

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Electrique

Spécialité : RESEAUX ELECTRIQUES

Présenté par
Amar BOUZRARA
Mohamed DERRAS

Thème

Influence des paramètres physiques sur l'évolution du phénomène d'arborescence électrique a la surface de polyméthacrylate de méthyle

Mémoire soutenu publiquement le 28 Septembre 2015 devant le jury composé de :

M Ahmed CHALLAL

Maitre de Assistant, UMMTO, Président

M Mohand Amokrane HANDALA

Maitre de Conférences, UMMTO, Rapporteur

Melle Nora KIRECHE

Maitre Assistante, Université Bouira, Examineur

M El Hadi BELHITECHE

Maitre Assistant, Université Mohamed BOUDIAF Msila, Examineur

Remerciement

Nos vifs remerciement sont adressés à :

Mr HANDALA notre encadreur, pour ses encouragement et pour toutes les connaissances que nous avons acquise à ses cotés.

Mr BELHITECHE EL HADI notre Co- promoteur qui a su guide ce travail Par ses conseils avisés et qui a bien voulu nous aider dans la rédaction de ce mémoire

Nous tenons également à remercier les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail et nous leurs exprimons toute notre gratitude.

Nous tenons également à remercier Sébastien RONDOT, Maitre de conférences HDR, Université DE REIMS.

JE DÉDIE CE TRAVAIL :

- ✓ *A MES CHERS PARENTS*
- ✓ *A MES FRÈRES*
- ✓ *A MON BINÔME MOHAMED*
- ✓ *A TOUTE MA FAMILLE*
- ✓ *A MES AMIS ET TOUTE LA PROMOTION
D'ÉLECTROTECHNIQUE 2015*
- ✓ *A TOUS ET TOUTES LES PERSONNES QUI ON A
PARTAGER LES BONS MOMENTS*
- ✓ *A LES PERSONNES DE G16*

AMAR

JE DÉDIE CE TRAVAIL :

- ✓ *A MES CHERS PARENTS*
- ✓ *A MES FRÈRES ET SŒURS*
- ✓ *A MA FUTURE FEMME*
- ✓ *A MON BINÔME AMAR*
- ✓ *A TOUTE MA FAMILLE*
- ✓ *A MES AMIS ET TOUTE LA PROMOTION
D'ÉLECTROTECHNIQUE 2015*

MOHAMED

Sommaire

Introduction générale	01
Chapitre I : Décharges électriques dans les isolants solides	
I.1. Introduction.....	03
I.2. Matériaux isolants	03
I.3. Définition d'un isolant	03
I.4. Types d'isolants.....	03
I.4.1. Les isolants solides.....	04
I.4.2. Les isolants liquides.....	04
I.4.3. Les isolants gazeux	04
I.5. Les contraintes de système d'isolation.....	04
I.6. Décharges électriques.....	05
I.6.1. Un peu d'histoire.....	05
I.6.2. Décharge électrique et plasma dans la nature.....	06
I.6.3. Les premières expériences	07
I.7. Mécanisme des décharges.....	09
I.7.1. Avalanche électronique	09
I.7.2. Charge d'espace	10
I.7.3. Forme de la charge d'espace	10
I.8. Détachement et recombinaison	11
I.8.1. Détachement d'électron.....	11
I.8.2. Recombinaison	11
I.9. Mécanismes de claquage des isolants gazeux.....	11
I.9.1. Influence de la pression.....	11
I.9.1.1 Mécanisme de TOWNSEND (Basse Pression)	12
I.9.1.2. Coefficients α et γ	12
I.9.1.3. La relation de Townsend.....	13
I.9.1.4. Mécanisme de STREAMER (Haute pression)	13
I.10. Loi de Paschen	15
I.11. Différents types des décharges	15
I.11.1. Décharge électrique de surface	15

I.11.1.1. Les décharges à barrière diélectrique (DBD).....	16
I.11.1.1.1. Décharges à barrière diélectrique volumique.....	17
I.11.1.1.2. Décharges à barrière diélectrique surfacique.....	17
I.11. 1.1.2. Décharges glissantes.....	17
I.11. 1.1.3. Décharge couronne.....	17
I.12. Application des décharges à barrière diélectrique.....	18
I.12.1. production d’Ozone.....	18
I.12.2. Traitement de surface.....	18
I.13. Conclusion.....	18

Chapitre II : Etude du phénomène d’arborescences

II.1. Introduction.....	19
II.2. Les décharges partielles.....	19
II.3. Naissance des décharges partielles.....	19
II.3.1. Tension aux bornes de la vacuole.....	19
II.3.2. Caractérisation de la nocivité des décharges.....	19
II.3.3. Types des décharges partielles.....	20
II.4. Les décharges arborescentes.....	21
II.4.1. Les arborescences électrochimiques.....	21
II.4.2. Les arborescences électriques.....	21
II.4.2.1. Phase d’incubation.....	22
II.4.2.1.1. Formation de l’arborescence par décharges partielles.....	22
II.4.2.1.2. Action des porteurs chauds sur la structure du polymère.....	23
II.4.2.1.3. Formation de l’arborescence par rupture électromécanique.....	23
II.4.2.3. Phase de propagation.....	23
II.4.2.3.1 Arborescence a propagation rapide.....	23
II.4.2.3.2 Arborescence a propagation lents.....	24
II.5 Les types d’arborescences électriques.....	24
II.6. Influence des paramètres physiques sur arborescences.....	25
II.6.1. Influence de la polarité de la tension sur la forme des décharges glissantes.....	25
II.6.2. Influence de la nature et de l’épaisseur du solide isolant sur la forme des décharges glissantes.....	26

II.6.3. Influence de la nature et de l'épaisseur du solide isolant sur la longueur finale des décharges glissantes	30
II.7. Conclusion	30

Chapitre III : Etude expérimentale

III.1. Introduction.....	31
III.2. Polymère	31
III.2.1. Définition	31
III.3. Présentation du matériau étudié	31
III.4. Polyméthacrylate de méthyle (PMMA)	31
III.4.1. Le principe de production du monomère MAM	31
III.4.2. Préparation du polyméthacrylate de méthyle.....	32
III.4.3. Propriétés du polyméthacrylate de méthyle.....	32
III.4.3.1. Propriétés thermiques	32
III.4.3.2. Propriétés chimiques.....	33
III.4.3.3. Propriétés physiques du PMMA	33
III.4.3.4. Propriétés mécaniques du PMMA	33
III.4.3.5. Propriétés électriques du PMMA.....	34
III.5. Utilisation du PMMA.....	34
III.6. Recyclage du PMMA	35
III.7. Différents types du PMMA	35
III.8. Préparation des échantillons.....	35
III.9. Condition d'essais	35
III.10. Dispositif expérimental	36
III.11. Appareils d'analyse.....	38
III.11.1. Microscope électronique à balayage (MEB)	38
III.11.1.1. Constitution d'un microscope électronique à balayage (MEB)	38
III.11.1.2. Principe de fonctionnement du MEB	39
III.11.2. Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (IR-TF)	39
III.11.2.1. Domaines Infrarouge (IR)	39
III.11.2.2. Principe de fonctionnement du spectromètre à transformée de Fourier.....	41
III.12. Conclusion	42

Chapitre IV : résultats expérimentaux et discussions

IV.1. Introduction.....	43
IV.2. Observation visuelle.....	43
IV.3. Analyse topographique par le MEB	44
IV.4. Spectres FTIR.....	49
IV.5. La résistivité volumique et surfacique	52
IV.6. Appareil de mesure	53
IV.7. Schéma électrique.....	53
IV.8. Influence de temps de vieillissement sur la résistivité surfacique.....	54
IV.9. Influence de temps de vieillissement sur la résistivité volumique.....	55
IV.10. Influence du temps de vieillissement sur la longueur finale des décharges pour V=10kV.....	56
IV.11. Influence du temps de vieillissement sur la longueur finale des décharges pour deux tensions constante différentes	58
IV.12. Conclusion.....	60
Conclusion générale	61

Introduction générale

Introduction générale

Les matériaux isolants subissent des dégradations plus en moins importantes dans le temps sous l'influence de divers contraintes : électrique, thermique, etc....

Avec l'avènement et le développement de nouvelles techniques de production d'isolants, en particulier synthétiques, les chimistes ont créé une large palette d'isolants (polymères, verre, céramique, bois, papier, carton, huile, vide, gaz...). La fonction d'isolation électrique est primordiale en ce sens qu'elle est l'une des conditions fondamentales du fonctionnement des matériels de production, de transport et de distribution d'énergie électrique. [1]

Les polymères isolants disposent d'atouts importants par rapport aux isolants classiques tels que le verre, la porcelaine, le papier imprégné. Ils ont l'avantage d'avoir des propriétés mécaniques meilleures, une mouillabilité plus faible, d'être plus légers et mis en œuvre plus facilement. [2]

Les diélectriques solides utilisés dans les isolations en haute tension, présentent toujours des impuretés et des défauts microscopiques malgré les précautions prises lors de leur mise en œuvre. Ces impuretés provoquent une distorsion et une concentration locale du champ électrique, ceci peut entraîner la dégradation de l'isolant à court ou à long terme, par le mécanisme d'arborescence, pouvant aller jusqu'à la perforation complète de l'isolation

Dans la présente étude, nos investigations à explorer l'influence des paramètres physiques sur l'évolution du phénomène d'arborescence, en fonction de plusieurs paramètres physiques à savoir le niveau de la tension appliquée, la distance inter électrode, sur la surface de poly méthacrylate de méthyle (PMMA).

Le présent mémoire comporte quatre chapitres. Dans le premier chapitre, nous décrivons les décharges électriques dans les isolants solides.

Nous présenterons dans le deuxième chapitre, l'étude du phénomène d'arborescence.

Au chapitre trois, nous avons présenté le dispositif expérimental et une description de différentes manipulations effectués au niveau de laboratoire haut tension. La préparation de l'échantillon utilisé et ses propriétés ont été également présentées.

Au dernier chapitre nous présenterons les résultats de notre travail et interprétations de ces résultats .

Nous terminons notre étude par une conclusion générale.

Chapitre I : Décharges électriques dans les isolants solides

I.1. Introduction

Les phénomènes des décharges électriques, étudiés pourtant depuis près de deux siècles, font toujours l'objet de recherche active auprès des scientifiques. On pourrait s'étonner de cet état de fait mais on comprendrait vite que cela n'est dû qu'à la très grande complexité du phénomène et des mécanismes qui le constituent. Cependant de grandes avancées ont été faites ces dernières décennies dans l'amélioration des moyens de diagnostic des premiers instants de la décharge et donc dans l'étude des mécanismes d'initiation. Cela a permis d'accroître les connaissances sur le phénomène.

Dans ce chapitre, nous donnerons quelques généralités sur les différents types d'isolants. Et quelques théories sur les mécanismes d'initiation d'une décharge électrique dans l'air.

I.2. Matériaux isolants

Les matériaux isolants trouvent des applications dans un grand nombre de dispositifs de production, de transport, de distribution et d'utilisation de l'énergie électrique. Ils ont joué un rôle prépondérant dans les progrès faits par les matériels électriques. Ils constituent sans aucun doute les facteurs clés du développement des matériels électrotechniques de demain.

Les matériaux utilisés aujourd'hui sont extrêmement nombreux et variés. Le choix et l'emploi posent les problèmes les plus délicats, il doit répondre à un processus complexe. Le plus difficile à maîtriser est non seulement l'interaction de toutes les contraintes que peuvent influencer sur la tenue du système d'isolation mais aussi de l'impact sur l'environnement et la sécurité des biens et des personnes.[1]

I.3. Définition d'un isolant

Un isolant est une substance qui a une conductivité électrique suffisamment faible pour être utilisée afin de séparer des pièces conductrices portées à des potentiels différents[2]. Une façon plus simple de définir un matériau isolant est de dire qu'il est caractérisé par une résistivité électrique très élevée[3].

I.4. Types d'isolants

On peut grouper les isolants dans deux grandes classes :

Les isolants organiques et les isolants inorganiques en général, les isolants organiques tels que le caoutchouc, le papier l'huile, le coton, les matériaux thermoplastiques, etc.... sont composés de longues chaînes moléculaires de carbone et d'hydrogène. Ils ne peuvent pas supporter des températures élevées sans se décomposer.

Par ailleurs, les isolants inorganiques tel que le mica, la porcelaine, l'air peuvent tolérer des températures dépassant parfois 100 °C.

Le nombre d'isolants disponibles est impressionnant, de sorte qu'il est difficile aujourd'hui d'en dresser une liste complète.

Cette diversité est due à l'arrivée sur le marché des isolants, synthétique (parfois appelés Plastiques) inventés et développés par les chimistes. Possédant des propriétés thermiques électriques et bien supérieures à celles des isolants naturels, ces isolants synthétiques ont grandement modifié la fabrication des fils, des câbles et des appareils électriques de toutes sortes.

D'après leurs états, on trouve les isolants, liquides, solides et gazeux. [4]

I.4.1. Les isolants solides

Les isolants solides sont des éléments de base des isolations à haute tension. Ils comportent en plus par rapport aux liquides et aux gaz la particularité d'assurer la rigidité mécanique des matériels électriques. Mais les propriétés des isolants solides vont par fois à l'encontre des propriétés électriques, ce qui peut présenter de graves inconvénients.

Les premiers isolants solides utilisés ont été ramassés dans la nature : bois sec, soufre, ambre, caoutchouc, etc Parmi les isolants solides on trouve les polymères. [2]

I.4.2. Les isolants liquides

Les isolants liquides sont souvent utilisés dans l'isolation des machines électriques, car en plus l'isolation, ils jouent aussi le rôle de refroidissement.

L'huile minérale est l'un des isolants les plus utilisés dans les matériels électriques (transformateur à grande puissance, les condensateurs.....). Mais ils sont inflammables à une certaine température proche de 150°C [5].

I.4.3. Les isolants gazeux

Le gaz le plus abondant et le plus utilisé dans l'isolation électrique (postes classiques, lignes aériennes, électrostatiques...) est l'air. Cependant, d'autres gaz tels que l'azote (N_2), le dioxyde de carbone (CO_2) et surtout l'hexafluorure de soufre (SF_6) connaissent un succès grandissant dans le domaine des systèmes haute tension (postes blindés, câbles à isolation gazeuse, etc...). Leur utilisation a permis d'améliorer la fiabilité des systèmes et d'en réduire leurs poids et dimensions en diminuant la distance entre les conducteurs, et par conséquent l'espace occupé par ces systèmes. Cela est remarquable en comparant un poste classique (isolé à l'air) à un poste blindé (isolé au gaz SF_6). [5]

1.5. Les contraintes de système d'isolation [1]

Les contraintes auxquelles est soumis un système d'isolation sont :

- **Contraintes électriques** : champ électrique, charge d'espace, décharge partielle, arborescence électrique, etc....
- **Contraintes thermiques** : échauffement des conducteurs par effet joule et par effet de Foucault, pertes magnétiques (transformateur), pertes diélectriques, etc....

- **Contraintes mécaniques** : effort sur les conducteurs, forces dues aux mouvements (machines tournantes), vibrations, forces de charge (isolateur de ligne), etc....
- **Contraintes climatiques** : rayonnement solaire, intempéries, pollutions (marine, industrielle), humidité, pluie, gel, air, ozone, etc....
- **Contraintes radiatives** : dans les applications nucléaires, spatiale, médicale, résistants aux rayonnement, etc..
- **Contraintes environnementales** : impact sur l'environnement en termes de rejet de toute nature (gazeux, solides, liquides), la toxicité des produits, traitement en fin de vie (recyclage), etc....

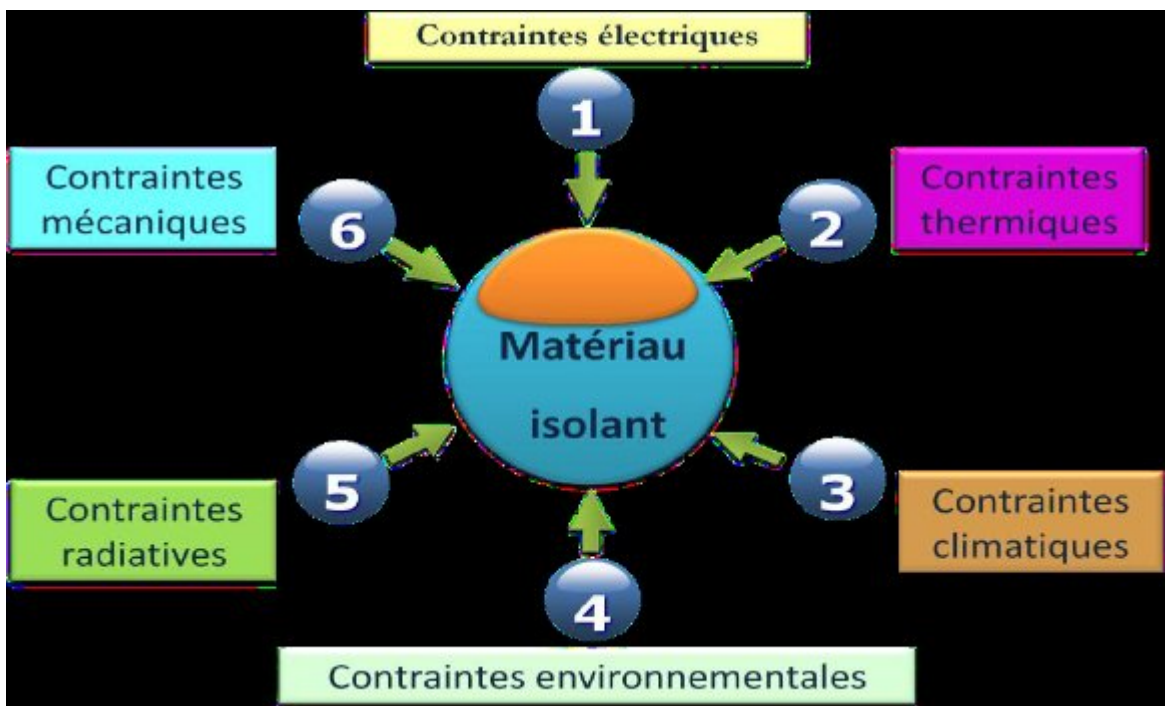


Figure I.1. Les contraintes auxquelles est soumis un système d'isolation.

I.6. Décharges électriques

I.6.1. Un peu d'histoire

Les premières tentatives de compréhension des plasmas et des décharges électriques ne sont pas récentes, même si l'apparition du concept de plasma ne date que des années 1930.

Des phénomènes naturels, souvent spectaculaires, mettent en jeu des arcs et des plasmas. Ils ont intrigué les hommes et motivé des recherches qui débouchent aujourd'hui sur l'utilisation Industrielles des plasmas.

Mais d'abord, définissons ce que sont un arc et un plasma. Un arc électrique est une décharge lumineuse à travers un gaz, caractérisé par une grande densité de courant et un faible gradient de potentiel. Le plasma est défini comme étant le quatrième état de la matière, en suivant les états « solide-liquide-gaz » et défini aussi comme étant un gaz partiellement ou totalement ionisé. Après avoir montré où l'on observe ces phénomènes, nous verrons quels sont les chercheurs qui ont contribué à leur compréhension. [6]

I.6.2. Décharge électrique et plasma dans la nature

Deux phénomènes naturels connus mettent en jeu les éléments que nous étudions.

- **La foudre** : lorsque de l'air froid recouvre de l'air chaud, les conditions sont favorables au déclenchement des orages. De violents courants d'air verticaux entraînent l'humidité, les fragments de glace, les grêlons et les gouttelettes d'eau à l'intérieur des nuages. On ne connaît pas encore exactement les mécanismes à l'origine de la tension qui se forme dans les nuages d'orage, mais cette tension est influente sur des dizaines, voir des centaines de kilomètres. Lorsque la tension est suffisante, on peut observer des éclairs entre les nuages et le sol (25% d'entre eux) ou entre les nuages eux-mêmes (figure I.2). Ces arcs ont des vitesses de propagation de l'ordre de 200km/sec. Leur tension est de l'ordre de 100 millions de Volts et ils sont parcourus par un courant de 30000 Ampères. Ce sont donc des phénomènes développant beaucoup de puissance et très visibles pour l'homme. [6]



Figure I.2. Foudre (*Photo Fédération Française de Montagne et d'Escalade*)

- **Aurore polaire** : les aurores polaires apparaissent, vues depuis la Terre, comme des taches ou des bandes de lumière, souvent striées, un peu comme des rideaux lumineux se balançant dans un courant

d'air (figure I. 3). Elles sont surtout de couleur verte ou rouge. On peut les observer pendant plusieurs dizaines de minutes. On les observe à des latitudes voisines de 70 degrés, c'est à dire en Scandinavie, au Nord de la Sibérie, au Canada, en Alaska, ou - au Sud - aux abords du continent Antarctique. Ces lumières aurorales sont émis à des altitudes comprises entre 80 et 150 kilomètres, dans l'ionosphère. La lumière des aurores provient des collisions entre des particules rapides provenant de la magnétosphère et les atomes et ions de l'ionosphère. Les aurores boréales sont les aurores polaires que l'on observe dans l'hémisphère Nord ; les aurores australes sont observées dans l'hémisphère Sud.

