporter les éléments d'un réseau électrique et les isoler les uns par rapport aux autres et par rapport à la terre.
- ☞ Remplir les fonctions de diélectrique d'un condensateur. [1]

I.2. Classification des isolants utilisés en isolation électrique

I.2.1. Isolants solides

Les isolants solides sont des éléments de base des isolations à haute tension. Ils comportent en plus des gaz la particularité d'assurer la rigidité mécanique des matériels électriques. [2]

I.2.1.1. Isolants naturels

I.2.1.1.1. Minéraux

I.2.1.1.1.1. Verre

a) Application

Parmi les matériaux ayant des caractéristiques électriques isolants, le verre s'affirme comme un candidat idéal. Son utilisation est cependant conditionnée par la manière dont les contraintes mécaniques sont appréhendées. De ce fait, les applications du verre dans le domaine

de l'isolement électrique se retrouvent soit dans le domaine des verres trempés soit dans des technologies où le verre est utilisé à l'état de fibres de renforcement de polymères.

Le verre utilisé dans le domaine électrotechnique, dont les principales applications se trouvent dans les techniques d'isolement électrique de conducteurs ou d'éléments sous tension dans les réseaux de transport et de distribution d'électricité.

Le verre moulé ainsi que les fibres de verre sont destinées au renforcement mécanique de pièces en résine directement au contact d'éléments conducteurs. [3]

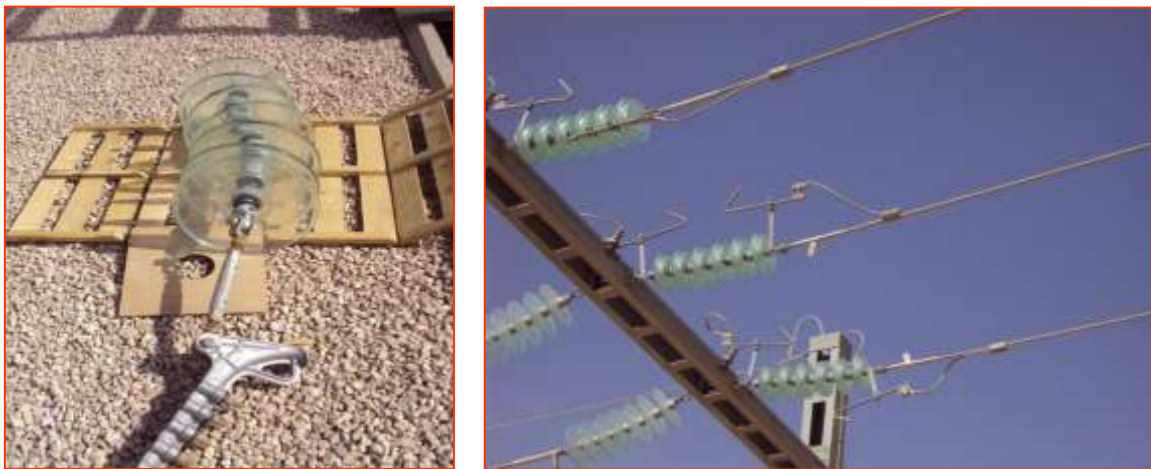


Figure I.1. Isolateur de ligne électrique en verre.

b) Caractéristiques

Les caractéristiques des verres utilisés en électrotechnique sont différentes selon les applications, qu'elles soient en verre moulé ou réalisées avec des fibres de verre. D'une manière générale, les caractéristiques électriques des verres sont secondaires (le verre, par nature, dispose de caractéristiques électriques isolantes) [3], sa rigidité diélectrique $E_c=7\text{Kv/mm}$, permittivité est de l'ordre de ($\epsilon_r=7$), avec un facteur de perte diélectrique $\tan\delta=0.02$ à 0.04 , le verre peut supporter une température maximale $T_{\max}=400$ à 500°C , et ce sont surtout les caractéristiques chimiques et d'abord mécaniques qui sont déterminantes.

Dans le cas de pièces moulées, il existe deux familles principales qui se différencient par la résistance mécanique du verre. Certaines pièces ne nécessitant pas de grande résistance mécanique sont moulées et recuites. La limite mécanique du matériau lorsqu'il est recuit a

amené les fabricants d'isolateurs en verre à développer et à adapter le procédé de la trempe (plus commun dans le domaine du verre plat) à des objets aux formes plus complexes, tels que les isolateurs en verre des lignes aériennes. [3]

La chimie des verres utilisés dans le domaine de l'isolement électrique se distingue principalement par la nature des courants appliqués (alternatifs ou continus) sur les isolants moulés alors que la corrosion chimique ou électrochimique des fibres de verre oriente les choix dans les matériaux utilisés pour le renforcement des polymères. [3]

I.2.1.1.1.2.Céramique

a) Préparation

Les isolants céramiques sont des produits de matières premières inorganiques, en particulier des silicates et des oxydes, qui se forment comme un mélange de matières premières et obtiennent leurs propriétés par frittage. Ils comprennent des structures cristallines noyées dans matrice de verre.



Figure I.2. Isolateur électrique en céramique destiné aux lignes électriques.

b) Type de céramique

La plupart des céramiques sont des matériaux poly cristallins, c'est-à-dire comportant un grand nombre de microcristaux bien ordonnés (grains) reliés par des zones moins ordonnées ; les familles de céramiques les plus importantes sont les oxydes, tels que l'oxyde d'aluminium

Al₂O₃, dioxyde de zirconium ZrO₂, les nitrures tel que d'aluminium AlN, les carbures tel que le carbure de silicium SiC. [5]

c) Propriétés des céramiques

Les isolants de type céramique sont des matériaux largement utilisés en génie électrique dans les isolants de basse et haute tension, les supports d'inductance HF et UHF, les condensateurs HF, les composants piézo-électrique.

Les céramiques possèdent d'excellentes propriétés intrinsèques telles que la rigidité diélectrique $E_c=10$ à 20 kV/mm et son facteur de perte $\tan\delta=5.10^{-4}$ à $1, 2.10^{-2}$, leur permittivité peut varier de $\epsilon_r=10$ à 3000 , le comportement réfractaire et l'inertie chimique ($T_{max}=200$ à 500°C). [6]

I.2.1.1.1.3. Mica

Minéraux sous forme de plaques transparentes, non hygroscopiques [8], présente une importance considérable pour l'industrie électrique, par suite des propriétés particulières qui s'attachent à ce matériau : excellente tenue à la température, rigidité diélectrique élevée, inertie chimique remarquable, faible pertes à toutes les fréquences. [6]

Utilisé pour l'isolation haute tension et appareils de chauffage, condensateurs, lunettes de protection, lubrifiants haute température.

I.2.1.1.2. Organiques

Ce sont les matériaux d'origine animale, végétale ou synthétiques.

I.2.1.1.2.1. Papiers

Cellulose extraire du bois ou de l'alfa. Imprégnés de diélectrique liquide pour éviter l'absorption d'eau.

La dissolution de la lignine et des résines de la pâte de bois produit de la pâte à papier pour la fabrication de papier et de carton comprimé. Ils sont utilisés dans les transformateurs secs et les condensateurs comme papier pour condensateurs, papier pour câbles, papier vernis. Carton comprimé pour l'isolation. [8]

Ces propriétés sont $T_{max} = 105^\circ\text{C}$; $E_c = 50$ à 80 kV/mm (papier sec) ; 100kV/mm (papier imprégné d'huile); $\tan\delta = 2.10^{-3}$; $\epsilon_r = 4$ à 6 .

I.2.1.1.2.2. Textiles

Coton, soie naturelle, fibres artificielles. Rubans, toiles pour l'isolation, de conducteurs de faible diamètre, bobines.

Ces propriétés sont $T_{\max} = 90$ à 120°C ; $E_c = 5$ à 10 kV/mm ; $\epsilon_r = 3$

I.2.1.1.2.3. Caoutchouc

Caoutchouc brut mélangé avec du soufre et de la suie, chauffé à une température de 120°C à 180°C (vulcanisé) [7]. Utilisé comme matériau d'isolation pour câbles mobiles, joints, boîtiers d'accumulateurs.

Ces propriétés sont $T_{\max} = 60^{\circ}\text{C}$; $E_c = 20$ à 30 kV/mm ; $\epsilon_r = 3$.

I.2.1.1.2. Isolants synthétiques

I.2.1.1.2.1. Nature

Les matériaux isolants organiques synthétiques ou plastiques ont acquis une position importante dans la technologie d'isolation électrique en tant que thermoplastiques non durcis, élastomères, et quelques matériaux liquides comme les huiles silicone.

I.2.1.1.2.2. Fabrication

Une matière plastique est le résultat d'un mélange qui comprend :

- une résine de base ou polymère, obtenue à partir de réactions chimiques complexes de polymérisation effectuées sur des matières de base ;
- dérivés du pétrole ou du charbon ;
- calcaires, sable, fluorures, sels marins ;
- bois ;

Les procédés de fabrication des matières plastiques sont principalement basés sur des traitements à haute température, sous pressions élevées. [4]

I.2.1.1.2.3. Caractéristiques

-très bonne rigidité diélectrique : toujours $\geq 10 \text{ KV/mm}$;

-résistivité élevée : $10^8 \leq \rho \leq 10^{17} \Omega.m$;

-faibles pertes diélectriques ;

-propriétés mécaniques inférieures à celles des métaux mais pouvant être améliorées par les procédés de fabrication (charges). [4]

I.2.2. Isolants liquides

Les isolants liquides présentent l'avantage de se régénérer après un claquage ; ils servent aussi au refroidissement par convection ou par évaporation (les isolants liquides ont généralement une bonne conductivité thermique). Ils sont utilisés seuls ou bien ils imbibent un isolant solide dont ils remplissent les vides. [1]

I.2.2.1. Huiles minérales

L'huile minérale est produite à partir de pétrole brut par distillation [8], utilisé pour l'isolation et refroidissement de transformateurs, extinction d'arcs électriques, câbles, câbles à huile, diélectriques pour condensateurs, il présente le risque d'incendie. Elle est caractérisée par :

- rigidité diélectrique : $E_c = 9 \text{ à } 10 \text{ kV/mm}$
- facteur de dissipation : $\tan \delta = 4.10^{-4}$
- permittivité relative : $\epsilon_r = 4 \text{ à } 6$.

I.2.2.2. Huiles synthétiques

Ininflammables (pas de risque d'incendies), employé dans les transformateurs et les disjoncteurs de puissance comme les huiles chlorées, les huiles silicones (résistent à des températures élevées). [1]

I.2.2.3. Vernis

Ce sont des associations résine + solvant + siccatif. Utilisés pour l'imprégnation des bobinages des machines électriques.

I.2.3. Isolants gazeux

I.2.3.1. Définition

Les gaz constituent un élément de base de l'isolation à haute tension des matériels électriques. De tout temps, les bonnes qualités isolantes de l'air ont été utilisées aussi bien dans les applications de l'électricité statique que dans l'isolation des lignes aériennes.

Un gaz constitue un isolant parfait puisqu'il ne contient que les atomes ou des molécules neutres.

I.2.3.2. Classification

Les diélectriques ou les isolateurs de gaz sont largement utilisés dans les équipements électriques et les plus importants de ces gaz utilisés sont :

- L'air
- L'azote
- L'hexafluorure de soufre (SF6)
- L'hydrogène

Tableau (I.1) : Nomenclature des principaux gaz isolants utilisés ou susceptibles d'être utilisés en électrotechnique.

