

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE MOHAMED BOUDIAF- M'SILA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

OPTION:RESEAUX ELECTRIQUES

THEME

Etude de la dégradation du polyéthylène soumis à une décharge couronne

Présenté par :

M. CHICOUCHE HAMINA Bilal

Proposé et encadré par :

M. BELHITECHE El Hadi et M. BENGUESMIA Hani

Année Universitaire : **2015/2016**

N° d'ordre : **REs - 230**

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents mon père Abdelrachid et ma mère Hayet.

Mes frères : Kadour, Ahmed et sa femme, Abdelghani, Ilyes. Et mes sœurs.

Mes oncles, tantes et leurs familles.

A tous mes amis, mes prochessurtout Khaled et Khalil, et mes collègues.

Remerciements

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au département de génie électrique de l'université de M'sila.

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

*Ainsi, je tiens à exprimer mes vifs remerciements à mes encadreurs **.M.BENGUESMIA Hani** et **M. BELHITECHE El Hadi** pour avoir proposé ce thème, et sans oublier **M. BELHITECHE El Hadi** pour suivi continué tout le long de la réalisation de ce mémoire et la partie pratique dans le laboratoire, et qui n'a pas cessé de me donner ses conseils et remarques.*

J'aimerais exprimer aussi mes remerciements à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou pour me permettre de réaliser la partie expérimental dans son laboratoire de génie électrique.

Mes sincères remerciements aux membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en participant au jugement de ce travail.

Mes remerciements vont aussi à tous les enseignants du département d'électrotechnique qui ont contribué à ma formation.

Enfin je tiens à exprimer mes reconnaissances à tous mes amis et collègues pour leur soutien moral et matériel...

Tables de matières

Dédicace

Remerciements

Introduction Générale

Chapitre I : Décharges électriques dans les gaz

I.1.Introduction	1
I.2.Électrons primaires	1
I.3. Ionisation, recombinaison et attachement électronique	1
I.4. Décharge de Townsend et critère d'auto-entretien de la décharge	2
I.5. Loi de Paschen	3
I.6. Les plasmas	4
I.7. Caractéristique courant-tension et régimes de décharge	4
I.8. La décharge couronne	5
I.8.1. Mécanisme de décharge couronne	5
I.8.2. Cas d'une pointe positive	6
I.8.3. Cas d'une pointe négative	7
I.8.4. Les facteurs influençant la décharge couronne	7
I.8.4.1 Facteur géométriques	8
I.8.4.2 Facteurs physico-chimiques	9
I.8.4.3 Facteurs électriques	10
I.8.5 Phénomène induits par la décharge couronne	11
I.8.5.1. Effets électromagnétiques	11
I.8.5.2 Effet chimique	11
I.9. Conclusion.....	12

Chapitre II : Décharges électriques de surface

II.1. Introduction.....	13
II.2.Décharges électriques de surface	15
II.2.1. Décharges glissantes aux interfaces air/solide	15
II.2.2. Caractérisation optique des décharges glissantes	15
II.2.3. Les lois de Toepler.....	18
II.2.4. Paramètres influençant les décharges de surface	18
II.2.4.1. Influence de la polarité de la tension sur la forme des décharges glissantes	18
II.2.4.2. Influence de la nature et de l'épaisseur du solide isolant sur la forme des décharges glissantes	19
II.2.4.3. Influence de la nature et de l'épaisseur du solide isolant sur la longueur finale des décharges glissantes.....	20
II.2.5. Dégradation de la surface du solide	21

II.2.6. La rigidité diélectrique	21
II .2.6.1 Influence des divers paramètres sur la rigidité diélectrique.....	21
II.2.7. Similarité de la décharge glissante avec la décharge de foudre	21
II.3. Les décharges à barrière diélectrique.....	22
II.3.1. Décharges à barrière diélectrique volumique	22
II.3.1.1. La décharge à barrière diélectrique silencieuse	22
II.3.1.2. La décharge lumineuse homogène	22
II.3.2. Déchargés à barrière diélectrique surfacique	22
II.3.3. Influence de l'introduction d'une barrière diélectrique dans l'intervalle d'air.....	23
II.3.3.1. Influence de la position de la barrière.....	23
II.3.3.2. Influence de l'épaisseur de la barrière et de la permittivité	23
II.3.4. Applications des décharges à barrière diélectrique	23
II.3.4.1. Production d'Ozone	23
II.3.4.2. Traitement des gaz	24
II.3.4.3. Traitement de surfaces	24
II.3.4.4. Eclairage et écrans à plasma	24
II.4. Les décharges partielles	24
II. 5. Conclusion	25

ChapitreIII: Techniques expérimentales

III.1. Introduction	26
III.2. Définition d'un polymère	26
III.3. Description du polyéthylène	28
III.3.1. Polyéthylène (PE)	28
III.3.2. Différents types de polyéthylènes.....	28
III.3.3. Les propriétés de polyéthylène	29
III.3.3.1. Propriétés physiques	29
III.3.3.2. Propriété mécaniques.....	30
III.3.3.3. Propriété thermiques.....	30
III.3.3.4. Propriété électriques	30
III.3.3.5. Propriété chimiques	30
III.4. Analyse microscopique.....	31
III.4.1. Constitution d'un microscopie électronique à balayage (MEB)	31
III.4.2. Principe de fonctionnement du MEB	32
III.5. La spectroscopie infrarouge à transformée de fourier FTIR	32
III.5.1.Généralités sur la spectroscopie FTIR.....	32
III.5.2. Principe.....	33
III.7. Préparation des échantillons	33
III.8. Etude de la dégradation des polymères soumis à une décharge couronne	33
III.8.1. Montage expérimentale	33
III.9. Conclusion	35

Chapitre IV: Résultats et discussions

IV.1.Introduction	36
IV.2. Observation visuelle	36
IV.3. Analyse topographique par le MEB	37
IV.4. Spectres FTIR.....	42
IV.5. Mesure de la longueur des arborescences	44
IV.5.1. Influence de distance inter électrodes.....	44
IV.5.2. Influence de la tension appliquée	47
IV.6. Conclusion.....	49

Conclusion Générale

Références bibliographiques

Résumé

Table des figures

Chapitre I :

Figure I.1 Tension de claquage pour différents gaz en fonction du produit p.d [8].....	3
Figure I.2 Caractéristique courant-tension d'un décharge couronne dans l'air a pression atmosphérique (configuration pointe-plan, distance interélectrode : 13 mm) [9].....	4
Figure I.3 Configuration pointe-plan.....	5
Figure I.4 Descriptif de la décharge couronne positive.....	6
Figure I.5 Descriptif de la décharge couronne négative.....	7
Figure I.6 .Influence de la distance inter-électrodes sur le courant de la décharge couronne[62].....	8
Figure I.7. Caractéristique courant-tension selon la nature des électrodes (d=0.5cm, Ø=125µm, et Hr=5%)[62].....	9
Figure I.8. Schéma d'évolution de la décharge observée en fonction de la pression [41].....	10

Chapitre II :

Figure II.1 Décharge à barrière diélectrique.....	14
Figure II.2. Système à décharges glissantes.....	14
Figure II.3 Figures originales de Lichtenberg 1777 [18].....	15
Figure II.4. Figure de décharges surfaciques obtenues avec les techniques des plaques Photographique.....	16
Figure II.5 Figure de Lichtenberg observée sur une interface verre/SF6 pour une impulsion de tension de 30 kVx1µs sous une pression de 0,3 MPa [26].....	17
Figure II.6. Evolution temporelle des décharges glissantes obtenue par ombroscopie en polarité positive et négative [28].....	17
Figure II.7. Photographie de décharges glissantes obtenues sur une interface huile/bakélite sous tension impulsionnelle d'amplitude 40 kV (valeur crête) pour les deux polarités [30].....	19
Figure II.8. Photographies de décharges glissantes obtenues sous tension impulsionnelle négative, avec des échantillons en Bakélite de différentes épaisseurs.....	20
Figure II.9 : Schéma de principe d'un ozoniseur utilisé dans le traitement d'eau [41].....	23

Chapitre III :

Figure III.1. Molécule de polyéthylène ramifiée.....	28
Figure.III.2. Schéma de principe d'un microscope électronique à balayage (MEB) [61].....	31
Figure III.3. Dispositif expérimental.....	33
Figure III.4. Laboratoire : la cage de Faraday et le pupitre de commande	34
Figure III.5. Laboratoire : le transformateur et la perche.....	34

Chapitre IV :

Figure IV.1 : Echantillons du PE: a) vierge et b) vieilli 12h.....	36
Figure IV.2 MEB de marque ESEM XL 30 Philips.....	37

Figure IV.3. Micrographies MEB du PE (d=3mm).....	37-39
Figure IV.4. Micrographies MEB du PE (d=2mm).....	40-41
Figure IV.5. Shimadzu 8400s.....	42
Figure IV.6. Aperçu des longueurs d'ondes d'absorption pour les molécules organiques	43
Figure IV. 7. Spectres FTIR du PE avant et après vieillissement.....	43
Figure VI.8. Variation de la longueur finale des décharges en fonction du temps de vieillissement avec d= 3mm.....	44
Figure VI.9. Variation de la longueur finale des décharges en fonction du temps de vieillissement avec d= 2mm.....	45
Figure IV.10. Comparaison de la variation de la longueur des arborescences en fonction de temps de vieillissement, d=2mm, d=3mm.....	46
Figure VI.11. Variation de la longueur finale des décharges en fonction du temps de vieillissement avec la tension appliquée 8kV.....	47
Figure VI.12. Variation de la longueur finale des décharges en fonction du temps de vieillissement avec la tension appliquée 10kV.....	47
Figure IV.13. Comparaison de la variation de la longueur des arborescences en fonction de temps de vieillissement : U=10kV, U=8kV.....	48

Liste des tableaux

Chapitre I :

Tableau I.1. Influence de la nature des électrodes sur la mobilité ionique en tension positive et négative (HR=5%, Øfil=125µm).....	9
---	---

Chapitre III :

Tableau III.1 Applications courantes de quelques polymères.....	27
Tableau III.2 Principales caractéristiques des polyéthylènes.....	29

Introduction Générale

Dans le domaine du génie électrique, des matériaux isolants sont utilisés pour assurer une fonctionnalité optimale des équipements tout en garantissant la sécurité des biens et des personnes. Généralement, la durée de vie des isolants conditionne la durée de vie de l'appareillage. Les structures isolantes mixtes solide/gaz sont présentes dans de nombreux appareillages à haute et moyenne tensions comme les transformateurs et condensateurs de puissance, les disjoncteurs et les câbles ainsi que dans les réseaux de transport et de distribution d'énergie électrique (isolateurs de support et de traversée). Dans certains composants, comme les disjoncteurs isolés au gaz, par exemple, les isolants solides sont utilisés comme enveloppe de l'appareil et comme support (buse) pour les électrodes (contacts); le gaz est utilisé pour ses propriétés isolantes et pour le soufflage de l'arc. Dans le cas des transformateurs de puissance, en plus de l'isolation des bobinages et des traversées, les solides servent comme panneaux (rôle mécanique) et comme barrière isolante en particulier dans les transformateurs cuirassés.

Durant leur exploitation, les équipements électriques et donc les structures isolantes mixtes qui y sont intégrées, sont exposés à différents types de contraintes : mécaniques, thermiques, électriques, chimiques et environnementales. Dans cette étude, nous nous intéresserons plus particulièrement aux contraintes électriques. En présence d'un champ électrique, divers phénomènes peuvent prendre naissance dans le volume ou à la surface des matériaux constituant l'isolation hybride. En effet, au-dessus d'une certaine valeur dite de seuil du champ électrique, des décharges volumiques ou surfaciques peuvent prendre naissance et se développer jusqu'à la rupture diélectrique (en volume) ou au contournement de l'isolateur conduisant ainsi à la destruction de la structure isolante voire à la mise hors service du système. La compréhension des mécanismes impliqués dans la génération et la propagation de ces décharges ainsi que leur caractérisation sont fondamentales pour la conception et le dimensionnement des appareillages.

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 [1]. Néanmoins, ils présentent l'inconvénient d'être plus vulnérables à l'action des décharges de surface qui provoquent leur dégradation [2]. Une décharge qui se produit à la surface du polymère constitue un facteur de vieillissement responsable de la destruction de l'isolation dont les processus physico-chimiques ne sont pas encore bien connus.

Dans le présent travail, nous mettrons en évidence les effets de la décharge couronne sur la dégradation du polymère, le polyéthylène.

Le présent mémoire comporte quatre chapitres. Dans le premier chapitre, nous décrivons d'abord les phénomènes de décharges dans les gaz, ensuite les principaux mécanismes de la décharge couronne.

Nous présenterons dans le deuxième chapitre, une brève revue bibliographique qui traite des décharges glissantes. Nous donnerons les différentes étapes qui ont marqué leur étude. Nous évoquerons aussi les décharges à barrière diélectrique et leurs domaines d'application. Au chapitre trois, nous présenterons le matériau étudié, les montages expérimentaux et les différentes méthodes de caractérisation.

Dans le dernier chapitre, nous présenterons les résultats expérimentaux obtenus. Nous terminerons notre travail par une conclusion générale et quelques perspectives.

Chapitre I :
Décharges électriques dans les gaz

I.1.Introduction

Les phénomènes de décharge électrique, étudiés pourtant depuis près de deux siècles [3], 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 [3-5]. Cela a permis d'accroître les connaissances sur le phénomène.

Dans ce chapitre, nous élaborerons quelques théories sur les mécanismes d'initiation d'une décharge électrique dans l'air. Nous traiterons tout d'abord la décharge dans les gaz, en élaborant sommairement les théories allant des électrons primaires jusqu'à la décharge couronne.

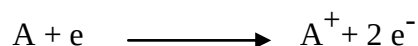
I.2. Électrons primaires

Il est tout à fait bien connu qu'aucune décharge électrique ne peut s'initier dans l'air sans la présence d'au moins un électron dans le volume de gaz couvrant l'espace inter-électrodes. Ces électrons, présents au tout début de la décharge sont communément appelés électrons germes ou encore électrons primaires. Ils permettent d'initier la première avalanche électronique sans laquelle aucun type de décharge ne peut prendre forme encore moins se maintenir. Ils peuvent être produits par radiation cosmique, par les sources naturelles d'ionisation, par les charges résiduelles issues des décharges précédentes ou encore par détachement des ions négatifs par effet de champ [4].

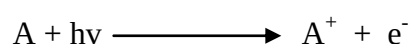
I.3. Ionisation, recombinaison et attachement électronique

L'existence d'une décharge électrique résulte du passage d'un courant dans le diélectrique gazeux et donc de la possibilité de créer des particules chargées ; essentiellement des électrons ; à partir des atomes ou molécules neutres du gaz [6]. Les principaux mécanismes régissant la génération des porteurs de charge dans les gaz sont: les mécanismes d'ionisation, tendant à augmenter leur densité et les mécanismes de recombinaison et d'attachement, tendant à les réduire.

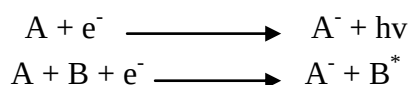
Le procédé principal d'ionisation résulte des impacts d'énergie élevée entre les électrons et les atomes.



Lorsqu'un atome (ou une molécule) a absorbé suffisamment d'énergie pour qu'un de ces électrons s'échappe à l'infinie, on dit que cet atome (ou cette molécule) a été ionisé, son énergie interne s'est accrue de l'énergie d'ionisation.



L'attachement électronique est d'autant plus important que la molécule présente une plus grande affinité électronique. Le processus d'attachement des électrons est le suivant :



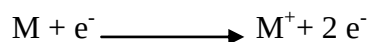
B*: atome excité par l'énergie libérée lors de l'attachement de l'électron avec l'atome A

La recombinaison a été beaucoup moins étudiée que son processus inverse, l'ionisation. Cependant elle reste d'une importance fondamentale pour la bonne compréhension des mécanismes de développement de la décharge et tout particulièrement pour ceux de sa phase d'extinction [3]. La recombinaison est la neutralisation d'un ion positif par capture d'un électron ou d'ion négatif suivant le schéma ci-dessous.



I.4. Décharge de Townsend et critère d'auto-entretien de la décharge

L'énergie cinétique d'un électron détermine sa capacité à exciter ou dissocier les molécules du gaz plasmagène. L'énergie acquise par un électron placé entre deux électrodes dépend de son libre parcours moyen et du champ électrique auquel il est soumis ($E=V/d$ dans le cas d'un champ uniforme, V étant la différence de potentiel appliquée entre les deux électrodes tandis que d représente la distance inter électrode). L'obtention d'un nombre d'électrons suffisant pour exciter le gaz de façon significative exige un mécanisme de multiplication. Si l'énergie d'un électron est supérieure à l'énergie d'ionisation d'une molécule M , alors un choc inélastique est susceptible de libérer un électron, ce que traduit l'expression suivante :



Les deux électrons obtenus par ionisation sont alors accélérés par le champ électrique et peuvent à leur tour ioniser de nouvelles molécules. Townsend a proposée en 1914 d'introduire 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^{ad} 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

I.5. 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 $U_c = f(p \cdot d)$, (figure I.1) où p est la pression et d la distance inter-électrode, et dépend de la nature du gaz introduit.

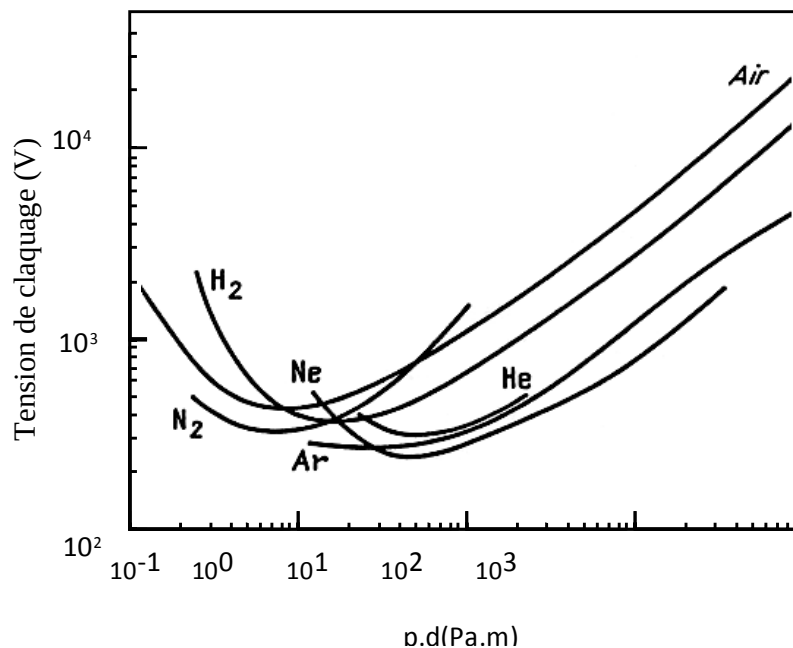


Figure I.1 : Tension de claquage pour différents gaz en fonction du produit $p \cdot d$ [8].

Nous pouvons constater que pour un gaz à pression atmosphérique les courbes passent par un minimum pour une distance inter-électrode d'environ 10 μm ($p \cdot d = 0,5$ à 5 environ). Cela signifie que, pour la production de décharge à pression atmosphérique dans des conditions d'utilisation usuelle ($d \geq 1$ mm), la tension de claquage est une fonction croissante de la distance inter-électrode.

I.6. Les plasmas

Les plasmas sont désignés comme étant le quatrième état de la matière faisant suite dans l'échelle des températures aux trois états classiques : solide, liquide et gaz. Le terme de « plasma » (du grec « matière informe ») a été introduit la première fois en 1923 par les physiciens américains I. Langmuir et L. Tonks pour désigner, dans les tubes à décharge, certaines régions équipotentielles contenant un gaz ionisé électriquement neutre.

Ainsi, un plasma est défini comme étant analogue à un gaz mais constitué de particules chargées, d'ions et d'électrons tel que cet ensemble soit globalement électriquement neutre.