[6]



Figure I.3. Aurore boréale

- Beaucoup d'autres phénomènes naturels font intervenir les plasmas, mais se développent ailleurs que sur terre. Les étoiles, les comètes... peuvent être constituées de plasma et génèrent des vents de plasmas autour d'eux. En cela, l'élément que nous étudions a beaucoup marqué l'imagination commune ; l'homme a cherché à comprendre, puis à domestiquer ce phénomène.

I.6.3. Les premières expériences [6]

C'est au XVIII siècle que l'on s'est rendu compte que la foudre et l'électricité étaient deux phénomènes liés. Les scientifiques de l'époque ont cherché à comprendre l'origine des phénomènes liés, notamment, à l'électricité statique. Ensuite, ils créèrent le vocabulaire pour expliquer ces phénomènes ; voici quelques expériences et étapes historiques marquantes dans la compréhension et la formalisation de ces phénomènes :

Expérience sur la foudre : lorsque les premières recherches en électrostatique furent menées, on remarqua assez vite que des éléments chargés de manière électrostatique émettaient des étincelles. Même si le phénomène électrique n'était pas bien connu (la polarité n'était pas connue), on rechercha

un moyen d'exploiter ce phénomène (machine de Watson). C'est vers 1750, que l'Abbé Nollet et Franklin énumérèrent les points communs entre la foudre et les étincelles qu'ils étudiaient. En 1752, Franklin fit une expérience qui permit de prouver le lien existant entre les deux phénomènes : l'expérience consistait à tenir un cerf-volant à l'aide d'un long fil humide à l'extrémité duquel il avait attaché une clef métallique. Il put constater la présence de petite étincelles qui lui permit de confirmer que de la foudre était de nature électrique.

Machine de Watson (figure I.4) : dans le même temps, Watson utilisait une machine pour allumer des substances inflammables. Cette machine est composée de quatre globes de verre, frottés simultanément par des coussins fixes. Les charges étaient généralement transmises à une épée suspendue à des cordons de soie, au-dessus du flacon contenant le liquide à enflammer.

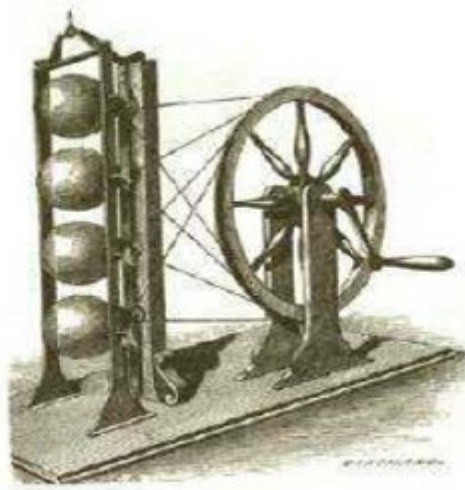


Figure I.4. Machine de Watson

- Au cours du XIX siècle, Faraday, qui travaillait à l'institution royale d'Angleterre, décrit beaucoup d'expériences et inventa les terminologies pour les expliquer. Il définit notamment, les termes « électrode », « anode », « cathode », « ion », « anion » et « cation ».

- Apparue après 1841, la lampe électrique à arc émet entre deux électrodes de graphite une lumière très brillante qui ne convient pas à l'usage domestique. Elle fut utilisée pour l'éclairage public avant d'être supplanté dans ce domaine par la lampe d'Edison.

- Le générateur de Van de Graaf a été mis au point vers 1930 pour produire de très hautes tensions (1MV). Le principe de fonctionnement est assez simple : un moteur entraîne une courroie qui transporte les charges électriques créées par frottement entre celle-ci et un matériau non-conducteur. Si ce type de générateur fut utilisé pour l'étude des accélérateurs de particules, aujourd'hui il sert

surtout à faire des présentations pédagogiques. La tension maximale atteignable dépend de la surface de la sphère (30kV par cm de rayon environ) et peut monter jusqu'à plusieurs millions de Volts.

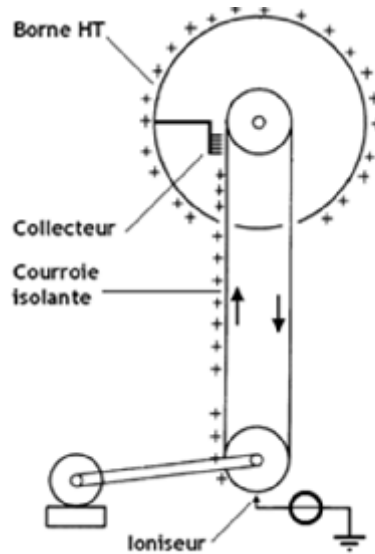


Figure I.5. Schéma du générateur de Van de Graaf

On peut remarquer que depuis les origines et pendant longtemps, ce sont des générateurs électrostatiques qui ont été utilisés à des fins de recherche scientifique sur les phénomènes physiques liés aux claquages. La plupart des applications actuelles utilisent des générateurs électriques et sont utilisées à des fins industrielles

I.7. Mécanisme des décharges [7]

I.7.1. Avalanche électronique

On considère deux électrodes planes placées dans un gaz et soumises à une tension élevée.

➤ Electron primaire :

Créé par ionisation grâce à des agents naturels tels que les rayonnements cosmiques et la radioactivité de la terre.

➤ Description de l'avalanche :

L'électron primaire e_0 accélère 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 . Ces quatre électrons entrent en collision avec 4 autres atomes qu'ils ionisent \Rightarrow avalanche électronique. La multiplication des électrons se poursuit suivant ce processus jusqu'à ce que l'avalanche arrive à l'anode (figure I.6).

➤ Remarque :

- L'avalanche prépare le chemin au claquage du gaz.

- Un atome ionisé fournit un électron et devient lui même un ion positif ; Il y a autant d'électrons dans l'avalanche que d'ions positifs. Chaque collision ionisante produit une paire électron-ion positif.
- L'avalanche progresse dans le sens opposé au champ électrique (Cathode – anode)

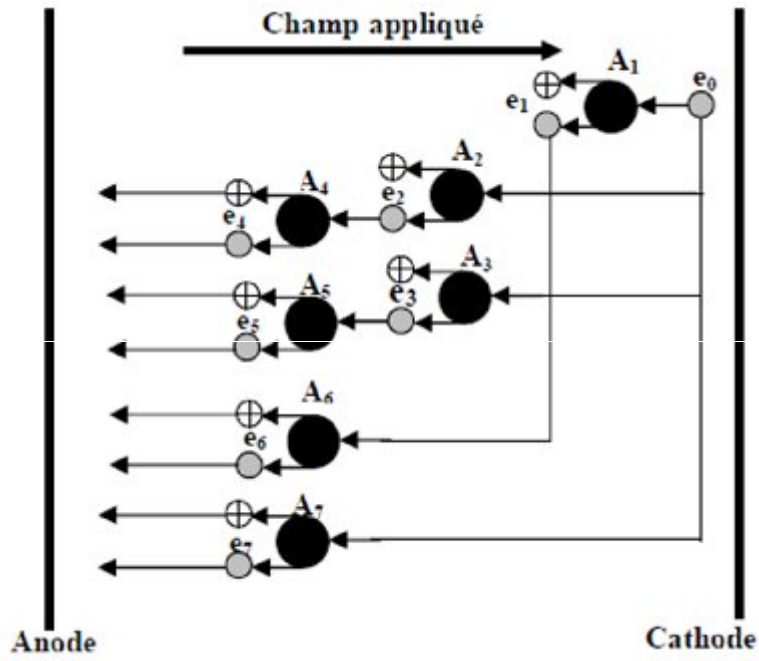


Figure I.6 . Avalanche électronique

I.7. 2. Charge d'espace

Les électrons plus rapides sont absorbés par l'anode, tandis que les ions positifs lourds et plus lents forment entre les électrodes un ensemble de charges qu'on appelle « Charge d'espace ».

I .7.3. Forme de la charge d'espace

Comme l'avalanche débute près de la cathode et finit sur l'anode, elle présente la forme d'un cône. Elle progresse dans le sens opposé à E (figure I.7).

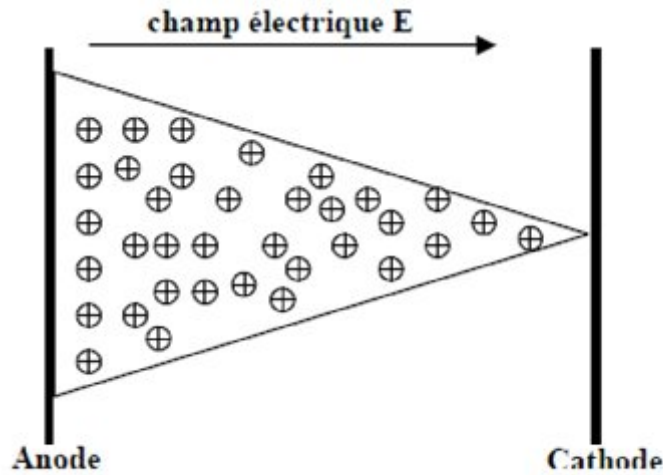
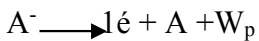


Figure I.7 . Forme de la charge d'espace

I.8. Détachement et recombinaison

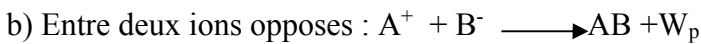
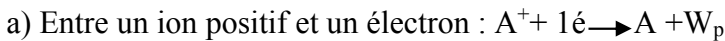
I.8.1. Détachement d'électron

Détachement : Quand l'ion négatif cède l'électron supplémentaire.



I.8.2. Recombinaison

Quand deux charges opposées se recombinent pour former une particule neutre (inverse de la photo ionisation)



I.9. Mécanismes de claquage des isolants gazeux

C'est dans le gaz que le mécanisme de claquage a été le mieux élucidé et des bases théoriques ont été élaborées. Le mécanisme de claquage dans les solides et les liquides n'est pas encore aussi bien établi.

I.9.1. Influence de la pression



Figure I.8. Influence de la pression

Durant l'avalanche électronique les électrons rapides sont absorbés par l'anode, tandis que les ions positifs moins rapides forment dans le gaz une charge d'espace. La taille de la charge d'espace dépend de la pression du gaz :

➤ **Basse pression :**

Comme la densité atomique est faible, la charge d'espace est telle qu'elle génère un champ électrique E_c faible et négligeable \Rightarrow mécanisme de TOWNSEND.

➤ **Haute pression :**

La densité atomique est grande, la charge d'espace est volumineuse ; Elle crée un champ E_c Considérable qui joue un rôle important dans le claquage \Rightarrow mécanisme de STREAMER

I.9.1.1 Mécanisme de TOWNSEND (Basse Pression)

Pour les distances faibles (max. 1 m), la théorie de Townsend est valable pour des pressions inférieures à 0,1 à 1 atmosphère tandis que la théorie de Streamer est valable pour les hautes pressions (≥ 1 atm).

Phase 1 : Un électron primaire situé près de la cathode provoque une avalanche électronique primaire.

Phase 2 : Les électrons sont absorbés par l'anode tandis que les ions positifs bombardent la cathode avec leur énergie cinétique pour extraire des électrons secondaires.

Phase 3 : Les électrons (secondaires) émis de la cathode par bombardement créent de nouvelles avalanches secondaires et provoquent le claquage du gaz.

➤ **Remarque**

- Dans le mécanisme de Townsend, l'étincelle de la décharge se produit dès que la cathode émet des électrons secondaires.
- La décharge de Townsend se situe entre 10^{-8} et 10^{-6} A, elle est donc peu lumineuse. La Luminosité est à peu près uniforme dans tout l'espace compris entre les électrodes.

I.9.1.2. Coefficients α et γ

- Coefficient d'ionisation α : nombre d'électrons créés par ionisation par un électron sur 1 cm de parcours.
- Coefficient γ : nombre d'électrons secondaires émis par bombardement de la cathode par un ion positif.

Le premier coefficient de Townsend, appelé aussi coefficient d'ionisation, est plus élevé dans les gaz rares à cause de leur facilité d'ionisation (néon, argon, vapeur métallique...). Ce coefficient est par contre plus petit dans le cas des gaz électronégatifs.

I.9.1.3. La relation de Townsend

En 1914 Townsend a proposé l'introduire d'un coefficient d'ionisation α (appelé premier coefficient de Townsend) pour traduire mathématiquement ce phénomène d'ionisation [7]. Ce coefficient dépend du champ réduit E/N (avec N désignant la densité du gaz) et son inverse $1/\alpha$ représente le libre parcours moyen d'un électron entre deux collisions ionisantes. L'apparition d'un électron primaire au niveau de la cathode se traduit par l'arrivée de $e^{\alpha d}$ électrons au niveau de l'anode. Ce processus est appelé "avalanche électronique". La relation de Townsend s'écrit alors :

$$I = I_0 \cdot e^{\alpha d}$$

Avec I : courant (A)

I_0 : courant initial dû aux électrons primaires (A)

d : distance inter-électrode (m)

α : premier coefficient de Townsend (m⁻¹)

La probabilité de produire des électrons secondaires se traduit par l'introduction d'un second coefficient de Townsend γ . Le critère d'auto-entretien de la décharge (nombre adimensionnel) s'écrit alors :

$$\gamma \cdot (e^{\alpha d} - 1) = 1$$

C'est le critère de Townsend

1.9.1.3. Mécanisme de STREAMER (Haute pression)

Le mécanisme se déroule comme suit :

Phase 1 : Un électron primaire se trouvant près de la cathode provoque une avalanche électronique primaire. La vitesse des électrons étant 100 fois environ supérieure à celle des ions, l'avalanche se développe comme un nuage d'électrons laissant derrière elle une charge d'espace positive (Figure I.9.a). Les électrons sont absorbés par l'anode, tandis que les ions positifs forment dans le gaz une charge d'espace positive. Le champ E_c de cette charge est maximal en tête d'avalanche (Figure I.9.a).

Phase 2 : Des électrons secondaires sont créés par photo-ionisation autour de la charge d'espace. Ces électrons provoquent en tête d'avalanche de petites avalanches secondaires (Figure I.9.b). Le champ de la CE renforce le champ entre la tête de l'avalanche et la cathode et crée également une composante radiale.

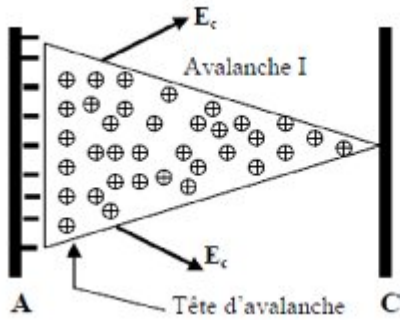


Figure I.9.a

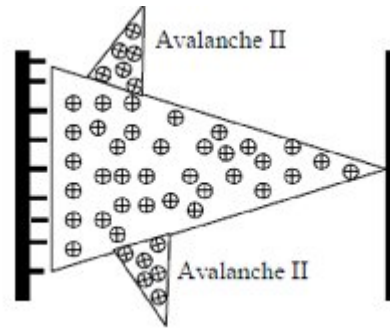


Figure I.9.b

Origine des électrons secondaires : La tête d'avalanche est le siège d'une importante activité (collisions entre électrons et ions positifs) qui est source de photons qui sont absorbés par le gaz environnant. En particulier, les molécules d'azote excitées peuvent émettre des photons ayant une énergie supérieure à 13 eV qui est suffisante pour ioniser les molécules d'oxygène dont l'énergie d'ionisation n'est que de 12,2 eV.

Phase 3 : La charge d'espace augmente en volume et devient un « Streamer ». De nouvelles avalanches secondaires viennent s'ajouter à l'avalanche primaire et le Streamer progresse (Figure I.9.c). Quand il touche la cathode, à ce moment se produit le claquage (Figure I.9.d).

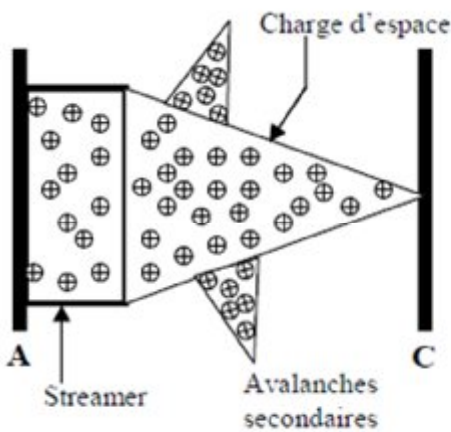


Figure I.9.c

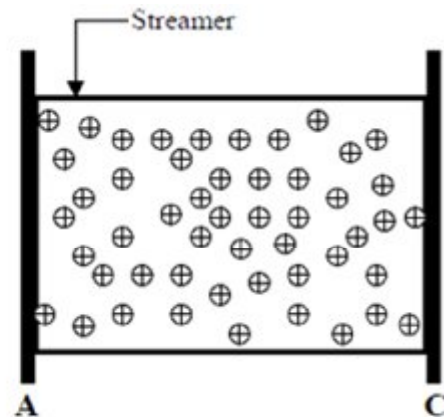


Figure I.9.d

I.10. Loi de Paschen

La tension d'alimentation minimale pour déclencher la décharge est appelée tension de claquage. Il existe une relation qui lie la valeur de cette tension de claquage à la pression du gaz et de la distance inter-électrode: la loi de Paschen. Cette loi est habituellement représentée par la courbe caractéristique $U_c = f(p.d)$, (figure I.10) où p est la pression et d la distance inter électrode, et dépend de la nature du gaz introduit. [8]

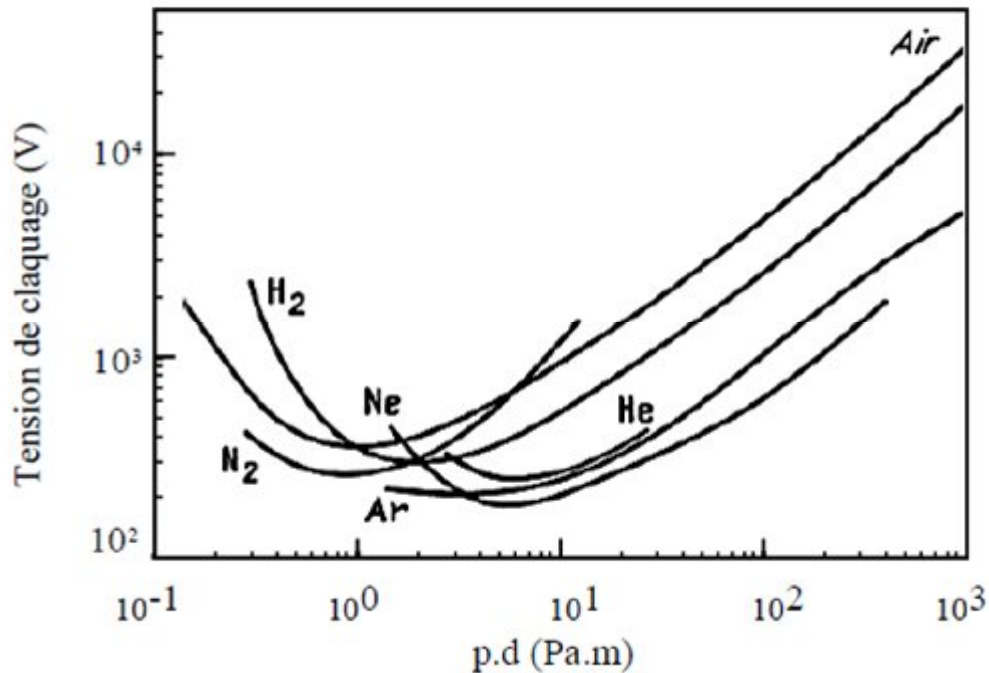


Figure I.10. Tension de claquage pour différents gaz en fonction du produit $p.d$ [8].

I.11. Différent types des décharges

I.11.1. Décharge électrique de surface

La décharge électrique de surface désigne une décharge qui se produit en contact avec la surface d'un diélectrique solide placé dans un fluide isolant. On peut distinguer deux catégories de décharges se produisant à la surface d'un solide isolant. [8]

I.11.1.1. Les décharges à barrière diélectrique (DBD)

Les décharges à barrière diélectrique (DBD) ou les isolant gazeux et solide sont généralement en série entre les deux électrodes, la décharge se développe d'abord dans le volume du gaz avant qu'elle se propage sur la surface du solide [2] (Figure I.11).