Hydrogène	H2	Isolant des alternateurs
Azote	N2	Générateur HT, condensateurs, diviseurs HT
Dioxyde de carbone	Co2	Quelque générateur HT
Air	N2+O2	Ligne aérienne, machines, disjoncteurs
Hexafluorure de soufre ligne	SF6	Disjoncteurs, transformateurs, émetteurs de puissance ligne HT, générateur THT
Hexafluorure de soufre + azote	SF6+N2	Générateur THT, disjoncteurs

I.2.3.3-Propriétés et caractéristiques

I.2.3.3.1.L'air :

Les composantes de l'air sont : l'oxygène(O₂), le gaz carbonique(Co₂), et l'azote(N₂).

- L'oxygène : 21%, incolore, inodore, non toxique.
- Le gaz carbonique : incolore, inodore, faiblement toxique.
- La conductivité thermique à 0°C : $23,547 \cdot 10^{-3}$ w/m.k.
- L'air est utilisé dans l'isolation : les lignes aériennes, transformateur, disjoncteurs.

I.2.3.3.2.L'hexafluorure de soufre

Découvert par Maison et Lebeau en 1900, et fabriqué industriellement aux états unis par synthèse du soufre et du fluor.

Il est chimiquement inerte, inodore, incolore et incombustible, c'est un gaz lourd sa masse spécifique 6.14 g/dm³ dans les conditions normales.

- Sa rigidité diélectrique est égale 3 fois celle de l'air à pression atmosphérique.
- Conductivité thermique (0°C et 1.013 bar) : 12.58mw/m.k.
- Domaine d'utilisation : disjoncteur, pote blindés, transformateurs, câble électrique.

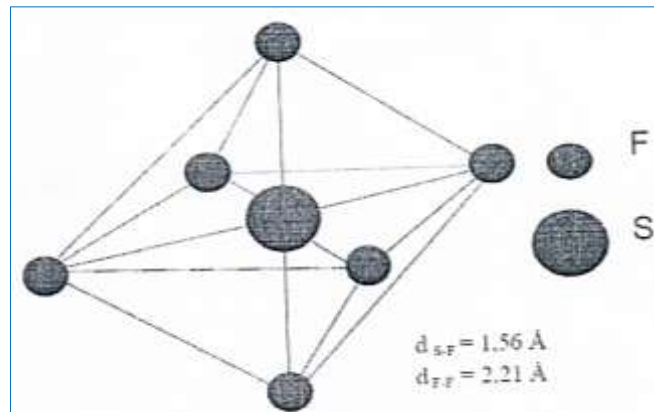


Figure I.3 : Constitution de la molécule de (SF₆).

I.2.3.3.3.L'azote

L'azote N₂ n'est pas un gaz électronégatif comme le SF₆ (pas de processus d'attachement).

L'azote se trouve principalement dans l'atmosphère. En effet, il représente en volume 78,08 % de l'air que nous respirons. A pression atmosphère, pour des températures Inférieures à -196 °C, c'est un liquide incolore, un peu plus léger que l'eau.

- Incolore, inodore, absolument inoffensif.
- Rigidité diélectrique : 1
- L'azote est utilisé pour les générateurs HT, les conducteurs, diviseur HT.

I.2.3.4.Utilisation du gaz isolant

I. 2. 3.4.1. Domaines d'application du SF₆

Il y a quatre types principaux d'appareillage électrique qui utilisent le SF₆ pour des buts d'isolation et/ou d'interruption.

a- Disjoncteurs et équipements d'interruption de courant :

La bonne conductivité thermique et la tenue diélectrique élevée de SF₆ sont les principales raisons de sa grande capacité d'interruption.

b- Transformateurs

La capacité de refroidissement du **SF₆**, la compatibilité avec les matériaux solides et les caractéristiques des décharges partielles qui apparaissent dans ce gaz ; ajouter à ça, ses bonnes caractéristiques diélectriques font de ce gaz un bon candidat dans ce type d'appareillage électrique.

L'utilisation d'une isolation à base du **SF₆** a des avantages par rapport à l'isolation à l'huile à savoir : réduire les risques d'incendie et les problèmes écologiques liés à l'utilisation de l'huile.

c- Les lignes de transmission (les câbles à isolation gazeuse)

La rigidité diélectrique du milieu gazeux dans des conditions industrielles est d'une importance primordiale, particulièrement avec la présence des particules métalliques sous des tensions de choc de foudre et de manœuvre.

Le gaz doit également être un bon conducteur thermique pour permettre le transfert de la chaleur et être stable pendant de longues périodes (environ 40 ans).

d- Sous-stations de distribution

Les différents éléments constituant la sous-station (disjoncteurs, sectionneurs, commutateurs de mise à la terre, jeux de barre, transformateurs, etc.) sont reliés ensemble et isolés avec le milieu diélectrique gazeux. Ainsi, toutes les propriétés mentionnées ci-dessus du gaz **SF₆** sont significatives ; elles permettent de réduire considérablement la taille de la station.

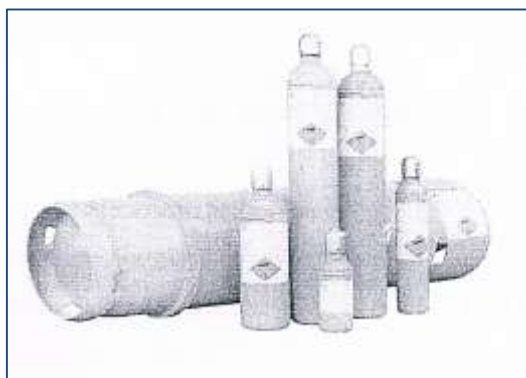


Figure I.4 : Bouteille de gaz(SF6).

I.3.Caractéristique diélectrique des isolants

D'une manière générale, les matériaux isolants sont caractérisés par :

I.3.1. Permittivité relative

Elle permet de décrire la réponse d'un milieu donné à un champ électrique. Elle est exprimée en farad par mètre [F/m].

Dans la pratique on utilise de façon quasi exclusive la permittivité relative représentant le rapport de la permittivité absolue à la permittivité du vide. On peut la calculer selon la formule suivante :

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_{réelle}}{\varepsilon_0} = \frac{C}{C_0} \quad (I.1)$$

Avec, C ; est la capacité d'un condensateur ayant le matériau comme diélectrique ;

C_0 : capacité du même condensateur mais avec le vide. [7]

I.3.2. Rigidité diélectrique

Si on augmente la tension à laquelle est soumis un isolant au-delà d'une certaine valeur appelé 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.

Alors la rigidité diélectrique d'un milieu isolant représente la valeur maximum du champ électrique que le milieu peut supporter avant le déclenchement d'un arc électrique. Elle est exprimée généralement en kV/mm.

$$E_c = \frac{U_c}{d} \quad (I.2)$$

Elle 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,...). [1]

I.3.3. Facteur de perte diélectrique

Ce facteur nous permet de connaître la puissance dissipée dans le matériau lorsqu'un champ électrique variable lui est appliqué. Il est exprimé par la tangente de l'angle δ qui représente l'écart à la quadrature entre le courant et la tension d'un condensateur ayant le matériau considéré comme diélectrique.

Autrement dit l'angle de pertes δ est défini comme étant l'angle complémentaire du déphasage entre la tension U entre les conducteurs et le courant de fuite I traversant l'isolant figure 1.5

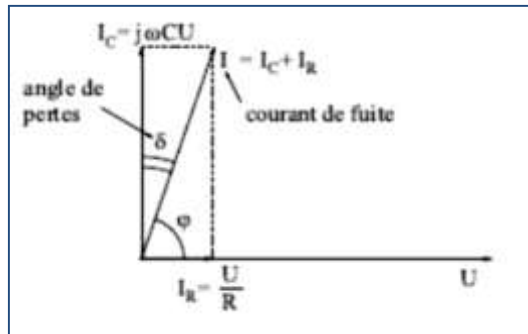


Figure I.5. Angle de perte d'un diélectrique solide.

D'après la figure I.5 qui représente un diélectrique en schéma parallèle, le facteur des pertes peut s'exprimer par :

$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{1}{\omega.C.R} \quad (I.3)$$

ω , est la vitesse angulaire du circuit

C : Capacité entre les deux conducteurs

R : Résistance d'isolement de l'isolant

La valeur $\tan \delta$ est appelé facteur de dissipation diélectrique. Il caractérise la qualité d'un isolant, en pratique il varie entre 10^{-2} et 10^{-4} . [7,8].

I.4. Conclusion

Les principales exigences des matériaux isolants utilisés pour les systèmes d'énergie électrique et les appareils de puissance sont : haute résistance d'isolation, haute résistance diélectrique, bonnes propriétés mécaniques, et une rigidité diélectrique importante pour assurer une bonne performance de ces matériaux diélectriques.

Chapitre II

Phénomènes d'ionisation et de conduction dans les matériaux isolants

II.1. Introduction

Les gaz, à l'état normal, sont des isolants parfaits en termes de pression et de température, et sont utilisés dans les équipements haute et moyen tension.

Généralement les gaz sont mauvais conducteurs car ils contiennent d'atomes (molécules) neutres, ces derniers acquièrent leur propre conductivité, lorsqu'ils sont soumis à des variations des champs électriques. Il en résulte une décharge électrique, l'origine de cette décharge est l'ionisation de choc.

Dans les matériaux solides les dipôles électriques s'orientent en présence du champ électrique élevé, le moment polaire est la cause principale pour toute conduction du courant à l'intérieur du solide isolant.

II.2. Processus d'ionisation

Les électrons dans un conducteur sont libres, dès qu'on applique un champ aussi faible soit-il se détachent de l'atome et se déplacent avec le champ. Par contre dans un isolant, les électrons sont liés et ne se détachent que si on leur fournit une énergie suffisamment grande supérieure à l'énergie d'ionisation de l'atome.

$$W_c \geq W_i \quad (\text{II.1})$$

W_c : L'énergie cinétique.

W_i : L'énergie d'ionisation.

L'énergie d'ionisation W_i est l'énergie qui retient l'électron dans l'orbite de l'atome.

$$W_i = eV_i \quad (\text{II.2})$$

e : Charge élémentaire d'un électron.

V_i : Potentiel d'ionisation.

II.2.1. Ionisation par collision :

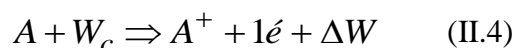
Sous l'action de champ électrique E , l'électron qui se déplace avec une énergie cinétique W_c , entre en collision avec l'atome, avec :

$$W_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (\text{II.3})$$

m : masse de la particule

v : vitesse de la particule

Si $W_c \geq W_i \Rightarrow$ ionisation de l'atome ;



Avec :

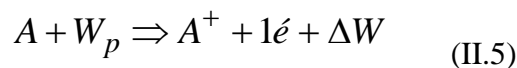
$\Delta W = W_c - W_i$ énergie supplémentaire cédée à l'électron libéré sous forme d'énergie cinétique.

C'est le processus d'ionisation le plus fréquent dans les gaz.

II.2.2. Photo-ionisation :

L'atome absorbe l'énergie d'un photon W_p

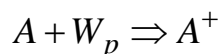
- Si $W_p \geq W_i \Rightarrow$ photo-ionisation



Avec :

$\Delta W = W_p - W_i$ Cédée à l'électron libéré sous forme d'énergie cinétique.

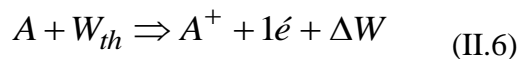
- Si W_p légèrement inférieure à $W_i \Rightarrow$ photo-excitation.