I.7. Caractéristique courant-tension et régimes de décharge

La caractérisation courant-tension de la décharge couronne est obtenue en faisant croître la tension appliquée à l'intervalle gazeux. Différents régimes de décharge sont alors parcourus (Figure I.5).

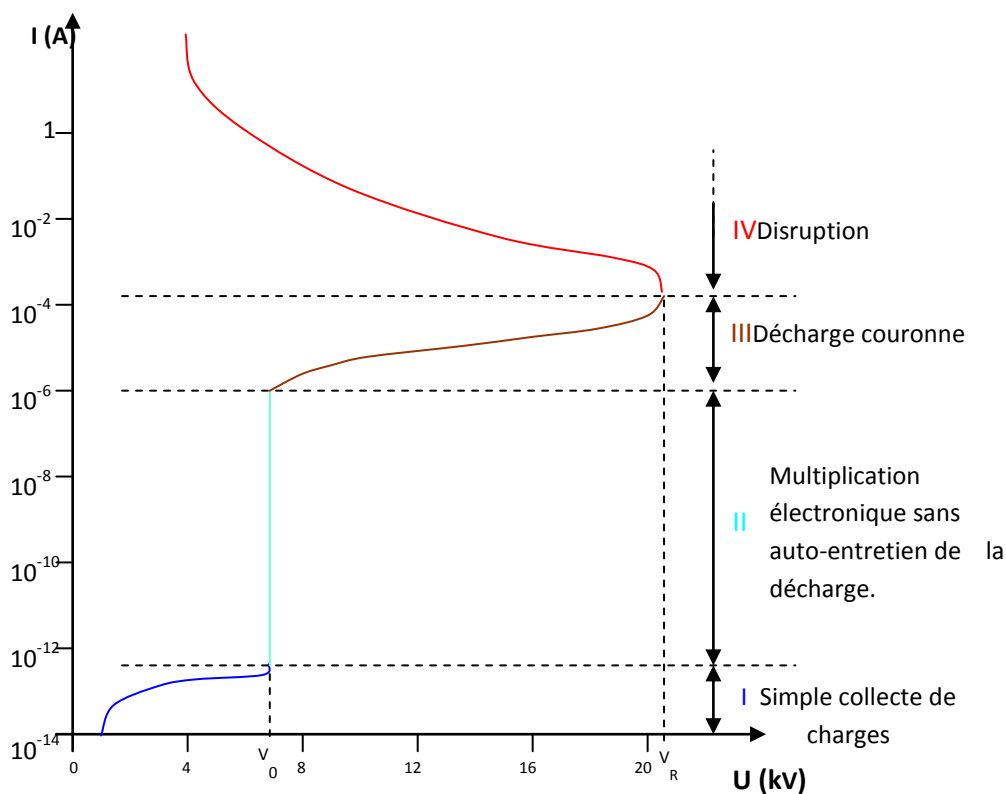


Fig.I.2: Caractéristique courant-tension d'un décharge couronne dans l'air a pression atmosphérique (configuration pointe-plan, distance interélectrode : 13 mm) [9].

Le premier régime (I) : le courant est très faible ($I \leq 10^{-12}$ A/cm²), dû à la présence d'ions issus de la radioactivité naturelle ou rayonnement cosmique. Dans ce cas, le champ électrique est trop faible pour assurer l'avalanche électronique.

Le second régime (II), qui se produit à partir d'une tension seuil V_0 , traduit le déclenchement de l'avalanche électronique de Townsend mais ne répond pas encore au critère d'auto-entretien de la décharge. La décharge est qualifiée de non-autonome car elle dépend de processus d'ionisation externes pour donner naissance aux électrons germes. Pour ce régime, le courant augmente très fortement pour une très faible variation de la tension appliquée.

Pour le troisième régime (III) : ici la décharge ne s'éteint plus car la condition d'auto-entretien est atteinte. La composante continue augmente avec la tension.

Le quatrième régime (IV) : les courants de décharges deviennent très importants car toute l'énergie passe par un même canal préférentiel dans l'espace inter-électrodes. C'est le régime des décharges disruptives tel que les arcs électriques.

I.8. La décharge couronne

I.8.1. Mécanisme de décharge couronne

La décharge couronne représente l'ensemble des phénomènes liés à l'apparition d'une conductivité dans un gaz au voisinage d'un conducteur de faible rayon de courbure, les électrodes étant soumises à une différence de potentiel élevée. La décharge est classiquement établie entre une électrode active et une électrode passive (électrode reliée à la terre). L'électrode active est une pointe (ou un fil de petit diamètre) à laquelle on va appliquer un haut potentiel électrique tandis que l'électrode passive est une plaque ou une grille (Figure. I.6). On obtient alors une décharge couronne volumique.

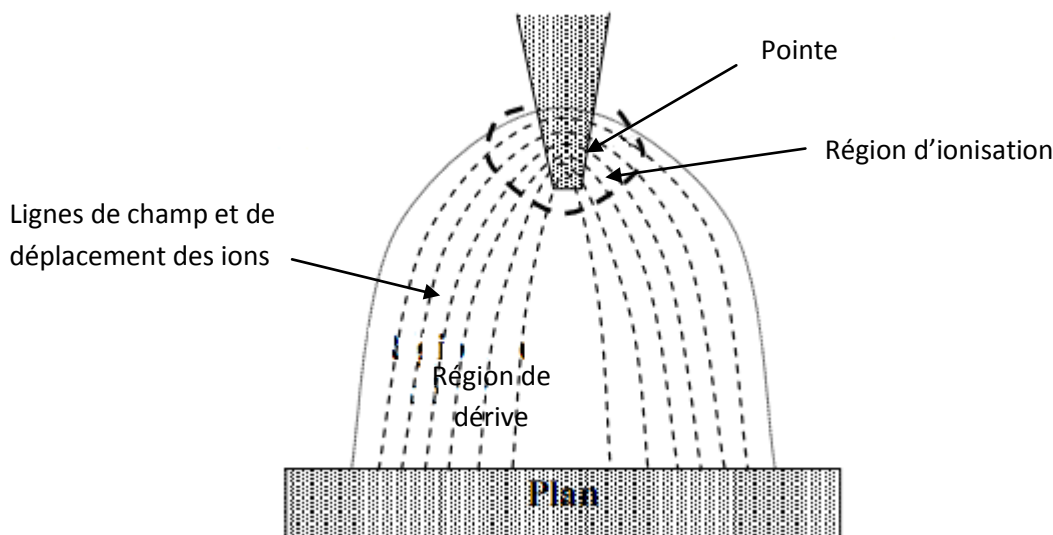


Fig.I.3. Configuration pointe-plan

La dissymétrie des électrodes conduit à un champ électrique inhomogène dans l'espace inter-électrodes. En l'absence de charge d'espace, Labergue [10] a établi une expression du champ électrique $E(x)$ en fonction du potentiel appliqué à la pointe le long de l'axe de symétrie x :

$$E(x) = \frac{V}{\left(x + \frac{r}{2}\right) \ln \left[\frac{2d+r}{r}\right]}$$

Avec V le potentiel, d la distance inter-électrodes, r le rayon de courbure de la pointe et x l'abscisse du point considéré par rapport à l'extrémité de la pointe prise comme origine.

I.8.2. Cas d'une pointe positive

La décharge couronne positive est celle qui se produit quand la pointe est portée à un potentiel positif et la plaque à la terre. Dans ce cas, dans la zone de champ intense autour de la pointe, des électrons sont produits par photo-ionisation et sont accélérés vers l'anode (la pointe). Autour de celle-ci, se développe alors une région de forte ionisation : zone en pointillé sur la Figure I.7 [10].

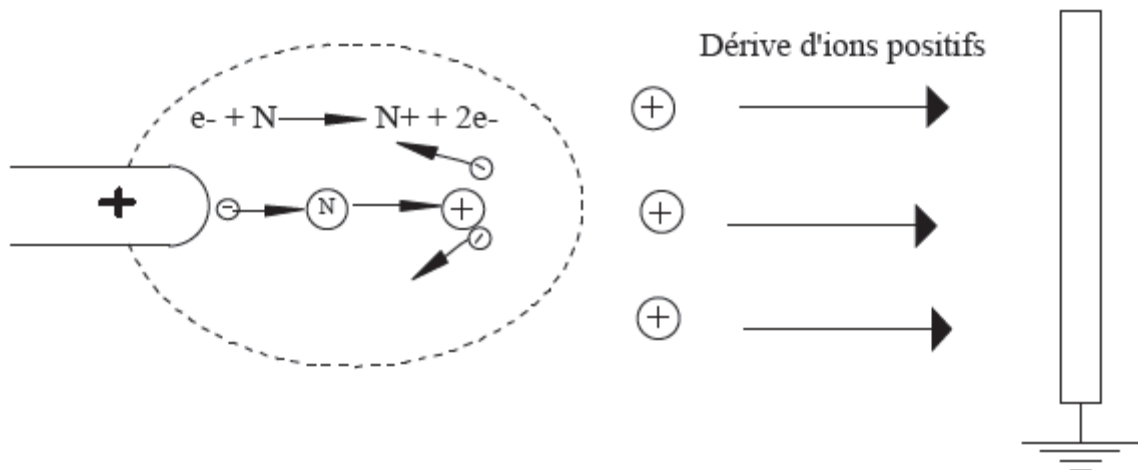


Fig.I.4.Descriptif de la décharge couronne positive

Le phénomène est plus complexe dans ce cas parce que la zone du champ électrique intense n'est pas juxtaposée à la source des électrons. Les électrons qui sont au voisinage de la pointe produisent des avalanches, mais quand les électrons arrivent sur la pointe, ils ne produisent rien qui puisse entretenir le phénomène. La cathode ne joue pas le rôle de pourvoyeuse des électrons car cette cathode est située très loin de la zone où le champ électrique est intense. Si le champ est assez fort, les électrons germes produits sous l'action du rayonnement ultraviolet émis par une avalanche créent des nouvelles avalanches. Le champ est renforcé par l'avalanche, mais la formation d'une chaîne entre électrodes est peu probable, le champ devenant trop faible au voisinage de la cathode.

I.8.3. Cas d'une pointe négative

Dans le cas où la pointe est portée à un potentiel négatif, il y a toujours création d'électrons par photo-ionisation et apparition de la zone d'ionisation autour de la pointe. Goldman et Sigmond [11] expliquent que les ions positifs alors créés reviennent rapidement à la cathode (Figure I.8). Des électrons sont extraits de la cathode par choc, chaque électron ainsi libéré produit une nouvelle avalanche qui s'en dégage. Ces avalanches ont une extension limitée. D'une part, le champ décroît rapidement dès qu'on s'éloigne de la pointe vers le plan collecteur. D'autre part, les avalanches qui se développent laissent derrière elles les ions positifs moins mobiles qui font écran entre les électrons et la pointe. Cette deuxième cause d'affaiblissement du champ vient renforcer la première

Un nuage d'ions positifs est formé par les avalanches d'électrons. Quand le nuage positif est développé de manière suffisante, les avalanches arrêtent de se produire parce que le champ est très affaibli au-delà. Les ions positifs sont attirés par la pointe, donc ils sont neutralisés par la pointe si bien que la zone positive dont nous avons vu la formation disparaît.

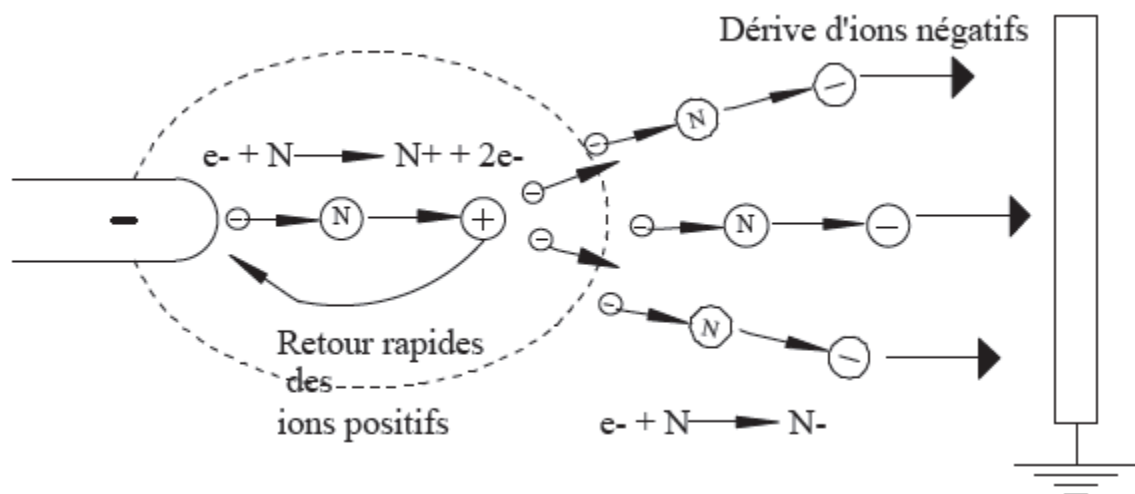


Fig.I.5. Descriptif de la décharge couronne négative

L'effet d'écran disparaît quand tous les ions positifs ont été captés par la pointe ; on a, à nouveau le champ initial et le phénomène recommence. Il a donc une allure cyclique, la durée du cycle étant égale au temps mis par la couche positive pour être balayée par la pointe [10].

I.8.4 Les facteurs influençant la décharge couronne

Plusieurs facteurs peuvent influencer le seuil et les caractéristiques de la décharge couronne [12], on distingue trois facteurs essentiels :

- Facteurs géométriques.
- Facteurs physico-chimiques.
- Facteurs électriques.

I.8.4.1 Facteur géométriques

- **Rayon de la courbure**

L'augmentation du rayon de courbure augmente la tension seuil d'apparition de l'effet couronne.

- **Distance inter-électrodes**

L'influence de la distance inter-électrodes sur les paramètres de la décharge est montrée sur la figure I.6.

Il apparaît clairement que le courant est plus important et croît plus rapidement avec la tension appliquée pour de faibles distances inter-électrodes. De plus, les seuils de décharge couronne apparaissent pour de faibles valeurs de tension dans le cas des distances inter-électrodes petites[13].

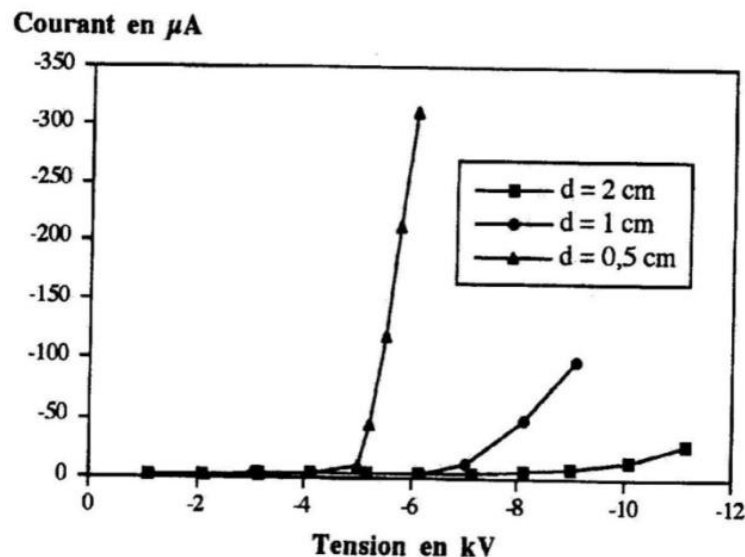


Figure I.6. Influence de la distance inter-électrodes sur le courant de la décharge couronne[13].

- **La nature des électrodes**

La caractéristique courant-tension est représentée selon la nature des électrodes (cuivre, aluminium, et acier) sur la figure I.7.

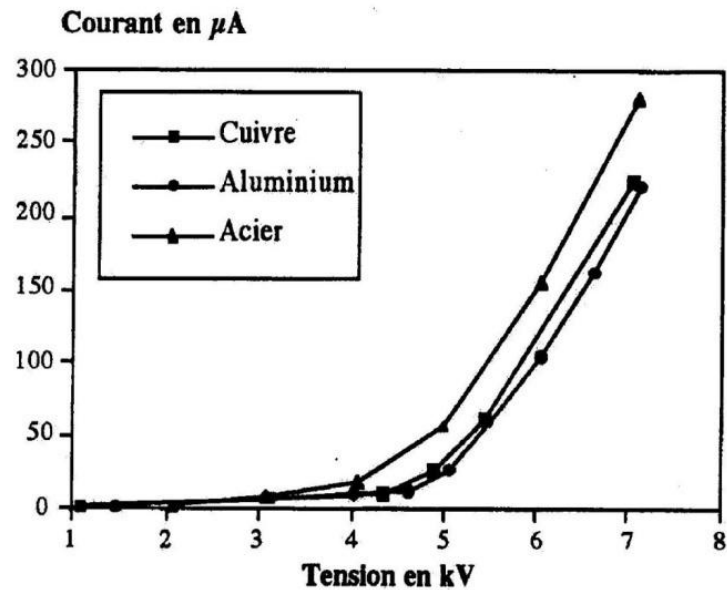


Figure I.7. Caractéristique courant-tension selon la nature des électrodes ($d=0.5\text{cm}$, $\varnothing=125\mu\text{m}$, et $Hr=5\%$)[13]

La nature des électrodes et la tension appliquée influent sur la mobilité ionique comme le montre le tableau I.1 [13].

Tension positive	μ : en $[\text{m}^2.\text{V}^{-1}.\text{s}^{-1}]$ à $d=0.5\text{cm}$
Electrode en cuivre	8.10^{-5}
Electrode en aluminium	$7,4.10^{-5}$
Electrode en acier	12.10^{-5}
Tension négative	μ : en $[\text{m}^2.\text{V}^{-1}.\text{s}^{-1}]$ à $d=0.5\text{cm}$
Electrode en cuivre	4.10^{-4}
Electrode en aluminium	$2,9.10^{-4}$
Electrode en acier	$4,5.10^{-4}$

Tableau I.1. Influence de la nature des électrodes sur la mobilité ionique en tension positive et négative ($HR=5\%$, $\varnothing_{\text{fil}}=125\mu\text{m}$)[13]

Nous observerons une grande mobilité ionique avec des électrodes en acier qu'avec des électrodes en aluminium quelle que soit la polarité de la tension appliquée.

I.8.4.2 Les facteurs physico-chimiques

- La température

Avec l'augmentation de la température, à la pression normale, la rigidité diélectrique de l'air diminue, ce qui favorise la décharge couronne. Cela est dû au fait que dans ce cas le libre

parcours moyen augmente [14]. Par contre si l'augmentation de la température entraîne une augmentation de la pression, ceci influe donc sur le produit « pd » [15].

- **L'humidité**

L'influence de l'humidité sur la rigidité diélectrique de l'air est très importante surtout dans le cas où le champ électrique est non uniforme. Ce phénomène serait lié d'une part à l'accroissement de l'attachement des électrons libres, du fait de la présence de vapeur d'eau dans l'air (grande électronégativité) et d'autre part à la plus grande absorption des photons en tête des streamers, dans la région où se produisent les avalanches secondaires par photo-ionisation [16]. Le seuil d'apparition de la décharge couronne survient à des tensions toujours plus basses pour 90% que pour 5% d'humidité relative [13]. Cette différence pourrait s'expliquer par l'augmentation de la conductivité de l'air lorsque l'humidité relative de la cellule de décharge augmente.

- **La pression**

L'effet de la pression est proportionnel à la tension d'amorçage et inversement proportionnel au courant. La figure I.8 montre l'effet de la pression sur la décharge.