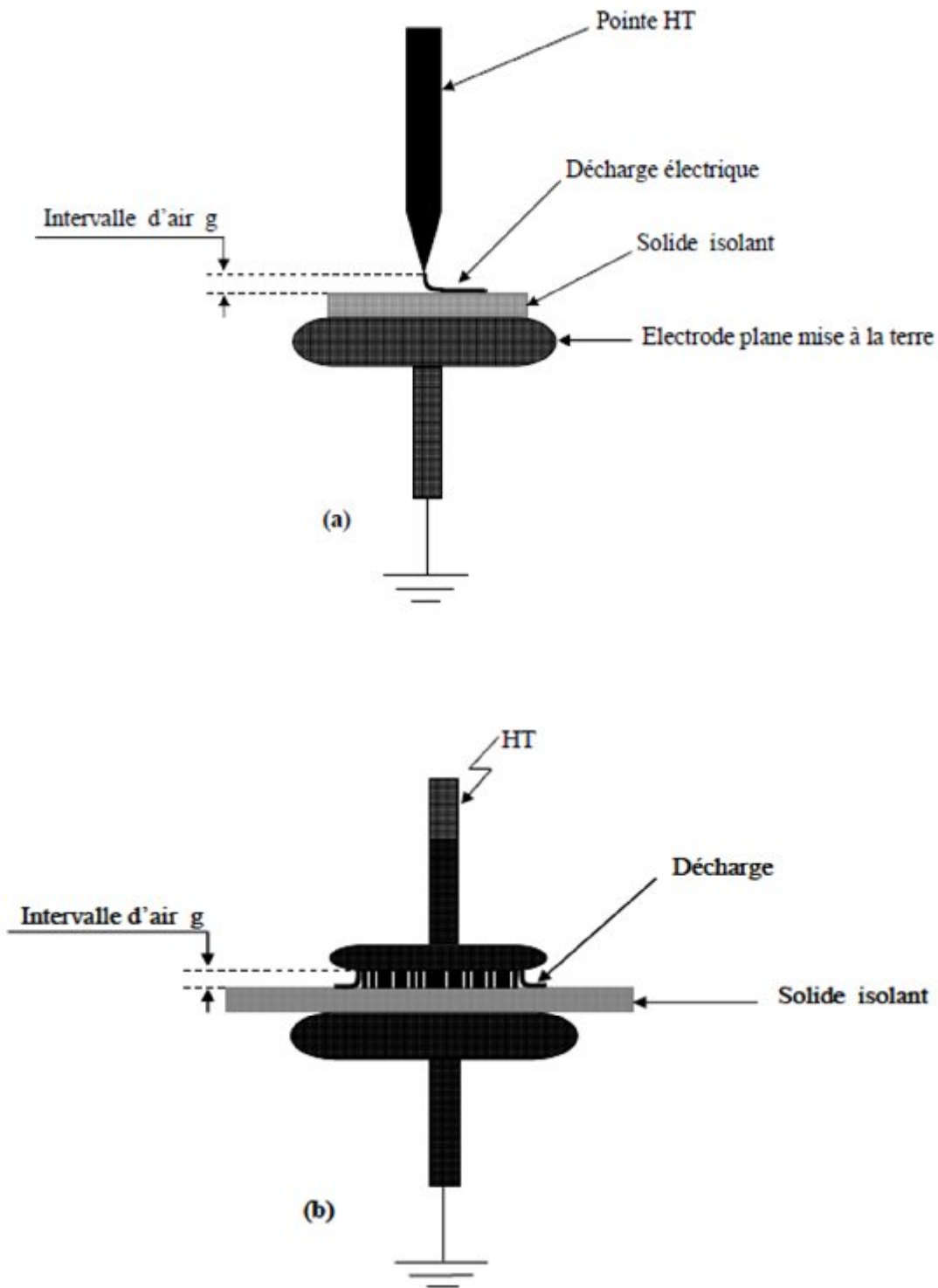


Figure I.11. Décharges à barrière diélectrique

a) système pointe-plan

b) système plan-plan

On distingue deux type de (DBD).

I.11.1.1.1. Décharges à barrière diélectrique volumique

Les décharges à barrière diélectrique volumique utilisant généralement des tensions alternatives à valeur moyenne nulle. Elles s'établissent entre deux électrodes séparées l'une de l'autre par un isolant [8].

I.11.1.1.2. Décharges à barrière diélectrique surfacique

Cette décharge est établie entre au moins deux électrodes placées de part et d'autre d'un diélectrique: elle est dite surfacique car il n'y a plus, comme précédemment, d'espace gazeux entre les électrodes (le diélectrique occupe tout l'espace inter-électrodes) [8]

I.11. 1.1.2. Décharges glissantes

Les décharges glissantes ou les deux électrodes sont en contact avec la surface du diélectrique solide. La décharge électrique prend naissance et se développe dans le gaz en restant en contact avec la surface de solide isolant sur la quelle se propage.[8]

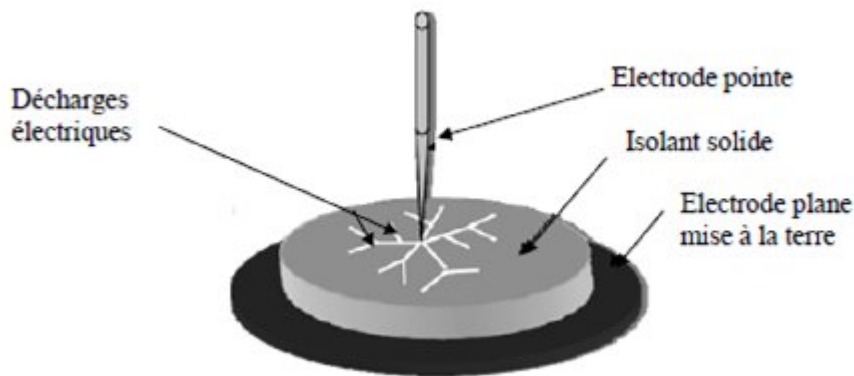


Figure I.12. système à décharges glissantes

I.11. 1.1.3. Décharge couronne

Par le terme " décharge couronne ", on se réfère généralement à un ensemble de phénomènes se produisant, dans un milieu gazeux, au voisinage d'un conducteur de faible rayon de courbure, soumis à un champ électrique intense. Lorsque, au voisinage d'un fil mince et plus généralement au voisinage d'une surface a faible rayon de courbure, le champ électrique dans l'air atteint une certaine valeur, dite critique, les atomes s'ionisent et le phénomène se manifeste visuellement par l'apparition d'une gaine lumineuse entourant le fil comme une couronne de couleur bleu violette. C'est la l'origine historique de l'expression " effet couronne ".

On peut définir la décharge couronne comme l'ensemble des phénomènes liés à l'apparition d'une conductivité suite à l'ionisation d'un gaz entourant un conducteur porté à une haute tension

I.12. Application des décharges à barrière diélectrique

Dans cette section nous allons évoquer quelques usages des DBD, en commençant par la plus ancienne :

I.12.1. production d'Ozone

L'ozone sert essentiellement au traitement de l'eau (dépollution), en éliminant les bactéries, les virus et les odeurs désagréable. La production d'ozone « O_3 » à pression atmosphérique, est réalisée à partir de l'air ($4N_2 + O_2$), de l'oxygène (moléculaire à son état fondamentale) « O_2 », ou d'autres mélanges gazeux composés d'oxygène et d'azote « N_2 » (moléculaire à son état fondamentale).[3]

I.12.2. Traitement de surface

Le traitement de surface par plasma consiste à modifier l'état d'une surface par l'une des méthodes génériques : gravure, dépôt et la modification de la chimie de surface. [8]

➤ Gravure

On peut à l'heure actuelle graver (réalisation de motifs dans le substrat par érosion de celui-ci) des plaques de silicium à des vitesses $4000\mu\text{m}/\text{min}$ en utilisant les DBD pour plasma. [8]

➤ Dépôt en surface d'une couche mince d'un matériau donné (métal, semi-conducteur, diélectrique, polymère)

Les premières études ont été faites par OKAZAKI et al en 1950 ou ils ont montré qu'une décharge homogène à pression atmosphérique pouvait être utilisée pour polymériser des films organique de polytetrapoly-éthylène.[8]

➤ Modification de la chimie de surface

Elle peut être la fonctionnalisation, greffage et le dopage par implantation, diffusion ou stérilisation. [8]

I.13. Conclusion

Dans la première partie de ce chapitre nous avons donné quelques généralités sur les différents types isolants.

Dans la deuxième partie du chapitre, nous avons présenté les mécanismes des décharges électriques et les différents types : les décharges à barrière diélectrique, les décharges surfacique et décharge couronne avec leurs domaines d'application.

Chapitre II : Etude du phénomène d'arborescences

II.1. Introduction

L'application d'un champ électrique suffisamment élevé à un diélectrique donne la possibilité d'avoir, par ionisation partielle du milieu, un courant dont la valeur dépend de celle du champ appliqué. Dans ce chapitre nous étudions le phénomène d'arborescence.

II.2. Les décharges partielles

Les décharges partielles sont à l'origine des dégradations subies par les matériaux diélectriques dans une isolation soumise à une haute tension. Elles se produisent de façons localisées à l'intérieur ou à la surface d'isolants composites, au voisinage des électrodes, ou le champ est très inhomogène. Le courant véhiculé par les décharges partielles ne présente généralement qu'une petite fraction du courant de déplacement. [10]

II.3. Naissance des décharges partielles

II.3.1. Tension aux bornes de la vacuole

Si on applique aux bornes d'une éprouvette une tension U_a au moins égale à une valeur U_s appelée tension de seuil, telle que la différence de potentiel V_s aux extrémités de la vacuole atteint la tension disruptive U_i du gaz qu'elle contient, des décharges prennent naissance, constituant une cause d'érosion permanente et contribuant ainsi à la détérioration plus ou moins lente de l'isolation. La condition nécessaire et suffisante pour créer des décharges est donc $V_C = U_i$.

La différence de potentiel aux bornes de la cavité dépend de la valeur de la tension appliquée à l'ensemble, de la nature même du matériau, de la géométrie du défaut, des conductivités superficielle et volumique de l'isolant [10]

II.3.2. Caractérisation de la nocivité des décharges

La dégradation liée aux décharges partielles est un processus lent. Pour être mis en évidence, il nécessite de grandes périodes allant jusqu'à quelques années. Plusieurs travaux font appel aux mécanismes de dégradation et de claquage par des décharges partielles.[10]

Afin de déterminer la résistance des isolants à l'action des décharges partielles. Deux types d'expériences étaient habituellement mis en œuvre :

- La détermination de la durée de vie, c'est-à-dire du temps de rupture de l'isolant soumis à une contrainte permanente de tension.
- Le relevé des variations de propriétés physiques ou chimiques, permettant de comparer deux grandeurs reliées d'une part aux cause du phénomène et d'autre part à ses conséquences. [10]

II .3.3. Types des décharges partielles

Les décharges partielles peuvent se scinder en trois familles :

1. **les décharges partielles internes** : elles prennent naissance localement dans des zones du diélectrique où la rigidité est faible: Une cavité gazeuse dans un solide ou une bulle dans un liquide par exemple. (Figure a) ;
2. **les décharges de surface** : elles se manifestent lorsqu'un champ tangentiel important existe à la surface de l'isolant. (Figure b) ;
3. **les décharges corona**: elles apparaissent au niveau des renforcements localisés du champ électrique (effet de pointes, géométrie des électrodes,...). La décharge est dans ce cas restreinte à une zone très réduite entourant le lieu de renforcement du champ. (Figure c).

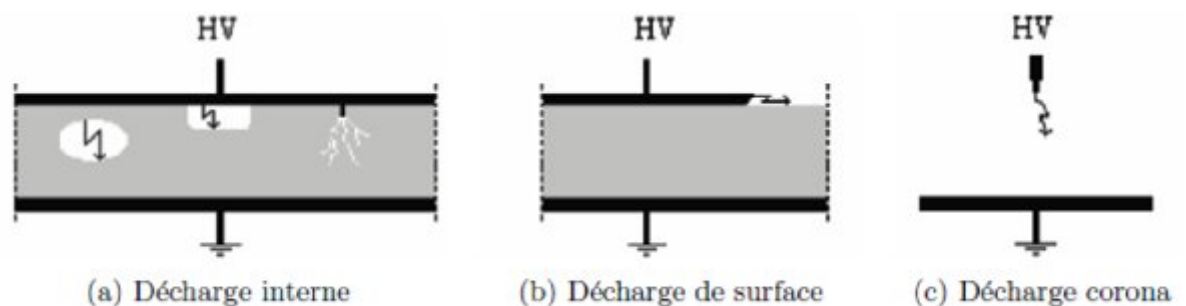


Figure. II.1. Classes des décharges partielles

Les décharges internes surviennent au sein des inclusions ou des cavités du diélectrique tandis que les décharges de surface interviennent au niveau de la surface du diélectrique. Enfin, les décharges corona se produisent dans l'air, en particulier dans les régions où le champ électrique est fortement inhomogène (prés d'une pointe, . .) [1]

II.4. Les décharges arborescentes

Les isolants solides utilisés en haut tension, ne sont pas parfaits, ils contiennent toujours des impuretés et des défauts microscopiques, ces défauts sont à l'origine de la distorsion et la concentration local du champ électrique qui conduit à la formation des canaux appelées « arborescences »

L'arborescence est un phénomène de dégradation de l'isolante haute tension qui se manifeste par des formations rappelant une forme d'arbre.

Ces arborescences sont en relation avec :

- les caractéristiques du matériau isolant.
- la mise en oeuvre de l'isolation et des protections. [11]

Les claquages par arborescences sont assez nombreux, mais le phénomène est considéré comme dangereux. On distingue deux types d'arborescence :

- Les arborescences électrochimiques.
- Les arborescences électriques.

II.4.1. Les arborescences électrochimiques:

Les arborescences croissent au cours du temps provoquant un claquage dès que leur taille est suffisante. La présence d'humidité dans certains polymères semble favoriser l'apparition de ce type d'arborescences. La présence simultanée de l'eau et d'un champ électrique intense provoque l'apparition d'arborescences d'eau qui a tendance à suivre les lignes du champ électrique.

II.4.2. Les arborescences électriques

L'arborescence électrique apparait dans régions ou le champ électrique est élevé. Il peut donc s'agir d'une concentration locale du champ provoquée soit par aspérités métallique, soit par des éléments polluants.

L'étude des arborescences électriques dans les isolants synthétique a débuté vers 1951, avec les travaux de Masson [12,13]. Elles ont comme origine des défauts au sein d'un matériau tels qu'il se produit une concentration importante du champ électrique. Dans les

câbles, Les observations sont rares car le développement est assez rapide, et il est suivi d'un claquage qui détruit les zones atteintes [14]

Les expérimentateurs simulent des défauts en introduisant une aiguille pointue dans un isolant. La tension est appliquée entre l'aiguille et une électrode généralement plane et en contact avec le matériau. Lorsque les essais sont effectués sur des éléments de câbles, l'aiguille est enfoncée radialement, la seconde est constituée par le conducteur. En pratique, il s'agit de reproduire les conditions nécessaires à l'apparition des arborescences. La pointe sert alors de site d'initiation. Les études ont montré que le développement du phénomène est toujours caractérisé par 3 phases:

- phase d'initiation ou d'incubation définie comme le temps séparant l'application de la tension au système d'électrodes de l'apparition de première branche en pointe d'aiguille
- Phase propagation durant laquelle on observe le développement de micro canaux dans l'espace inter électrode.
- Phase d'avalanche qui conduit au claquage.

II.4.2.1. Phase d'incubation

La période d'incubation est considérée comme le phénomène prédisruptif dans le domaine de la rupture à long terme des isolants solides. On distingue 3 groupes de théorie :

- Celle qui fait appel à l'action des décharges partielles,
- Celle qui prennent en compte l'action des porteurs chauds,
- Celle qui envisagent une rupture électromécanique.

II.4.2.1.1. Formation de l'arborescence par décharges partielles

Il est généralement admis que des décharges partielles non mesurables se développent dans les microcavités et produisent des trous acérés à la pointe desquels le champ électrique est transféré [15,16]. Ces cavités seraient dues aux dilatations différentielles du polymère et du métal et à l'air absorbé ou occlus [17]. Si ces microcavités n'existent pas à l'origine, elles sont créées par une fatigue électromécanique aux points de concentration du champ électrique. Un échauffement dû aux pertes diélectriques peut s'ajouter à cette fatigue [18]

II.4.2.1.2. Action des porteurs chauds sur la structure du polymère

Eichhorn [19] a été l'un des premiers à émettre l'hypothèse selon laquelle l'apparition de l'arborescence serait principalement due à l'action des électrons chauds sur le diélectrique. Le processus est le suivant:

1- Injection d'électrons par effet de champ à l'interface métal-polymère et accélération de certains d'entre eux jusqu'à des énergies de l'ordre de 10 eV. Sous un champ de 10 MV/cm, cette énergie correspond à un libre parcours moyen électronique de 100 Å qui est supposé exister aux interfaces des parties cristallines et des parties Amorphes du polymère.

2- les électrons les plus énergétiques effectuent des collisions ioniques avec les molécules du polymère et il peut y avoir rupture de liaisons. Ils se piègent et constituent une charge d'espace. Une partie de ces électrons piégés peut être dépeignée pendant les alternances positives de la tension appliquée.

II.4.2.1.3. Formation de l'arborescence par rupture électromécanique

Noto et al [20,21] ont développé l'idée selon laquelle l'apparition de l'arborescence à des champs inférieurs au champ de rupture du polymère est due à l'action de la force de compression de Maxwell. L'existence d'un champ électrique dans un isolant peut effectivement engendrer des contraintes mécaniques. Les auteurs rapportent que, pour un champ électrique de 4,8 MV/cm, le temps d'incubation est de 5 secondes et on obtient une force de 23,8 kg/cm². Cette valeur est inférieure à la limite de rupture en traction, pour le polyéthylène, donnée par Noto et Yoshimura [21] qui est de l'ordre de 90 kg/cm² à 20°C. La force de Maxwell ne peut pas expliquer l'origine de la première fracture de l'isolant. Les auteurs évoquent alors l'action répétée de cette force qui produirait un phénomène de fatigue, proportionnel à la fréquence de la contrainte électrique conduisant à la fissure du matériau.

II.4.2.3. Phase de propagation

Le processus de propagation des arborescences électriques est mieux compris. On admet que des décharges se produisent dans les canaux rendant conducteur le gaz qui les remplit : le champ est reporté à leurs pointe et provoques des claquages locaux qui les font progresser. Le développement des arborescences électriques est toujours accompagné de décharge partielle. La propagation se fait dans la direction du champ électrique. Le cheminement complexe des filaments résulterait de la rencontre aléatoire des facteurs tels que les contraintes internes. [22]

On distinguera deux types de phénomènes selon la dynamique de propagation de l'arborescence :

II.4.2.3.1 Arborescence a propagation rapide

Des arborescences dont les temps de propagation sont extrêmes courts (très inférieurs à la microseconde) sont observables sous très forts niveaux de tension (voisins de ceux qui conduisent au claquage immédiat de l'isolant). [22]

II.4.2.3.2 Arborescence a propagation lents

Les arborescences à propagation lente (durée de propagation très supérieure à la microseconde) ont été observées le plus souvent dans les polymères sous contrainte alternative à 50 Hz lorsque les conditions électriques locales qui ont déterminé la formation du canal initial sont très différentes des conditions électriques moyennes dans l'isolant. En fonction de la nature et du niveau des contraintes appliquées, les durées de propagation peuvent varier de plusieurs ordres de grandeur (de la fraction de seconde à plusieurs) [22].

II.5 Les types d'arborescences électriques

On distingue trois types d'arborescences électriques :

- L'arborescence type branche ;
- L'arborescence type buisson ;
- Le mélange des deux : l'arborescence branche buissonnante.

Une image de ces trois d'arborescences et montrée a la figure II.2.