II.2.3. Ionisation thermique :

Lorsqu'un gaz est porté à une température élevée (> 1500 °K), l'atome est ionisé grâce à l'énergie thermique absorbée W_{th} .

- Si $W_{th} \geq W_i \Rightarrow$ ionisation



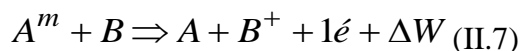
Avec :

$\Delta W = W_{th} - W_i$ Cédée à l'électron libéré.

L'ionisation thermique est rencontrée surtout dans les gaz à haute pression.

II.2.4. Ionisation par les atomes métastables :

Un métastable A^m est un atome excité qui garde assez longtemps l'énergie absorbée (de l'ordre de 1s). Lors de la rencontre avec un atome B , il peut se produire un transfert d'énergie qui permettra l'ionisation de ce dernier.



C'est le processus le moins fréquent.

II.3. Régime de décharges électrique :

Le graphe de la tension continue U inter-électrode planes-parallèles séparées par un gaz, en fonction du courant I traversant le gaz, relevé au moyen d'une source de courant approchée (transformateur HT en série avec une grande résistance et une diode) est présenté à la figure II.1, La figure représente l'allure générale des caractéristiques $U - I$ des décharges gazeuses, pour des pressions comprises entre 0.1 et 10 mm Hg. [2]

II.3.1 Caractéristiques tension courant entre deux électrodes planes

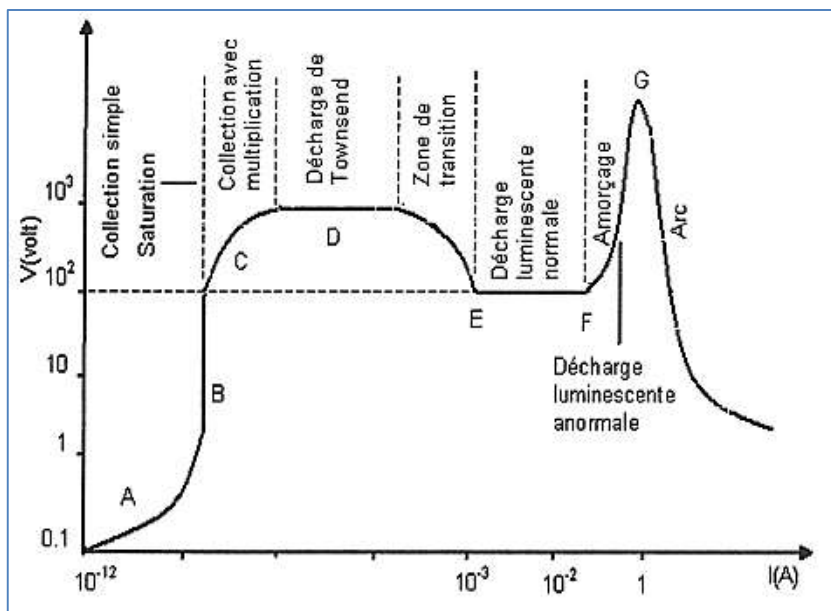


Figure II.1 : Régimes de décharge en courant-continu.

II.3.2. Régimes de la décharge

Le premier régime : correspond aux décharges non autonomes. La décharge ne peut exister qu'en présence d'un moyen extérieur, souvent une source lumineuse, assurant la production d'électrons primaires à la cathode par effet photoélectrique.

Le second régime : correspond à ce que l'on appelle *les décharges de Townsend*. Il est caractérisé par une croissance quasi-verticale du courant pour une valeur de tension appelée tension disruptive. Cette croissance correspond au passage d'un régime où la multiplication des électrons est principalement gouvernée par l'ionisation par impact d'électrons sur les molécules du gaz à un régime où l'essentiel de la multiplication est assuré par l'augmentation de flux d'électrons extrais par bombardement ionique de la cathode.

Le troisième régime : correspond aux décharges luminescentes. Ce type de décharge fonctionne selon les mêmes mécanismes que la décharge de Townsend mais caractérisé par de forts effets de la charge d'espace sous l'effet du champ électrique, les électrons se déplacent très rapidement et laissant les ions derrière eux.

Le quatrième régime : correspond du régime d'arc, appelé régime disruptive. Celui-ci caractérisé par une très faible tension de maintien (quelques dizaines de volts). Le maintien d'un régime d'arc impose également de fortes contraintes sur l'alimentation électrique qui doit pouvoir assurer la circulation de courants forts.

D'après cette caractéristique on peut dire qu'il y a deux types de décharges :

Décharge dépendante :

Une conduction électrique n'apparaît à champ électrique appliqué faible, que sous l'effet de radiations ionisantes (rayonnement cosmique, sources radioactives, rayons ionisants, etc.). Ce phénomène peut être constaté lorsqu'on trace avec tout le soin requis, et en tension continue, la caractéristique d'arc : $U=f(I)$ (voir figure II.1). On parle alors de décharge dépendante ou nom autonome caractérisée par l'absence de tout phénomène lumineux ($I = 10^{-10}$ A). [2]

Décharge indépendante :

Les conditions d'amorçage de la décharge disruptive dans un gaz sont liées au déclenchement du phénomène d'avalanche ionique issue de l'avalanche électronique. Le phénomène d'avalanche ionique se déclenche dès que le champ électrique appliqué à la molécule neutre entraîne un dépassement de la valeur du potentiel d'ionisation de cette molécule. Dans ce cas, on parlera de décharge indépendante ou autonome. [2]

II.4. Loi de Paschen :

Considérons une enceinte étanche remplie par un gaz, dans laquelle on peut varier la pression (figure II.2)

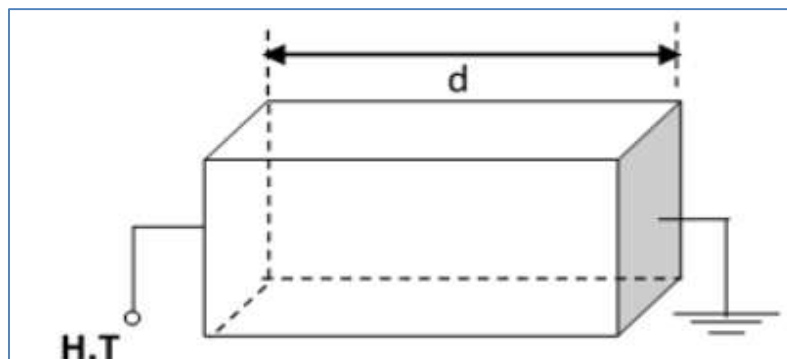


Figure II.2 : Enceinte remplie par un gaz

La loi de Paschen montre la variation de la tension critique avec le produit $P * d$ dans un champ uniforme (figure II.3)

U_c : Tension de claquage critique

P : Pression du gaz

d : Distance entre les électrodes

$U_{c\min}$: Tension minimale critique

Si $U < U_{c\min} \Rightarrow$ il n'y aura pas de claquage

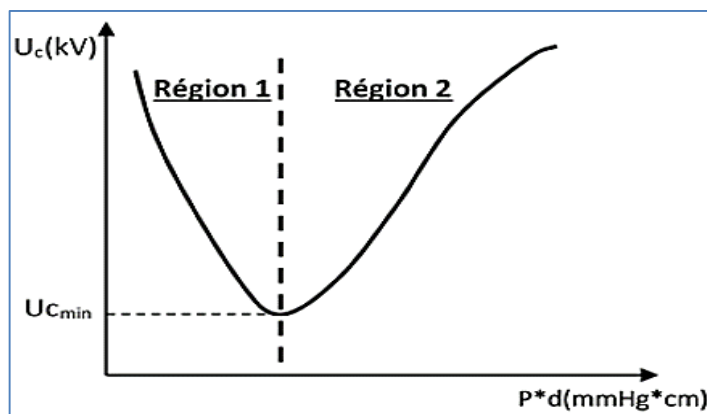


Figure II.3 : Courbe descriptive de Paschen

Région 1 :

U_c Diminue avec la pression P . À mesure que la pression augmente, la densité des atomes augmente. Il y a plus des particules et donc plus d'ionisation par collision. Le gaz devient plus conducteur et le claquage plus facile $\Rightarrow U_c$ diminue.

Région 2 :

U_c Augmente en fonction de la pression P . Lorsque la pression augmente davantage, bien que la probabilité d'ionisation par collision augmente, le libre parcours moyen λ si petit que l'énergie de l'électron $W = \int qE dr = qE\lambda$ nécessaire à l'ionisation atomique devient insuffisante. Presque pas d'ionisation et le claquage devient difficile $\Rightarrow U_c$ augmente.

II.5. Phénomène de l'avalanche :

Un électron primaire crée par ionisation grâce à des agents naturels tels que les rayonnements cosmiques et la radioactivité de la terre. L'électron primaire e_0 accéléré par le champ E entre en collision avec un atome A_1 et l'ionise, A_1 libère un électron et devient lui-même un ion positif.

Les électrons e_0 et e_1 ionisent par collision deux atomes A_2 et A_3 qui libèrent deux électrons e_2 et e_3 . La multiplication des électrons se poursuit jusqu'à ce que l'avalanche arrive à l'anode. (Figure II.4)

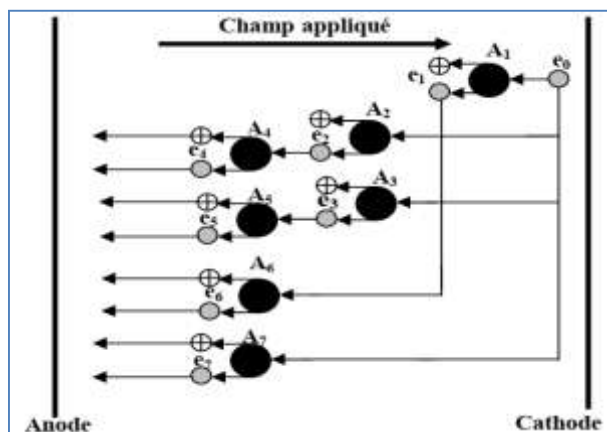


Figure II.4 : Schéma descriptif de l'avalanche électronique

Comme rappelé précédemment, les électrons jouent un rôle prépondérant dans la création et l'auto-entretien de la décharge. Durant le phénomène, les électrons sont produits soit par ionisation primaire (collisions électrons / molécules), soit par émission secondaire.

Ces deux mécanismes font intervenir deux coefficients essentiels pour notre étude.

- α appelé premier coefficient de Townsend
- γ appelé second coefficient de Townsend

Le phénomène d'avalanche se déroule en deux phases, chacune de ces phases est caractérisée par un coefficient dit coefficient de Townsend. Le nombre total des électrons libérés après la deuxième phase de multiplication électronique est exprimée par :

$$n = \frac{n_0 e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)} \quad (II.8)$$

II.6. Différents Mécanismes de claquage des isolants solides

II.6.1. Conduction électrique

II.6.1.1. Bandes d'énergie

Les propriétés de conduction électrique des matériaux solides peuvent être expliquées par leur structure électronique décrite par la théorie des bandes. La bande d'énergie associée aux électrons dans leur état fondamental est appelée bande de valence. Dans cette bande le mouvement des électrons est faible, ils sont donc fortement liés. Lorsque le matériau solide est mis sous une excitation élévation des champs, température...agitation, ces électrons bougent et peuvent franchir la bande interdite vers la bande de conduction.