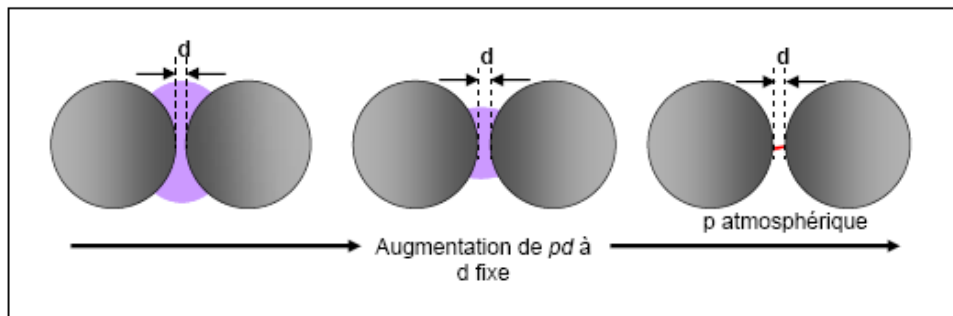


Figure I.8. Schéma d'évolution de la décharge observée en fonction de la pression [15]

- **La densité de l'air**

Les paramètres climatiques et particulièrement la densité de l'air influencent la tension d'amorçage des intervalles d'air.

La tension « U_d » est proportionnelle à la densité de l'air :

$$U_{dn} = \frac{U_d K_h}{\delta} \quad (2.30)$$

Avec :

U_{dn} : Tension de claquage dans les conditions normales.

$\frac{K_h}{\delta}$: Correction à apporter pour avoir les conditions normales.

I.8.4.3 Facteurs électriques

L'effet couronne diffère selon qu'on applique à un système d'électrodes une tension continue ou alternative.

Les différents modes d'émission de charges qui ont été décrits en tension alternative sont observés également en tension continue, la seule différence est que l'effet couronne en tension

alternative implique que la concentration des émissions de charges correspond à la crête de la sinusoïde du courant, tandis qu'en continu l'émission de charges est permanente.

I.8.5 Phénomènes induits par la décharge couronne

De nombreuses réactions autres que des réactions d'ionisation ont lieu au sein du gaz : dissociation, recombinaison, excitation moléculaire, excitation électronique...etc.

Les différentes espèces ainsi produites vont se distinguer par leur charge, leur masse, leur vitesse et leur énergie, mais aussi par leur nature et leur état d'énergie interne.

I.8.5.1 Effets électromagnétiques

Ces effets se traduisent par les perturbations radiophoniques et les pertes d'énergie dans les lignes de transport. L'effet perturbateur du phénomène couronne se manifeste par la formation d'un champ électromagnétique à large spectre autour des conducteurs.

Celui-ci est lié aux courants à haute fréquence circulant dans les conducteurs. Les perturbations dues aux lignes aériennes à haute tension au dessus de «1kV» peuvent être produites sur une très large bande de fréquence par :

- ✓ Les décharges par effet couronne dans l'air à la surface des conducteurs.
- ✓ Les décharges et claquages dans les régions à fortes contraintes des isolateurs.
- ✓ Les claquages au niveau de contacts défectueux.

Les parasites les plus gênants sont ceux qui produisent les champs intenses captés par les antennes des postes récepteurs au même temps que le champ utile.

I.8.5.2 Effet chimique

Nous assistons, suivant la polarité de la décharge, à la naissance de certaines espèces chimiques dérivées du gaz ambiant, par exemple dans le cas de l'air, à la naissance d'autres d'oxydes d'azote (NO, NO₂), de radicaux (HO) et (H₂O) ainsi que l'ozone (O₂) qui est un gaz instable, pouvant dégrader beaucoup de matières.

I.9. Conclusion

Dans cette partie, nous avons présenté une étude bibliographique la décharge électrique dans les gaz, les phénomènes qui lui sont associés et la décharge couronne. Malgré les grandes avancées faites sur la décharge électrique dans le gaz, le phénomène reste assez complexe. Ceci est dû à plusieurs facteurs (Facteurs géométriques, facteurs physico-chimiques, facteurs électriques) dont dépendent l'initiation et le développement des décharges.

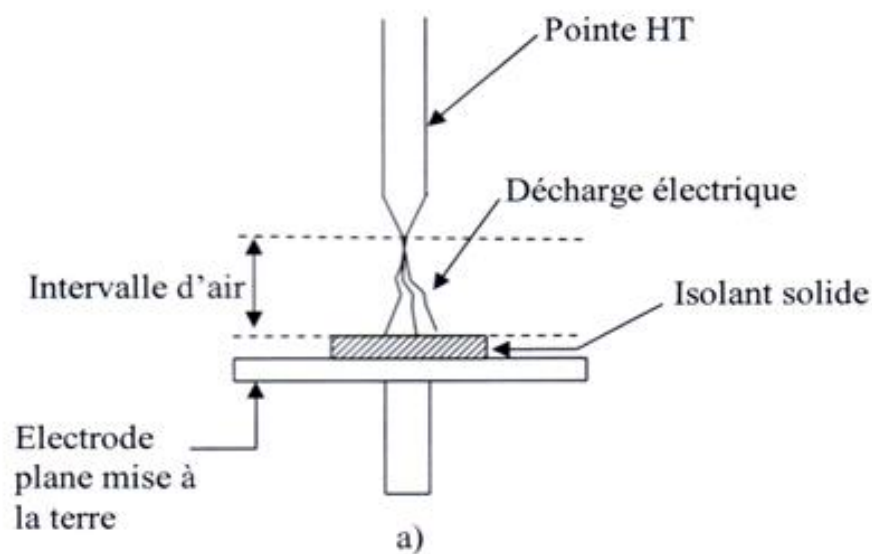
Chapitre II :
Décharges électriques de surface

II.1. Introduction

La connaissance des caractéristiques optiques et électriques des décharges surfaciques est d'un grand intérêt pour les applications industrielles. Ces caractéristiques sont nécessaires pour la conception et le dimensionnement des structures isolantes. En effet, outre l'aspect économique (coût), le choix des constituants d'une structure isolante mixte (c'est à dire d'un gaz et d'un matériau solide) se fait en fonction de la tension de contournement. À tension d'initiation des décharges similaires, la meilleure structure serait celle où les décharges surfaciques se développeraient le moins, c'est-à-dire celle où la longueur finale des décharges serait la plus courte.

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 :

- Les décharges à barrière diélectrique (DBD) (figure II.1) où les isolants 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.



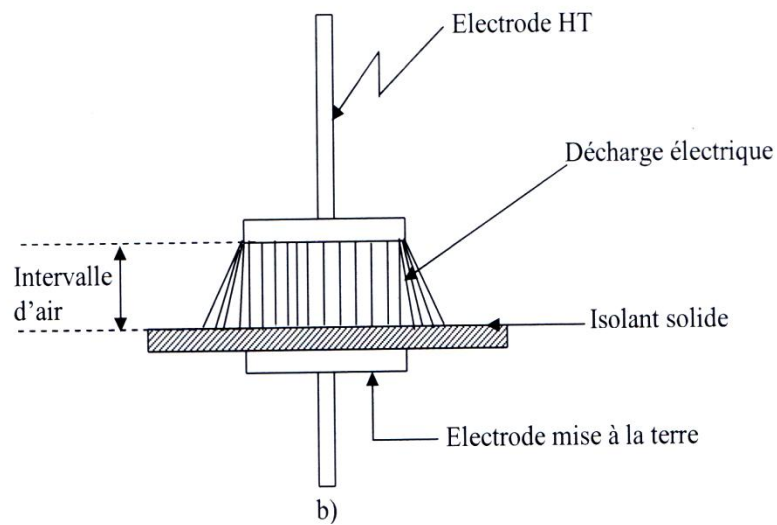


Figure II.1 Décharge à barrière diélectrique

a) Système pointe-plan

b) Système plan-plan

- Les décharges glissantes où 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 du solide isolant sur laquelle elle se propage (figure II.2).

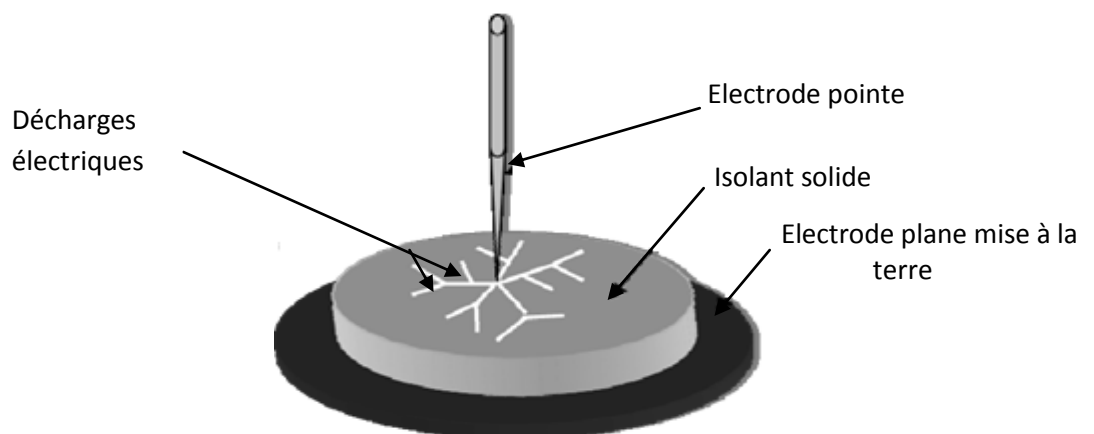


Figure II.2. Système à décharges glissantes

II.2. Décharges électriques de surface

II.2.1. Décharges glissantes aux interfaces air/solide

Lorsque l'épaisseur du solide est assez grande pour empêcher une perforation en volume ou lorsque ce dernier est utilisé comme barrière dans un intervalle d'air, des décharges peuvent se propager sur la surface du diélectrique solide et le contourner. En se propageant, ces décharges peuvent creuser la surface du solide et laisser des traces telles des canaux ramifiés de faible diamètre appelées dans la forme globale " figures de Lichtenberg ". Ces figures prennent toujours naissance du côté de l'électrode acérée [17].

II.2.2. Caractérisation optique des décharges glissantes

Les décharges surfaciques ont été découvertes en 1777 [18], quand Lichtenberg découvre par le fait du hasard, la formation de petites figures de poudre sur une surface chargée d'électricité (figure II.3). Ces figures dites de Lichtenberg sont appelées aussi figures de poudre. Elles ont suscité un grand intérêt chez beaucoup de physiciens, non seulement parce que leurs formes diverses offrent l'un des plus beaux spectacles de la nature, mais aussi parce qu'elles ont initié la découverte des décharges électriques et qu'elles sont susceptibles de présenter une dimension fractale.

Pedersen [19] a été le premier à avoir étudié les figures dites de Lichtenberg où des photographies ont été utilisées pour l'étude des surtensions dans les lignes de transmission isolées au gaz. Merrill et Von Hippel [20] ont proposé une interprétation physique de leur mécanisme de formation, basée sur les théories modernes des décharges dans les gaz. Puis, cette technique a été utilisée par de nombreux chercheurs pour caractériser les décharges surfaciques (ou glissantes). Plusieurs tentatives d'explication du phénomène de ces décharges ont également été proposées [21,22].

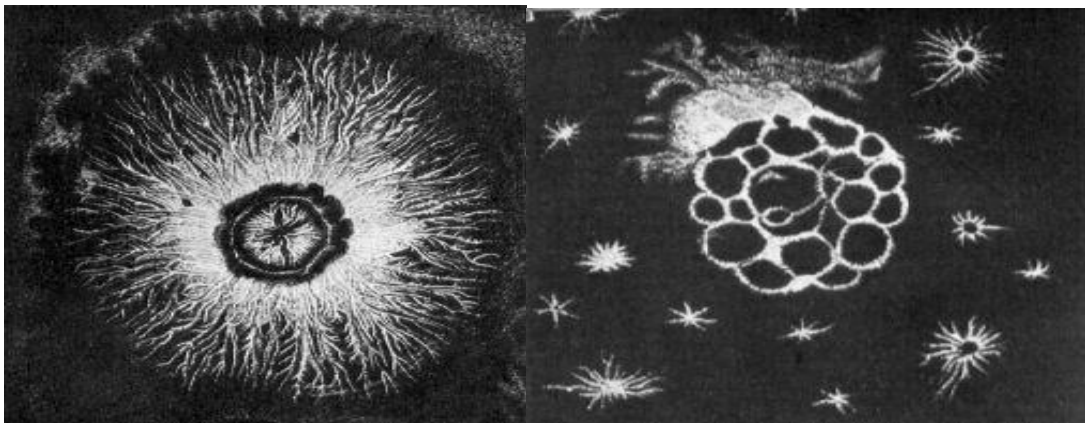


Figure II.3. Figures originales de Lichtenberg 1777 [23].

Plusieurs auteurs ont utilisé par la suite les techniques photographiques pour la caractérisation des décharges [24]. L'une des techniques consiste à placer du papier photographique sur un échantillon isolant immergé dans un liquide diélectrique, et de développer le contenu en utilisant des techniques photographiques ordinaires, après une exposition à une décharge électrique. La technique de figures de poudre et du papier photographique sont des méthodes d'observation statiques, puisqu'elles ne permettent pas d'observer l'évolution temporelle des

décharges glissantes. Néanmoins, elles restent toujours d'actualité parce qu'elles procurent beaucoup d'informations utiles à la caractérisation des décharges et ont largement contribué à la compréhension du phénomène.

Avec le développement des techniques de mesure et notamment l'amélioration de la résolution spatiale et temporelle des mesures optiques, l'étude des décharges glissantes a beaucoup progressé durant le trois dernières décennies. La technique d'ombroscopie est la plus utilisée [25-28] (figure II.4).

Elle consiste à éclairer la cellule d'essais par un faisceau lumineux puissant de courte durée (d'environ $1\mu s$) pendant la propagation de la décharge. Les branches de celle-ci, qui ont un indice de réfraction différent de celui du liquide, vont alors dévier la lumière dans toutes les directions. En plaçant une caméra vidéo juste en dehors du faisceau lumineux on obtient une image par diffraction.

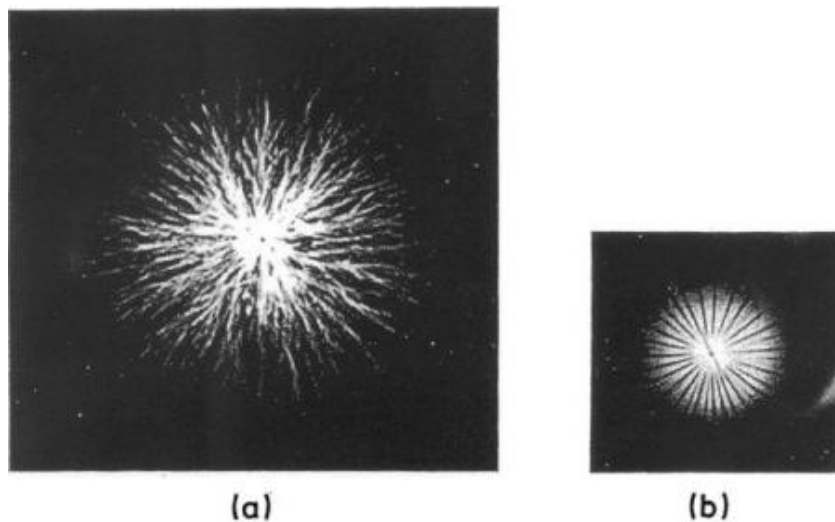


Fig. II.4. Figure de décharges surfaciques obtenues avec les techniques des plaques Photographique.

Hakim et al [29] ont été les premiers à expérimenter cette technique. Ils ont réalisé une source lumineuse par la décharge d'un condensateur préalablement chargé, dans un intervalle d'air. Le temps d'exposition correspond alors au temps effectif de la durée du flash (éclair) produit par le condensateur ($\approx 1\mu s$). Leur tentative d'utiliser le même intervalle d'air pour produire une succession de flashes lumineux a échoué lorsqu'ils ont constaté qu'il était impossible de réduire le temps entre deux flashes successifs à moins de $50\mu s$. Par la suite, Farazmand [30] a amélioré le système optique et obtenu des images améliorées des décharges négatives dans l'hexane liquide.

D'autres techniques plus ou moins récentes permettent d'observer des décharges surfaciques sur un matériau solide en présence de gaz sous pression. La figure II.5 donne un exemple de décharge surfacique obtenue dans le SF₆ à 0,3 MPa sur un échantillon en verre de 2 mm d'épaisseur.

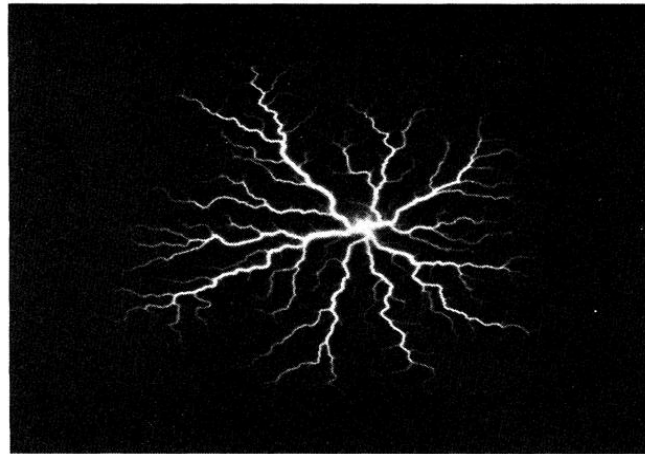


Fig.II.5 Figure de Lichtenberg observée sur une interface verre/SF₆ pour une impulsion de tension de 30 kVx1μs sous une pression de 0,3 MPa [31]

Le développement de la décharge peut être également suivi si le phénomène lui-même émet de la lumière, ce qui est le plus souvent le cas. La luminosité du phénomène étant généralement très faible et sa vitesse très grande (> 1 km/s), on emploie un tube amplificateur de brillance couplé par fibre optique à une caméra vidéo CCD qui délivre une image permanente ou instantanée (exposition : quelques nanosecondes) [27]. On utilise également des caméras à balayage de fente (streak cameras) qui permettent de suivre en permanence le phénomène avec une très grande vitesse de balayage (1 cm/ns).

L'utilisation de cette technique facilite l'observation de l'évolution temporelle des décharges glissantes et le comportement dynamique de ses branches (figure II.6). Cependant, dans le cas des décharges glissantes, son utilisation est limitée aux décharges se propageant sur des matériaux solides transparents. Ce qui réduit considérablement le champ des investigations. Par ailleurs, il existe toujours un compromis entre la résolution temporelle et spatiale des enregistrements optiques. Ainsi, les images obtenues par ombroscopie sont difficilement exploitables pour la caractérisation morphologique des décharges glissantes.

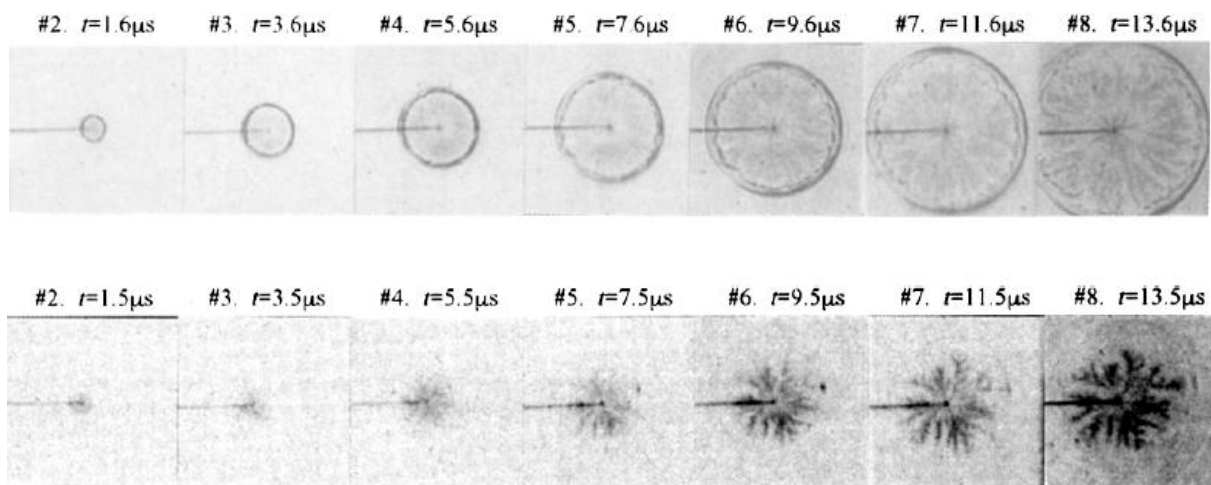


Fig. II.6. Evolution temporelle des décharges glissantes obtenue par ombroscopie en polarité positive et négative [33].