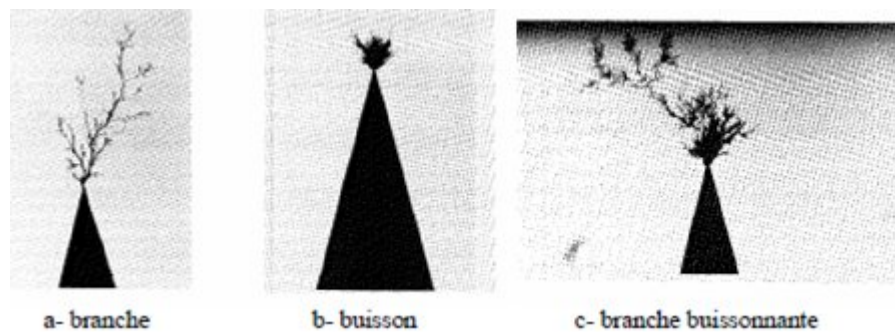


Figure. II.2. Les trois sous catégories de l'arborescence électrique

Les arborescences de type branche ont des diamètres de quelques dizaines de Micromètres ($\approx 30\mu\text{m}$) pour le tronc et de l'ordre du $1\mu\text{m}$ pour les ramifications. Les arborescences type buisson forment des tubes creux de forte densité. En ce qui concerne les arborescences type branche buissonnante, elles regroupent les mêmes caractéristiques.[23]

Des études ont montré l'importance de l'amplitude du champ électrique sur la forme des arborescences qui dépend aussi de la fréquence du signal électrique, de la forme des électrodes et du type de matériau utilisé. [23]

II .6. Influence des paramètres physiques sur arborescences

II .6.1. Influence de la polarité de la tension sur la forme des décharges glissantes

D'une façon générale et indépendamment de la nature et de l'épaisseur du solide, deux types de décharges peuvent être observées selon la polarité de la pointe :

- Les décharges surfaciques émanant d'une pointe négative, se distinguent par des branches rectiligne, les extrémités des branches et leur ramification forment un contour plus ou moins circulaire, centré sur la pointe. les branches de la décharge négative, appelés aussi « streamers ». [9]
- Les décharges générées à partir d'une pointe positive ont une forme différente des décharges négative. Le contour formé par l'extrémité des branches prend une forme aléatoire à la différence des décharges négatives qui ont un aspect quasi circulaire. [9]

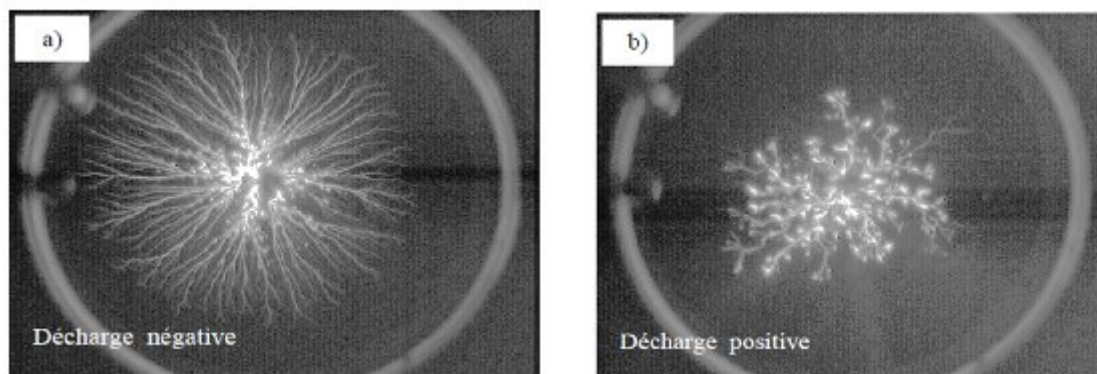


Figure. II.3.photographie de décharges glissantes obtenues sur une interface huile /bakélite sous tension impulsionnelle d'amplitude 40kV (valeur crête) pour les deux polarités : (a) polarités négative et (b) polarités positive [9]

Quelles que soient la polarité de la tension et la nature du solide isolant, l'augmentation de l'amplitude de la tension appliquée est accompagnée d'une augmentation de la longueur des décharges et de la luminosité des canaux de décharges (figure II.4).

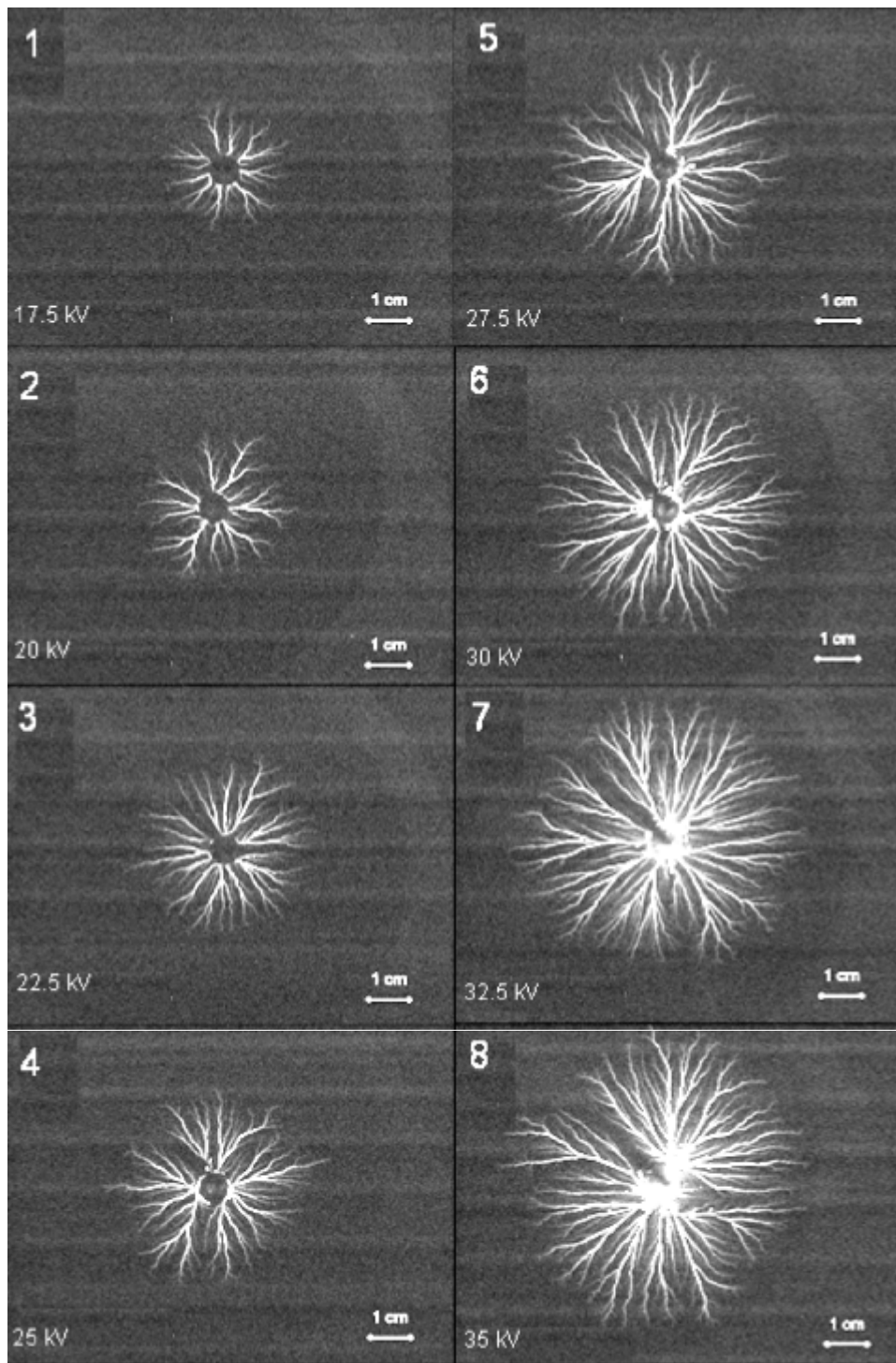


Figure II. 4. Evolution de la longueur finale des décharges en fonction de la tension

II.6.2. Influence de la nature et de l'épaisseur du solide isolant sur la forme des décharges glissantes

Kebbabi [9] a montré que indépendamment de la longueur finale des décharges, la forme des décharges glissantes sous tension impulsionnelle négative dépend fortement de la nature et de l'épaisseur du solide isolant, comme le montre les Figures (II.5 ; II.6 ; II.7) l'aspect

général change selon le matériau utilisé et la densité totale de branche dépend fortement de l'épaisseur du solide isolant.

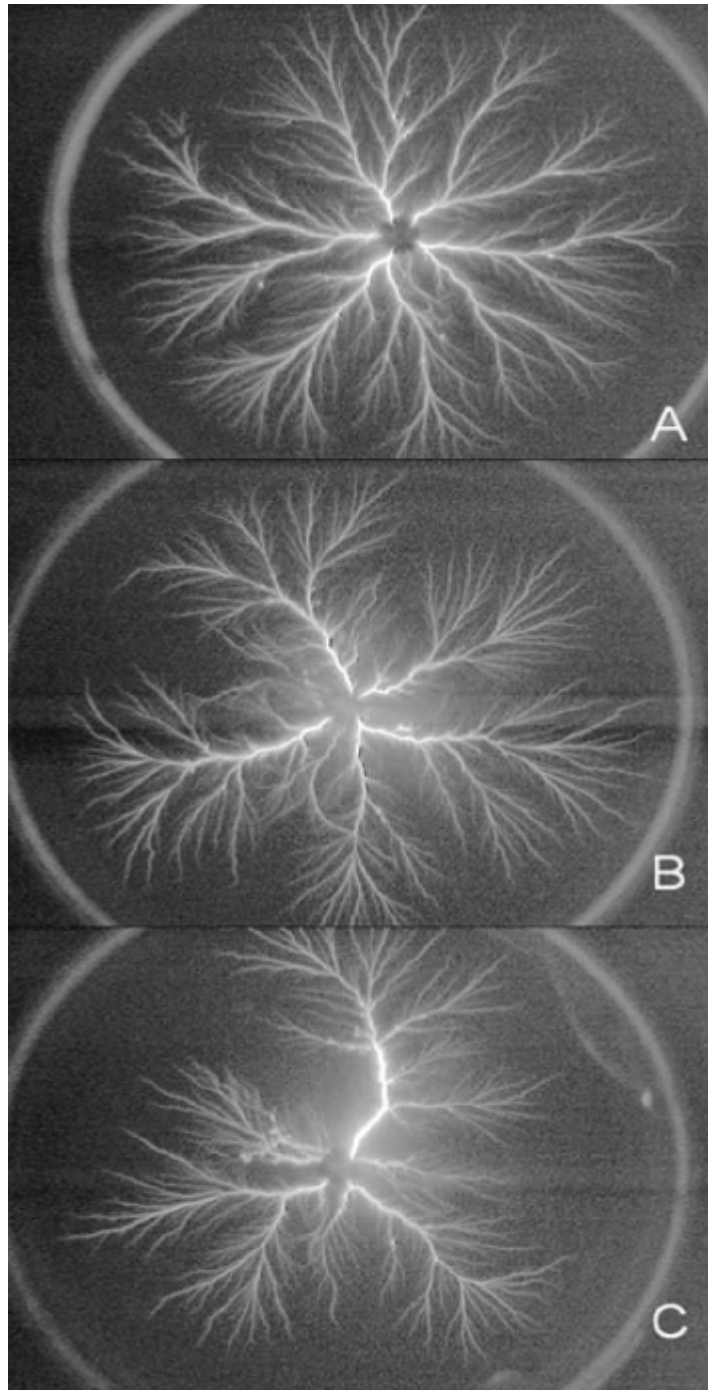


Figure. II.5. Photographies de décharges glissantes obtenues sous tension impulsionnelle négative, avec des échantillons en Verre de différentes épaisseurs :(A) 2mm, $U_{\text{crête}}=46$ kV, (B) 10mm $U_{\text{crête}}=54$ kV et (C) 20 mm, $U_{\text{crête}}=60$ kV. [9]

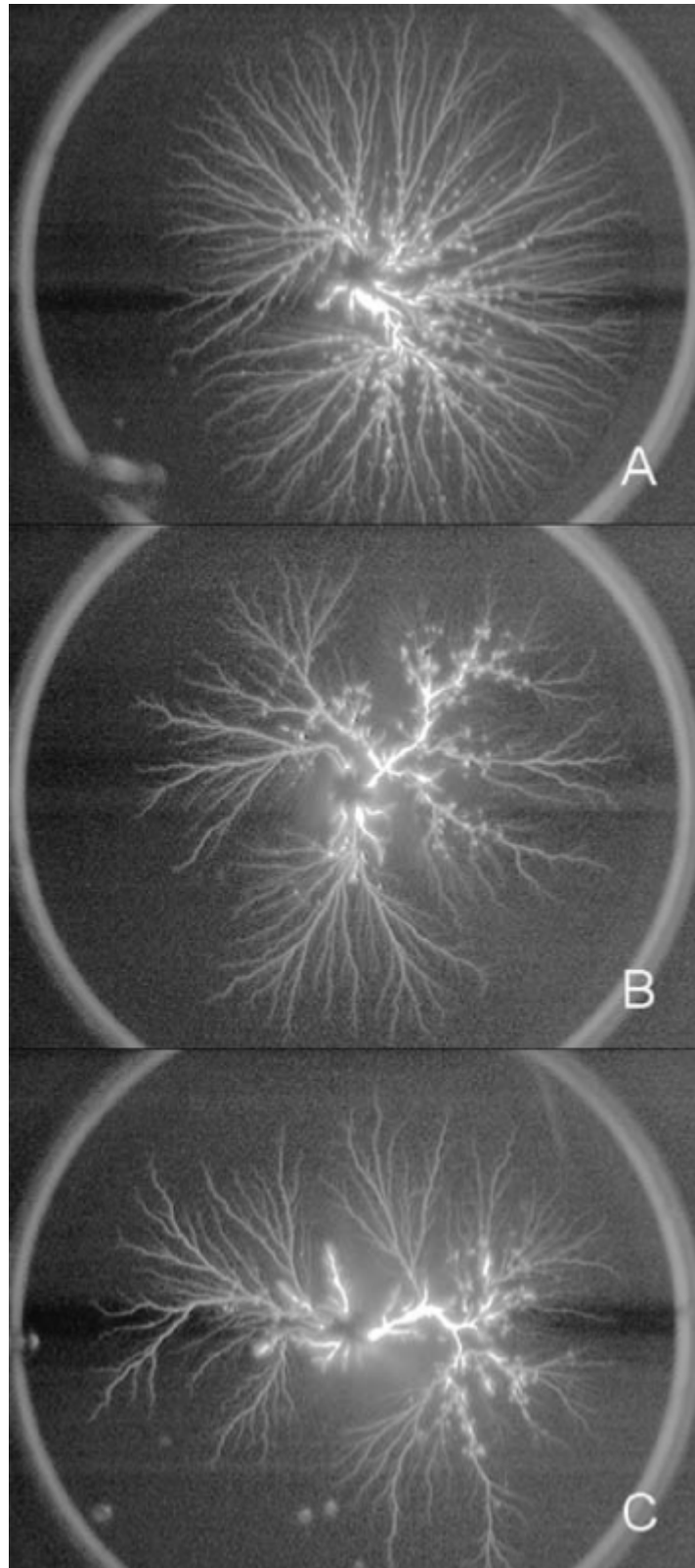


Figure.II.6. Photographies de décharges glissantes obtenues sous tension impulsionnelle négative, avec des échantillons en Bakélite de différentes épaisseurs : (A) 2mm, $U_{\text{crête}} = 44$ kV, (B) 10mm $U_{\text{crête}} = 53$ kV et (C) 20 mm, $U_{\text{crête}} = 58$ kV.

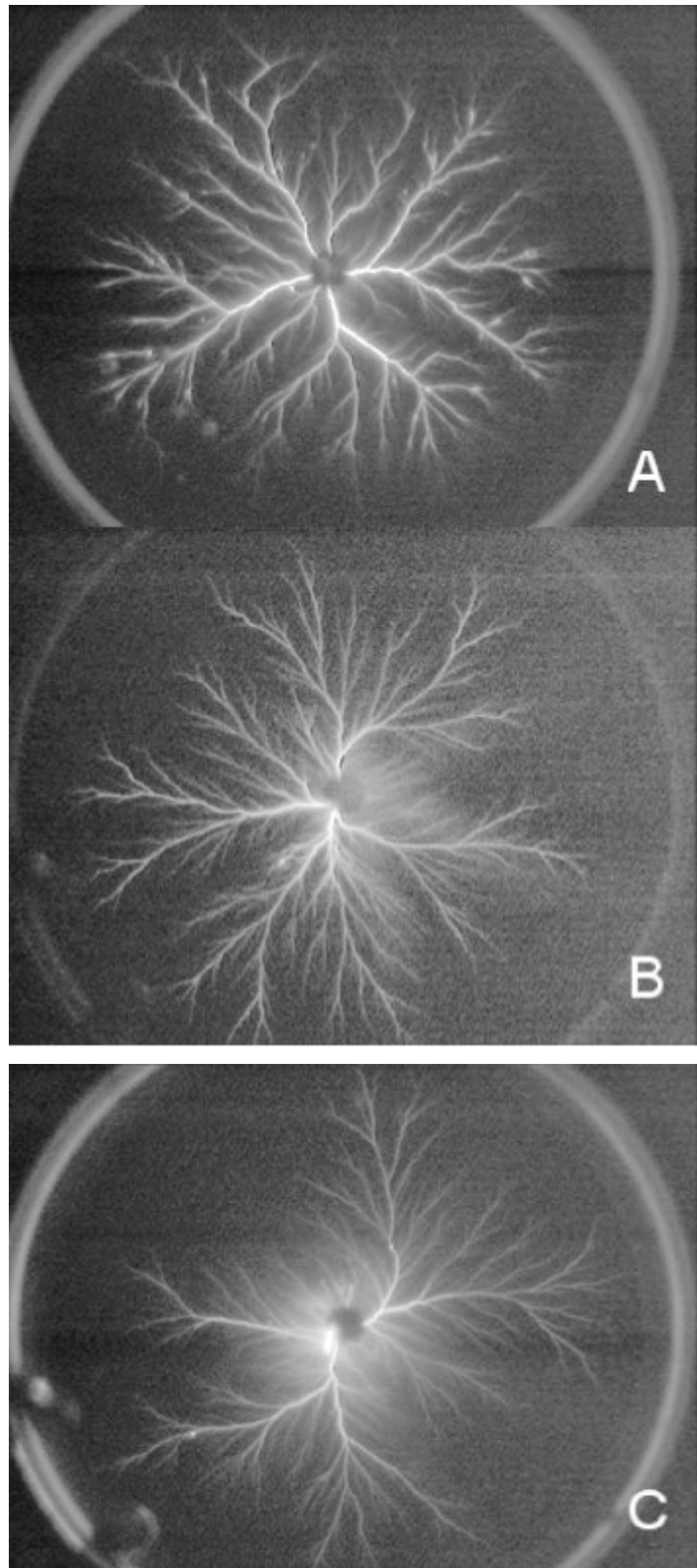


Figure.II.7. Photographies de décharges glissantes obtenues sous tension impulsionnelle négative, avec des échantillons en Polycarbonate de différentes épaisseurs : (A) 2mm, $U_{\text{crête}} = 51$ kV, (B) 10mm $U_{\text{crête}} = 59$ kV et (C) 20 mm, $U_{\text{crête}} = 67$ kV.

II.6.3. Influence de la nature et de l'épaisseur du solide isolant sur la longueur finale des décharges glissantes

Les streamers qui prennent naissance au voisinage immédiat de la pointe, se propagent radialement sur la surface du solide et s'arrêtent à une certaine distance de la pointe qu'on appelle longueur finale L_f . Cette dernière dépend de l'amplitude de la tension appliquée, de l'épaisseur et de la nature du solide isolant. [3]

II.7. Conclusion

Ce chapitre a fait l'objet d'une étude bibliographique sur les décharges, nous avons parlé de décharges partielles et des arborescences électriques et nous avons également donné les différents paramètres influençant sur ces arborescences

Chapitre III : Etude expérimentale

III.1. Introduction

Dans ce chapitre on va effectuer des travaux expérimentaux sur le polymère (PMMA), au niveau du laboratoire de haute tension ou on soumettra les échantillons choisis aux décharges, puis on procédera à l'analyse par MEB (microscope à balayage électronique) et FTIR réalisées respectivement aux laboratoires de physique et de chimie de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou et laboratoire LISM de Reims.

III.2. Polymère

III.2.1. Définition

Le polymère est un mot qui vient du grec « pollus » plusieurs, et « meros » partie. Un polymère est une macromolécule, organique ou inorganique, constituée de l'enchaînement répété d'un même motif, le monomère (du grec monos : un seul ou une seule, et meros ; partie), reliés les uns aux autres par des liaisons covalentes.[1]

III.3. Présentation du matériau étudié

Le polymère étudié dans cette étude est un matériau amorphe obtenu par polymérisation des monomères vinyliques. La polymérisation de ce matériau est obtenue par le processus de polymérisation radicalaire dans laquelle le centre actif est un radical.

III.4. Polyméthacrylate de méthyle (PMMA)

Le polyméthacrylate de méthyle (PMMA) est plus connu sous son premier nom commercial de Plexiglas, est un polymère thermoplastique transparent obtenu par polymérisation radicalaire. La cohésion est assurée par des enchevêtrements de chaînes ainsi que des liaisons faibles de type hydrogène et van der Waals. Le PMMA est un matériau très répandu qui présente une excellente transparence et qui a fait l'objet de nombreuses études.

III.4.1. Le principe de production du monomère MAM [24]

Nous donnons dans ce qui suit le principe de fabrication des monomères constituant le PMMA et dénommés MAM. Le produit de départ est une cyanhydrine (obtenue à partir du propanone et d'acide cyanhydrique). Cette cyanhydrine est convertie (réaction 1, figure III.1) par l'acide sulfurique, sur la méthacrylamide. Ensuite l'action du méthanol en excès, en milieu acide sulfurique, sur la méthacrylamide fournit alors le méthacrylate de méthyle MAM (réaction 2, figure III.2).