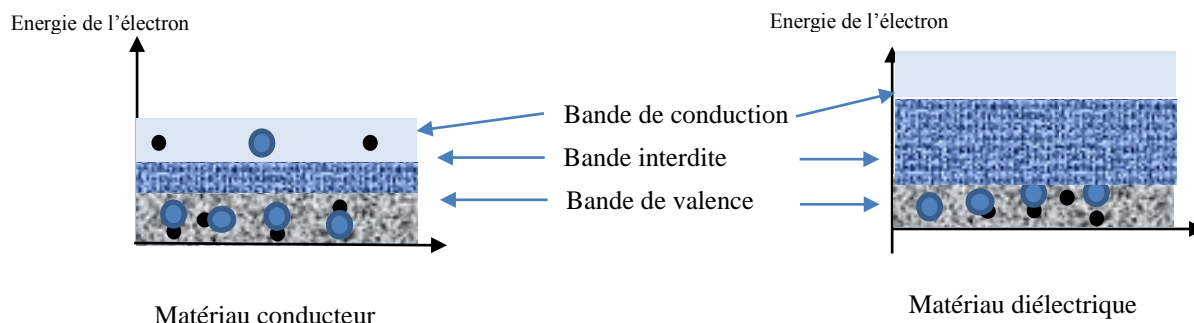


Figure II.5 : Diagramme représentatif des bandes d'énergie

II.6.1.2. Polarisation du solide

Le phénomène de polarisation correspond à l'apparition ou à l'orientation de moments dipolaires sous l'effet d'un champ électrique extérieur. Il se traduit soit par une séparation des barycentres des charges positives et négatives des atomes et molécules.

L'état de polarisation d'un matériau peut être quantifié par le vecteur polarisation \vec{P} , qui représente la densité volumique $d\vec{p}/dv$ de moments dipolaires $\vec{P} = q \cdot \vec{r}$, où q est la charge du type de dipôle concerné (molécule, chaîne moléculaire...) et r sa longueur. Ce phénomène de polarisation se manifeste selon quatre mécanismes :

- Polarisation électronique
- Polarisation ionique ou atomique
- Polarisation par orientation
- Polarisation inter-faciale
- Polarisation par charge d'espace

Durant la polarisation, les charges sont mises en mouvement mais ne peuvent jamais quitter la molécule. Par contre, la conduction est le déplacement des charges sur de grandes distances, qui se libèrent et quittent les particules.

L'intensité du champ E par la relation bien connue

$$D = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot E \quad (\text{II.9})$$

Où ε_0 et ε , sont respectivement, la permittivité du vide et du diélectrique, la permittivité relative du matériel diélectrique est donnée par

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \quad (\text{II.10})$$

$$D = \varepsilon_0 \cdot E + P \quad (\text{II.11})$$

Où p est la densité de charge partielle sur la surface diélectrique résultant de sa polarisation p .

II.6.1.3. Conduction dans les solides

L'application d'un champ entraîne d'abord une polarisation du diélectrique (si le matériau est polaire) et une séparation des charges intrinsèques positives et négatives, qui vont migrer et s'accumuler sur les électrodes de signes opposés.

La mesure du courant de conduction et son évolution en fonction du champ électrique appliqué présente une étape importante pour la caractérisation des matériaux diélectriques. En effet, l'apparition et l'évolution du courant de conduction sont souvent la principale cause d'une dégradation des propriétés diélectriques du matériau.

II.6.1.3.1. Conduction ohmique

La densité de courant circulant dans un matériau s'exprime en fonction du champ électrique par la loi d'Ohm :

$$j = \sigma \cdot E \quad (\text{II.12})$$

j étant la densité de courant (A/m²), E le champ électrique appliqué (V/m) et σ la conductivité du matériau (S/m). La conductivité est liée au déplacement des porteurs de charges intrinsèques libres dans le volume et s'exprime par :

$$\sigma = n_0 \cdot q \cdot \mu \quad (\text{II.13})$$

Où n_0 est la densité des porteurs de charge intrinsèques (m⁻³), μ est leur mobilité (m².V⁻¹.s⁻¹) et q est leur charge électrique (c).

II.6.1.3.2. Conduction électronique

La dissociation radiative et l'agitation thermique sont les deux processus essentiels de génération d'électrons de conduction dans un isolant solide. En effet, lorsqu'un porteur de charge acquiert une énergie suffisante, il peut quitter son environnement électronique créant ainsi une charge libre. Le courant mesuré dans le circuit extérieur est le résultat des effets de l'interface électrode/isolant et du volume. Cependant, ces deux processus sont découplés pour la description analytique de la conduction électrique dans les isolants solides qui est résulté de plusieurs effets, tel que l'effet Schottky.

L'effet Schottky est un phénomène caractérisé par l'émission d'électrons de l'électrode négative dans un diélectrique. L'injection Schottky correspond à une activation thermique

d'électrons à travers l'interface métal-isolant, l'expression du courant crée dans le solide est donné par l'équation suivante :

$$j = A.T^2 \cdot \exp\left(-\frac{\phi_0 - \beta_s \cdot \sqrt{E_{cat}}}{k.T}\right) \quad (\text{II.14})$$

$$\text{Et } \beta_s = \frac{q^{3/2}}{\sqrt{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}} \quad (\text{II.15})$$

où A est la constante de Richardson-Dushman, β_s la constante de Schottky, k la constante de Boltzman, T la température, E_{cat} le champ électrique à la cathode et ϕ_0 le travail de sortie du métal dans le vide.

II.6.1.3.3. Conduction ionique

L'origine et les mécanismes de génération des ions participant à la conduction électrique dans les matériaux isolants solides sont divers, les ions présents se déplacent dans le diélectrique par série de sauts au-dessus de la barrière de potentiel lui permettant de se mouvoir d'une région à une autre.

Sous l'action du champ électrique, un processus de diffusion peut avoir lieu et les ions générés vers le matériau circulent et contribuent aussi à la création des autres particules (ions).



Pour des champs forts ($> 10^7$ V/m), le courant total peut être donné par l'expression :

$$j = j_0 \cdot \exp\left(-\frac{\phi - qlE}{kT}\right) \quad (\text{II.17})$$

Lorsque le champ est faible $qlE \ll kT$; le courant peut s'écrire comme suit :

$$j = j_0 \frac{qlE}{kT} \quad (\text{II.18})$$

Avec, ϕ le potentiel, q la charge de la particule ou ion, l est la longueur parcourue par la charge.

II.6.2. Mécanismes de claquage des solides

Pour les appareils fonctionnant sous haute tension, le diélectrique est un élément délicat.

Trois mécanismes principaux décrivent la détérioration globale du diélectrique sous le champ électrique :

- Le vieillissement électrique
- La dégradation d'un matériel
- La rupture diélectrique

Ces mécanismes sont listés dans la figure II.6 selon le temps et le champ électrique auxquels ils peuvent avoir lieu.

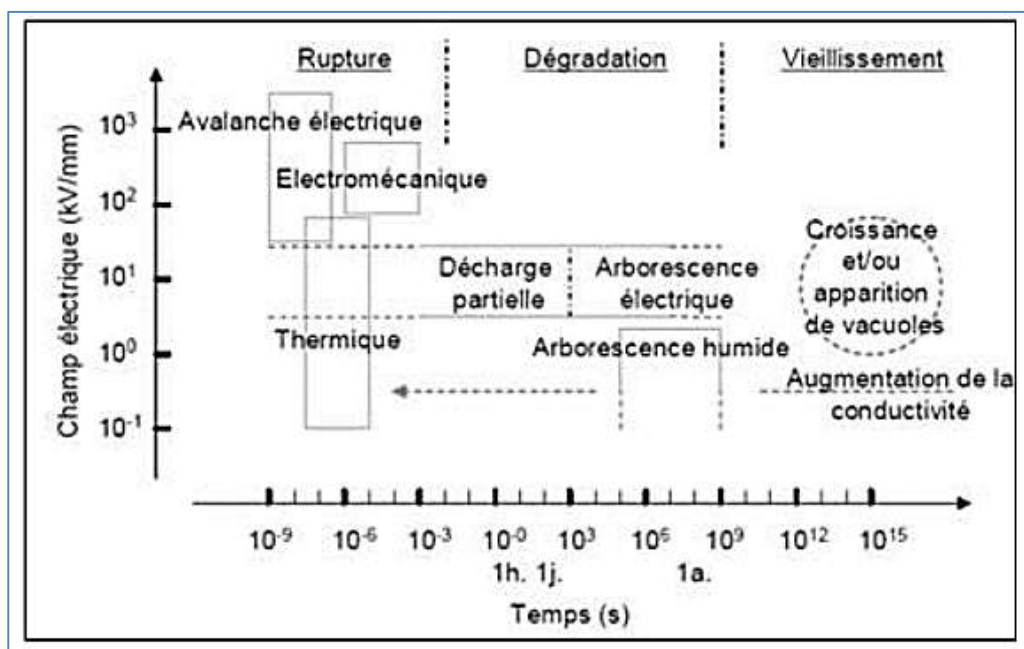


Figure II.6 : Différents Mécanismes de claquage

Le claquage est la perte subite de la propriété isolante d'un diélectrique soumis à un champ électrique, manifesté souvent comme une modification irréversible du diélectrique. Il est le fruit d'une série de processus complexes et interactifs. On peut différencier le claquage intrinsèque du matériau qui est lié à des phénomènes électroniques, thermiques ou mécaniques. La figure II.7 montre les différents types de claquage selon le temps d'application de la tension.

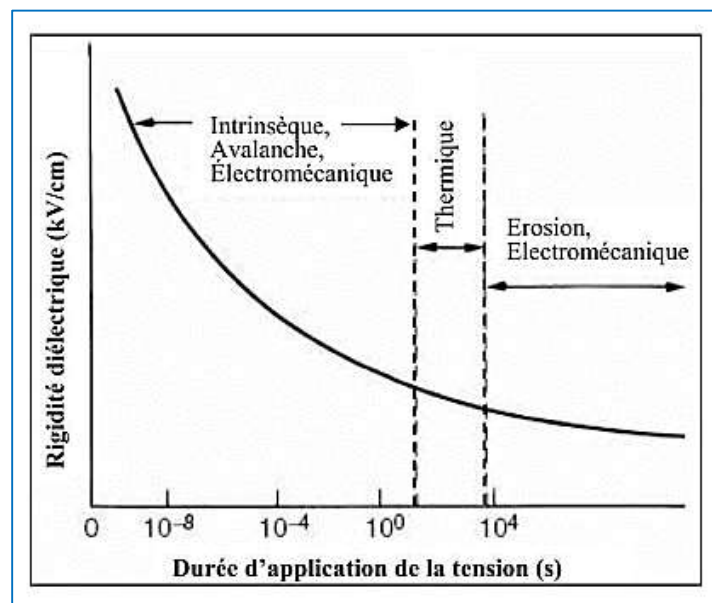


Figure II.7 : Différents type de claquage des isolants solides [7]

II.6.2.1. Claquage intrinsèque :

Ce type de claquage se déroule en avalanche comme aux gaz par collisions ionisantes produits des électrons de conduction, sous l'effet du champ électrique. Le déplacement des cavités vers la cathode crée des charges qui renforcent le champ électrique au voisinage de la cathode. Puis, on obtient une augmentation d'émission des électrons qui conduit à la détruit rapidement de l'isolation, dès que l'énergie moyenne acquise par les électrons est supérieure à celle dissipée dans le réseau, le claquage peut se produire.

II.6.2.2. Claquage par avalanche :

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). de sorte qu'on a alors deux électrons libres qui peuvent acquérir avec le champ assez d'énergie pour provoquer chacun une nouvelle collision ionisante donc deux électrons et ainsi de suite.