II.2.3. Les lois de Toepler

Nous examinerons les lois empiriques qui régissent la propagation radiale des figures de décharges glissantes telles que les a formulées M. Toepler [34]. Lors de son étude, Toepler utilise deux électrodes (pointe-plane), séparées par une plaque de verre d'épaisseur (e), de permittivité relative ϵ_r . La pointe est alimentée par la décharge d'un condensateur à travers un éclateur. La durée du front de l'onde de tension est contrôlée par une résistance R disposée dans le circuit électrique.

En faisant varier très rapidement la tension appliquée à la pointe ($\frac{dV}{dt} = 10^8 \text{ kV/s}$), il découvre l'existence de deux catégories d'étincelles distinctes :

La première catégorie dite « gerbes polaires ». Les étincelles sont matérialisées par leur luminosité diffuse, à symétrie circulaire autour du pôle que constitue l'électrode pointue. En analysant ces gerbes polaires, il a remarqué que leur extension radiale est proportionnelle à la tension impulsionnelle V appliquée à l'électrode. D'où sa première loi :

$$\text{En polarité positive : } \frac{V}{r} = 5,5 \text{ kV/cm}$$

$$\text{En polarité négative : } \frac{V}{r} = 11,5 \text{ kV/cm}$$

L'extension radiale de ces gerbes polaires est indépendante de l'épaisseur du diélectrique.

Il appela les étincelles de la deuxième catégorie « gerbes glissantes ». Elles apparaissent lorsque la tension appliquée sur l'électrode pointe dépasse un seuil critique V_s qui est fonction de l'épaisseur et de la permittivité diélectrique de la plaque isolante. La valeur absolue de la tension V_s est une fonction de la capacité surfacique du matériau diélectrique et suit une loi de la forme :

$$\epsilon_0 \epsilon_r \frac{V_s^2}{e} = \text{Cste}$$

Qui est la deuxième loi de Toepler.

II.2.4. Paramètres influençant les décharges de surface

II.2.4.1. 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: [35]

- Les décharges surfaciques émanant d'une pointe négative, se distinguent par des branches rectilignes (figure II.7a). Elles sont constituées d'un tronc principal duquel émanent des ramifications arborescentes. Les extrémités des branches et leurs ramifications forment un contour plus ou moins circulaire, centré sur la pointe. Les branches de la décharge négative, appelés aussi « streamers », sont plus lumineuses à leurs bases qu'à leurs extrémités où on remarque la présence de points lumineux, témoins d'une intense activité d'ionisation.
- Les décharges générées à partir d'une pointe positive ont une forme différente des décharges négatives (figure II.7b). Les branches de la décharge ont une structure sinueuse et ramifiée et les ramifications se terminent par des points très lumineux en forme de bourgeon à leurs extrémités. Notons la présence de branches ayant la forme de filaments

faiblement lumineux, émanant des points lumineux ou « bourgeons ». Le contour formé par l'extrémité des branches prend une forme aléatoire à la différence des décharges négatives qui ont un aspect quasi circulaire.

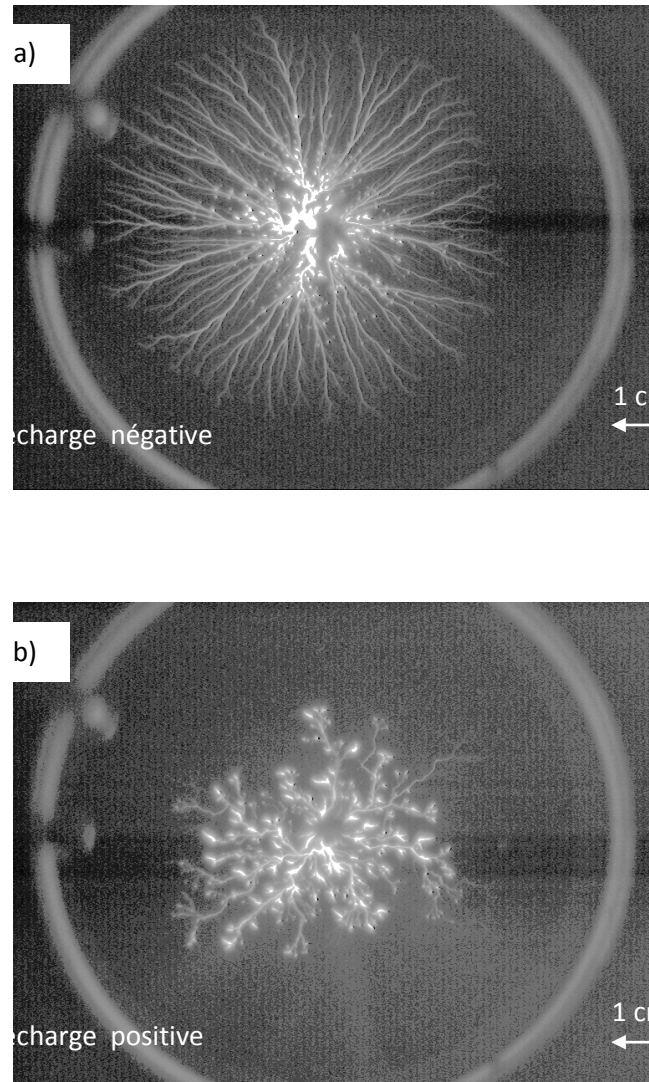


Figure II.7. Photographie de décharges glissantes obtenues sur une interface huile/bakélite sous tension impulsionnelle d'amplitude 40 kV (valeur crête) pour les deux polarités : (a) polarité négative, (b) polarité positive.
[35]

II.2.4.2. Influence de la nature et de l'épaisseur du solide isolant sur la forme des décharges glissantes

Kebbabi [35] 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 la figure II.8. L'aspect général change selon le matériau utilisé et la densité totale de branches dépend fortement de l'épaisseur du solide isolant.

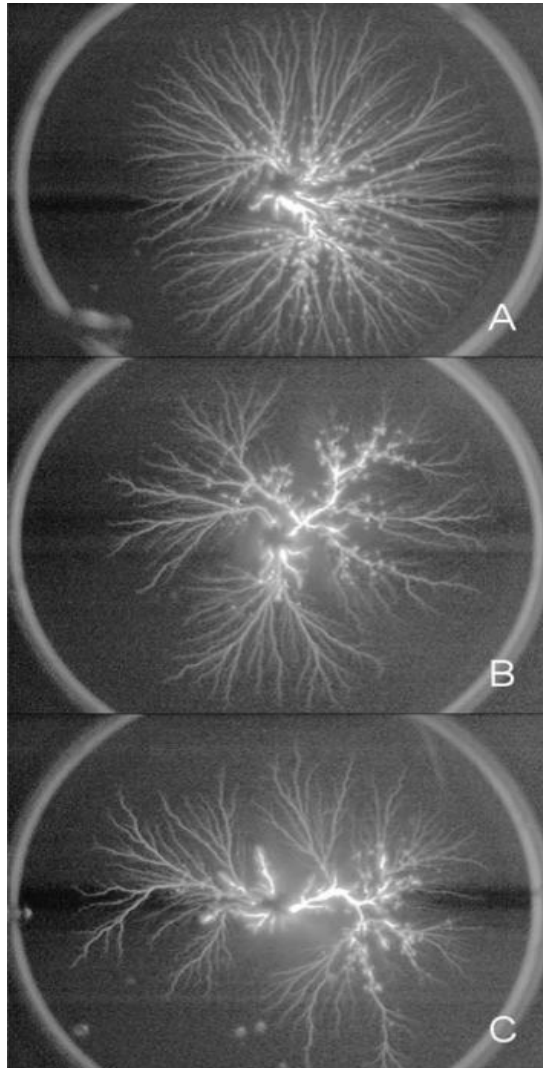


Figure II.8. Photographies de décharges glissantes obtenues sous tension impulsionnelle négative, avec des échantillons en Bakélite de différentes épaisseurs : (A) 2mm, Ucrête = 44 kV, (B) 10mm, Ucrête = 53 kV et (C) 20 mm, Ucrête = 58 kV. [35]

II.2.4.3. 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. L'évaluation de L_f des décharges glissantes est effectuée par la mesure de la distance entre la pointe et le contour circulaire formé par l'extrémité des branches formant la décharge.

II.2.5. Dégradation de la surface du solide

La répétition d'essais engendre la dégradation de la surface du solide isolant et la perte partielle de ses propriétés diélectriques. Ainsi, pour une tension donnée, les décharges observées sur un échantillon soumis à des contraintes répétitives, ont une longueur finale relativement élevée comparée à celle générées sur des échantillons neufs. Et la multiplication des décharges sur le même échantillon, conduit inmanquablement au contournement de ce dernier à des amplitudes de tension relativement basses. Toutefois, la dégradation de surface dépend fortement de la rigidité diélectrique du solide isolant, du nombre de décharges et de l'amplitude de la tension.

II.2.6. La rigidité diélectrique

La rigidité diélectrique est la valeur maximum du champ électrique que l'on peut appliquer à une substance sans que se produise une dégradation irréversible nommée claquage.

II .2.6.1 Influence des divers paramètres sur la rigidité diélectrique

- 1- La rigidité en tension continue est proche de celle en tension alternative (valeur efficace).
- 2- La tension de claquage est proportionnelle à l'épaisseur.
- 3- L'augmentation de l'épaisseur de l'éprouvette réduit la valeur de la rigidité diélectrique.
- 4- L'augmentation de la température réduit la rigidité diélectrique.
- 5- Une augmentation de la permittivité (ou une diminution de la résistivité) augmente la tension de claquage de l'éprouvette.
- 6- La présence d'impuretés, d'humidité, d'air ou de gaz dans l'isolant diminue fortement la rigidité diélectrique.

II.2.7. Similarité de la décharge glissante avec la décharge de foudre

Le claquage diélectrique dans les gaz, les liquides et les solides isolants se manifeste souvent par la propagation de multiples canaux qui forment des arborescences complexes et diversifiés. La foudre et les décharges surfaciques sont les exemples les plus répandus. Leur structure générale montre une grande similitude entre les différents types de décharges. En effet, en plus de cette ressemblance à caractère optique, les deux décharges ont la capacité de se propager sur de longues distances sous l'effet d'un champ électrique faible par rapport au champ disruptif. Cela suggère que la formation des branches des différents types de décharges peut être gouverné par une loi universelle faiblement sensible aux détails physiques du phénomène. Ce type d'universalité, peut largement simplifier la classification et la description du phénomène de la décharge.

II.3. Les décharges à barrière diélectrique

On appelle décharge à barrière diélectrique (DBD), toute configuration de décharge pour laquelle, l'une ou les deux électrodes sont recouvertes d'un diélectrique. Celui-ci peut être constitué de verre, de céramique, d'alumine ou d'une matière polymère de type PVC par exemple. De manière générale, dans ce type de décharge, l'une des deux électrodes est reliée à la terre, l'autre est reliée à l'alimentation électrique. En configuration diélectrique simple, c'est l'électrode reliée à la terre qui supporte le diélectrique. Deux types de (DBD) peuvent être distingués.

II.3.1. Décharges à barrière diélectrique volumique

Les décharges à barrières diélectriques volumiques utilisent généralement des tensions alternatives à valeur moyenne nulle. Elles s'établissent entre deux électrodes séparées l'une de l'autre par un isolant [10].

II.3.1.1. La décharge à barrière diélectrique silencieuse

C'est la première à être observée, la DBD, également appelée décharge silencieuse peut créer un plasma non thermique très actif dans une large gamme de pression et a été largement utilisée comme source d'UV [36]. Le diélectrique joue le rôle d'un condensateur en série avec le plasma, ce qui a un effet stabilisateur conduisant à un grand nombre de micro décharges et de petites impulsions dans tout l'espace inter-électrodes [10].

II.3.1.2. La décharge lumineuse homogène

Les décharges luminescentes à pression atmosphérique, ont récemment attiré l'attention des chercheurs parce qu'elles présentent un intérêt particulier dans beaucoup de disciplines scientifiques comme la chimie analytique, la biologie, la médecine et les technologies de reproduction d'images [37]. Ce type de décharge peut être obtenu dans l'air à pression atmosphérique en appliquant des champs électriques de quelques dizaines de kV/cm à des fréquences de l'ordre du kHz et avec des distances inter-électrodes de 0,5 à 3 cm.

II.3.2. Déchargés à barrière diélectrique surfacique

A la fin des années 90 aux Etats-Unis, Roth [38], a mis au point une nouvelle configuration de décharge à barrière diélectrique de surface. L'objectif est d'appliquer sa décharge comme actionneur pour contrôler un écoulement. 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).

Les électrodes sont des plaques très fines et distantes de quelques millimètres. Une haute tension sinusoïdale à valeur moyenne nulle est appliquée entre les électrodes posées sur la face supérieure du diélectrique et l'électrode de face inférieure reliée à la terre.

II.3.3. Influence de l'introduction d'une barrière diélectrique dans l'intervalle d'air

L'introduction d'un solide diélectrique dans l'espace inter électrode permet, dans le cas d'un champ divergent, d'améliorer la tenue diélectrique du système. La barrière est d'autant plus efficace qu'elle est proche de l'électrode acérée (c'est-à-dire celle dont le rayon de courbure est le plus faible).

II.3.3.1. Influence de la position de la barrière

La position optimale de la barrière, dans un système d'électrodes pointe – plan, se trouve entre 0 et 20% de la distance inter électrode. La position optimale exacte a été déterminée expérimentalement en fonction de la géométrie des électrodes par A. Beroual et al [39].

II.3.3.2. Influence de l'épaisseur de la barrière et de la permittivité

La permittivité et l'épaisseur de la barrière ont une influence sur la distribution des porteurs de charges positifs et sur la tension à la surface de la barrière. Quand ces deux paramètres ont des valeurs importantes, le champ entre la barrière et le plan devient de plus en plus uniforme. Le courant diminue de façon quasi-linéaire avec l'augmentation de l'épaisseur de la barrière isolante pour les deux polarités, mais la diminution est moins importante pour les impulsions négatives [40].

II.3.4. Applications des décharges à barrière diélectrique

Dans cette section nous allons évoquer quelques usages des DBD, en commençant par la plus ancienne : la production d'ozone.

II.3.4.1. Production d'Ozone

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

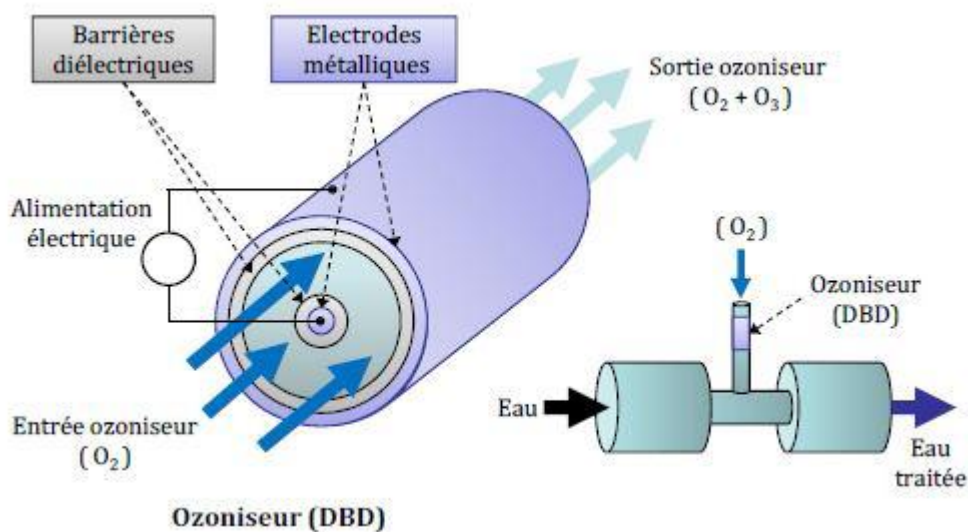
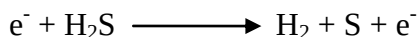


Figure II.9 : Schéma de principe d'un ozoniseur utilisé dans le traitement d'eau [41].

II.3.4.2. Traitement des gaz

La configuration de DBD mise au point pour la production d’ozone, est également appliquée à la décomposition des gaz toxiques (entrant dans « l’ozoniseur » au lieu de l’oxygène) comme le sulfure d’Hydrogène H₂S [42], par des collisions avec : des électrons, des radicaux, des ions ou des photons (rayonnement UV).



Aujourd’hui, la DBD est objet d’étude dans la destruction des gaz d’échappement toxiques, comme le monoxyde de carbone CO, les oxydes d’azote NO_x et dans la réduction des émissions à effet de serre, comme le dioxyde de carbone CO₂, responsables du réchauffement de la planète [43].

II.3.4.3. Traitement de surfaces

Grace à la caractéristique « homogène » des DBDs, elles sont utilisées dans la modification de surfaces ; un exemple est le traitement des plastiques, pour leur permettre de coller facilement ou d’être réceptifs à l’encre d’impression [44]. La DBD peut être facilement introduite dans le processus industriel de production de papier, en effectuant la décharge entre un rouleau qui fait tourner le papier et une électrode (parfois plusieurs) recouverte par un diélectrique.

II.3.4.4. Eclairage et écrans à plasma

Le contact entre l’électrode et le gaz dans les lampes, est la principale source de contamination du gaz et d’érosion des électrodes ; la DBD est une bonne solution à ce problème, et permet d’augmenter la durée de vie des lampes de nouvelle génération [45]. Elles permettent aussi l’élimination du mercure, qui est un élément dangereux pour la santé [46].

En ce qui concerne l’éclairage, les lampes à DBD, ont également l’avantage de pouvoir produire un rayonnement homogène à travers la surface des électrodes [47] ; cette propriété est exploitée pour les lampes d’éclairage de fond dans les écrans LCD.

Dans ces lampes DBD, le diélectrique externe (et parfois l’électrode externe qui est transparente) filtre l’UV, ne permettant que le passage de la couleur correspondante à une longueur d’onde visible. Cette longueur d’onde peut être choisie avec la substance fluorescente, ce qui est exploité dans la construction des écrans plats pour la télévision.

II.4. Les 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). Leur action peut conduire à des transformations chimiques radicales (scission de la liaison moléculaire sous l’effet du bombardement électronique et ionique, échauffement local, création de radicaux,...) entraînant la dégradation du matériau 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.

III. 5. Conclusion

Dans la première partie de ce chapitre nous avons donné quelques techniques de caractérisation des décharges surfaciques basées sur les expériences de Lichtenberg, ainsi que les lois de Toepler.

Dans la deuxième partie du chapitre, nous avons présenté les paramètres influençant les décharges de surface et les décharges à barrière diélectrique avec leurs domaines d'applications. Dans le chapitre qui suit, nous présenterons le matériau que nous allons utiliser (Polyéthylène), les montages expérimentaux, ainsi que les différentes méthodes de caractérisation.

Chapitre III : **Techniques expérimentales**

III.1. Introduction

Les caractéristiques fondamentales des solides isolants sont déterminées par leurs structures intrinsèques, mais les phénomènes superficiels sont intimement liés aux conditions de l'interface. Les processus physico-chimiques responsables de la dégradation de ces isolants sous contraintes électriques ne sont pas encore bien connus [48-49]. Peu de travaux ont permis d'expliquer les mécanismes fondamentaux et les phénomènes de dégradation de l'isolant soumis aux décharges surfaciques. Une étude à l'échelle moléculaire est nécessaire afin de caractériser les surfaces de ces matériaux, de les contrôler et d'améliorer leurs performances.