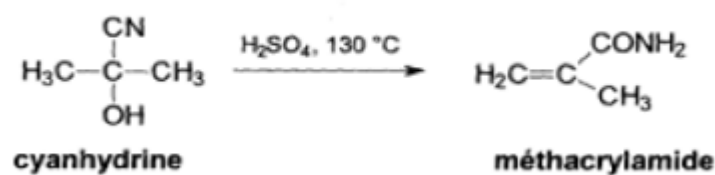


Figure III.1. Réaction 1



Figure III.2. Réaction 2

III.4.2. préparation du polyméthacrylate de méthyle[24]

Le PMMA est un polymère vinylique, fabriqué par polymérisation radicalaire à partir du monomère méthacrylate de méthyle (MAM), comme la montre la figure III.3.

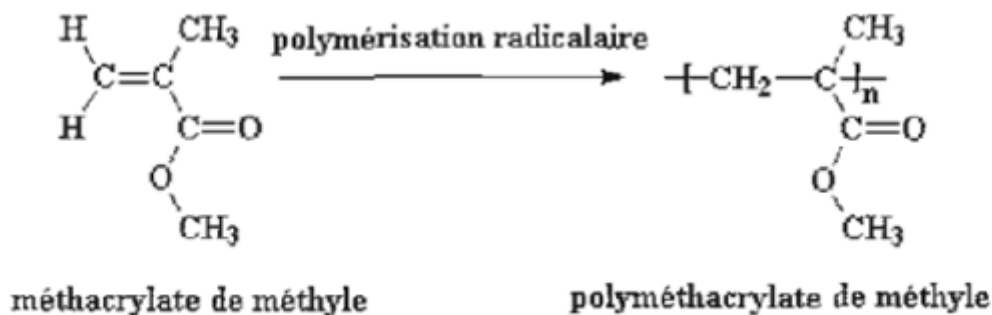


Figure III.3 . Préparation du polyméthacrylate de méthyle

III.4.3. Propriétés du polyméthacrylate de méthyle[24]

III.4.3.1. Propriétés thermiques

- Température d'utilisation en continu : 85°C ;
- Température de déformation sous charge de 1,85N/mm² : 105°C ;
- Température de transition vitreuse : 110 à 135°C ;
- Conductivité thermique : 0,18 W/°C ;
- Point de fusion : 210°C

III.4.3.2. Propriétés chimiques

Le PMMA est sans odeur et inchangé par :

- Les solutions de la plupart des produits chimiques, acides organiques et minéraux .
- Les solutions alcalines diluées.

Le PMMA est attaqué par :

- L'acétone, l'alcool éthylique ;
- Le chlore liquide, le phénol ;
- L'ammoniac ;
- L'eau oxygénée à plus de 40 %, l'essence térébenthine, les hydrocarbures et le méthanol à 3%

Si dans la structure du PMMA les groupes de méthyle (CH_3) attachés aux atomes de carbone sont remplacés par les atomes simples d'hydrogène, on obtient l'acrylate de polyméthyle, un matériel caoutchouteux mou blanc.

III.4.3.3. Propriétés physiques du PMMA

Le PMMA possède les propriétés physiques suivantes :

- Il est léger et sa densité est de $1,19 \text{ g/cm}^3$, environ la moitié de celle du verre ;
- Il ne se brise pas car il est doté d'une grande résistivité aux chocs ;
- L'angle de réflexion de lumière est de 41° à 42° , ce qui permet la réalisation de fibre optique.

III.4.3.4. Propriétés mécaniques du PMMA

- Le polyméthacrylate de méthyle est rigide à température ambiante. Il est dur et cassant (rupture au choc de 0,2 à 0,3 J/cm avec un faible allongement à la rupture en traction de 4 à 10 %)
- Le PMMA présente une grande résistance au vieillissement
- Sa contrainte de rupture à la flexion est de 9 à 12 daN/mm²
- Contrainte maximale de compression : 97 à 117 MPa

III.4.3.4. Propriétés électriques du PMMA

Les principales propriétés du PMMA sont résumées ci-dessous .

- Rigidité diélectrique de 15 à 20 kV/mm ;
- Résistance superficielle 10^{15} à $10^{16}\Omega$;
- Résistance transversale 10^{15} à $10^{16}\Omega.cm$;
- Facteur de pertes diélectriques : Il est de l'ordre 10^{-2} pour une fréquence de 50Hz ;
- Permittivité relative pour une fréquence de 50 Hz 3.3

III.5. Utilisation du PMMA [25]

On distingue :

- enseigne, bandeaux lumineux, panneaux signalétiques et publicitaires ;
- PLV, présentoir, gravure, ameublement, agencement de magasin, décoration ;
- pièces industrielles ;
- accessoires de sécurité ;
- balle de contact ;
- prothèse dentaire ;
- implant en ophtalmologie ;
- membranes pour hémodialyseurs... ;
- fibres optiques ;
- art (objets design, sculpture) ;
- lentilles d'appareils photographiques économiques (jetables) - la polymérisation en masse permet l'obtention de pièces sans contraintes internes, possédant donc un indice de réfraction constant et isotrope ;
- support d'impression directe avec encres UV pour les tableaux photographiques ;
- instruments de musique : certains modèles de batteries (Ludwig et Tamburo, entre autres) ;
- réservoir de cigarettes électroniques.

Le PMMA possède de nombreux avantages dont deux principaux : il est transparent et résistant. Il peut remplacer le verre dans la fabrication de vitres car il permet une excellente transmission de la lumière. Il transmet jusqu'à 92 % de la lumière visible, soit plus que le

verre. Pour sa résistance aux ultraviolets, il est utilisé pour les vitrages, les protections de tuiles ou certains éléments de voiture (feux arrière).

III.6. Recyclage du PMMA [25]

Le PMMA peut être fondu puis remoulé, mais c'est surtout par dépolymérisation qu'il peut être recyclé facilement. Par chauffage, le PMMA redonne son monomère de départ, le MMA. Celui-ci peut alors être réutilisé pour une nouvelle polymérisation.

III.7. Différents types du PMMA

➤ PMMA choc

Pour renforcer les propriétés du PMMA, tout en restant transparent, on ajoute un élastomère à base d'acrylate de butyle préparé en polymérisation en émulsion dont l'indice de réfraction est proche de celui du PMMA.

➤ PMMA chaleur

L'acide méthacrylique est utilisé pour améliorer la tenue thermique de la pièce finie.

III.8. Préparation des échantillons

Pour nos essais, nous avons préparés des échantillons sous forme des disques de diamètre de 3 cm et d'épaisseur 3 mm à l'aide d'un laser. Pour les films, nous avons dissout des morceaux de PMMA dans l'acétone (C_3H_6O) jusqu'à obtention d'une solution (gel transparent), en suite nous avons étalé la solution obtenue sur des disques en verre à l'aide d'une lame. Après quelques heures, l'acétone s'est évaporée ce qui a permet la formation d'un film ayant une épaisseur très fine de l'ordre de quelques micromètres.

III.9. Conditions d'essais

On essuie d'abord les surfaces des échantillons avec de l'alcool pour enlever les impuretés puis on les laisse sécher.

Les échantillons seront en suite soumis à des décharges dans un système sphère-plan se trouvant à l'intérieur de la cage de faraday.

Dans nos essais, nous avons utilisé une tension de 10 kV.

III.10. Dispositif expérimental

Le schéma du dispositif expérimental utilisé dans cette étude est représenté sur la figure III. 4. Les décharges électriques ont été obtenues en alimentant les deux électrodes à l'aide d'une tension alternative délivrée par un transformateur d'essai figure III.5, dont les caractéristiques sont: $U = 100 \text{ kV}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $S = 10 \text{ kVA}$, la variation de la tension se fait à l'aide d'un autotransformateur qui se trouve au niveau du pupitre de commande figure III.6.

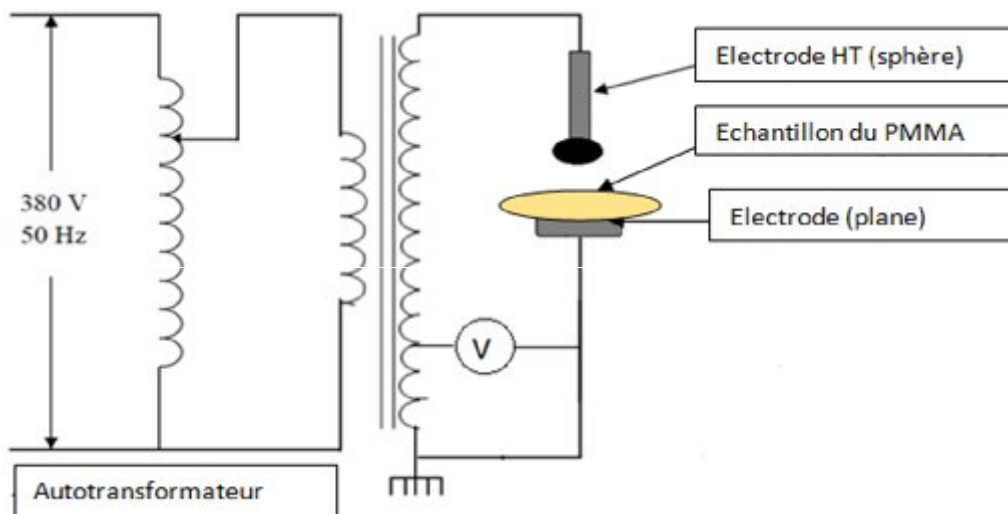


Figure III.4. schéma de dispositif expérimental



Figure. III.5. Transformateur d'essai

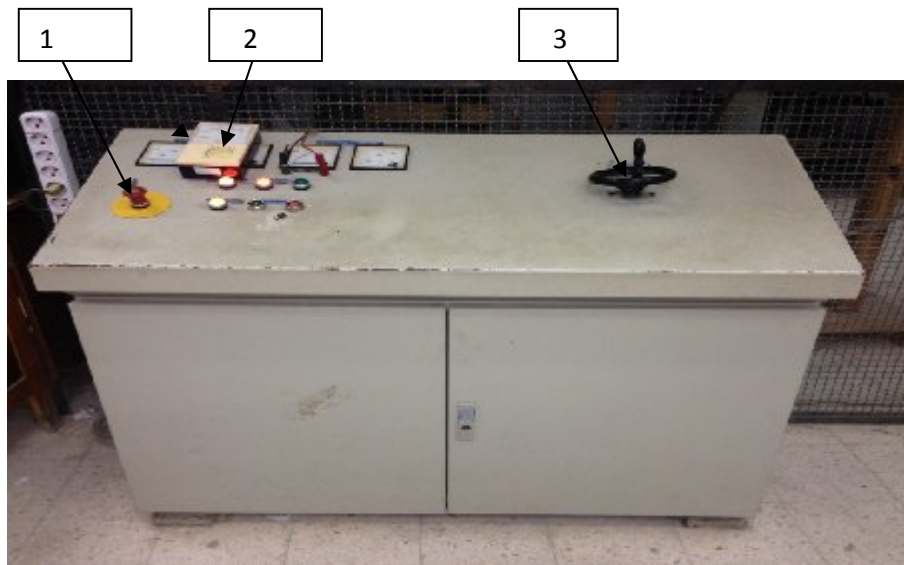


Figure III.6. Le pupitre de commande

1	Bouton d'allumage et d'arrêt d'urgence
2	Voltmètre
3	Curseur pour régler la tension

Une tension U est appliquée à l'électrode haute tension en forme de sphère de 6 mm de rayon, l'électrode plane étant mise à la terre. L'échantillon de PMMA, placé en série avec un intervalle d'air d'épaisseur d , est ainsi soumis à des décharges dans un système sphère-plan.

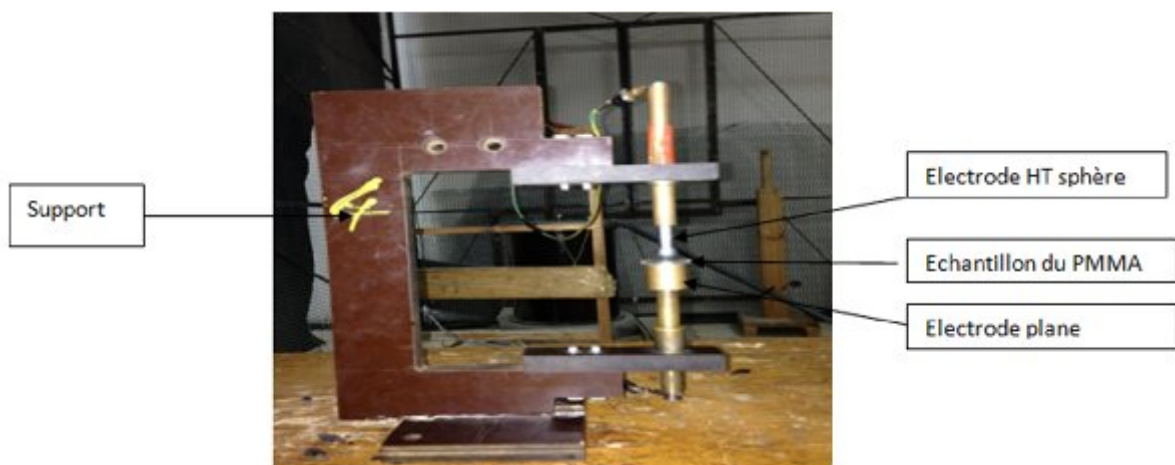


Figure III.7. Dispositif expérimental

III .11. Appareils d'analyse

Après avoir fait tous les essais sur les différents échantillons, nous avons remis ces derniers au laboratoire de physique et chimie de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou pour les analyses MEB et FTIR.

III .11.1. Microscope électronique à balayage (MEB)

III.11.1.1. Constitution d'un microscope électronique à balayage (MEB)

La figure montre les différentes parties constitutives du MEB et qui sont :

- Une colonne maintenue sous vide ;
- Une source d'électrons ;
- Un dispositif haute tension pour l'accélération des électrons ;
- Un ensemble de lentilles électroniques pour former le pinceau fin et intense ;
- Un condenseur final (objectif) et un diaphragme de petit diamètre qui permet de focaliser le pinceau fin sur la surface à examiner ;
- Un dispositif de réflexion piloté par un générateur de balayage ;
- Un platine porte objet mobile ;
- Un détecteur d'électrons et un dispositif d'amplification du signal rapide et à faible bruit ;
- Un système de visualisation d'image ;
- Un détecteur d'électrons rétro diffusés et d'un détecteur de rayons X.

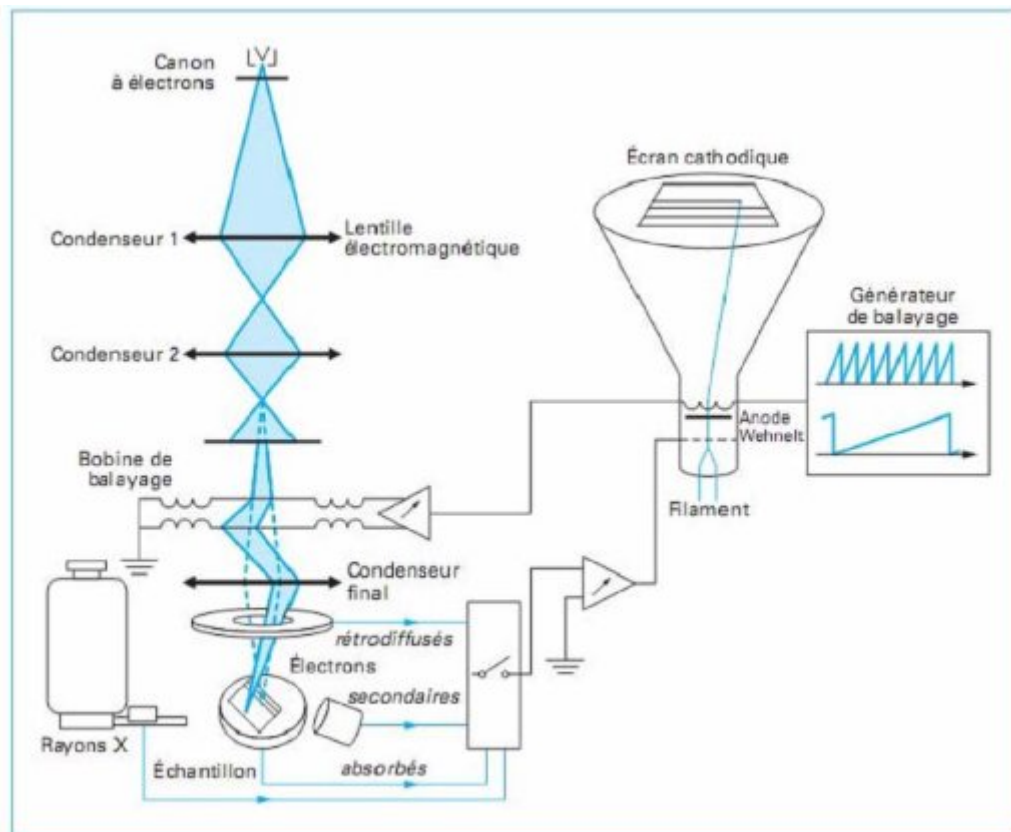


Figure.III.8. Schéma de principe d'un microscope électronique à balayage (MEB)

III .11.1.2. Principe de fonctionnement du MEB

La microscopie électronique à balayage (MEB ou SEM pour Scanning Electron Microscopy en anglais) est une technique de microscopie électronique pour l'observation de la surface. Elle est basée sur le principe des interactions électrons-matière (FigureIII.8). Un faisceau d'électrons est projeté sur l'échantillon à analyser. L'interaction entre le faisceau incident d'électrons primaires et l'échantillon génère principalement trois types d'émissions qui apportent différents types d'informations sur la matière dont est constitué l'échantillon :

➤ Les électrons secondaires

Ce sont des électrons peu liés de la bande de conduction de l'atome, éjectés lors de leur choc avec les électrons primaires du faisceau. Ce sont des particules de basse énergie. Ils sont accélérés vers un détecteur d'électrons secondaires qui amplifie le signal. À chaque point d'impact correspond un signal électrique. L'intensité de ce signal électrique dépend à la fois de la nature de l'échantillon au point d'impact et de la topographie de l'échantillon au point considéré. Ainsi, en balayant le faisceau sur l'échantillon, on obtient une cartographie de la zone balayée.

➤ **Les électrons rétrodiffusés**

Ce sont des électrons résultant de l'interaction des électrons du faisceau primaire avec des noyaux d'atomes de l'échantillon. Les électrons sont réémis dans une direction proche de leur direction d'origine avec une faible perte d'énergie. Ils permettent de mesurer l'homogénéité chimique d'un échantillon et son analyse qualitative.

➤ **Les rayons**

L'impact d'un électron primaire à haute énergie peut ioniser un atome à une couche interne. La désexcitation, le remplissage de l'ordre énergétique de la structure électronique, se produit avec émission de rayons X. L'analyse de ces rayons permet d'obtenir des informations sur la nature chimique de l'atome.

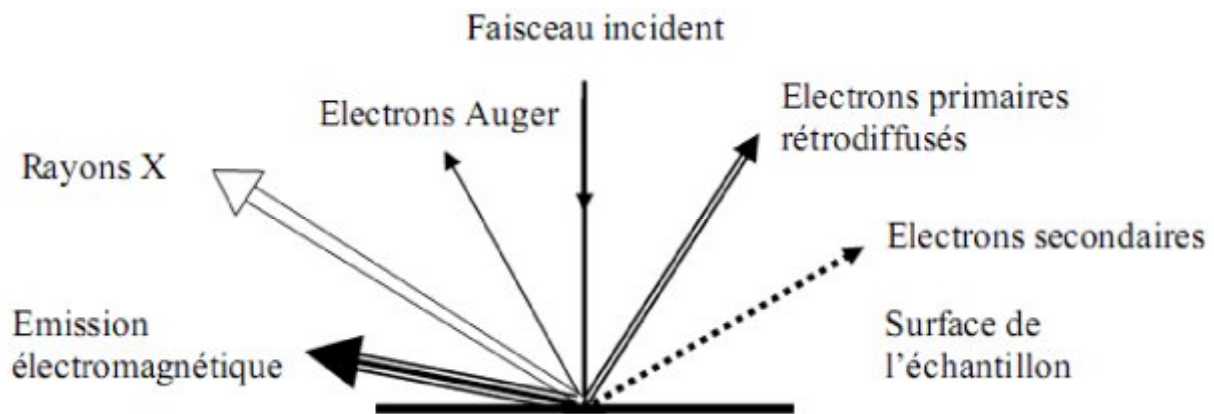


Figure.III.8. Signaux produits par l'interaction d'un électron primaire avec l'échantillon

Le MEB que nous avons utilisé est un appareil dit environnemental dans lequel l'échantillon reste à la pression atmosphérique. L'avantage que présente le microscope environnemental par rapport au microscope électronique ordinaire est de permettre l'analyse des surfaces isolantes sans qu'elles soient métallisées.