Le claquage est produit par des électrons présents dans le matériau dont l'origine peut être soit l'injection cathodique par effet tunnel, soit l'ionisation stimulée par l'effet Poole-Frenkel, ou encore les rayons cosmiques. La distribution d'énergie de ces électrons augmente avec le champ appliqué, et à partir d'une valeur critique de ce champ (rigidité diélectrique), des

électrons sont produits en nombre suffisant pour entraîner la destruction du réseau appelée claquage [15].

Pour produire une avalanche, il faut qu'un nombre suffisant d'électrons soit produit. Chaque ionisation produit 2 électrons, une avalanche de m générations donne 2^m électrons [smili]. La destruction du matériau par avalanche électronique nécessite 40 générations soit 2^{40} électrons ($\approx 10^{12}$).

II.6.2.3. Claquage thermique :

Les pertes diélectriques et par l'effet Joule provoquent un dégagement de chaleurs dans l'isolant. Lorsque la quantité de chaleur produite est supérieure à celle qui peut évacuer l'isolant, la température augmente, entraînant l'accroissement de la conduction et de la chaleur par l'effet Joule dans un processus d'instabilité thermique.

La circulation de ce courant, dans le matériau, a pour conséquence un transfert d'énergie qui chauffe le matériau. Cet échauffement doit être compensé par les pertes thermiques par conduction dans le matériau pour que l'équilibre soit conservé.

L'équilibre entre la dissipation thermique et l'énergie produite par le champ est décrit par l'équation suivante [13]:

$$\sigma \cdot E^2 - \rho \cdot C \cdot \frac{dT}{dt} = \Phi \quad (\text{II.19})$$

Ce bilan, L'énergie produite – l'énergie stockée = l'énergie dissipée peut donner la quantité de la perte d'énergie dans le matériau solide, Avec ;

$\sigma \cdot E$; C'est l'énergie produite par effet joule.

Φ ; L'énergie dissipée vers le milieu extérieur (évacuée).

$\rho \cdot C$; La chaleur stockée dans le matériau solide.

σ ; Conductivité électrique du matériau.

E ; Champ électrique appliqué au matériau solide.

C , ρ , sont respectivement la chaleur spécifique et la masse volumique du matériau ou bien la résistivité .

$\frac{dT}{dt}$; Variation de la température en fonction du temps.

Il résulte une augmentation de la température de l'isolant par rapport au milieu ambiant qui produit la dégradation de l'isolant. Le mécanisme se déroule en temps relativement long de l'ordre de la seconde. [12]. Le claquage thermique est favorisé des conditions défavorables d'évacuation de la chaleur.

On peut démontrer que la tension de claquage thermique est reliée à la fréquence f par l'expression :

$$U_c = \frac{c}{\sqrt{f}} \quad (\text{II.20})$$

c : étant une constante.

II.6.2.4. Claquage électromécanique :

Sous l'action d'un champ électrique E , un matériau de permittivité ρ est soumis à une pression qui a tendance à rapprocher les électrodes et donc d'exercer une contrainte de compression, sur le matériau.

Graton et Stark explique le mécanisme du claquage électromécanique qui est dû à l'effort électrostatique qui tend à rapprocher deux électrodes entre les quelles est appliquée une différence de potentiel. Cet effort comprime l'isolant solide placé entre les deux électrodes et provoque une diminution de son épaisseur.

La contrainte mécanique vibrationnelle sera mise en place dans un matériau isolant solide soumis à une contrainte de décharge partielle dans des conditions normales, en raison de l'interaction de la charge piégée dans la matrice solide à partir de la décharge interagissant avec l'application du champ électrique en AC.

De plus, les particules chargées piégées de polarité similaire seront repoussées les unes des autres et des charges dissemblables attirées les unes vers les autres, ce qui entraînera à nouveau une contrainte mécanique locale dans la matrice solide.

Il y aura également une contrainte mécanique résultant de l'impact de particules plus grosses à la surface de décharge en fonction du nombre de masse et des vitesses de collision de ces particules.[14, 15]

II.6.2.5. Claquage par Décharges partielles :

Il est connu depuis de nombreuses années que les décharges partielles affectent gravement les isolants solides. Elles prennent naissance aux bords des électrodes ou dans des

inclusions ou cavités gazeuses que peut renfermer le matériau dès que la tension appliquée atteint la tension seuil correspondant au minimum de Paschen du gaz en présence (air ou autres). Entraînant la dégradation des matériaux voire sa défaillance, à la suite de l'un des processus suivants :

- Propagation à travers le matériau de canaux microscopiques (arborescence)
- Echauffement cumulatif par les décharges
- Cheminement superficiel ou contournement.

Le mécanisme est tel que l'énergie libérée augmente avec la longueur du canal. Ainsi, la profondeur critique du creux est atteinte quand l'énergie libérée est suffisante pour causer la destruction rapide du matériau. Il arrive que la chaleur libérée par la décharge soit suffisante pour carboniser le canal, donc le court-circuiter et empêcher ainsi d'autres claquages. Ce cas est plus fréquent dans les isolations à papier imprégné que dans les matériaux plastiques [16].

II.7. Conclusion

Tout en décrivant les propriétés diélectriques et autres de divers matériaux isolants, leur application pour divers appareils électriques a également été mentionnée dans les paragraphes précédents. Cependant, un processus d'ionisation et de conduction dans ces matériaux peut se conduire à leur claquage ou vieillissement.

Chapitre III

Décharges partielles –Analyse et contrôle–

III.1. Introduction

Les matériaux diélectriques ne sont jamais parfait, ils comportent toujours des inclusions de particules étrangères et de vacuoles gazeuses, qui peuvent apparaître à l'issue du processus de fabrication. Ces microcavités diminuent les performances de l'isolant et sont le siège des micro-décharges. La décharge dans ce cas n'est pas entière à travers l'isolant mais elle dite partielle.

Dans ce chapitre, nous avons présenté une analyse de décharge partielle, leurs caractérisations et leurs techniques de détection et de mesure.

III.2. Définition

Une décharge partielle est une décharge électrique se développe sur une partie seulement de l'intervalle isolant soumis à la tension.

En pratique, une décharge partielle se produit dans les cavités ou les fissures qui existent à l'intérieur d'un isolant solide, ou dans les bulles d'un isolant liquide.

D'après La commission d'Électrotechnique Internationale N° 270 : « une décharge partielle est une décharge électrique dont le trajet se développe sur une partie seulement de l'intervalle isolant séparant deux conducteurs » [14].

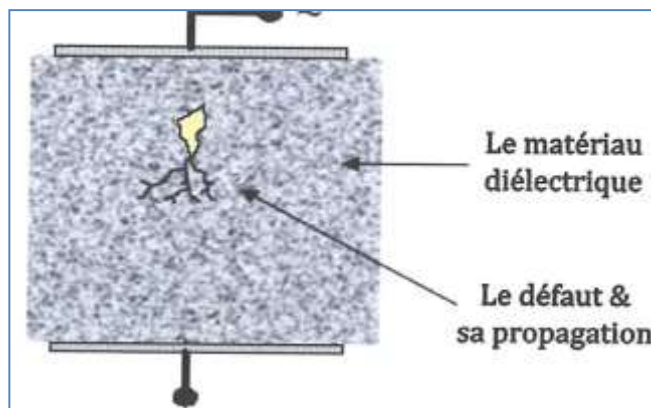


Figure III.1 : Décharge partielle dans un diélectrique

III.3. Naissance des décharges partielle

Par leurs dimensions, leur pression et les contraintes de tension auxquelles sont soumises les cavités sont telles, que conformément à la loi de paschen, des décharges y prennent naissance créant parfois des perturbations sur les circuits électroniques avoisinants et

contribuant surtout à la détérioration plus ou moins lente de l'isolant. La mise en court-circuit, par une décharge, d'une vacuole dans une isolation, donne naissance à un certain nombre de phénomènes physiques dus à la transformation de l'énergie électrique fournie en énergie thermique, lumineuse et acoustique [14].

III.4. Classification

Les décharges partielles peuvent être classées en fonction de leur emplacement dans l'isolant comme le montre la figure ci-dessous.

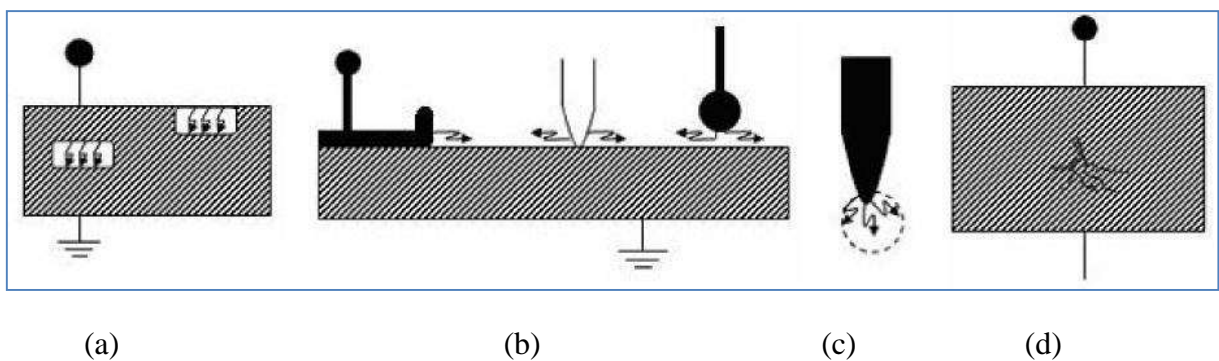


Figure III.2 : Types des décharges partielles : a : interne, b : de surface, c : couronne, d : en arborescence.

- 1. Décharges internes :** elles prennent naissance en des endroits du diélectrique où la rigidité diélectrique est faible, comme une cavité dans un solide ou une bulle dans un liquide (Figure III.2.a). [15]
- 2. Décharges de surface :** Elles se manifestent lorsqu'un champ tangentiel important existe à la surface d'un diélectrique (Figure III.2.b). [15]
- 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 III.2.c). [16]
- 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'autre DP (Figure III.2.d). [16]

III.5. Récurrence des décharges partielles

III.5.1. Décharges internes

Le comportement des décharges internes peut être présenté par le circuit équivalent composé de 3 condensateurs notés a, b et c (Figure III.3).

c : la capacité de la cavité, qui est en parallèle avec un éclateur. Lorsque la tension de claquage de la cavité est atteinte, l'éclateur se met en court-circuit.

b : la capacité du diélectrique sans DP en série avec la cavité.

a : la capacité équivalente de l'isolant en parallèle avec a et b. Cette capacité correspond à la partie saine de l'isolant.

V_a : la tension appliquée aux bornes du diélectrique.

V_c : la tension aux bornes de la cavité.

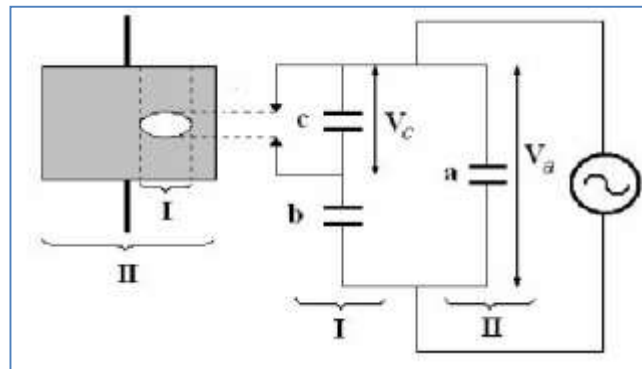


Figure III.3 : Modèle classique des capacités équivalentes d'un diélectrique avec une cavité interne.