Il existe deux types d'analyse des phénomènes superficiels :

- Caractériser les formes d'une surface, des objets adsorbés et les localiser,
- Déterminer la composition chimique de la surface et de ces adsorbats.

Nous avons réalisé ces deux catégories d'analyse grâce à la microscopie et la spectroscopie qui nous ont permis d'obtenir des informations sur la topographie de la surface (MEB : Microscopie Electronique à Balayage) et sur la constitution élémentaire et quantitative des couches superficielles du nanomètre à quelques dizaines de micromètres (analyses EDS : Spectroscopie à Energie Dispersive ou à rayons X).

Dans ce chapitre, nous présenterons les propriétés principales des polymères. Nous donnerons le principe de fabrication du polyéthylène (PE). Nous analyserons ensuite, à l'aide des techniques présentées ci-dessus, les effets des décharges de surfaces sur les propriétés physico-chimiques de la surface du diélectrique solide.

III.2. Définition d'un polymère

Un polymère est une macromolécule formée de l'enchaînement covalent d'un très grand nombre d'unités de répétition qui dérivent d'un ou de plusieurs monomères (qui sont également appelées motifs) et préparée à partir de molécules appelées monomère [50].

Le nombre moyen de ces unités de base (monomères) dans les molécules finales (polymères) représente le degré de polymérisation. Si ce degré est élevé, on parle de hauts polymères par contre s'il est faible, le composé est une oligomère [51].

Le nom des polymères est généralement dérivé de celui du monomère en ajoutant le préfixe poly. Exemple : polyéthylène, poly (acide glycolique), polytétrafluoroéthylène, polyimideetc [52].

Une macromolécule est caractérisée par sa masse molaire M qui est en rapport avec le degré de polymérisation x représentant le nombre d'unités de la répétition dans la macromolécule par la relation suivante [53] :

$$M = x M_0$$

où M_0 est la masse molaire de l'unité de la répétition.

- **Quelques polymères courants**

Comme la plupart des matériaux organiques, les polymères sont en général de bons isolants électriques. Il sont utilisés comme tels en raison de leurs propriétés diélectriques et thermomécaniques. La plupart des polymères utilisés aujourd'hui sont d'origine synthétique :

Polyéthylène, polyester, polystyrène, etc. Les principales utilisations sont les isolants pour l'électrotechnique, l'électronique et l'optoélectronique. Le tableau III.1 décrit quelques matériaux polymères courants, leurs abréviations et leurs utilisations principales.

Matériaux	Abréviation	Applications courantes
Polyéthylène	PE (PRC)	Isolation électrique (câbles) Emballages
Polypropylène	PP	Boîtier d'appareil électrique
Polychlorure de vinyle	PVC	Boîtes, diapositives couleur, protections antipoussières, reliures de livres, câbles basse tension
Polystyrène	PS	Disques d'enregistrement sonore et emballage.
Polyméthacrylate de méthyle	PMMA	Vitrines et cadres.
Polyamides	PA	Produit de doublage pour lamination à chaud, également modifié en fixateur soluble
Polyéthylène naphthalate	PEN	Isolation électrique et électronique
Polyéthylène téréphthalate	PET	Composants électroniques (condensateur), pellicules et bandes magnétiques, gaze pour réparations, pochettes pour encapsulation.
Polyacétate de vinyle	PVAC	Colle de latex pour les réparations et liant pour les peintures décoratives émulsionnées.
Polyuréthane	PU	Liant des oxydes des bandes magnétiques, isolation de transformateur.

Tableau III.1 Applications courantes de quelques polymères [54]

III.3. Description du polyéthylène

III.3.1 Polyéthylène (PE)

Le polyéthylène est un polymère thermoplastique formé chimiquement par la polymérisation de l'éthylène C_2H_4 . La molécule de polyéthylène se présente sous forme d'une chaîne d'atomes de carbone comme schématisé sur la figure 1.9. Les valences libres des atomes de carbone sont occupées par des atomes d'hydrogène. Cette chaîne contient de 1000 à 20000 monomères [55]. La densité du polyéthylène à l'état amorphe est de 0.855 g/cm^3 . Sa température de transition vitreuse est de 8°C [56].

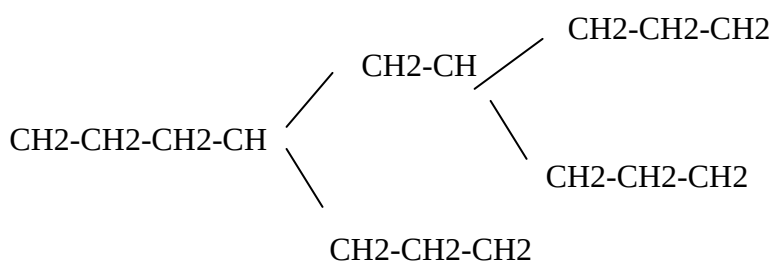


Figure III.1. Molécule de polyéthylène ramifiée.

Cette matière plastique représente à elle seule, environ le tiers de la production totale des matières synthétiques et constitue la moitié des emballage plastiques. Le polyéthylène est translucide, inerte, facile à manier et résistant au froid. Le polyéthylène présente en général, une bonne rigidité diélectrique, il est assez inerte chimiquement, léger et se prête facilement au moulage.

III.3.2 Différents types de polyéthylènes

Il existe différents polyéthylènes classés en fonction de leur densité. Celle-ci dépend du nombre et de la longueur des ramifications présentes dans le matériau. On distingue deux familles principales : le polyéthylène Basse Densité (PEBD) et le polyéthylène Haute Densité (PEHD).

- Le PEBD : Il est obtenu par polymérisation radicalaire à température et pression élevées (150 à 300°C sous une pression allant de 1200 à 2500 bars). Ce mode d'élaboration lui confère une structure irrégulière et ramifiée. Il est souple, même à très basse température (-50°C) et il est doux au toucher. Il est utilisé dans des domaines très divers. Sa densité est inférieure à celle de l'eau. Il présente une bonne résistance chimique. Il est transparent et il peut être facilement transformé, de plus il se prête très bien au soudage. Sa durée de vie est très longue à cause de sa grande stabilité mais il se recycle bien.
- Le PEHD : De même formule théorique que le PEBD, il est obtenu par polymérisation radicalaire à température modérée sous faible pression (50 à 100°C sous une pression allant de 20 à 50 bars). Sa structure est plus régulière que celle du PEBD, il est plus rigide et plus résistant à la chaleur (jusqu'à 120°C).

Utilisation

Le polyéthylène est utilisé comme isolant dans les câbles à haute fréquence (coaxiaux) et les câbles à haute tension jusqu'à 200 Kv [55]. Le PEHD est également utilisé pour la fabrication d'objets plastiques rigides.

Selon la configuration des chaînes du polymère, le polyéthylène est classifié en deux groupes dont les caractéristiques principales sont énoncées dans le tableau III.2. Le polyéthylène basse densité (PEBD) est produit sous haute pression et il est très ramifié. Le polyéthylène haute densité (PEHD) est fabriqué sous une pression inférieure. Il est dit "linéaire" car peu ramifié, il est plus rigide que le PEBD.

	PEBD	PEHD
Structure	Ramifiée	Linéaire
Aperçu		
Masse volumique	0.915-0.935	0.945-0.96
Taux de cristallinité	55%-70%	65%-80%
Température ma.de service	70°C	80°C
Température de fusion	110-120°C	128-135°C
Transition vitreuse	Env. -110°C	Env. -110°C
Indice de réfraction	1.51	1.54
Permittivité à 1MHZ	2.2-2.35	2.3-2.4
Résistivité ($\Omega.cm$)	10^{15} - 10^{18}	10^{15} - 10^{18}

Tableau III.2 Principales caractéristiques des polyéthylène[57]

III.3.3. Les propriétés de polyéthylène

III.3.3.1. Propriétés physiques

Les PE sont d'autant plus difficiles à cristalliser que les macromolécules comportent un nombre important de ramifications courtes ou longues. Leur cristallinité augmente avec la densité de 40 à 90%. Ce taux, avec la masse moléculaire, est responsable des propriétés physiques.

Les matériaux en PE sont opaques en forte épaisseur et transparents sous forme de films. Ils sont peu perméables à la vapeur d'eau (le PEHD est dix fois moins perméable que le PVC), mais perméables aux hydrocarbures, aux alcools et aux gaz. Cette perméabilité décroît quand la cristallinité croît. [58]

III.3.3.2. Propriétés mécaniques

Thermoplastiques semi-rigides, les PE sont à la fois très souples en faible épaisseur et difficiles à déformer en forte section.

Les propriétés mécaniques dépendent de la configuration des molécules. Elles sont meilleures lorsque les macromolécules sont orientées (que ce soit par extrusion ou étirage) et lorsque le degré de polymérisation est élevé. Deux exemples peuvent être donnés.[58] :

- La rigidité et la résistance de rupture augmentent avec la cristallinité et la masse moléculaire,
- La résistance au choc et à la déchirure diminue avec la cristallinité, mais augmente avec la masse moléculaire.

III.3.3.3. Propriété thermiques

La fusion des PE est établie (entre 110 et 135°C). Plus la masse volumique est grande, plus la température de fusion est élevée.

Les PE sont inflammables, en dégageant essentiellement du gaz carbonique et de l'eau. Ils brûlent avec une flamme bleutée et ils "gouttent". Ils sont classés M4 - tenue au feu – à l'essai par rayonnement.

En l'absence de contrainte, le PEHD peut supporter une température de 110 à 120°C. Cette température décroît sous charge et augmente avec la réticulation. Le passage de la température de transition vitreuse (-110°C) est d'autant moins sensible que le PE est plus cristallin.[58].

III.3.3.4 Propriétés électriques

Les PE sont d'excellents isolants électriques. Ils ont une résistivité et une rigidité diélectrique élevée (≥ 65 kV/mm pour une épaisseur de 0,4mm).[58].

III.3.3.5 Propriétés chimiques

Les PE sont très stables chimiquement. A des températures à 60°C, ils sont pratiquement insolubles. Ils sont insensibles aux acides (sauf les oxydants), aux bases et aux solutions salines. Ils sont insolubles dans l'eau et sont reconnus utilisables pour des applications alimentaires.

Les PE sont sensibles à la fissuration sous contrainte (stress-cracking) en présence de savons, alcools, détergents...

Les PE sont sensibles à l'état naturel à l'action des ultraviolets en présence d'oxygène. Pour remédier à cet inconvénient, on les charge généralement de poudre de carbone ou de stabilisant lumière. [58]

III.4. Analyse microscopique

III.4.1. Constitution d'un microscope électronique à balayage (MEB)

La figure VI.8 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.

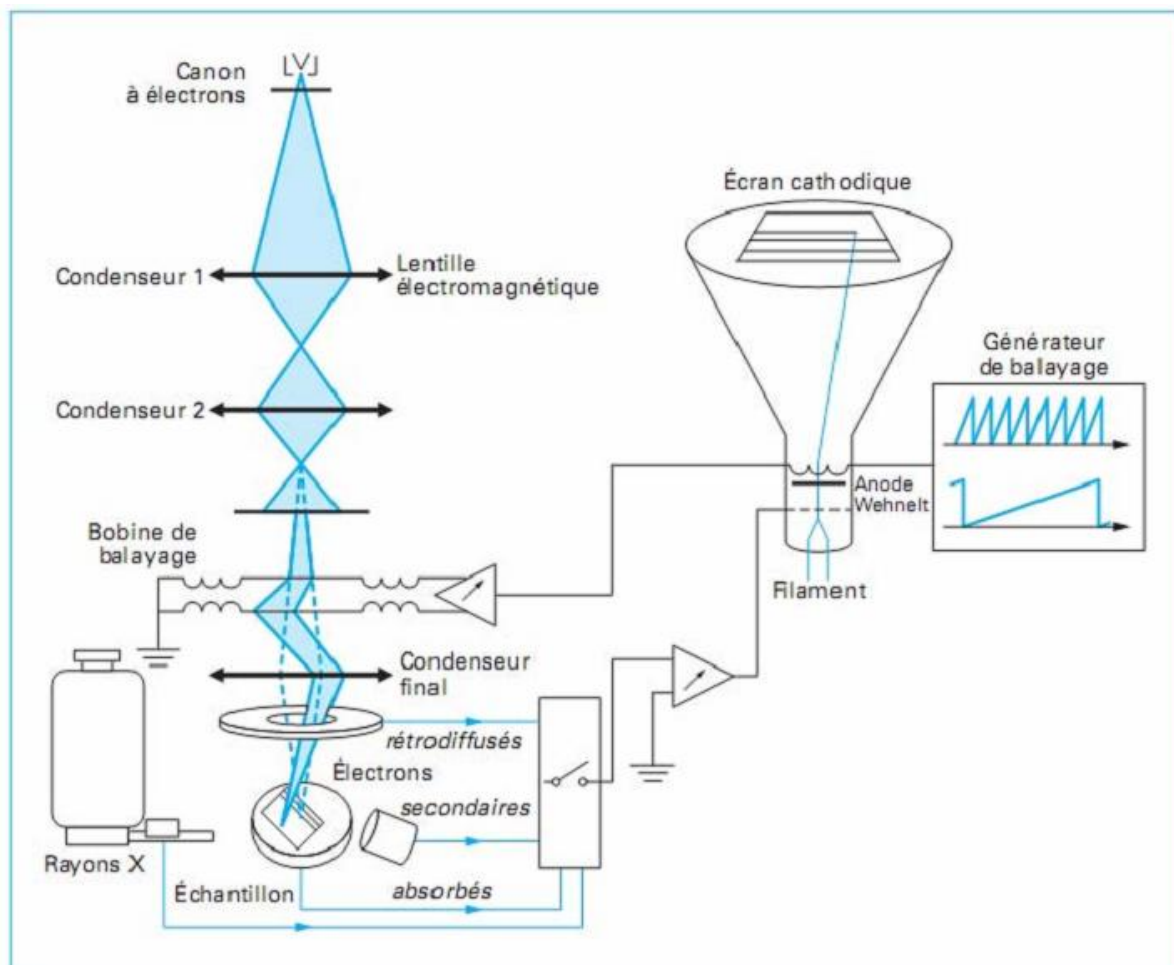


Fig.III.2. Schéma de principe d'un microscope électronique à balayage (MEB) [59]

III.4.2. 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 (Figure.VI.5). 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

Ceux sont des électrons peu liés de la bande de conduction de l'atome, éjectés lors de leur choc avec les électrons primaires du faisceau. Ceux 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

Ceux 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 X

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.

III.5 La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier «FTIR»

III.5.1 Généralités sur la spectroscopie FTIR

FTIR : Fourier transformed infrared

L'infrarouge a été découvert par l'astronome anglais William HERSHEL en 1800 à partir de réchauffement produit par le soleil.

III.5.2 Principe

La spectrométrie IRTF est basée sur l'obtention dans le domaine temporel d'un interférogramme à l'aide d'un interféromètre du Michelson. Et on obtient le spectre désiré par transformée de Fourier de cet interférogramme.

Sous l'effet de rayonnement IR, les molécules de l'échantillon analysé vont subir des changements d'état vibrationnel, à des fréquences de vibration caractéristiques de chaque groupement moléculaire, et cette méthode d'analyse vibrationnelle est non destructrice, qualitative et peut être quantitative. Les spectromètres mesurent les nombres d'onde (cm^{-1}) et la diminution de l'énergie de la radiation que l'échantillon absorbe. Ils nous donnent les caractérisations de tout type d'échantillon, quel que soit leur état physique en surface.

III.6. Préparation des échantillons

Les échantillons utilisés ont été fournis par l'entreprise ENICAB de Biskra. Afin d'assurer la reproductibilité et la précision des résultats, on usine des échantillons de même dimensions. On découpe des échantillons de PE sous forme de carrée de 4 cm de côté et 1 mm d'épaisseur. Avant de procéder aux essais, chaque échantillon est bien nettoyé à l'éthanol puis séché dans le but de réduire les poussières et les impuretés fixées sur la surface.

III.8. Etude de la dégradation des polymères soumis à une décharge couronne

III.8.1. Montage expérimental

Le schéma du dispositif expérimental que nous avons utilisé est montré dans la figure III.3.

L'alimentation haute tension est assurée par un transformateur d'essai monophasé 100 kV, 10 kVA, 50 Hz.

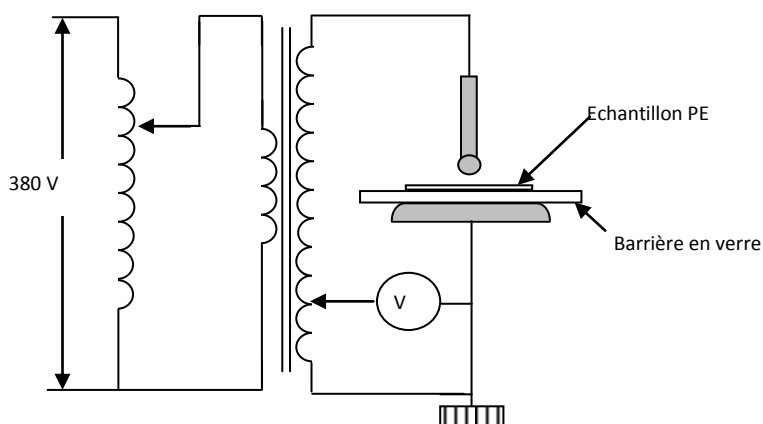


Figure III.3. Dispositif expérimental

Durant nos essais, nous avons utilisé un échantillon de Polyéthylène (PE) en forme carré de 4 cm de côté et d'1 mm d'épaisseur. Pour les soumettre à la contrainte électrique (décharges couronne), nous avons placé l'échantillon de PE sur un disque de verre d'épaisseur 5mm. Ce disque constitue une barrière diélectrique dont le rôle est d'éviter le passage à l'arc de la décharge électrique entre les deux électrodes. On applique une tension de 12 kV 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 PE, placé en série avec un intervalle d'air de 4 mm, est ainsi soumis à des décharges couronne dans un système sphère-plan.



Figure III.4.Laboratoire : la cage de Faraday et le pupitre de commande



Figure III.5.Laboratoire : le transformateur et la perche

III.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le matériau utilisé (Polyéthylène) et le montage expérimental et les différentes techniques d'analyse de la surface du polymère. Dans le chapitre qui suit nous donnerons les différents résultats obtenus.

Chapitre IV : **Résultats et discussions**

IV.1.Introduction

Dans ce chapitre nous donnerons les résultats expérimentaux obtenus avant et après vieillissement du polyéthylène (PE) sous décharges couronne et leur 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 (figure IV.1).