III .11.2. Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (IR-TF)

III.11.2.1. Domaines Infrarouge (IR)

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IR-FT) est une technique d'analyse utilisant un rayonnement de longueur d'onde variant entre 0.7 μm et 50 μm (ou

14000 cm^{-1} et 200 cm^{-1} en nombre d'onde) (voir figure III.9). Le domaine IR est divisé en trois sous-domaines [57, 77, 78] :

- IR proche (nIR) ; 0.7 – 2.5 μm (14000 – 4000 cm^{-1}) ;
- IR moyen (mIR) ; 2.5 – 25 μm (4000 – 400 cm^{-1}) ;
- IR lointain (fIR) ; 25 – 50 μm (400 – 200 cm^{-1}).

Le sous domaine le plus utilisé est le mIR.

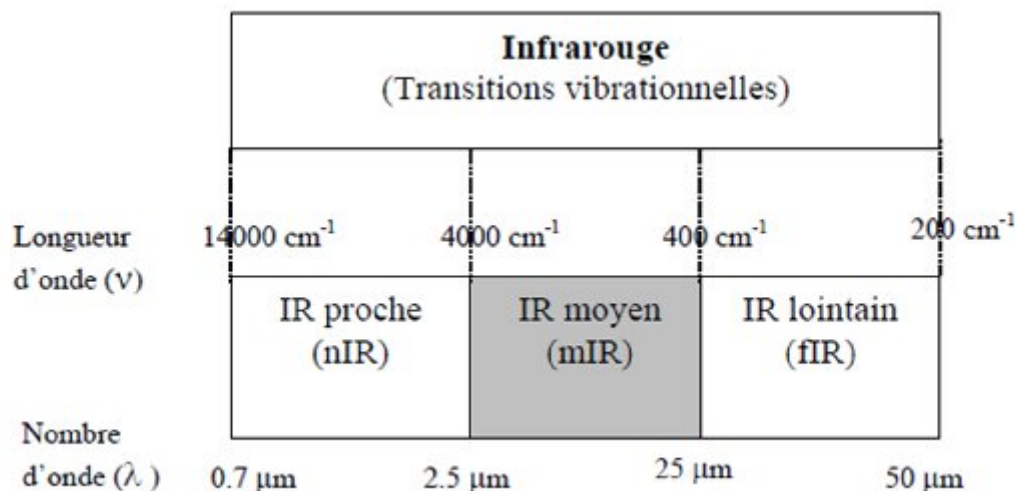


Figure III.9. Domaines de l'infrarouge

III .11.2.2. Principe de fonctionnement du spectromètre a transformée de Fourier

Le schéma de principe du spectromètre IR-FT est illustré par la figure III.10. Le rayonnement émis par la source (rayonnement IR) est focalisé sur l'interféromètre puis arrive à la séparatrice qui le divise en deux parties égales, l'une orientée sur le miroir fixe et l'autre sur le miroir mobile.

Les deux faisceaux se recombinent sur la séparatrice et passent par la suite vers l'échantillon, où les absorptions interviennent avant d'atteindre le détecteur. Le faisceau arrive ensuite sur le détecteur pour être transformé en signal électrique. L'interférogramme est ensuite converti en un spectre infrarouge par une opération mathématique appelée transformée de Fourier.

Dans notre étude nous avons utilisé le spectromètre Shimadzu 8400 au Laboratoire de Chimie Appliquée et Génie Chimique (LCAGC) de l'université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO).

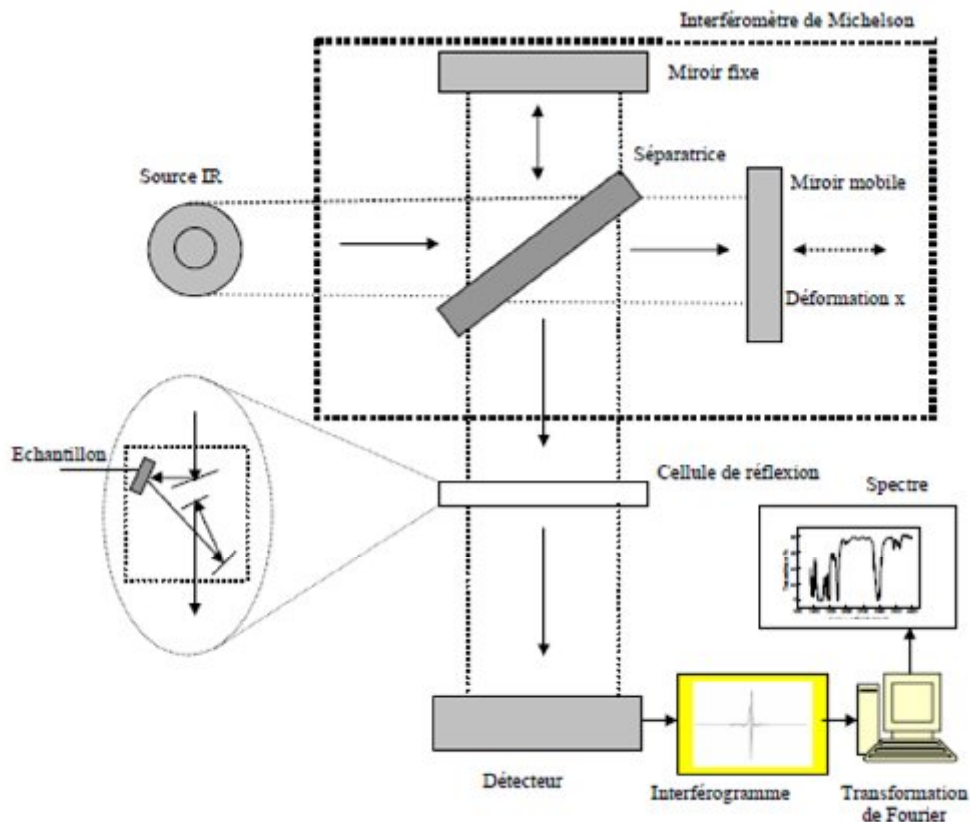


Figure III.10. Principe de base de la spectroscopie IR-FT

III.12. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné les généralités sur les polymères et le polymère utilisé dans nos essais, les propriétés de poly méthacrylate de méthyle (PMMA), et nous avons décrit les équipements utilisés dans nos investigations expérimentales, pour l'étude de l'évolution des arborescences électriques sur la surface de l'isolant pour la configuration sphère –plane.

Chapitre IV: Résultats expérimentaux et discussion

IV.1.Introduction

Dans ce chapitre on va donner les résultats obtenue et l'interprétation

IV.2. Observation visuelle

On observe un changement de couleur sur la surface des échantillons vieillis, la partie soumise aux décharges est devenue blanchâtre tandis que les parties non exposées à ces décharges sont transparentes (figure IV.1).

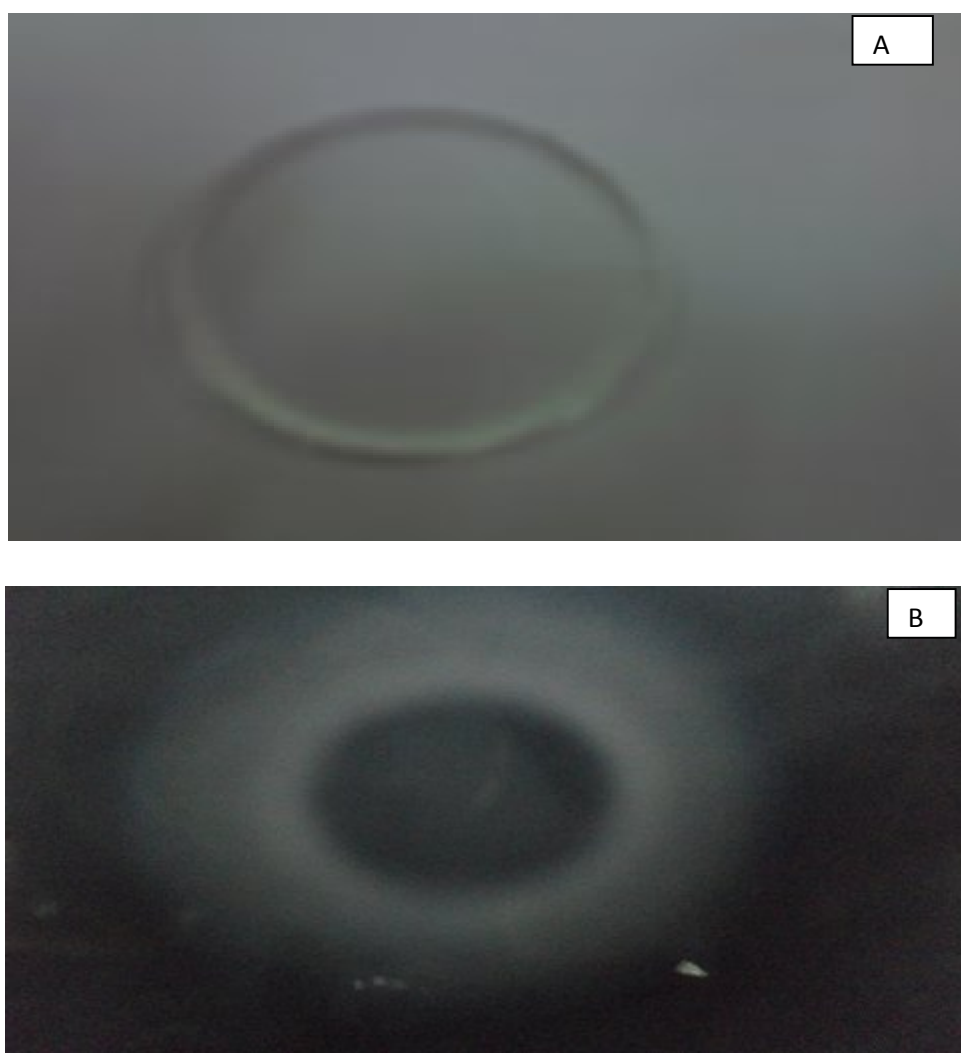


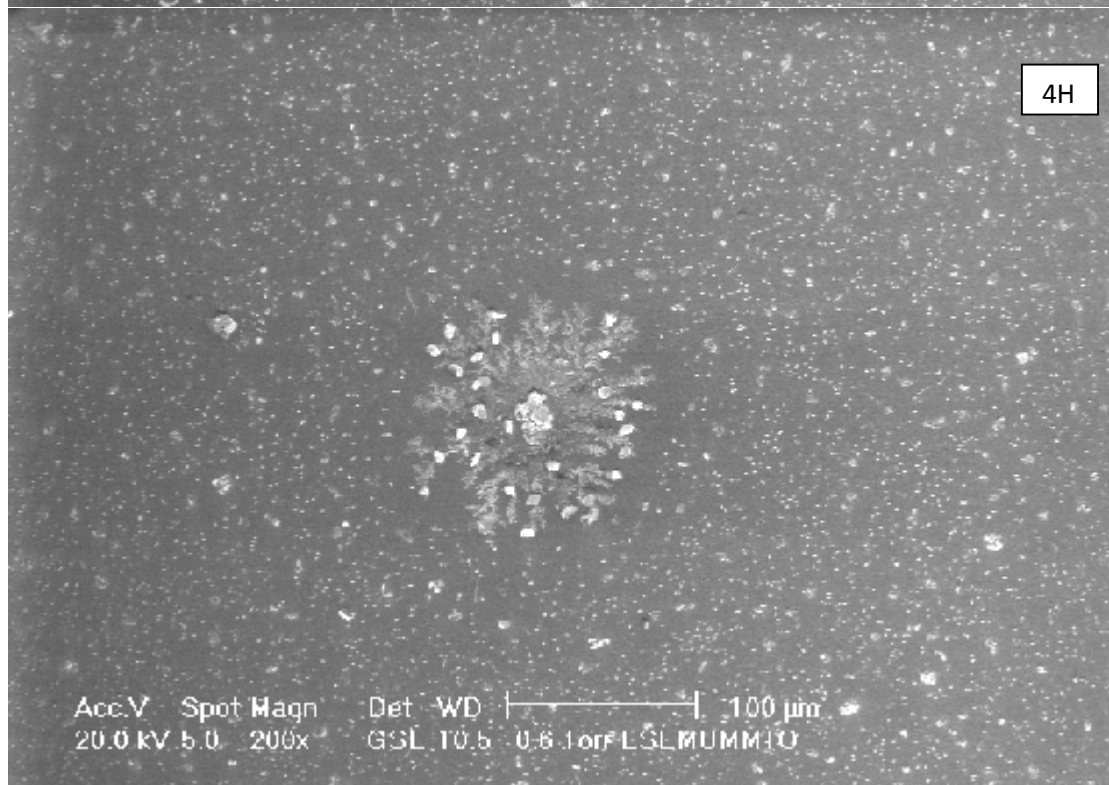
Figure. IV.1 : échantillon du PMMA, A: vierge, B: vieilli 4h

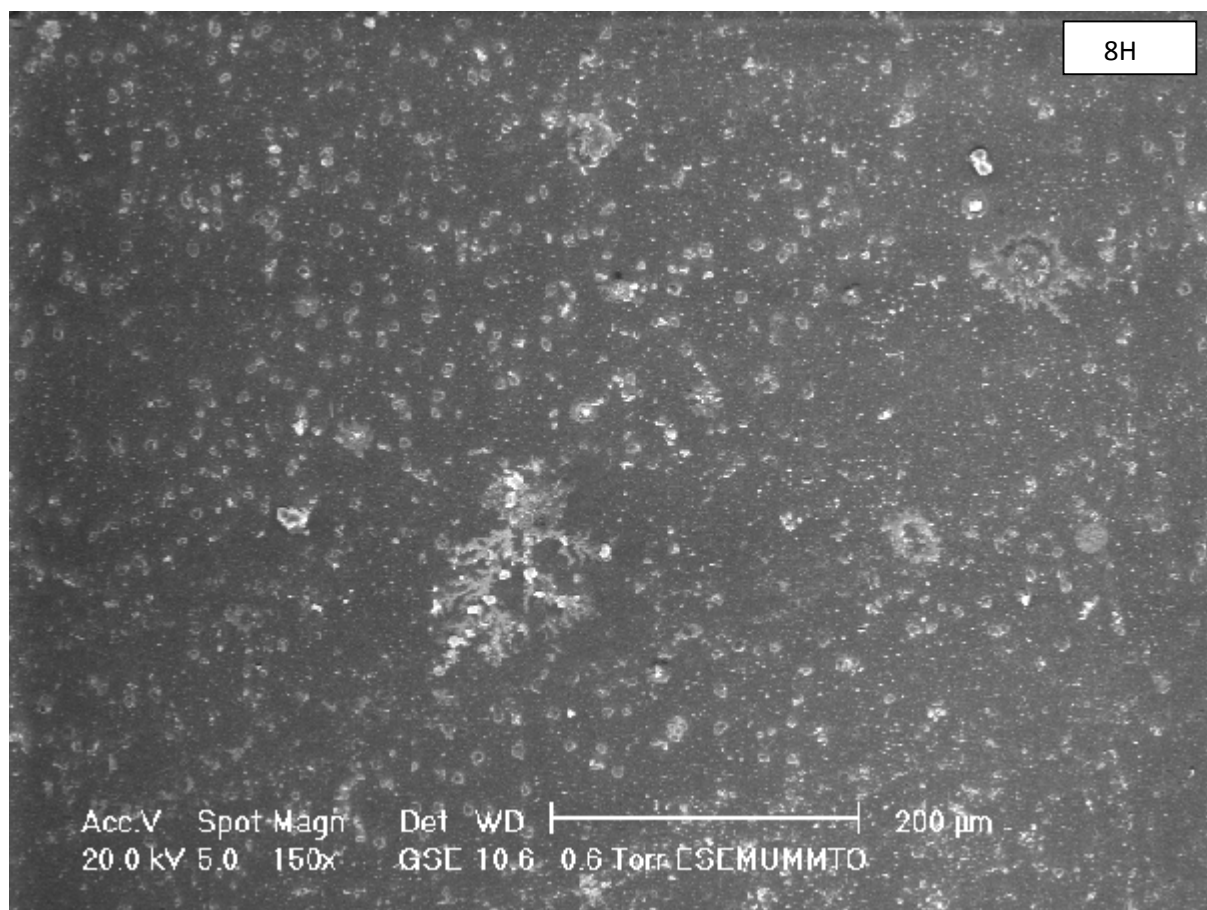
IV.3. Analyse topographique par le MEB

Nous avons analysé la topographie de la surface des échantillons soumis aux décharges à l'aide d'un microscope électronique à balayage.

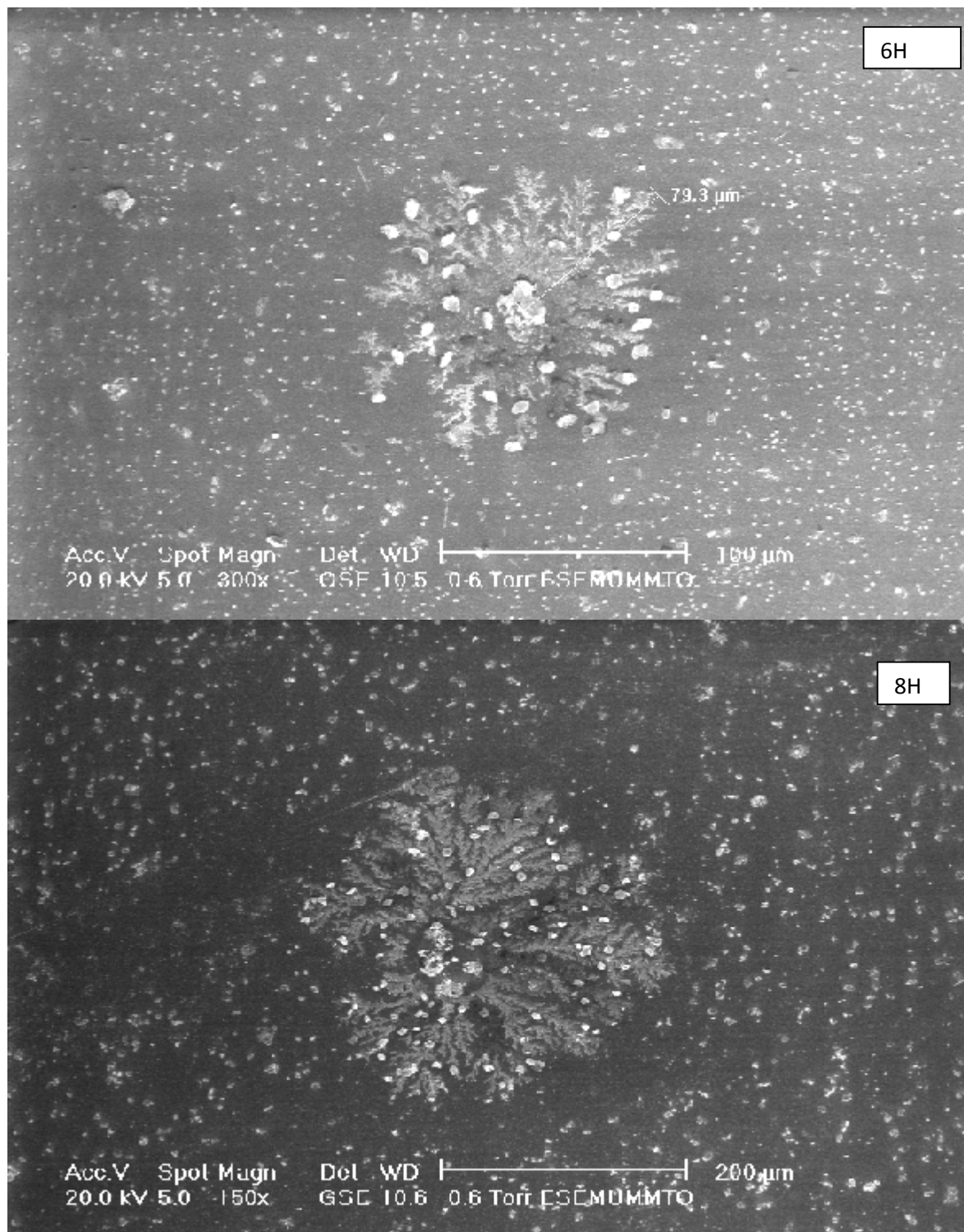
Les images obtenues pour nos essais sont données par la figure ci- dessous pour la distance Inter électrode sphérique haute tension et l'échantillon 3mm.







Les images obtenues pour nos essais sont données par la figure ci- dessous pour la distance Inter électrode sphérique haute tension et l'échantillon 2mm.