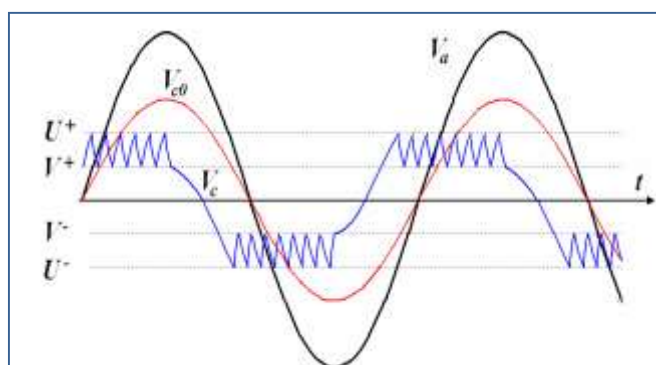


Figure III.4 : Récurrence des décharges partielles dans une cavité

Dans l'hypothèse où il n'y a pas de claquage dans le condensateur c, si une tension alternative V_a est appliquée sur le diélectrique, une tension V_{c0} apparaît à travers la cavité.

$$V_{c0} = \frac{b}{c+b} V_a \quad (\text{III.1})$$

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. 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. 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 (quelques nanosecondes) dans l'échantillon et le circuit externe (Figure III.4)

Le courbe de paschen permet de déterminer la tension d'apparition des décharges dans une cavité en fonction du produit pression du gaz occlus dans la cavité distance inter-électrodes[17].

III.5.2. Décharges couronne

En configuration pointe-plan des décharges de types couronnes peuvent se produire. Leurs signatures diffèrent de celles dans les cavités. Le circuit équivalent d'une décharge couronne est présenté par la Figure III.5. Lorsque la tension appliquée V_a dépasse une certaine valeur critique U^+ (seuil d'apparition des décharges), l'ionisation se produit et le phénomène de décharge couronne se manifeste. Ceci se répète jusqu'à ce que la tension appliquée V_a deviennent inférieure au seuil de décharge V^+ (Figure III.6). [17]

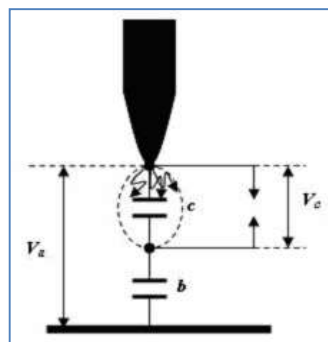


Figure III.5 : Circuit équivalent de décharge couronne

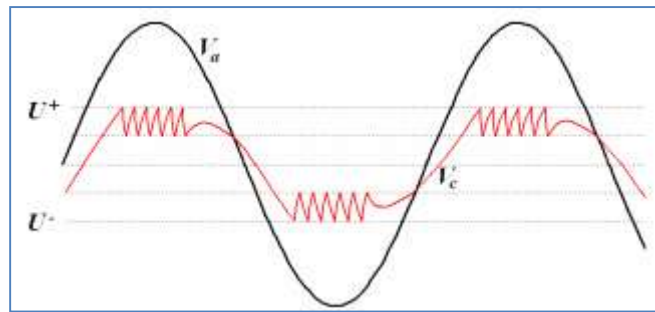


Figure III.6 : Récurrence des décharges couronnes.

III.6. 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. 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.

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.

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 liquide, la présence de bulles de gaz ou de gaz sous forme de couche à une frontière solide/liquide, 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[18].

III.7. Effet des décharges partielles

La présence de décharge partielle 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.

La décharge partielle est souvent accompagnée par des effets :

- ☞ D'une génération de gaz (formation de cavités dans le solide), de nouvelles espèces atomiques et moléculaires excitées.
- ☞ Elles produisent également une 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 [19].

III.8. Caractérisation électrique des décharges partielles

III.8 .1. Décharge partielle dans une cavité

La modélisation électrique d'une décharge partielle dans une cavité au sein d'un isolant peut se traduire en utilisant un schéma équivalent de capacités. La cavité peut-être modélisée par la capacité C_c , la partie du diélectrique entourant la cavité par la capacité C_b en série avec C_c et la partie sans défaut du di électrique sera représentée par la capacité C_a en parallèle de l'autre branche, comme le montre sur la figure suivante :

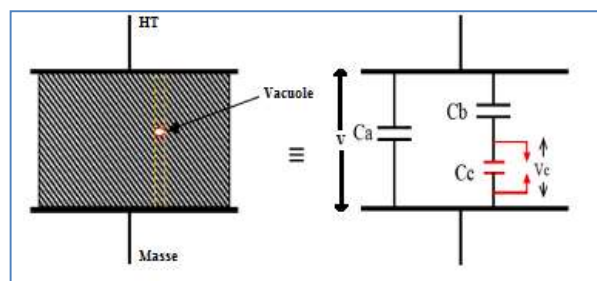


Figure III.7 : schéma équivalent d'une décharge partielle dans une cavité.

La rigidité diélectrique de l'air contenu dans la vacuole étant plus faible que la rigidité diélectrique de l'isolant solide, la tension d'apparition des décharges partielles (V_c) est atteinte lorsque le champ dans la cavité atteint la valeur du champ disruptif de l'air, qui est inférieure à celui de l'isolant qui l'englobe.

En supposant la cavité remplie de gaz, le champ aux bornes de la cavité modélisée par la capacité C_c peut alors être exprimé par :

$$E_c = \varepsilon_r \cdot E_b \quad (III.2)$$

Sur la figure III.8 est représentée l'évolution des différentes tensions et courant de décharge :

- La tension aux bornes de l'isolant appelé $V(t)$ (sinusoïdale dans ce cas).
- La tension aux bornes de la vacuole si aucun amorçage n'apparait (notée $V_c(t)$). Cette tension est obtenue comme étant une propagation de $V(t)$ (diviseur de tension en alternatif).
- La tension réelle aux bornes de la vacuole notée ($V_c'(t)$).

Lorsque la tension V_c' atteint la tension d'amorçage (noté U_z) nous voyons l'apparition d'une décharge partielle, dont l'intensité du courant est représentée par $I_c(t)$.

A l'amorçage de la décharge la tension de la vacuole chutera à une valeur correspondant à une tension d'extinction de la décharge avant de ré-augmenter à nouveau par la suite. Généralement, cette décharge ne durera que $0.1\mu s$ environ avant de s'éteindre et réapparaîtra lorsque la tension à ses bornes atteindra U_z de nouveau [20].

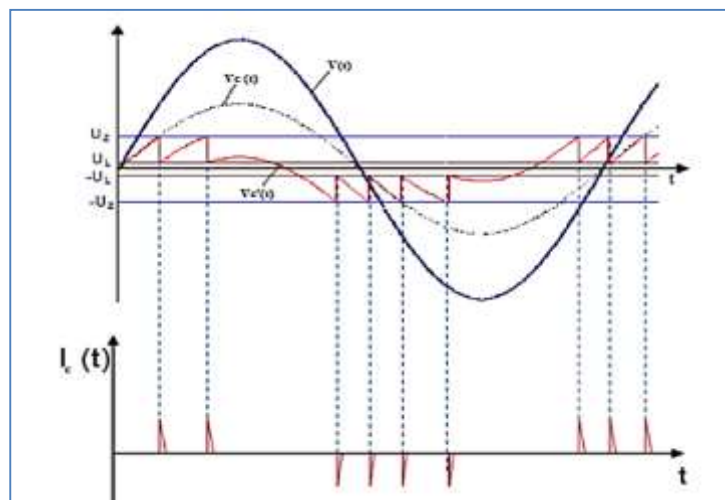


Figure III.8 : Évolution de la tension et du courant aux bornes d'une vacuole durant une décharge partielle.

III.8.2. Décharge couronne

La décharge couronne est une décharge partielle qui apparaît entre deux électrodes fortement asymétriques plongées dans un intervalle gazeux et entre lesquelles est imposé un champ hétérogène. Ces décharges existent pour des valeurs de pression allant de quelques millibars à quelques bars.

Une des caractéristiques principales de ce type de décharge est de présenter un renforcement géométrique du champ électrique (effet de pointe). De ce fait, ce type de décharge est susceptible de se produire sur tout élément alimenté électriquement et présentant une électrode ayant un rayon de courbure suffisamment faible.

Sur la figure III.9 une représentation schématique d'une telle géométrie est proposée. Il s'agit d'une configuration pointe (dont l'extrémité est représentée ici par une demi-ellipse)/plan. Une description qualitative de la distribution du champ électrique sur l'axe de symétrie du système considéré est aussi donnée.

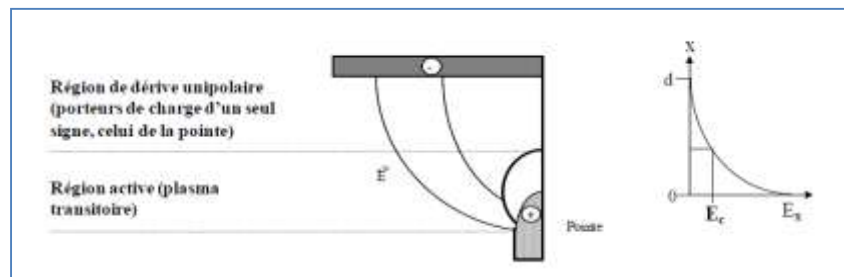


Figure III.9 : Évolution spatiale du champ électrique lors d'une décharge couronne.

Dans la zone de fort champ électrique, l'interaction entre le rayonnement cosmique et l'atmosphère permet la production d'électron germes (environ 10^6 par m^3 dans l'air à pression atmosphérique).

Dans la zone de champ faible, la valeur du champ électrique n'est pas suffisamment élevée pour que l'énergie des électrons excède le potentiel d'ionisation du gaz et de ce fait les phénomènes d'ionisation n'interviennent plus.

Le régime de décharge est grandement dépendant de la polarité des électrodes. Dans le cas de géométries pointe/plan, il faut prendre en compte la polarité de l'électrode pointe [20].

III.9. Calcul du champ électrique en tension alternative à l'intérieur d'une isolation à deux composants homogènes

Pour calculer la répartition des champs électriques en tension alternative dans une isolation à deux composants homogènes supposés sans pertes et non ionisés on peut recourir au schéma de la figure III.10. [2].

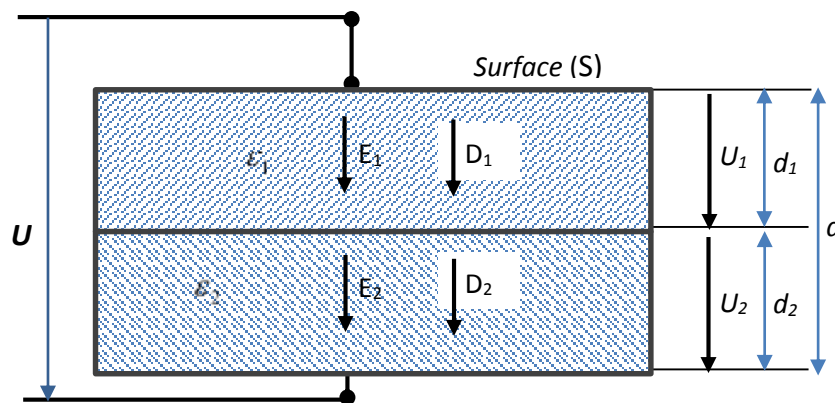


Figure III.10. Schéma représentatif d'un diélectrique à deux composants

L'hypothèse faite sur l'absence de pertes diélectriques, donc l'absence de conductivité, on est conduit à utiliser un schéma équivalent du diélectrique purement capacitif (ce qui permet de passer des tensions complexes aux valeurs efficaces des tensions) [2].