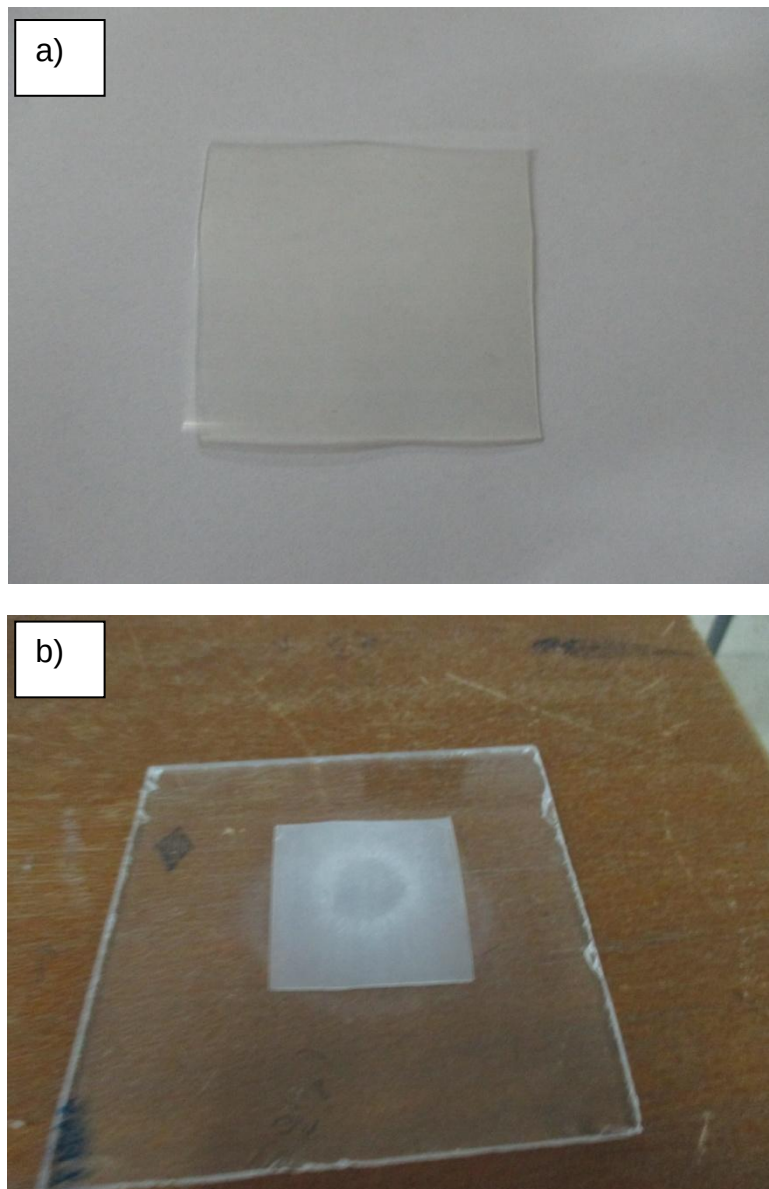


Figure. IV.1 : Echantillons du PE: a) vierge et b) vieilli 12h

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 (MEB), figure IV.2.

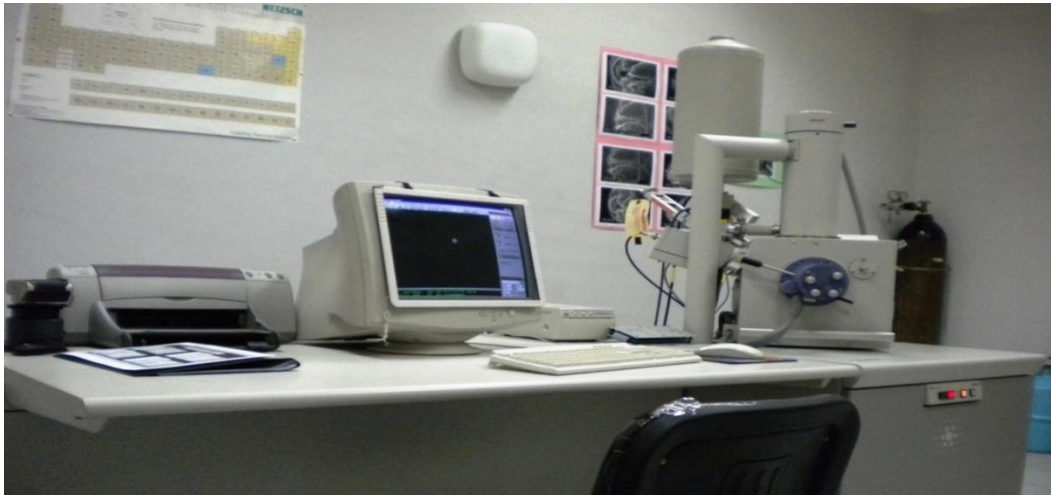
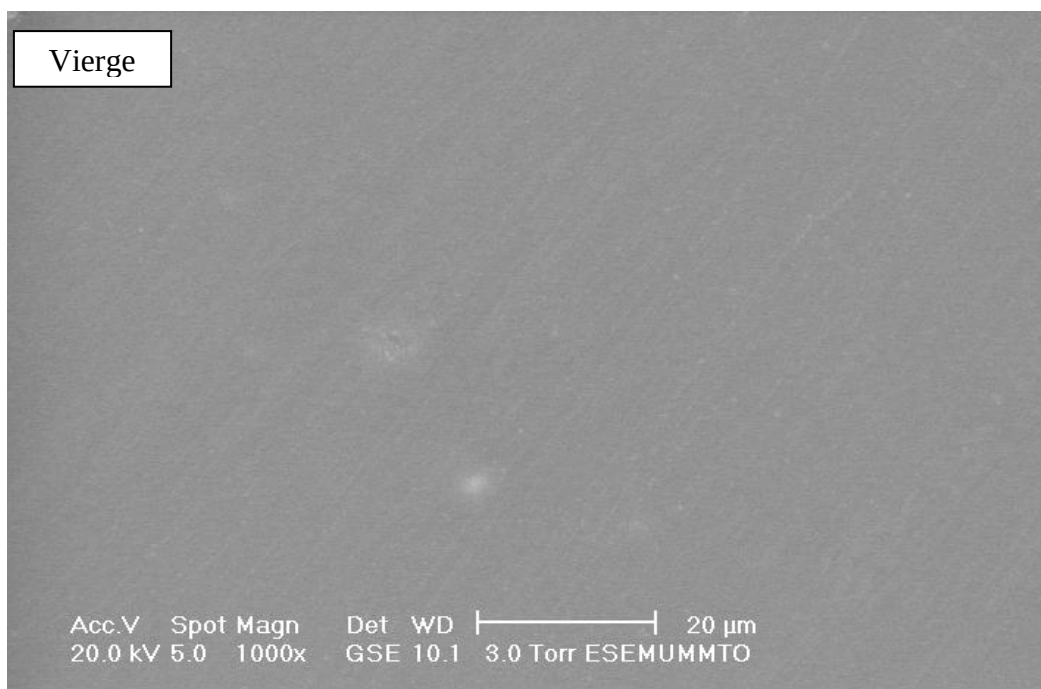
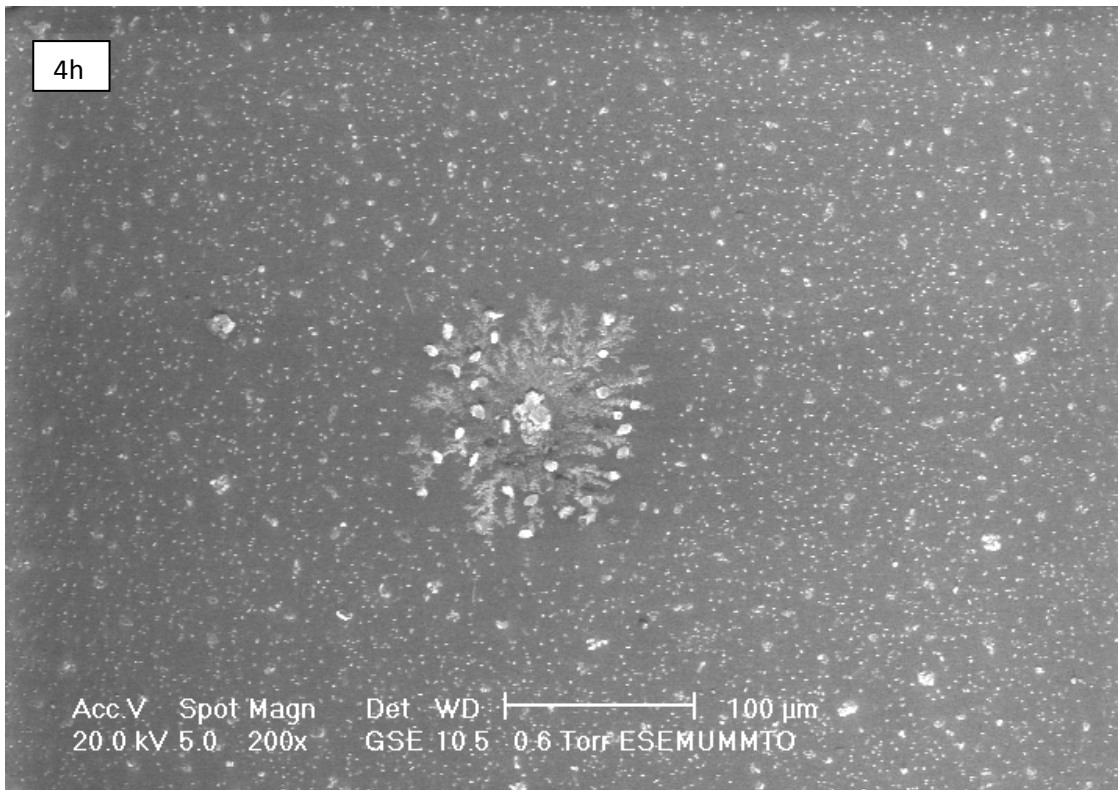


Fig. IV.2 MEB de marque ESEM XL 30 Philips

Les images obtenues pour un système d'électrodes sphère-plan avec un intervalle d'air de 3mm sont données par les figures ci- dessous (IV.3).





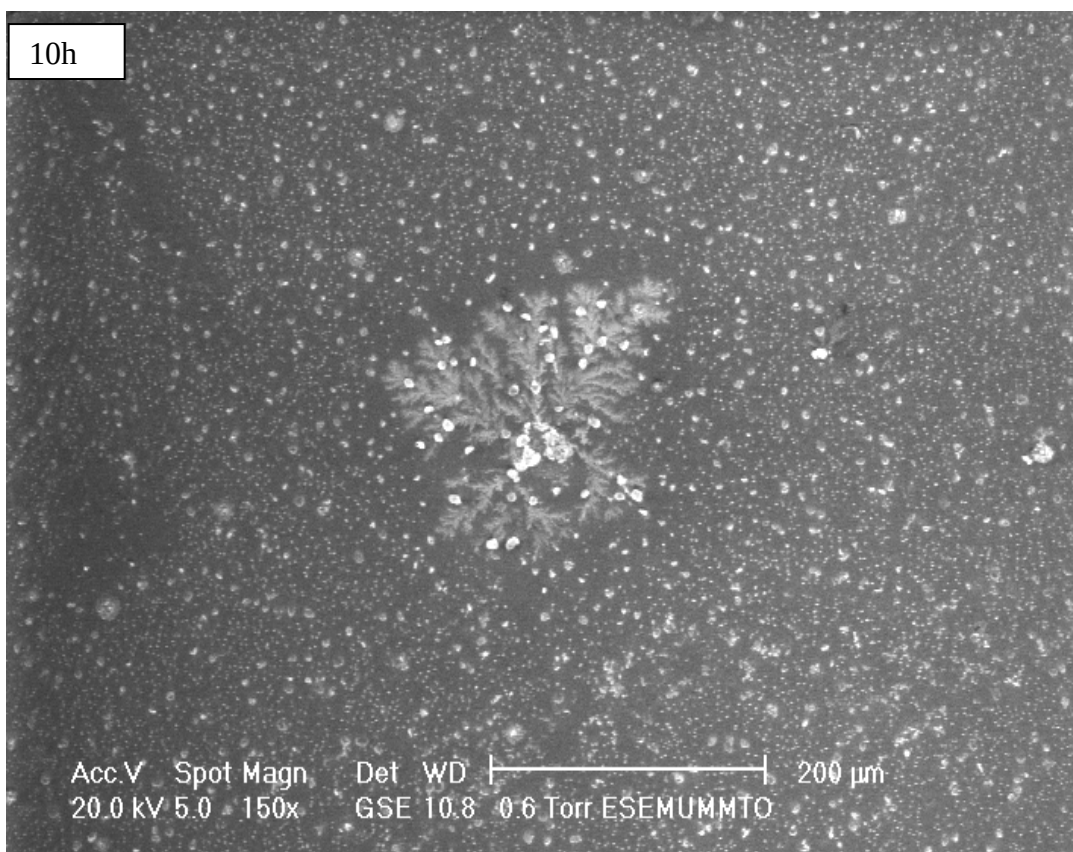
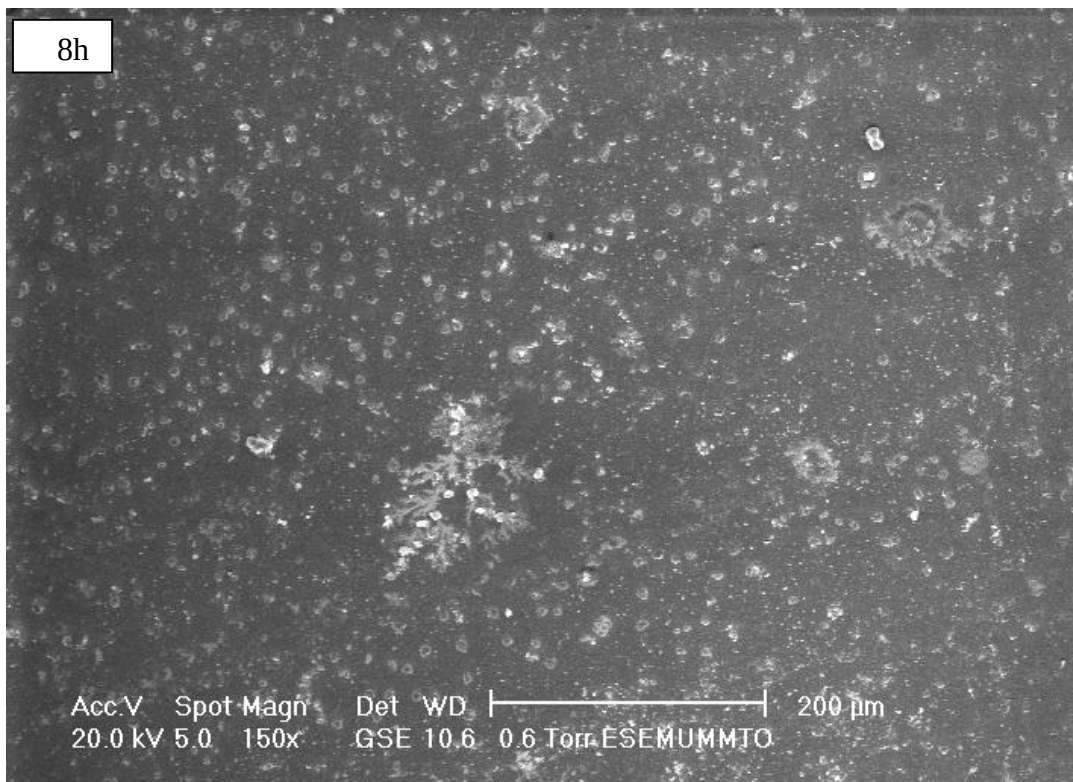
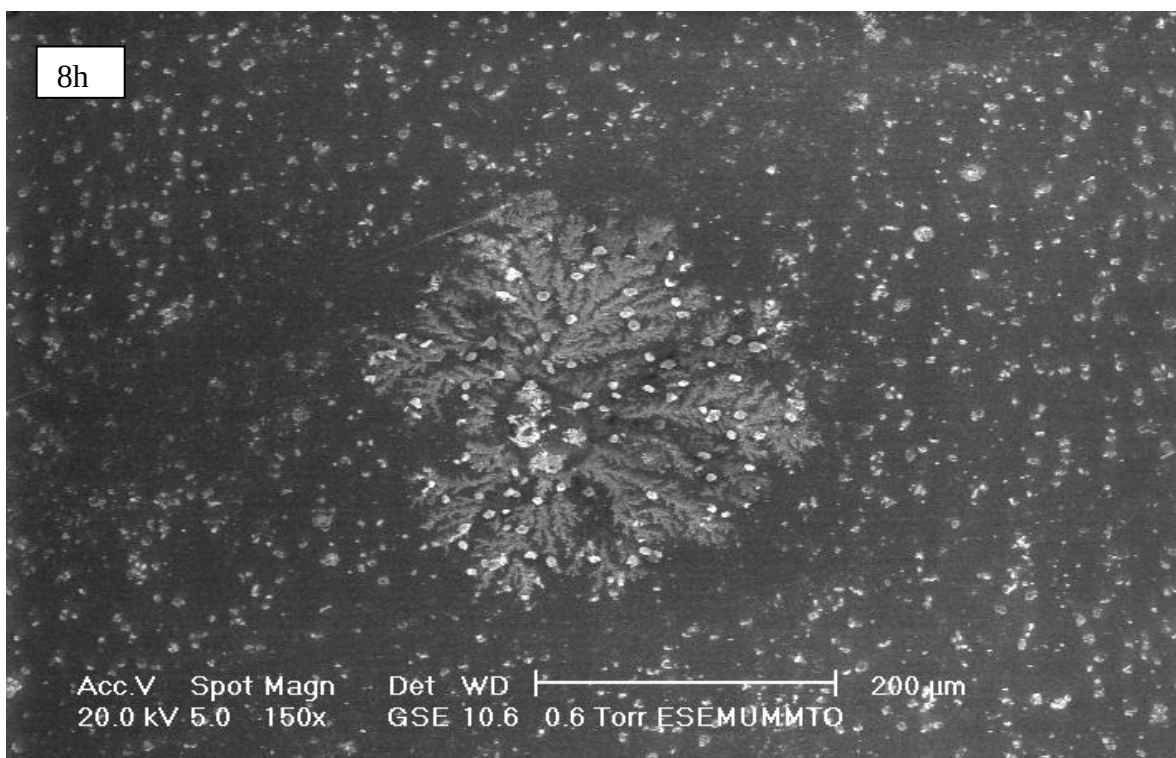
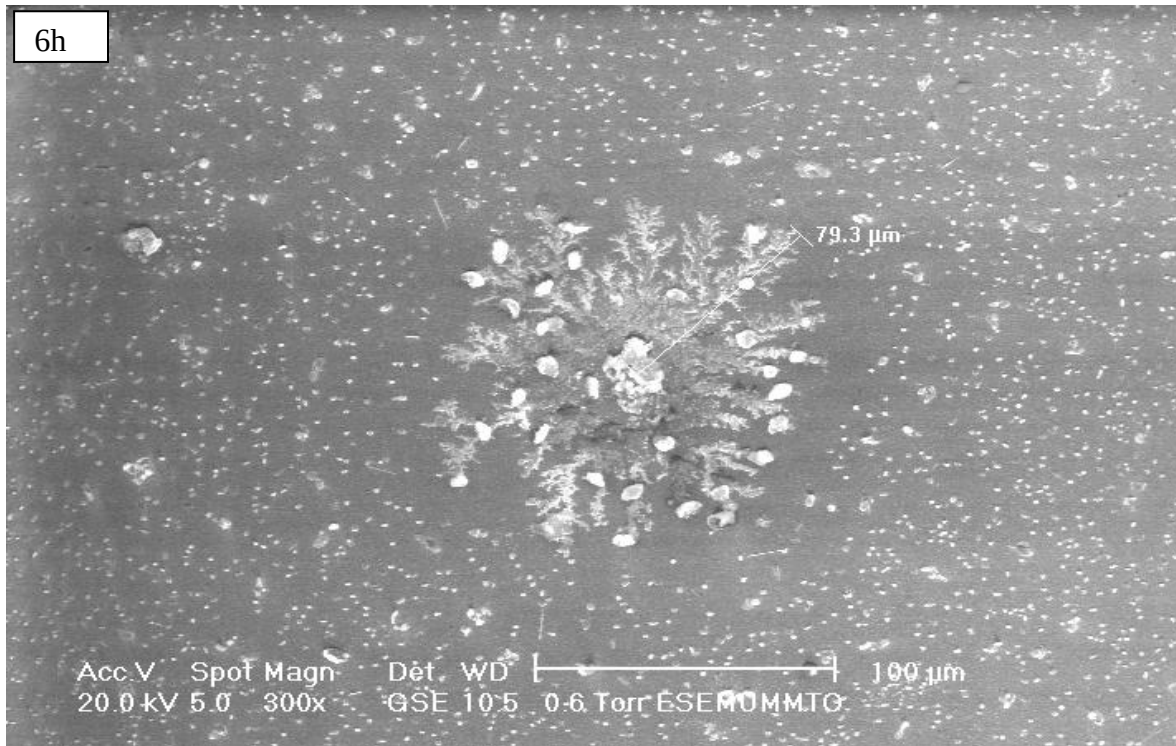


Figure IV.3. Micrographies MEB du PE (d=3mm).