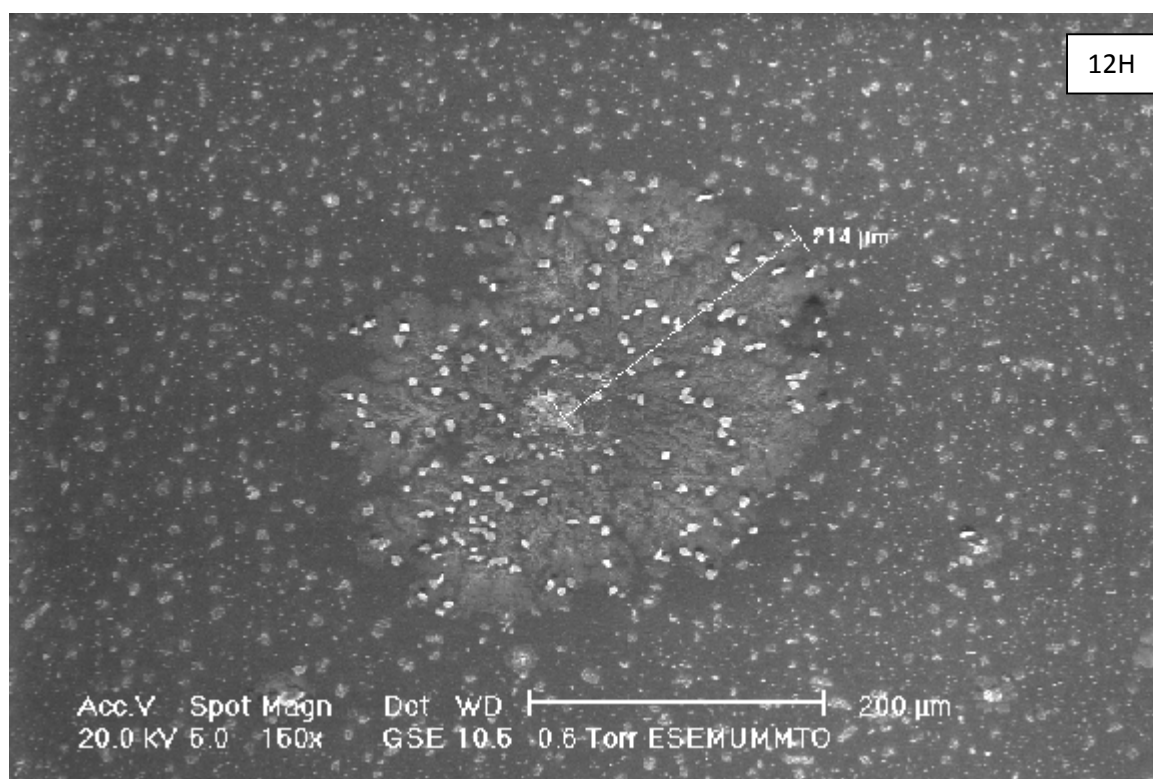
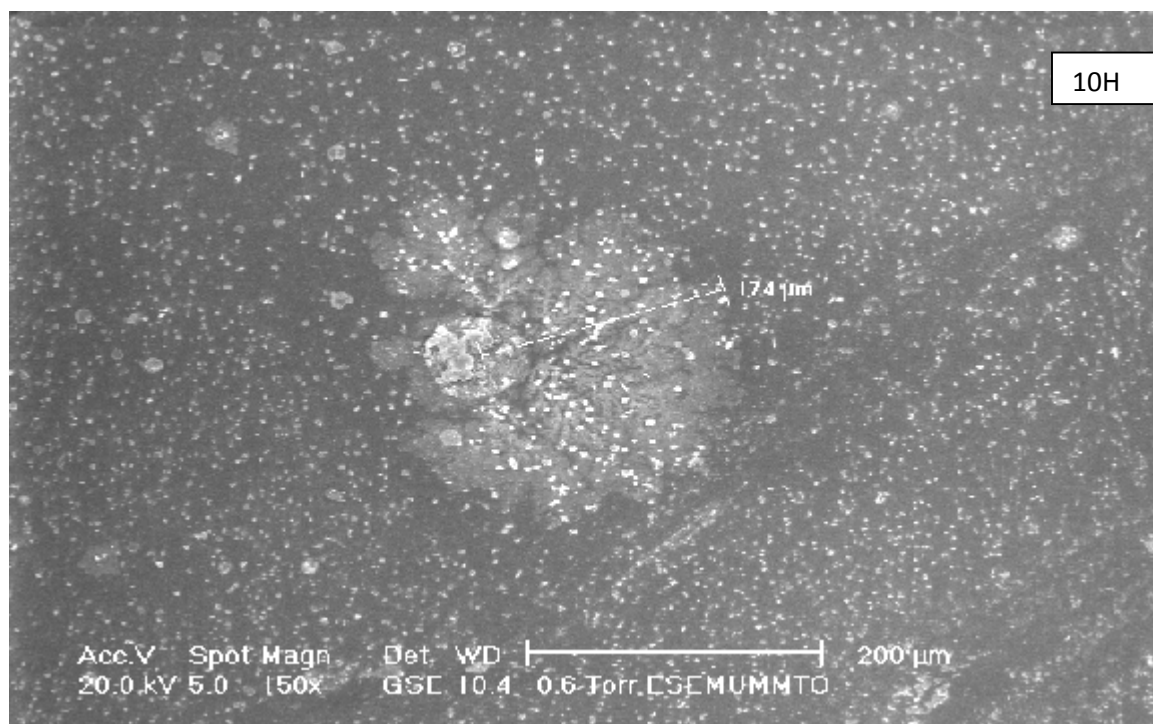


Figure IV.2. Micrographie MEB du PMMA

La figure montre les micrographies d'échantillons du PMMA, l'échantillon vierge présente une surface lisse, homogène exempte de toute dégradation, tandis que les échantillons soumis aux décharges montrent des zones ayant subi des dégradations. Des arborescences prennent naissance et se développent à partir de zones circulaires blanchâtres.

Nous avons constaté que l'extension maximale des arborescences augmente avec la durée de vieillissement sous décharges électriques et que la distance inter électrode joue un rôle important sur le phénomène.

IV.4. Spectres FTIR

Les analyses par spectroscope à infrarouge à transformée de fourrier ont été faites à l'aide d'un appareil de type Shimadzu 8400(Figure IV.3). Elles nous donnent les transformations chimiques subies par l'échantillon: apparition ou disparition de groupements fonctionnels sous l'effet des décharges électriques.



Figure IV.3.shimadzu 8400s

De manière générale, les groupements chimiques d'une molécule absorberont les infrarouges à des fréquences caractéristiques. En traçant le spectre d'un matériau et en se référant à des tableaux (Figure IV.4, figure IV.5), il est possible d'obtenir des informations sur les groupements fonctionnels du matériau particulièrement ceux qui disparaissent et ceux qui forment après vieillissement.

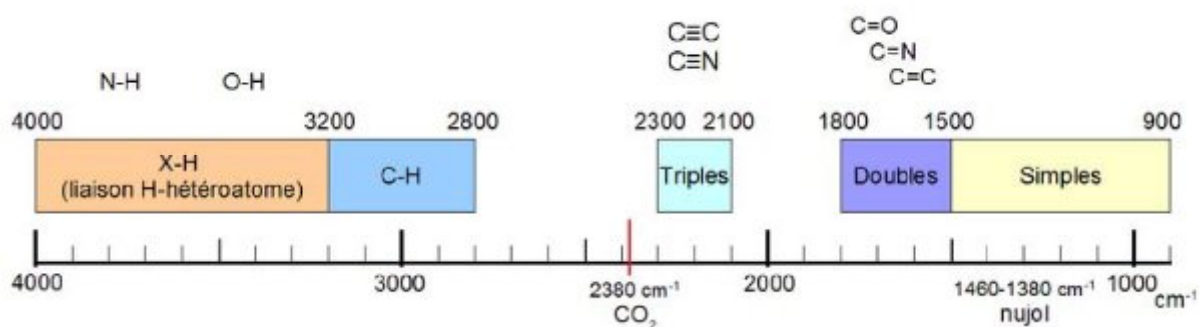


Figure IV.4. Aperçu des longueurs d'ondes d'absorption pour les molécules organiques

Le tableau illustre les bandes d'absorption de la fonction caractéristique du PMMA

Groupement fonctionnel	Liaison	Fréquence [cm^{-1}]	Type de vibration
Acides	O-H	3725-3500	élongation
-CH ₂ -	C-H	2925	élongation asymétrique
Esters	C=O	1780	élongation
Esters	C-O	1300-1000	élongation
Alcane	C-C	1000-1250	élongation
Alcène	C=C	1645	élongation
Aromatiques	C-H	900-700	déformation

Tableau IV.5. Bandes d'absorption des groupements caractéristiques du PMMA

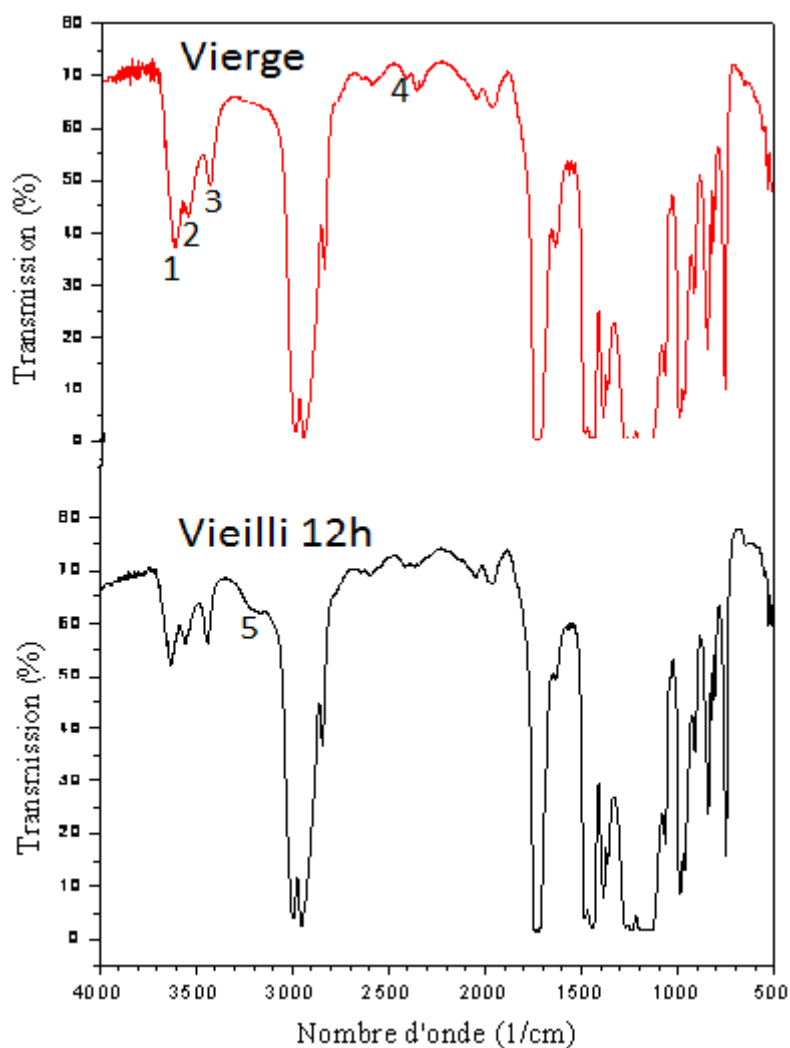


Figure IV.6 : Spectre FTIR

Après 12h d'exposition aux décharges électriques (figure IV.6), les groupements OH intramoléculaires ($3450-3600$ cm^{-1}) que présente le PMMA à l'origine diminuent particulièrement le pic 1. On remarque l'apparition du pic 5 correspondant aux liaisons C-H dans la bande allant de 2850 à 3200 cm^{-1} et la diminution du pic 4 dans la bande $[2400-1600]$ cm^{-1} qui correspond au groupement CO_2 .

IV.5. La résistivité volumique et surfacique

La résistivité volumique et surfacique est déduite à l'aide de la relation suivante :

$$R_s = \frac{R}{K}$$

$$R_s = \frac{R}{K} \ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right)$$

$$\rho_s = R_s \frac{R_1 - R_2}{R_1 R_2} = R_s * K$$

Avec :

R_s : la résistance mesurée en Ohm.

R_1 : diamètre extérieur de bague intérieure qui égale à 4mm.

R_2 : diamètre intérieur de bague externe qui égale à 9,82mm

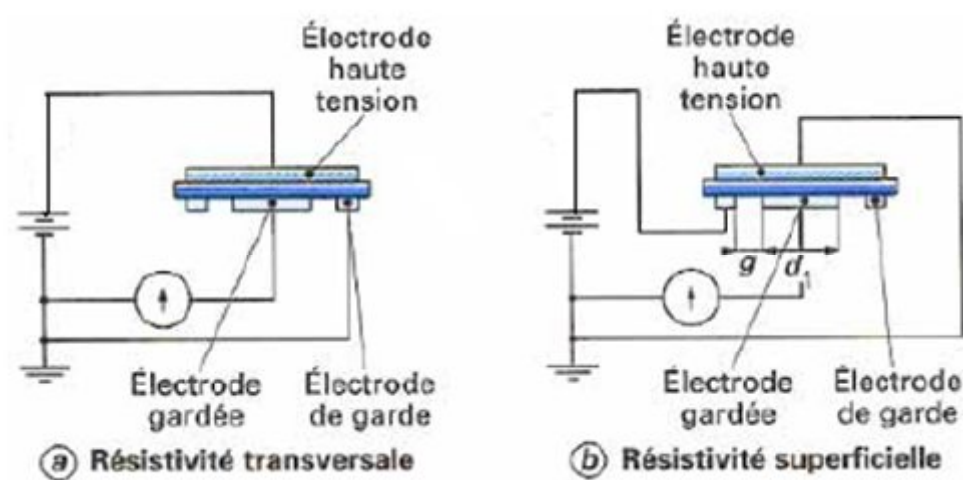
$$K = 6,998 \approx$$

IV.6. Appareil de mesure



Figure IV.7 : appareil de mesure de la résistivité superficielle et volumique

IV.7. Schéma électrique

Figure IV.8 : Branchements types des électrodes gardées
Pour la mesure de la résistivité transversale et superficielle

IV.8. Influence de temps de vieillissement sur la résistivité surfacique

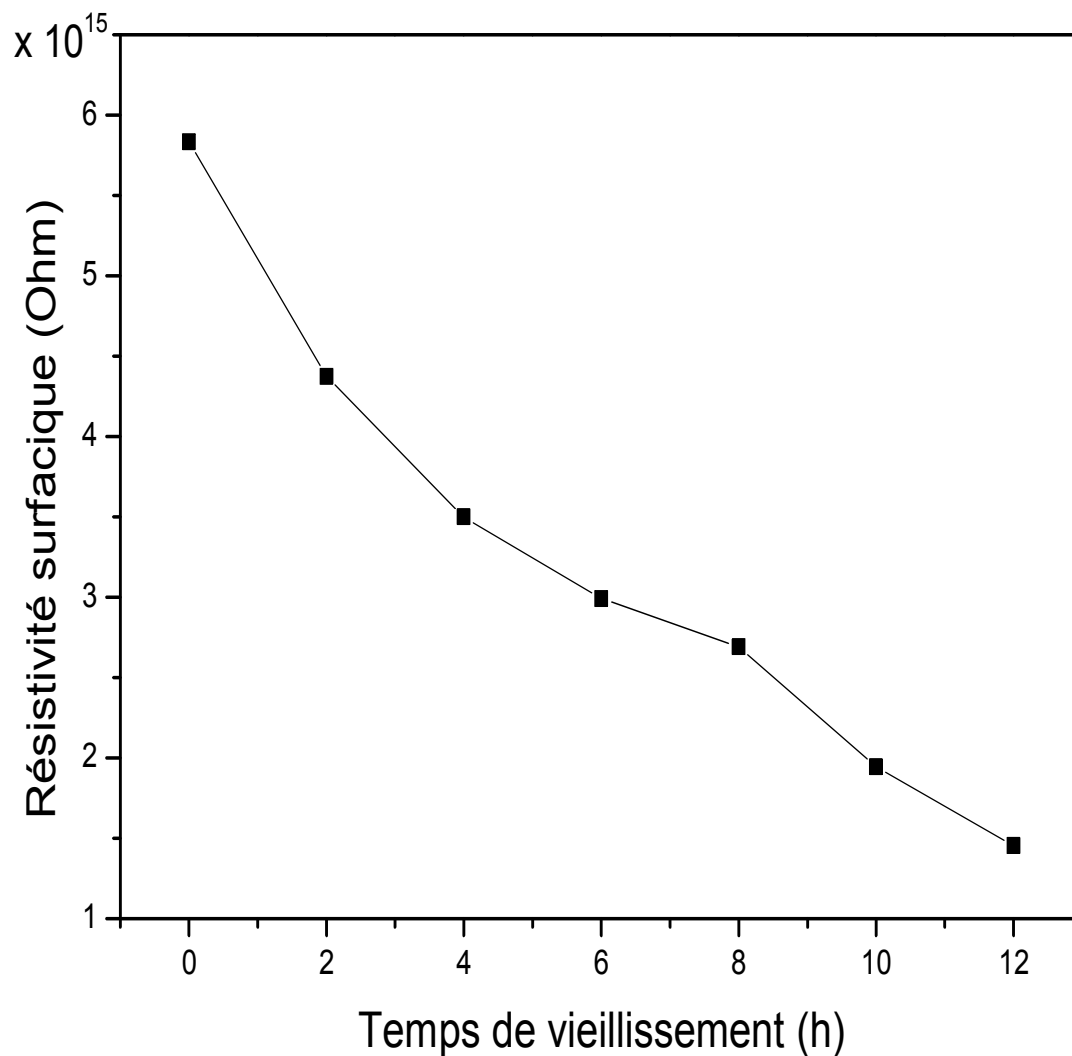


Figure IV.9 : Variation de la résistivité surfacique du PMMA en fonction du temps de vieillissement.

La figure IV.9 représente la variation de la résistivité surfacique du PMMA en fonction du temps de vieillissement. Nous remarquons que la résistivité diminue avec l'augmentation de temps de vieillissement, on peut expliquer ça par l'accumulation des charges sur la surface du PMMA qui conduit à l'augmentation de la conductivité électrique.

IV.9. Influence de temps de vieillissement sur la résistivité volumique

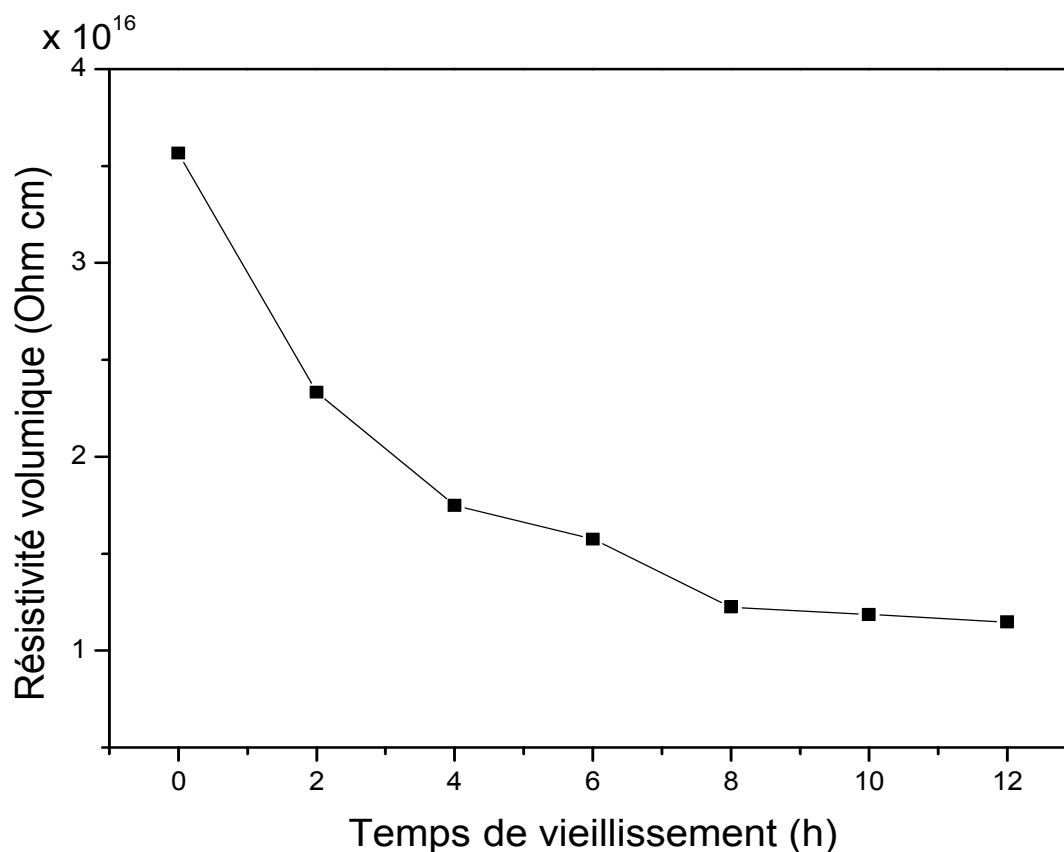


Figure IV.10 : Variation de la résistivité volumique du PMMA en fonction du temps de vieillissement.