À partir de l'hypothèse de continuité du vecteur déplacement électrique orthogonal à la surface diélectrique, que les vecteurs de déplacement électrique dans les isolants sont égaux

$$D_1 = D_2 \quad (III.3)$$

Le théorème de Gauss permet de démontrer que les charges sur la frontière des diélectriques sont égales.

$$\alpha = \frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{\epsilon_1 \cdot d_1}{\epsilon_2 \cdot d_2} \quad (III.4)$$

D'où :

$$U = U_1 + U_2 = U_1 \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right) = U_2 (1 + \alpha) \quad (III.5)$$

En utilisant les équations (III.4) et (III.5) on trouve les champs électriques dans chaque isolant :

$$E_1 = \frac{U_1}{d_1} = \frac{U}{d_1 \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right)} = U \frac{\epsilon_2}{d_1 \epsilon_2 + d_2 \epsilon_1} = \frac{U}{d} \frac{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}}{\frac{d_1}{d} \left(\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - 1 \right) + 1} \text{ V/m} \quad (III.6)$$

$$E_2 = \frac{U_2}{d_2} = \frac{U}{d_1(1+\alpha)} = U \frac{\epsilon_1}{d_1\epsilon_2 + d_2\epsilon_1} = \frac{U}{d} \frac{1}{\frac{d_1}{d} \left(\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - 1 \right) + 1} \text{ V/m} \quad (\text{III.7})$$

III.10. Détermination de la tension aux bornes de la cavité

La mesure électrique directe des décharges partielles n'étant pas possible simplement, étant donné qu'elles sont internes à l'isolant, on s'intéresse à calculer les effets électriques vus de l'extérieur de l'isolant et dus à celles-ci.

Pour faire ce calcul on recourt à un schéma équivalent simplifié ne comportant qu'une vacuole.

Lorsqu'une tension U suffisante, est atteinte aux bornes du diélectrique, une décharge disruptive apparaît dans la cavité ($E_C = E_d \text{ gaz}$).

On a :

La capacité de la cavité gazeuse est exprimée par

$$C_{\text{cavité}} = C_c = \epsilon_0 \cdot \frac{S}{d} \quad (\text{III.8})$$

La capacité du reste du diélectrique est exprimée par

$$C_{d-d_1} = C_{\text{dié}} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \frac{S}{(d - d_1)} \quad (\text{III.9})$$

$$C_{T\text{dié}} = \frac{C_c \cdot C_{\text{dié}}}{C_c + C_{\text{dié}}} \quad (\text{III.10})$$

Pour l'impédance totale ; $Z_T = Z_{\text{diel}} + Z_{C_c}$

Et la tension d'alimentation sur laquelle est soumise le diélectrique solide vaut ;

$$U = I \cdot Z_{\text{diel}} + I \cdot Z_{C_c} = I \cdot (Z_{\text{diel}} + Z_{C_c}) = I \cdot Z_T \quad (\text{III.11})$$

$$Z_T = Z_{\text{diel}} + Z_{C_c} = \frac{j}{\omega C_{\text{dié}}} + \frac{j}{\omega C_c} = j \frac{1}{\omega C_{\text{dié}}} + \frac{1}{\omega C_c}$$

$$Z_T = \frac{-j}{\omega} \left(\frac{1}{C_{\text{dié}}} + \frac{1}{C_c} \right) = \frac{-j}{\omega \cdot C_T} \Rightarrow \frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_{\text{dié}}} + \frac{1}{C_c}$$

Ce qui permet d'exprimer la capacité totale

$$\Rightarrow C_T = \frac{C_{dié} \cdot C_C}{C_{dié} + C_C}$$

En appliquant le diviseur de tension pour déterminer les tensions aux bornes de chaque capacité (cavité et diélectrique).

$$U = Z_T \cdot I \quad (III.12)$$

$$U_C = Z_{C_C} \cdot I \quad (III.13)$$

$$U_{dié} = Z_{dié} \cdot I \quad (III.14)$$

De l'équation (III.12) et (III.13) on trouve que :

$$\Rightarrow \frac{U}{U_C} = \frac{Z_T}{Z_{C_C}} = \frac{\frac{-j}{\omega \cdot C_T}}{\frac{-j}{\omega \cdot C_C}} = \frac{1}{C_T} \cdot \frac{C_C}{1} = \frac{C_C}{C_T}$$

$$\Rightarrow U_C = U \cdot \frac{C_T}{C_C} = \frac{C_{dié} \cdot C_C}{C_{dié} + C_C} \cdot U \cdot \frac{1}{C_C} = U \cdot \frac{C_{dié}}{C_{dié} + C_C} \quad (III.15)$$

Alors on aura la tension de la cavité ;

$$U_C = U_{cavité} = U \cdot \frac{C_{dié}}{C_{dié} + C_C} \quad (III.16)$$

Remplaçons les équations (III.8 ,9 et 10) dans l'équation III.16 on trouve ;

$$U_C = U \cdot \frac{C_{dié}}{C_{dié} + C_C} = U \cdot \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \frac{S}{d-d_1}}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \frac{S}{d-d_1} + \epsilon_0 \cdot \frac{S}{d_1}} = U \cdot \frac{\frac{\epsilon_r}{d \cdot d_1}}{\frac{\epsilon_r}{d-d_1} + \frac{1}{d_1}} = \frac{U}{1 + \frac{1}{\epsilon_r} \left(\frac{d}{d_1} - 1 \right)}$$

$$U_C = \frac{U}{1 + \frac{1}{\epsilon_r} \left(\frac{d}{d_1} - 1 \right)} \quad (III.17)$$

Cette dernière expression nous a permis de déterminer le champ électrique appliqué à la cavité gazeuse E_c :

$$E_c = \frac{U_C}{d_1} \quad (III.18)$$

III.11. Méthode de détection et de mesure des décharges partielles

Le phénomène de DPs peut être limité lors de la fabrication de l'équipement par sa conception et par la qualité des matériaux utilisés. L'absence de décharge partielle peut être vérifiée par des méthodes de détection, aussi bien pendant la fabrication que pendant la durée de vie de l'installation.

La prévention des décharges partielles constitue donc un enjeu capital pour les industries électriques en vue d'assurer un service de qualité sur le long terme.

Les différentes techniques qui peuvent être appliquées, directement ou indirectement, pour déterminer la présence d'une activité de décharge partielle et la caractériser sont décrites comme suite :

III.11.1. Détection électrique

La détection électrique de l'activité des décharges partielles relève de trois approches distinctes :

- ☞ mesure de chaque impulsion de décharge individuelle
- ☞ mesure de la perte totale intégrée dans le système d'isolation due à l'activité de décharge
- ☞ mesure des effets du champ électromagnétique associés à l'activité de décharge à l'aide d'antennes et de sondes à condensateur.

III.11.1.1. Mesure individuelle des impulsions de décharge

Il existe deux grandes approches pour effectuer ce type de mesure, c'est-à-dire la connexion d'un transformateur de courant à pince (TC) à la bande neutre de l'élément de l'installation et la transmission de la sortie à un oscilloscope ou un instrument d'enregistrement similaire.

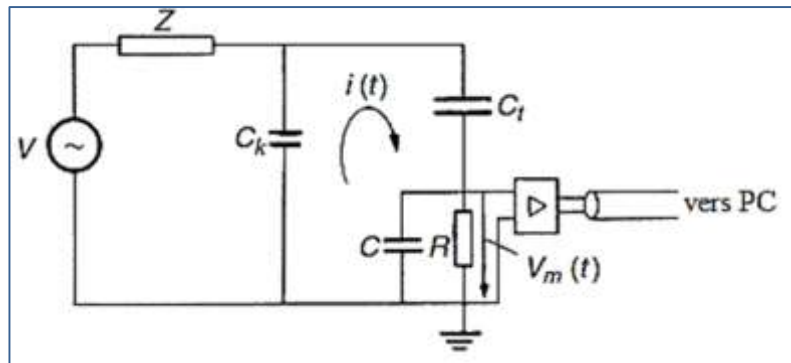


Figure III.11. Mesure directe des DP

La deuxième approche consiste à connecter les transducteurs de décharge aux bornes haute tension de l'élément de l'installation, par ex. les bornes de phase individuelles d'un moteur, à leur tour. Typiquement, ce transducteur de décharge consiste en un condensateur haute tension sans décharge connecté à un circuit d'impédance basse tension (RC ou RLC) qui à son tour est connecté à un oscilloscope ou un instrument similaire [12,22].

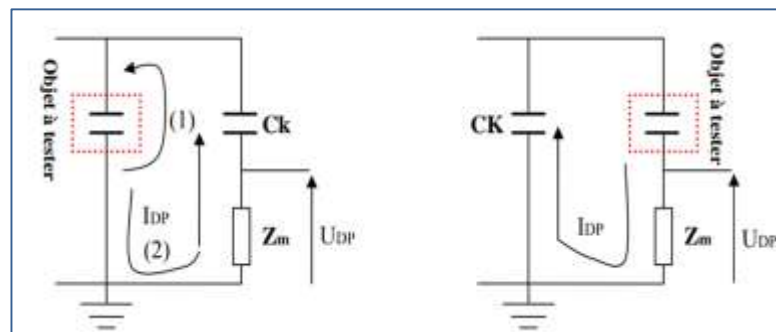


Figure III.12 : Les deux montages possibles pour la mesure des DP.

L'appareil en essai peut être un condensateur, un transformateur, un câble, un moteur électrique ou tout autre appareil soumis à un fonctionnement sous tension électrique. [21]

III.11.1.2. Mesure par Analyse de la séquence d'impulsions

En plus de fournir des modèles statistiques d'activité à partir des données de DP acquises, par ex. φ -q-n, un événement PD donné se termine lorsque la tension locale chute en dessous d'une certaine valeur critique. Bien que cela puisse être purement fonction du champ électrique macroscopique externe, il est beaucoup plus probable qu'il soit dû à une combinaison de ce champ macroscopique et du champ local au voisinage de l'événement DP en raison d'effets de charge d'espace ou de surface.

III.11.1.3. Étalonnage – un mot d'avertissement

Étant donné que le calibrage de l'appareil de est fonction des paramètres diélectriques de l'objet, il est nécessaire de calibrer chaque fois que l'objet change. Les étapes d'étalonnage et de mesure de l'instrument sont les suivant :

- Etalonnage de l'appareil de mesure d'amplitude de décharges au moyen du générateur auxiliaire calibré (5, 50, 500, 5000 p C) : U alimentations = 0V ;
- Mesure de l'amplitude des décharges : q.

La charge q d'une décharge partielle est la charge qui, si elle était injectée Instantanément entre les bornes de l'objet en essai, changerait momentanément la tension entre ses bornes de la même qualité que la décharge partielle elle-même.

Essentiellement, pour étalonner un détecteur de décharge partielle d'événement individuel, une impulsion de simulation de décharge d'amplitude connue (l'impulsion d'étalonnage) est injectée dans le détecteur au point où l'impulsion de décharge réelle entre dans le détecteur. En utilisant cette stratégie, quelles que soient les caractéristiques individuelles du détecteur, cependant ces caractéristiques modifient l'impulsion PD, elles modifieront également l'impulsion d'étalonnage exactement de la même manière.