Les images obtenues pour un système d'électrodes sphère-plan avec un intervalle d'air de 2 mm sont données par les figures ci- dessous (IV.4).



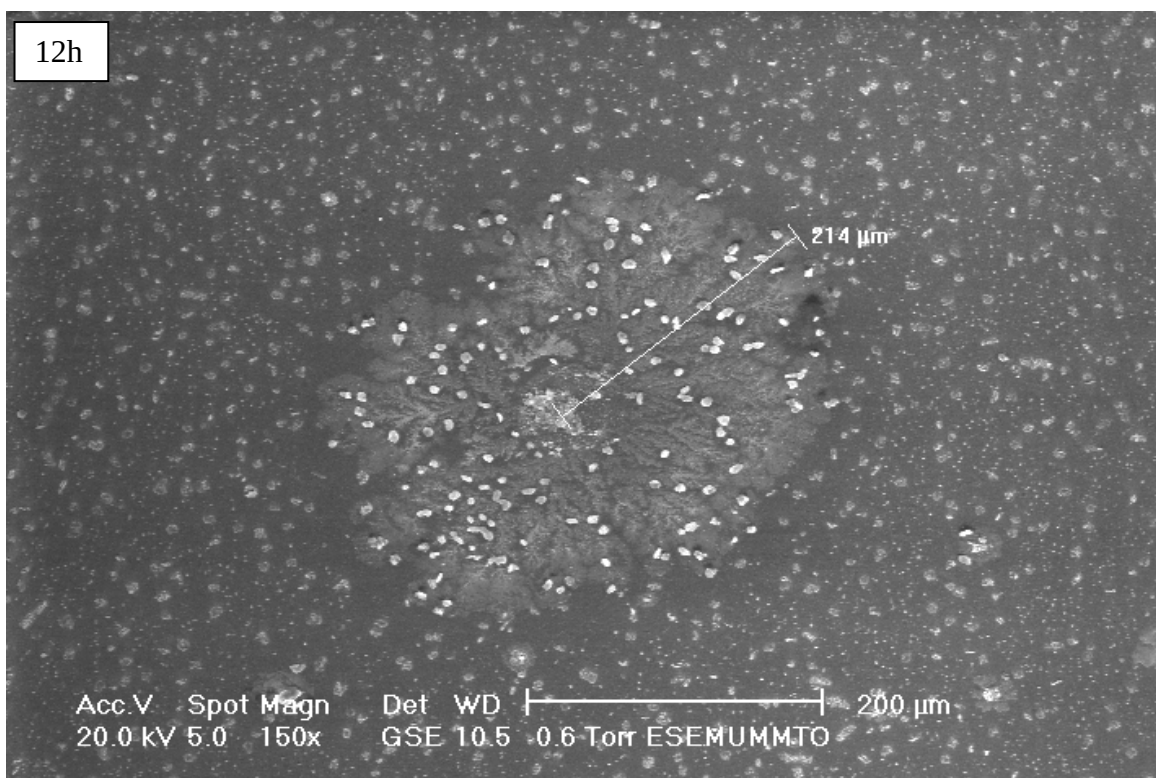
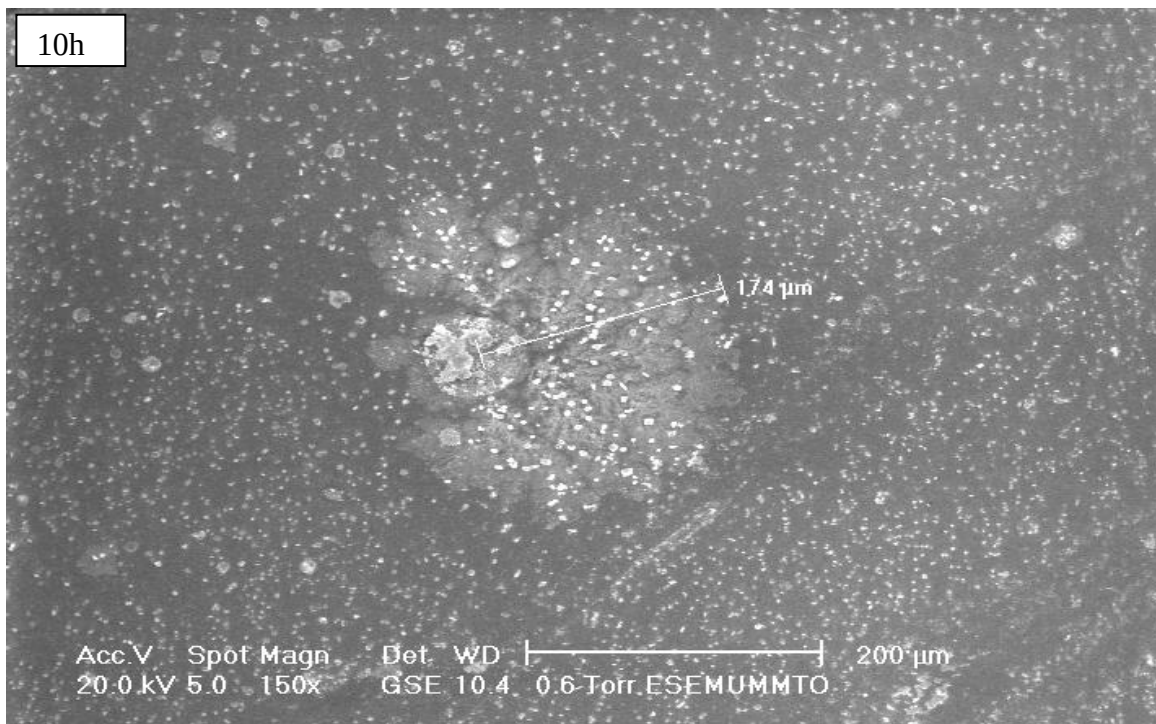


Figure IV.4. Micrographies MEB du PE (d=2mm)

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

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.5). Elles nous donnent les transformations chimiques subies par l'échantillon: apparition ou disparition de groupements fonctionnels sous l'effet des décharges électriques.



Figure IV.5. 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 la table (Figure IV.6), il est possible d'obtenir des informations sur les groupements fonctionnels du matériau particulièrement ceux qui disparaissent et ceux qui forment après vieillissement.

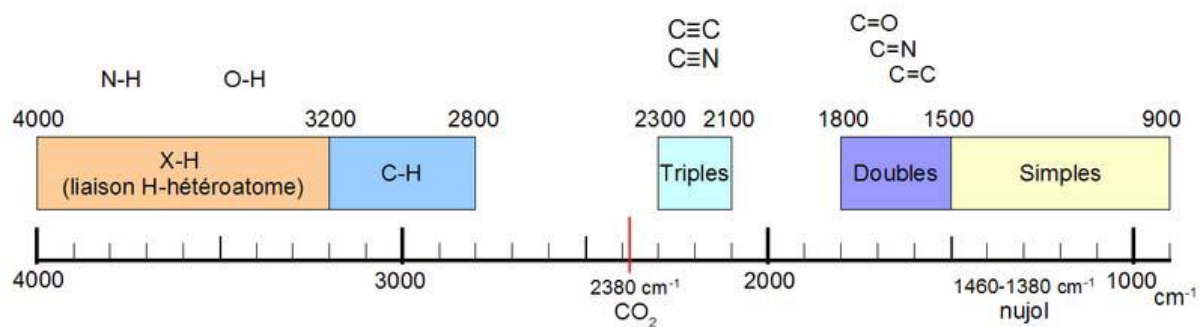


Figure IV.6. Aperçu des longueurs d'ondes d'absorption pour les molécules organiques [60]

La figure IV.7 montre les spectres FTIR du polyéthylène (PE) avant et après vieillissement

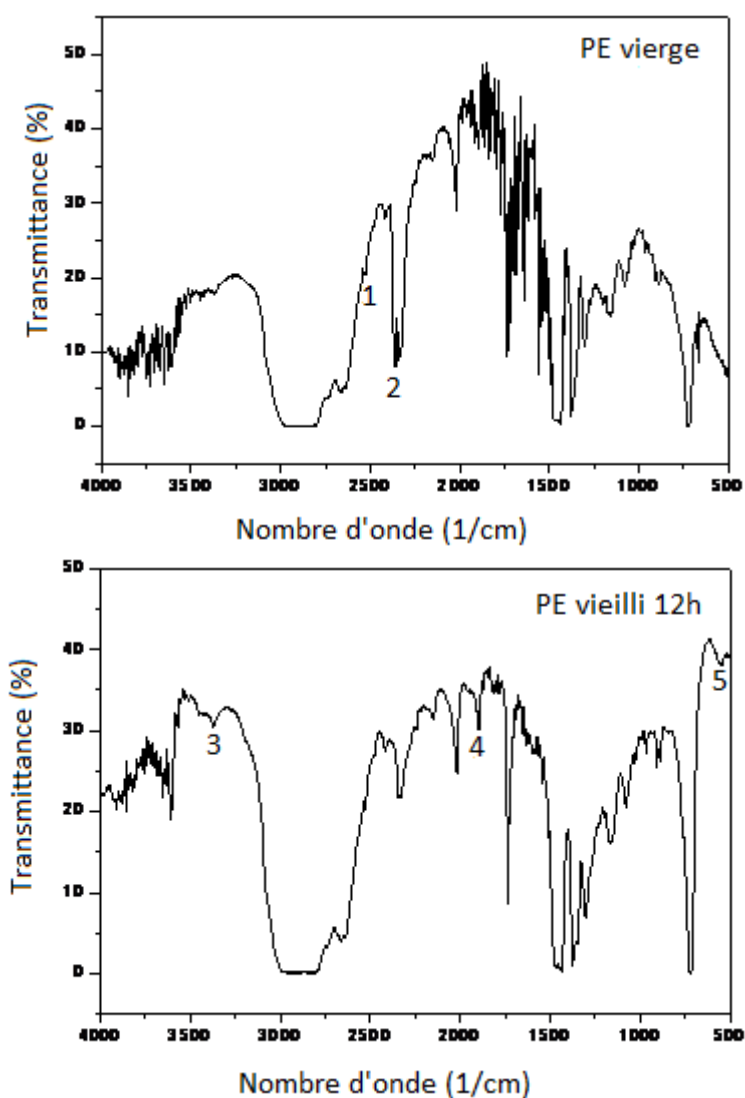


Fig .IV. 7. Spectres FTIR du PE avant et après vieillissement

Après 12h d'exposition aux décharges électriques (figure IV.7), on voit l'apparition des pics 3 (3400-3200) cm^{-1} et 4 (2000-1800) cm^{-1} qui correspondent respectivement au groupement OH [61] et double liaison C=C. On remarque aussi la diminution du pic 2 dans la bande (2400-2200) cm^{-1} qui correspond au groupement CO2 [62].

IV.5. Mesure de la longueur des arborescences

IV.5.1. Influence de distance inter électrodes

Les figures IV.8 et IV.9 représentent la variation de la longueur des arborescences en fonction du temps de vieillissement pour l'intervalle d'air 3mm et 2mm respectivement.

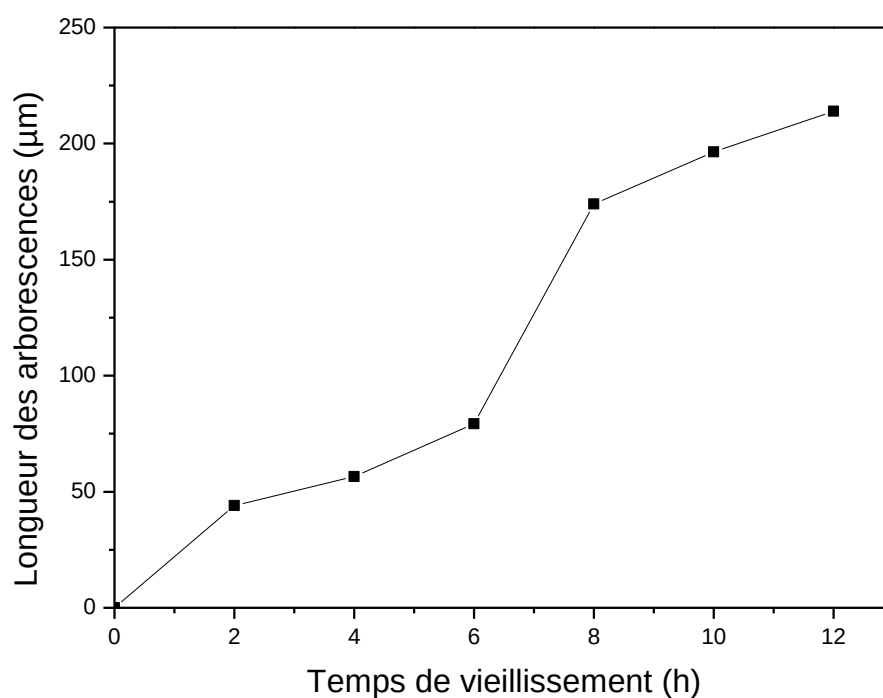
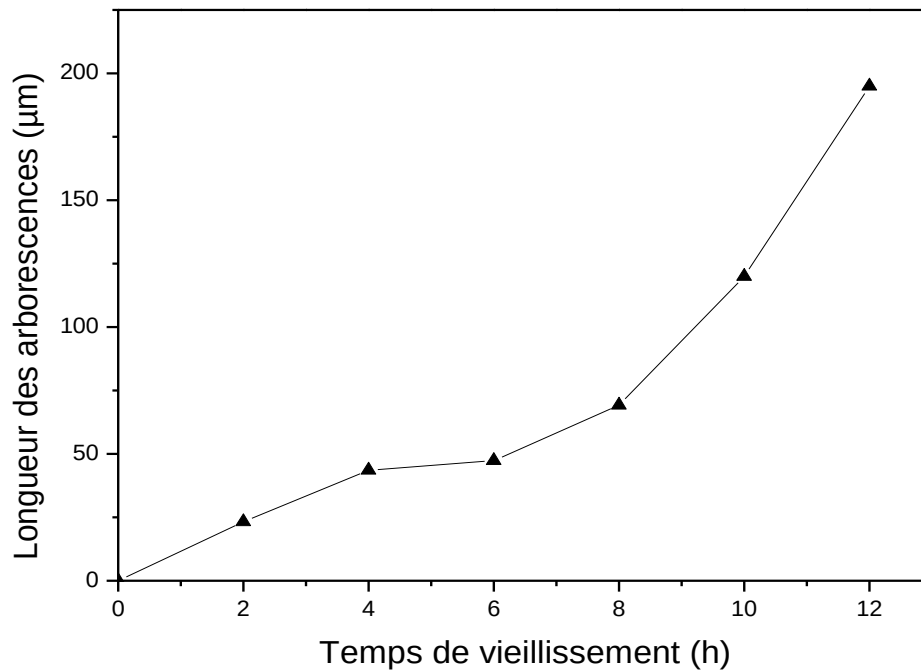


Fig.VI.8.Variation de la longueur finale des décharges en fonction du temps vieillissement avec $d= 3\text{mm}$



**Fig.VI.9.Variation de la longueur finale des décharges en fonction du temps
de vieillissement avec $d=2\text{mm}$**

Nous constatons que la longueur finale des décharges qui se propagent sur la surface du solide isolant augmente avec la durée de vieillissement.

La figure IV.10 représente la longueur finale des arborescences pour les deux intervalles d'air

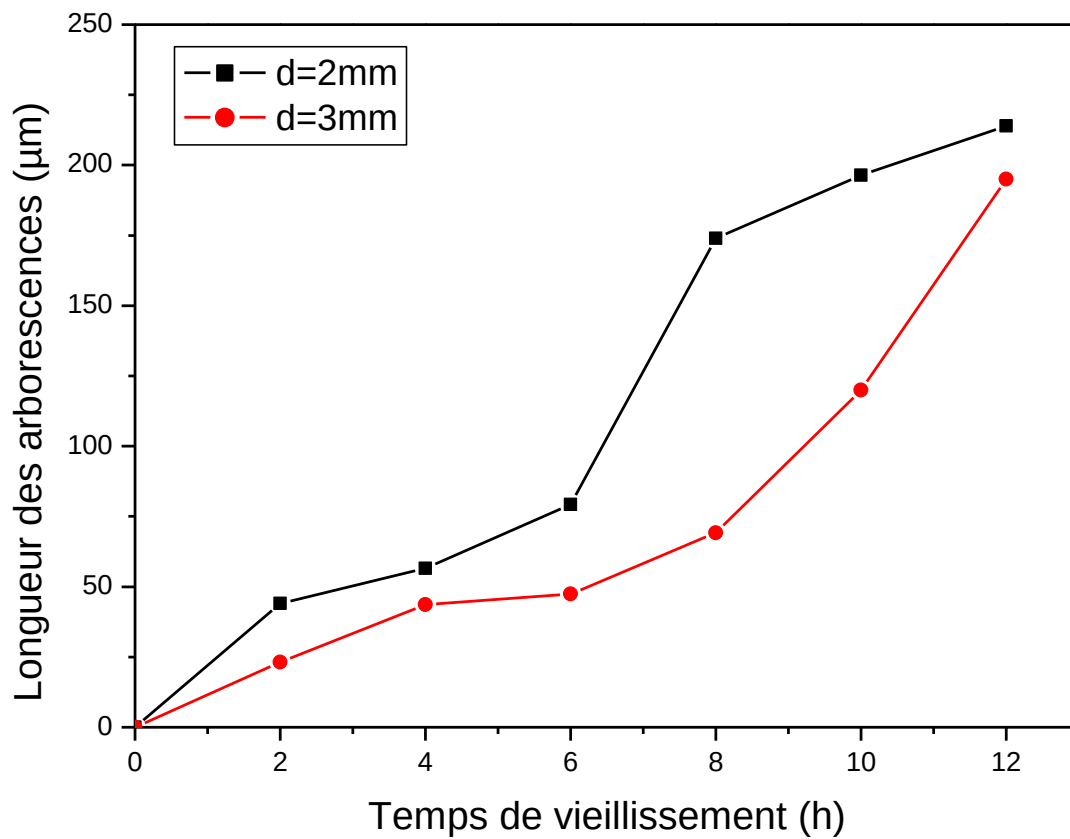


Fig .IV.10. Comparaison de la variation de la longueur des arborescences en fonction de temps de vieillissement, $d=2\text{mm}$, $d=3\text{mm}$.