La figure IV.10 représente la variation de la résistivité volumique du PMMA en fonction du temps de vieillissement. Nous remarquons que la résistivité diminue avec l'augmentation de temps de vieillissement.

IV.10. Influence du temps de vieillissement sur la longueur finale des décharges pour $V=10\text{kV}$

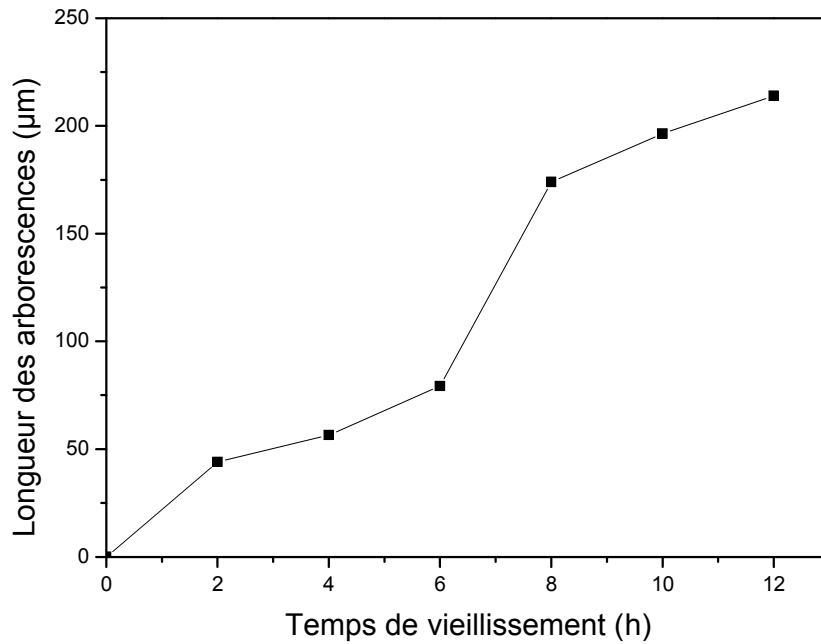


Fig.VI.11.Variation de la longueur finale des décharges en fonction du temps de vieillissement avec la distance inter électrode 3mm

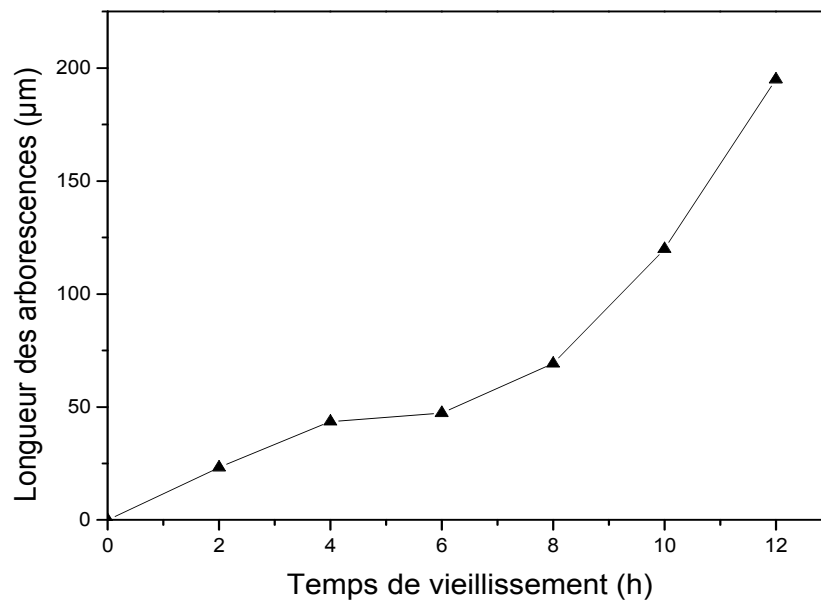


Fig.VI.12.Variation de la longueur finale des décharges en fonction du temps de vieillissement avec la distance inter électrode 2mm

Les Figures.VI.11, IV.12, Représente la Variation de la longueur finale des décharges en fonction du temps de vieillissement. Nous constatons que la longueur finale des décharges qui se propagent sur la surface du solide isolant augmente avec la durée de vieillissement.

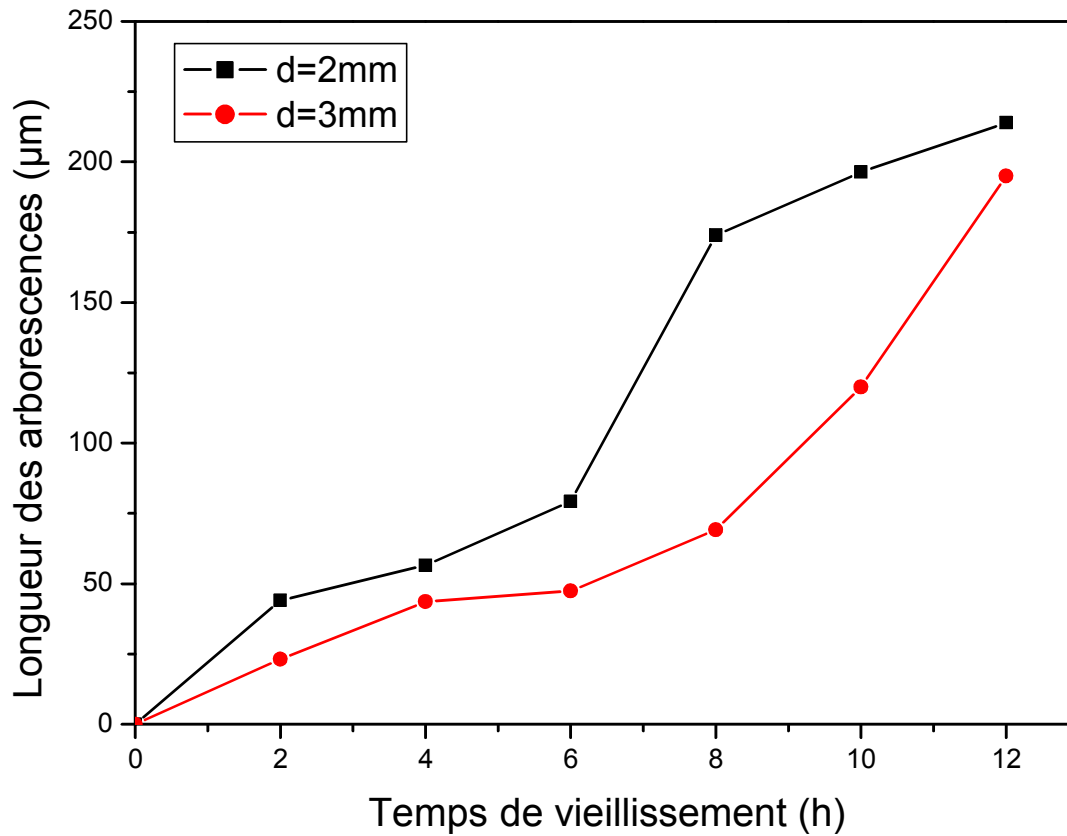


Figure IV.13. Comparaison de la variation de la longueur des arborescences en fonction de temps de vieillissement, d=2mm, d=3mm.

D'après la figure on constate que l'intervalle d'air influe sur la longueur finale des arborescences, la diminution de la distance inter électrode augmente ces arborescences.

IV.11. Influence du temps de vieillissement sur la longueur finale des décharges pour deux tensions constante différentes

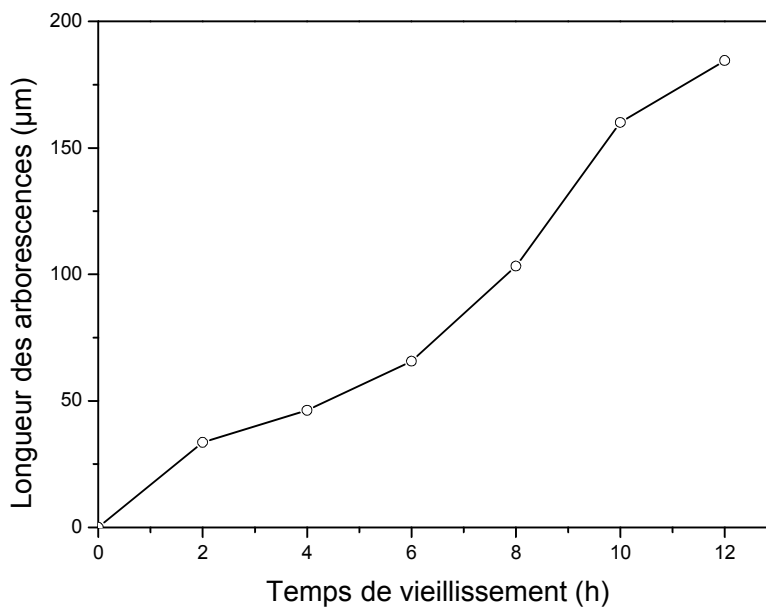


Fig.VI.14. Variation de la longueur finale des décharges en fonction du temps de vieillissement avec la tension appliquée 8kV

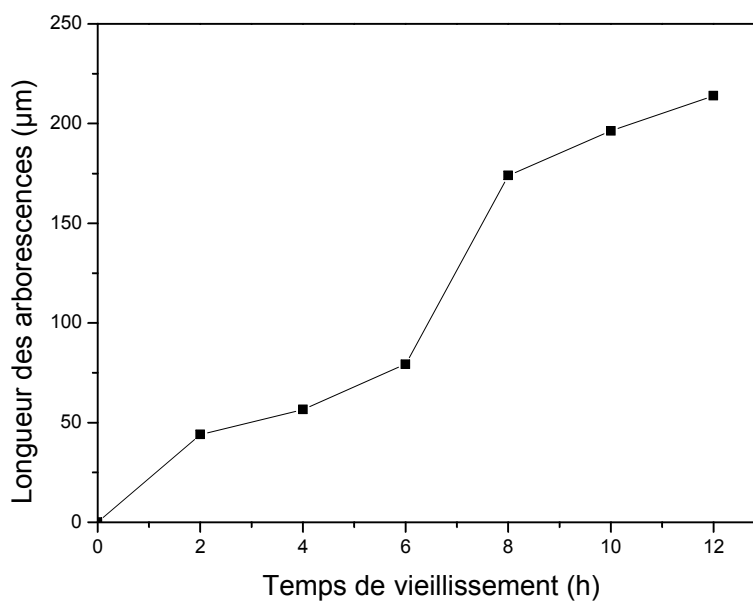


Fig.VI.15. Variation de la longueur finale des décharges en fonction du temps de vieillissement avec la tension appliquée 10kV

Les allures représentent la variation de la longueur finale des décharges en fonction de temps de vieillissement (figures IV.14, IV.15) montre que la longueur des arborescences augmente avec l'augmentation de temps de vieillissement, ainsi la tension appliquée.

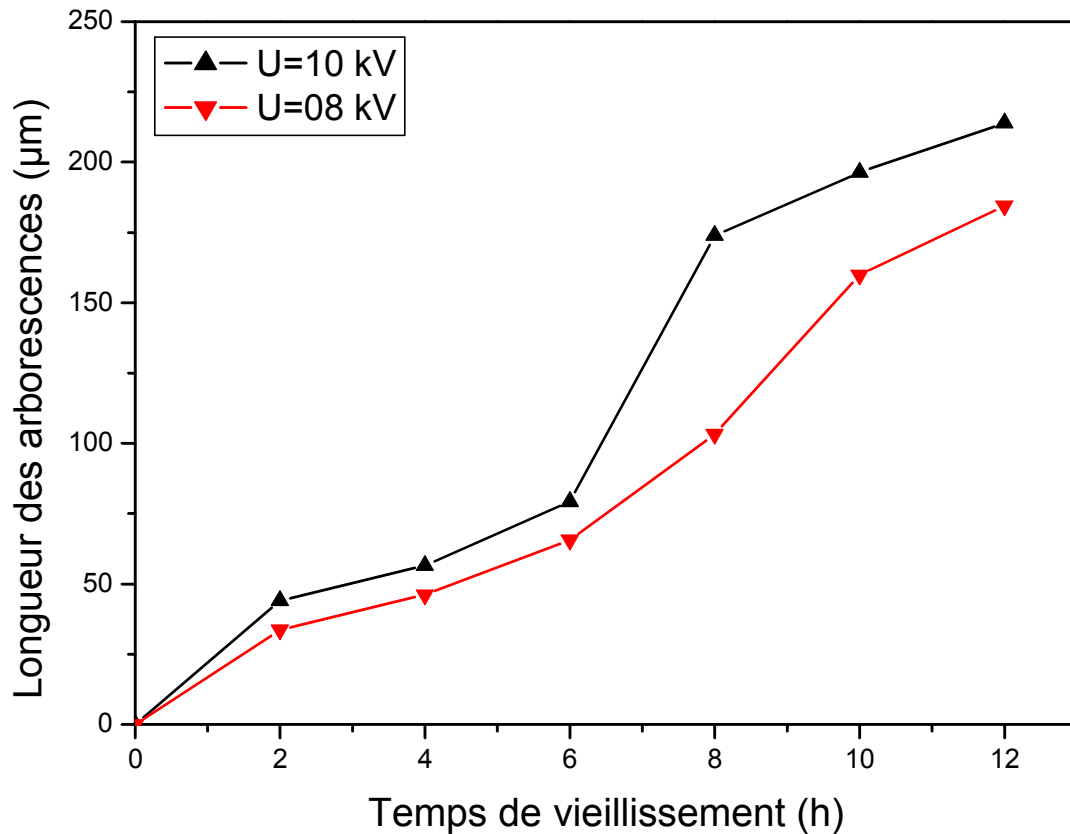


Fig.IV.16. Comparaison de la variation de la longueur des arborescences en fonction de temps de vieillissement : $V=10\text{kV}$, $V=8\text{kV}$

D'après la figure IV.16, on constate que l'évolution de la longueur des arborescences est plus élevée pour une tension appliquée $V=10\text{kV}$, donc la tension appliquée influence la longueur finale des arborescences.

IV.12. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les effets de la décharge électrique sur la surface du PMMA. La dégradation de la surface a été mise en évidence par les différentes techniques d'analyse utilisées.

Les images obtenues au microscope électronique à balayage (MEB) confirment que la surface du solide isolant a subi des dégradations.

Les paramètres physiques tel que la tension appliquée, la distance inter électrode influe sur la longueur finale des arborescences.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'influence de quelques paramètres physiques sur l'évolution du phénomène d'arborescence électrique sur la surface du poly méthacrylate de méthyle.

La diminution de la distance inter électrode induit l'augmentation de la longueur des arborescences.

L'augmentation de la longueur des arborescences est augmentée avec la tension appliquée.

La résistivité surfacique et volumique du solide isolant diminuent avec l'augmentation de temps de vieillissement.

Nous avons analysé la topographie de la surface du PMMA à l'aide de microscope électronique à balayage qui montre l'augmentation de la longueur finale des arborescences avec l'augmentation de la durée de temps de vieillissement.

Nous avons analysé la dégradation de la surface du polymère en utilisant les analyses physico-chimiques. La décharge agit sur le solide isolant en transformant ses propriétés. Ce qui se traduit par une dégradation superficielle.

Références bibliographique

- [1] Melle : S. KASRI « Etude et Modélisation de Déclin de Potentiel de Surface par les Réseaux de Neurones ». Mémoire de magister, université BADJI MOKHTAR ANNABA, 2010

- [2] Melle : DJ. TILIKATE, S. ISMIGAOUA, S. MECHERAK « Etude de la dégradation de PMMA sous décharge électrique », mémoire de magister, UMMTO, 2010

- [3] Melle DJ. SAAD « Effet de la décharge couronne sur les surfaces isolantes et les surfaces métalliques ».Mémoire de magister, UMMTO, 2011

- [4] Théodore WILDI, Gilbert SYBILLE, « électrotechnique » 4^{eme} édition , 2005

- [5] H.S, K.S, R.F. « Effet d'un champ électrique sur les propriétés diélectrique de la résine époxyde ». Mémoire d'ingénieur, UMMTO, 2013

- [6] M. SALANNE Jean-Philippe, « Contrôle du point de fonctionnement des décharges électriques par l'intermédiaire de leur alimentation».Thèse de doctorat, l'institut national polytechnique de TOULOUSE, 2005

- [7] cours de A.Tilmatine, « techniques de la haut tension ». Université DJILLALI LIABES

- [8] M. BELHITECHE El Hadi « Etude de la dégradation d'un solide isolant soumis aux Décharges électriques de surface » mémoire de magister, UMMTO, 2012

- [9] Lazhar KEBBABI, « caractérisation des décharges glissantes se propageant aux interfaces liquide /solide sous différentes formes se tension – relation entre propriétés des matériaux et dimension fractale » thèse de doctorat, l'école centrale de LYON, 2006

- [10] Melle : Z. AIT-SAADI « vieillissement électrique du polyester-imide et du polyimide imide utilisés dans les machines électriques ».Mémoire de magister 2012

- [11] Melle : Z. KERROUI, N. CHEMLOULE, K.KECIR « contribution à l'étude de l'effet des décharges électrique sur la surface d'un solide isolant sous tension alternative 50Hz » mémoire d'ingénieur d'état, UMMTO, 2008
- [12] J.H. Mason, The deterioration and breakdown of dielectrics resulting from internal Discharges , Proc. IEE, 98, pp. 44-59, 1951.
- [13] J.H. Mason, Breakdown of solid dielectrics in divergent fields, Proc. IEE, 102C, 2, pp.254-263, 1955.
- [14] G. Bahder, C. Katz, J. Lawson, W. Wahlstrom, Electrical and electrochemical treeing effect in polyethylene and cross-linked polyethylene cables, IEEE Trans. PAS-93, pp.977-987, 1974.
- [15] R. Croxford, Initiation of trees from conducting points or edges in solid insulation, Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques, 15.06, 1973.
- [16] G. Bahder, T.W. Dakin, J.H. Lawson, Analyse du claquage par arborescence, Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques, 15.05, 1974.
- [17] M. Nawata, H. Kawamura, M. Ieda, Voltage and temperature dependence of treeing breakdown in plastic insulators, International Symposium on High Voltage Technology, pp. 428-434, 1972.
- [18] T.W. Billing, J. H. Masson, The effect of additives on discharge channel propagation in polyethylene, IEE Conference on Dielectric Materials Measurements and Applications, pp. 93-96, 1970.
- [19] R.M. Eichhorn, Treeing in solid extruded electrical insulation, IEEE Trans. on Elect. Insul, Vol. EI-12, N°1, pp. 2-18, February 1976.
- [20] F. Noto, N. Yoshimura, Voltage and frequency dependence of tree growth in polyethylene, Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp. 207-217, 1974.

- [21] F. Noto, N. Yoshimura, Initiation and growth of trees of polymeric dielectric materials, Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp. 274- 281, 1973.
- [22] Technique de l'ingénieur schiendre électrique. D2305
- [23] Eddy AUBERT « Diagnostic optique du vieillissement électrique des résines époxydes sous faible champ électrique ».Mémoire de doctorat, université de TOULOUSE , 2008
- [24] Melle : Z. ZEROUALI « étude de la tension de retour des matériaux diélectriques utilisés dans l'isolation électrique » mémoire de magister, UMMTO, 2012
- [25] WWW.Wikipédia. com

Résumé

Le phénomène d'arborescence est considéré comme un obstacle au développement technologique des isolants. L'objet de ce travail il consiste à l'étude de l'influence des paramètres physiques sur l'évolution de phénomènes d'arborescence électrique a la surface de poly méthacrylate de méthyle.

Pour cela on a donné les généralités sur les différents types d'isolants et les décharges électriques dans les isolants solides et les différents types de ces décharges. Et une étude bibliographique sur les décharges partielles et les arborescences électriques.

Par la suite, nous avons fait l'étude expérimentale qui consistait a soumettre des polymère PMMA a des décharges électriques. Une analyse topographique a été faite sur les échantillons ainsi vieillis, par le biais du microscope électrique a balayage et l'analyse FTIR. Une analyse par spectroscope a infrarouge a transformée de Fourier ont été faites a l'aide d'un appareil de type Shimadzu 8400.

Enfin nous avons pu constater que la tension appliquée, la distance inter- électrode le temps de vieillissement influe sur le phénomène d'arborescence et les décharges électriques modifient considérablement la structure de polymère et peuvent même causer leurs ruptures définitives et influent sur la résistivité surfacique et volumique.

Mots clé

Décharges électriques, arborescence, PMMA, mécanisme de décharges, Matériaux isolants, décharges partielles