III.11.2. Analyse du bruit et des ondelettes

Comme indiqué précédemment, la détection électrique des DP peut être affectée – parfois gravement – par diverses formes de bruit, les mesures sur le terrain étant rendues inefficace ou gravement compromis.

Depuis son introduction dans les applications pratiques au milieu des années 1980, en tant qu'outil puissant pour l'analyse et le traitement du signal, l'analyse par ondelettes a été de plus en plus appliquée pour résoudre des problèmes d'ingénierie. Essentiellement, la technique permet à l'utilisateur d'obtenir des informations bidimensionnelles sur les impulsions PD dans le domaine temporel et fréquentiel, et d'extraire les caractéristiques des impulsions PD dans les données de mesure. Par un choix judicieux de transformée en ondelettes, idéalement couplée à une compréhension claire des caractéristiques du détecteur de DP.

Le bruit d'interférence radio généré par les décharges partielles est reconnu depuis les années 1920. À l'aide d'une gamme d'antennes différentes, des tentatives ont été faites pour quantifier et caractériser le bruit produit par les décharges partielles – en particulier couronne associée aux lignes aériennes et aux isolateurs.

Les décharges partielles produisent un bruit acoustique, comme le confirme quiconque a écouté le bruit de crépitement dans les sous-stations électriques. Bien que des systèmes de microphones directionnels aient été utilisés pour détecter les décharges partielles de leurs émissions acoustiques en suspension dans l'air. La détection acoustique a connu beaucoup plus de succès et une application plus large grâce à l'utilisation de capteurs piézoélectriques

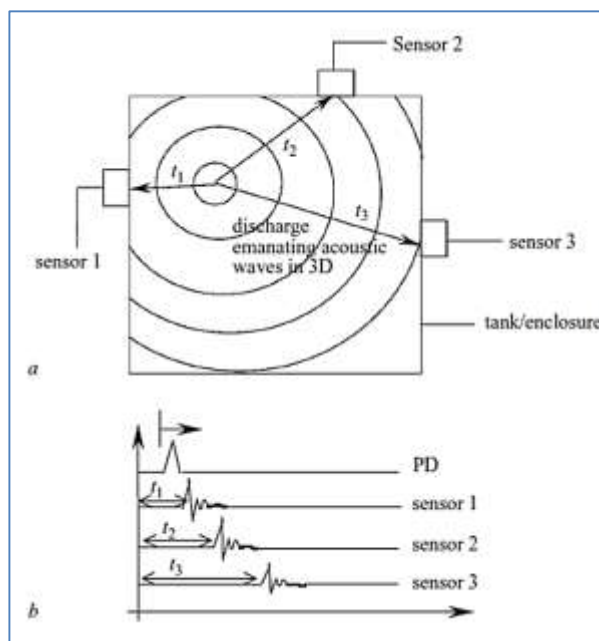


Figure III.13 : a/ Émissions acoustiques de décharges partielles arrivant à des moments différents sur chaque capteur en fonction de la distance à la source, b/ Arrivée des impulsions au détecteur à des moments différents selon la distance parcourue [12].

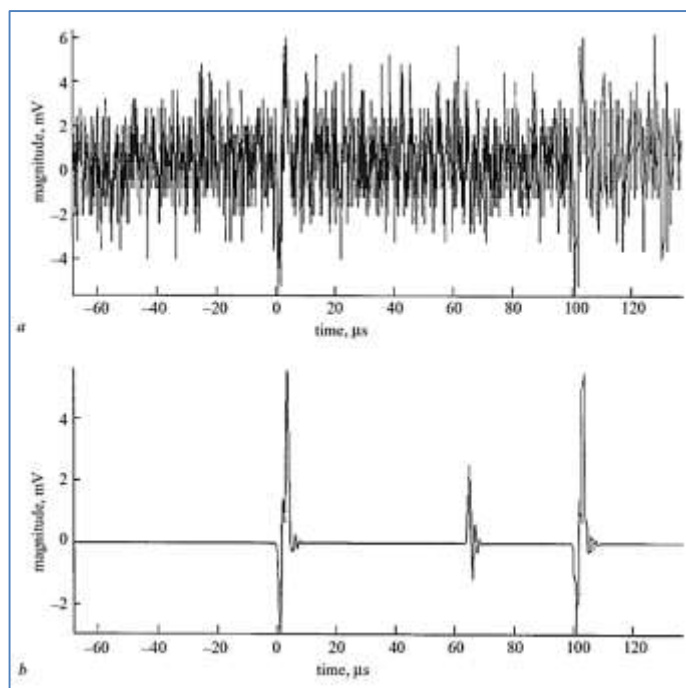


Figure III.14 : Mesure de DP en présence de bruit
a/ Données brutes, activité DP et bruit superposés
b/ Données traitées pour montrer l'activité PD [12].

III.11.3. Mesure par caméra thermographique

Etant donné que les décharges partielles sont généralement plus chaudes que leurs milieux environnants, on pourrait raisonnablement penser que la caméra thermique pourrait être appliquée dans leur détection et leur mesure. Malheureusement, la plupart des décharges partielles sont enfermées d'une manière ou d'une autre, par ex. à l'intérieur d'une isolation solide ou à l'intérieur d'enceintes revêtues de métal. Compte tenu des températures relativement basses des décharges partielles et des impédances thermiques élevées susceptibles d'exister entre ces décharges et la caméra d'imagerie, son utilisation est très limitée dans cette application.

III.11.4. Détection chimique

Les techniques chimiques reposent sur la mesure des sous-produits associés à l'activité PD et donc à partir desquels l'activité PD peut être déduite. Cela nécessite nécessairement que ces sous-produits puissent être détectés d'une manière ou d'une autre.

Bien que la détection chimique ait été appliquée à divers éléments d'installation impliquant une circulation de gaz. Sous-stations isolées au gaz, c'est principalement dans les équipements remplis d'huile que la détection chimique a trouvé la faveur.

Sous l'action des décharges partielles, l'huile se dégradera par scission de liaison pour former des gaz caractéristiques absorbés dans l'huile.

III.12. Conclusion

Les décharges partielles sont en général une conséquence de concentrations de contraintes électriques locales dans l'isolant ou à la surface de l'isolant.

La détection et la mesure des décharges sont basées sur l'échange d'énergie qui a lieu pendant la décharge. Ces échanges se manifestent comme : courants électriques pulsés, rayonnement (lumière), bruit et réactions chimiques.

Conclusion générale

Conclusion générale

Durant ce projet d'approfondir nos connaissances pour la caractérisation des décharges électrique tel que leur développement, causes et conséquence sur les matériaux isolants.

Avec une demande toujours croissante d'énergie électrique, le système électrique croît à la fois en taille et en complexité. Les capacités de production des centrales électriques et la tension de transmission sont en augmentation ce qui provoque le vieillissent des isolants progressivement.

Le corps isolant peut contenir des particules d'impuretés ou des vides de gaz (plastique, verre ou papier...) dans ce cas, l'intensité du champ à l'intérieur du vide est susceptible de différer de celle à l'extérieur en fonction des permittivités relatives du diélectrique et du vide.

La décharge partielle (DP) est une décharge électrique localisée qui ne comble que partiellement l'isolation entre les conducteurs et qui peut ou non se produire à côté d'un conducteur

L'importance des décharges partielles sur la durée de vie de l'isolation est reconnue depuis longtemps. Chaque événement de décharge provoque une détérioration du matériau par l'impact énergétique d'électrons à haute énergie ou d'ions accélérés.

Plusieurs méthodes de détection des DPs sont exposées et basées sur soit l'apparition d'une «impulsion de DP (courant ou tension)» aux bornes d'un objet à tester, soit à une détection acoustique ou à une détection thermographique

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Remadnia M., « Les matériaux diélectriques », Chapitre 3, université de Guelma, 2021.
- [2] Aguet M, Lanoz M., « traité de l'électricité, Haute tension volume IIV », Edition : PPUR, 2001.
- [3] George J M., « Verres pour l'isolement électrique », technique de l'ingénieur, Réf : D2325 v2, 2016.
- [4] Sayoud T, Zaidi R., « Etude des décharges électriques produite dans les isolants gazeux et solides, présenté pour l'obtention du diplôme de master académique, université 8 mai 1945, Guelma, 24 juin 2018
- [5] Djedjiga K., « Modélisation de la rupture diélectrique dans les céramique à haute teneur en alumine soumises à des contraintes électrique », Mémoire de magister, université mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2012.
- [6] Anton A., Steinle J L., « Micas et produits micacés », technique de l'ingénieur, Réf : D2360 v1, 1997.
- [7] Simili K., « Etude des propriétés diélectriques des matériaux isolants soumis a des champs très intenses », thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar-Annaba, 27 septembre2018.
- [8] Haberle G, All, « Génie électrique », Editions : Dunod, Paris, 2014.
- [9][https://nanopdf.com/Cours 8 :Claquage des isolants](https://nanopdf.com/Cours%208%3A%20Claquage%20des%20isolants)
- [10] Z. Guetatlia, A. Hemaizia, "Étude du comportement diélectrique –vieillissement thermique- des isolants solides utilisés en Haute tension", Mémoire de Master, Université 8 mai 1945-Guelma, 2021.
- [11] K. H. Stark, G. C.Garton, "Electric strength of irradiated polyethylene", Nature, Vol. 176,No. 60, pp. 1225-1226, 1955.
- [12] E. Kuffel,W.S. Zaengl,J. Kuffel, "High Voltage Engineering Fundamentals", First published 1984 by Pergamon PressReprinted 1986,Second edition 2000, published by Butterworth-Heinemann.
- [13] T. Sayoud, « Etude des décharges électriques produites sans les isolants gazeux et solide » , Mémoire de Master, Université 8 mai 1945- Guelma, 2018.
- [14] Abella S., « Vieillissement électrique du polyester – imide sous tension continue », mémoire de Magister, Université mouloud mammeri de Tizi-Ouzou,
- [15] Madani L., « Etude du comportement diélectrique des isolateurs en composite », Thèse de doctorat, université farhat abbabes – Sétif, 2016.
- [16] Mgherfi S., « Caractéristiques de la propagation des décharges partielles sous contrainte thermique dans le câble moyenne tension de transport d'énergie électrique », Mémoire de magister, Université Abderahmane Mira-Béjaia, 5 Décembre 2013.

- [17] Tho Vu T., « Propriétés diélectriques de matériaux isolants sous contraintes impulsionnelle répétitive. Application aux modules de commutation en électronique de puissance », Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université de Grenoble, université de Grenoble, 13 juillet 2011.
- [18] Ounis H I, Belhabib D., « Détection des décharges partielles des isolateur de haute tension par analyse des signaux de courant de fuite », Mémoire de master professionnel, université kasdi merbah ourgla, 26 juillet 2018.
- [19] Caliap L., « Etude de l'optimisation des isolants d'un point de vue diélectrique pour les contraintes du GIS », Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université de Grenoble, Septembre 2010.
- [20] Boukadoum R, « Etude des décharges partielles et de leur transition à l'arc dans la connectique aéronautique du futur », Thèse de doctorat, université paris-saclay, 7 février 2018.
- [21] Sghier T, « Etude des décharges partielles et leurs influences sur l'apparition des arborescences dans la couche isolante des câbles haute tension », Thèse de Doctorat, université Mohamed khider-Biskra, 17 février 2011.
- [22] A. Haddad and D. Warne, "Advances in High Voltage Engineering", published by the institution of engineering and technology, london, united kingdom ,first published 2004, reprinted 2007.