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.5.2. Influence de la tension appliquée

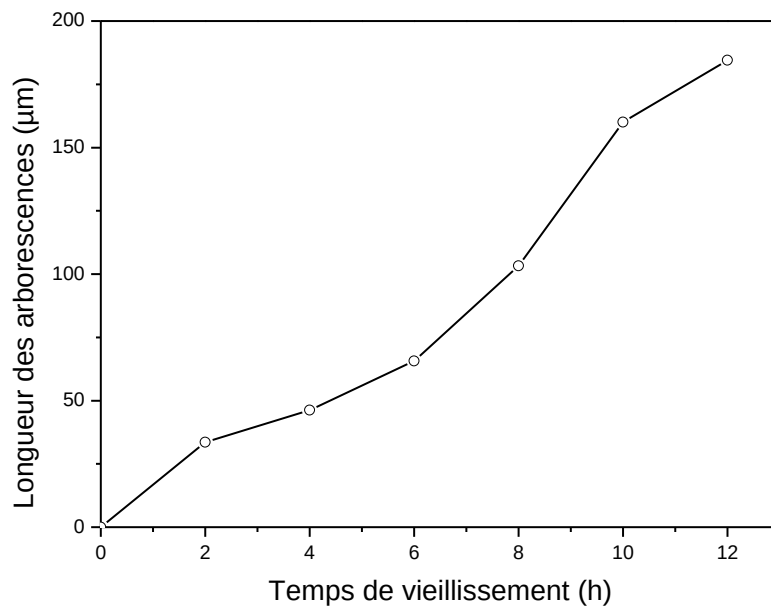


Fig.VI.11. Variation de la longueur finale des décharges en fonction du temps de vieillissement avec la tension appliquée 8kV

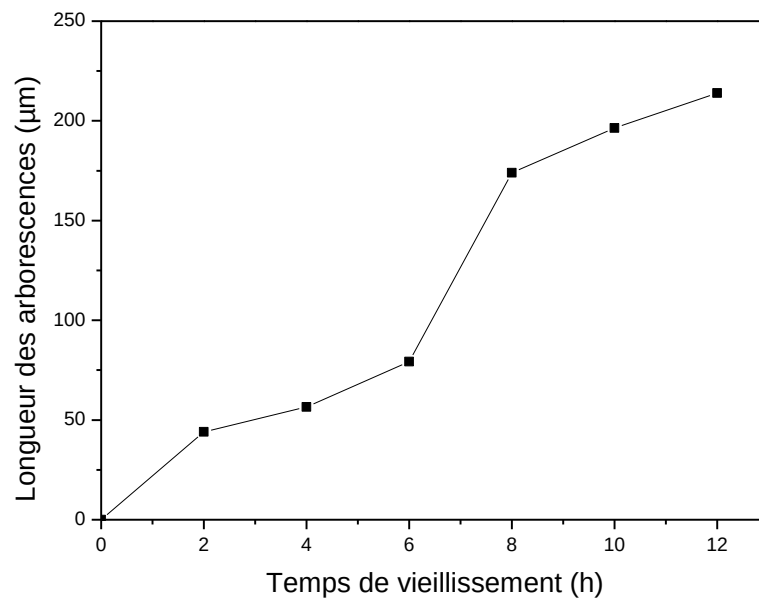


Fig.VI.12. Variation de la longueur finale des décharges en fonction du temps de vieillissement avec la tension appliquée 10kV

Les allures représente la variation de la longueur finale des décharges en fonction de temps de vieillissement les (figures IV.11, IV.12) montrent que la longueur des arborescences augmente avec l'augmentation de temps de vieillissement, ainsi la tension appliquée.

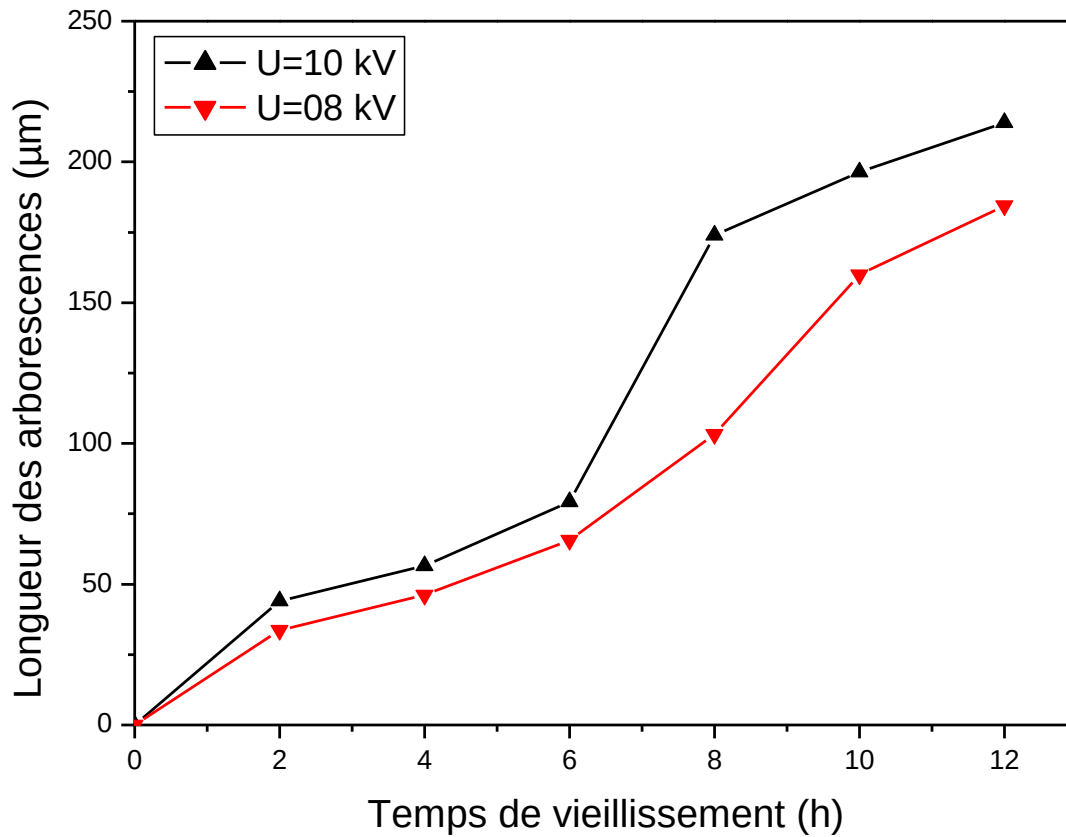


Fig.IV.13. Comparaison de la variation de la longueur des arborescences en fonction de temps de vieillissement : U=10kV, U=8kV

D'après la figure IV.13, on constate que l'évolution de la longueur des arborescences plus élevée pour une tension appliquée de 10kV, donc la tension appliquée influe sur la longueur finale des arborescences.

IV.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les effets de la décharge couronne sur la surface du PE. La dégradation de la surface a été mise en évidence par les différentes techniques d'analyse utilisées (MEB et FTIR).

Les images obtenues au microscope électronique à balayage (MEB) confirment que la surface du solide isolant a subi des dégradations. Les spectre FTIR ont montré que la structure du PE a changé.

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

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'interaction de la décharge couronne sur le matériau isolant, le Polyéthylène, en géométrie sphère-plan, avec une interface air/solide isolant. Nous avons d'une part énoncé les généralités sur les décharges électriques, et d'autre part étudié les caractéristiques et les effets des décharges couronne sur la surface du diélectrique (Polyéthylène).

Grace à l'utilisation de la technique du microscope électronique à balayage (MEB), des observations ont été effectuées sur l'évolution de la surface de l'isolant solide (PE) après vieillissement, des dégradations importantes de la surface du diélectrique ont été remarquées.

La dégradation est d'autant plus importante que le temps de vieillissement est important. Un phénomène justifié par l'apparition d'arborescences, et une formation de cratères. La longueur finale de ces arborescences augmente avec l'augmentation du temps de vieillissement et de la tension appliquée et diminue avec l'augmentation de l'intervalle d'air entre l'échantillon et l'électrode haute tension. La caractérisation par l'infra rouge à transformé de Fourier (FTIR) a montré le changement de la structure chimique du polymère sous l'effet des décharges couronne.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

- [1] R.S. Nema and F. Zahra « Study of corona Pulses in Air-Solid Interface » I.EEE Conference Record of International Symposium on Electrical Insulation, pp.407-410, Virginia, USA, 1998.
- [2] C.Y.Kim, J. Evans and D.A.I. Goring, « Corona-Induced Autohesion of Polyethylene », J. Appl. Polym. Sci. N°15, pp.1365-1375, 1971
- [3] S. Vacquié, «L'arc Électrique», CNRS Éditions et Eyrolles, France, 2000.
- [4] E. M. Van Veldhuizen and W. R. Rutgers, «Corona Discharges: Fundamentals and diagnostics», Faculty of Applied Physics, Private Communication, TechnischeUniversiteit Eindhoven.
- [5] S. Y. Li, K. D. Srivastava and G. D. Theophilus, «Nanosecond Streak Photography of Discharges on Spacer Surface in Gases», IEEE Transactions on Electrical Insulations Magazine, Vol.2,N°1, pp. 114- 120, 1995.
- [6] G. Le Roy, C. Gary, B. Hutzler, J. Lalot and C. Dubanton, «Les propriétés diélectriques de l'air et les très hautes tensions», Editions Eyrolles, Paris, 1984.
- [7] J.S. Townsend, «Electricity in gases» Oxford University Press, 1914.
- [8] Y.P. Raizer, «Gas discharge physics», ed. Springer-Verlag, 1991
- [9] Y.Miyoski, T. Hosokawa and O. Sakai, « Point-to-plan discharge phenomena in air in negative polarity », Nagoya institute of Technology, Bulletin, 1964.
- [10] A. Labergue, «Etude de décharges électriques dans l'air pour le développement d'actionneurs plasmas – Application au contrôle de décollements » Thèse de doctorat de l'université de Poitiers, 2005.
- [11] M. Goldman., R.S. Sigmond, «Corona insulation», *IEEE Trans. Elec. Ins.*, EI. 12/2, pp. 90-105, 1982
- [12] Rezzouga M, Tilmatine A, Gouri R, Medles K, Dascalescu L «Experimental modiling of high-voltage corona dischargeusing design of experiments». Front. Electr.Electron. Eng, 2(2): 139-143. China 2007.

- [13] M.P. Panaget « Étude en laboratoire des effets physico-chimique induits par les pertes électriques des lignes de transport à haute tension». Thèse de doctorat de l'université Pierre et Marie Curie 1997.
- [14] Hamoumeche. K «Étude de l'interaction entre une barrière de papier et une décharge couronne en géométrie pointe-plan». Thèse de magister, UMMTO, décembre 2009.
- [15] Flavien. Koliatene «Contribution à l'étude de l'existence des décharges dans les systèmes de l'avionique». Thèse de doctorat de l'université de Toulouse III – Paul Sabatier, le 5 janvier 2009.
- [16] C. Gray «Les propriétés diélectriques de l'air et les très hautes tensions», Édition, Eyrolles, Paris 1986.
- [17] D. Djemai, «Etude de la propagation des streamers à l'interface liquide/solide sous tension alternative 50 Hz », Thèse de magister, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 1991.
- [18] G. C. Lichtenberg, Novi Comm. Soc. Reg. Sci. Gott. 1777.
- [19] P.O.Pedersen, «Danske VidenskSelkab, »vol. PartI(1919), PartII(1922), PartIII (1929).
- [20] F. H. Merrill and A. v. Hippel, «The atomphysical interpretation of Lichtenberg figures and their application to the study of gasdischarge phenomena », J. of Phys. D: Appl. Phys., Vol. 10, p. 873, 1939.
- [21] Y. Kashiwagi and H. Itoh, «Synchronization of positive surface streamers triggered by vacuum ultraviolet in atmosphere», J. Phys. D: Appl. Phys., vol. 39, pp. 113–118, 2006.
- [22] A. T. Morris, «Heat developed» and powder, «Lichtenberg figures and the ionization of dielectric surfaces produced by electrical impulses», British Journal of Applied Physics, vol. 2, pp. 98-109, 1951.
- [23] M. L. Coulibaly «Caractéristiques des décharges électriques se propageant aux interfaces solide / gaz -relation entre matériaux et dimension fractale » Thèse de Doctorat, école centrale de Lyon, 2009.
- [24] G. M. Sommerman, C. J. Bute and E. L. C. Larson, «impulse ionization in liquid dielectrics», AIEE Trans., Vol. 73, pp. 147-59, 1954.

- [25] Y.Nakao,M.Naruse,Y.Suzuki,H.Itoh,Y.Sakai,and H.Tagashira,«Influence of insulating barrier on the creepage discharge in transformer oil,», *IEEETransactionon Dielectrics and Electrical insulation*, vol. 4, pp. 775-779, 1997.
- [26] A. Beroual and R. Tobazeon, «Prebreakdown phenomena in liquid and solid cyclohexane with pointplane electrodes subjected to voltage steps, » *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 22, pp. 1568-1569, 1989
- [27] R.Hanaoka, T.Kohrin,Y.Genba ,R. Ishibashi, and T.Miyamoto, «Impulse Creeping Discharge along the Surface of Polyethylene Wire immersed in Transformer Oil, » presented at IEEE Proc. Of Electrical Electronics Insulation Conf. (EIC).and Electrical Manufacturing & Coil Winding Conference, 1995.
- [28] Y. Nakao, N. Masashi, T. Sakai, H. Itoh, Y. S, Y. Sakai, and H. Tagashira, «Propagation Characteristics of Impulse Creepage Discharge in a Parallel-Plane Gap with a Protruding Point in Transformer Oil, » *Electrical Engine erring in Japan*, vol.124, 1998.
- [29] S. S. Hakim and J. B.Higham, «Phenomenonin n-hexanepriortoits electric breakdown, » *Nature*, vol. 189, pp. 966, 1961.
- [30] B. Farazmand,*J.Appl.Phys.*, vol. 12, pp. 256, 1961.
- [31] L. Niemeyer, L. Pietronero, and H. J. Wiesmann, «Fractal dimension of dielectric breakdown», *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 33, pp. 1033-1036, 1984.
- [32] R. Hebner, E. F. Kelley,E. O. Forster, and G. J. FitzPatrick, «Observation of prebreakdown and breakdown phenomena in liquid hydrocarbons,» *IEEE Transaction on Electrical Insulation*, vol.20, pp.281-292, 1985.
- [33] Y.Nakao,K.Wakimoto,K.Miyagi,H.Itoh, Y. Sakai, and H. Tagashira, «Propagation Characteristics of Impulse Creepage Discharge in Perfluorocarbon Liquid»*Electrical Engine erring inJapan*, vol. 131, 2000.
- [34] Y. Murooka , T. Kakada and K. Hidaka, «Nanosecond Surface Discharge and Charge Density Evaluation Part I: Review and Experiments» *IEEE Electr. Insul. Magazine*, Vol 17, N°2, pp.6-16, 2001.
- [35] L. Kebbabi « Caractérisation des décharges glissantes se propageant aux interfaces liquide/solide sous différentes formes de tension ». Thèse de Doctorat, école centrale de Lyon, 2006.

- [36] K. Khodja, A. Belasri, «Etude d'une DBD pour lampe à excimères dans un gaz de xenon», 7^{ème} CNHT' 2009. SidiBel- Abbès, pp 12-16, 19-21 Avril 2009.
- [37] Jianjun J. Shi, Dawei W. Liu, and Michael G. Kong, «Effects of dielectric Barriers in Radio-Frequency Atmospheric Glow Discharges», IEEE transactions On Electrical insulation.Vol.35, N°2, pp137-142, April 2007.
- [38] J.R. Roth, «Electrohydrodynamically induced airflow in a one atmosphere uniform glow discharge surface plasma», 25th IEEE International conference on plasma science, Raleigh, North Carolina, 1998.
- [39] A. Beroual and A. Boubakeur, «Influence of barriers on the lightning and switching impulse strength of mean air gaps in point/plane arrangements» IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. 26, N°6, pp. 1130-1139, December 1991.
- [40] M. A. Handala, O. Lamrous, « Etude de courant de préclaquage d'une interface isolante solide/air », 7^{ème} CNHT' 2009. SidiBel- Abbès, p 40, 19-21 Avril 2009.
- [41] [Ra-08] RAFAEL D M, « Alimentation de puissance d'une lampe exciplexe à décharge à barrière Diélectrique, en vue du contrôle du rayonnement », Thèse de Doctorat de L'Institut National Polytechnique de Toulouse, Discipline: Génie Electrique, 16 octobre 2008.
- [42] U. Kogelschatz, E. Killer, B. Eliasson. « Decomposition of Hydrogen Sulfide in a Dielectric-Barrier Discharge ». American Physical Society, Gaseous Electronics Conference October 5-8, Norfolk, VA, 1999.
- [43] T. Ikematsu, N. Hayashi, S. Ihara, S. Satoh, C. Yamabe. « Advanced oxidation processes (AOPs) assisted by excimer lamp ». Vacuum 73,p 579–582,2004.
- [44] F. Massines, G. Gouda, N. Gherardi, M. Duran, E. Croquesel. « The Role of Dielectric Barrier Discharge Atmosphere and Physics on Polypropylene Surface Treatment ». Plasmas and Polymers, Vol. 6, Nos. 1/2, June 2001.
- [45] J.Y. Zhang, I.W. Boyd. « Lifetime investigation of excimer UV sources ». Applied Surface Science 168 p 296-299. 2000.
- [46] T. Shiga, S. Mikoshiba, S. Shinada. « Mercury-Free, High-Luminance and High-Efficacy Flat Discharge Lamp for LCD Backlighting ». Electronics and Communications in Japan,Part 2, Vol. 84, No. 8, 2001.

- [47] N.N. Guivan, J. Janca, A. Brablec, P. Stahel, P. Slavicek, L.L. Shimon. « Planar UV excilamp excited by a surface barrier discharge ». J. Phys. D: Appl. Phys. 38, pp 3188-3193, 2005.
- [48] G. Zhang, W. Zhao, Y. Sun and Z. Yan, "Surface discharge phenomena of silicon in atmospheric air" Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 2003.
- [49] M.A. Handala and O. Lamrous, "Surface degradation of styrene acrylonitrile exposed to corona discharge", European Transactions on Electrical Power, pp. 494-505, 2008.
- [50] B. Torbiero, " Développement de microcapteurs électrochimiques pour l'analyse en phase liquide ", Thèse de Doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2006.
- [51] A. Kahlouche, "Contribution à la modélisation des mécanismes de transport de charges électriques dans les polyéthylènes" Thèse de Magister, Université de Constantine 2000.
- [52] E. Duguet, J-L. Pariente, P. Conort, " Chapitre II : Aspects physico-chimiques des biomatériaux utilisés en Urologie " Progrès en Urologie, n°15, p. 865-886, 2005.
- [53] G. Jarousse, " Adhésion des polymères semi-cristallins entre leur température de transition vitreuse et leur température de fusion", Thèse de doctorat de l'université Paris VI, 2004.
- [54] Tahar Seghier, « 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. 2011.
- [55] Philippe. Robert «Traite d'électricité : Matériaux d'électrotechnique».
- [56] Hans-Henning Kansch, Nicole Heymans, Christopher John Plummer Pierre Decroly «Matériaux polymères : propriétés mécaniques et physiques». Traité des matériaux, presses polytechniques et universitaires de Romandes. INSBN 2-88074-415-6, 2001.
- [57] Base de données des polymères, groupe Dedienne ([www.polymères. Dedienne.com](http://www.polymères.Dedienne.com))
- [58] Virginie Doyer. « Greffage de polyorganophosphazenes sur polymers organiques. Application au greffage sur copolymere ethylene-alcool vinyliques et sur polyéthylène haute densité».Thèse de Doctorat. Université des sciences et technologies de Lile .1995.

- [59] H. Paqueton et J. Ruste "Microscopie électronique à balayage- Principe et équipement Techniques de l'ingénieur P865v2, 2006.
- [60] M. Beltran, A. Marcilla, "PVC plastisols decomposition by FTIR spectroscopy", European Polymer Journal, Vol. 33, N° 8, pp. 1271-1280, 1997.
- [61] A. Barlow, "The chemistry of polyethylene in insulation", IEEE, Electrical Insulation Magazine, Vol. 7, N° 1, pp. 8-19, 1991.
- [62] B. Smith, "Infrared Spectra Interpretation-A Systematic Approach" CRC Press, New York, 1999.

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DE DIPLOME
DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE
SPECIALITE RESEAUX ELECTRIQUES

Proposé et dirigé par : M. BELHITECHE El Hadi et M. BENGUESMIA Hani.

Présenté par : CHICOUCHE HAMINA Bilal

Thème :

Etude de la dégradation du polyéthylène soumis à une décharge couronne

Résumé :

Dans ce travail nous nous sommes intéressés à l'étude de la dégradation du polyéthylène soumis à une décharge couronne. Dans la première partie on a fait une recherche bibliographique sur les décharges électriques. Dans la partie expérimentale, nous avons étudié les effets de la décharge couronne sur la surface du Polyéthylène (PE). Nous avons suivi l'évolution de l'état de surface des échantillons en variant le temps de vieillissement, la tension appliquée et la distance inter électrodes. Nous avons également évalué l'état de dégradation du polymère par des observations au microscope électronique à balayage (MEB) et par des analyses par spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR). Les micrographies ont montré l'apparition d'importantes arborescences qui se sont produites à la surface du diélectrique soumis aux décharges électriques. La dégradation se traduit aussi par un changement de couleur des zones érodées.

Mots clés : Décharge couronne, dégradation, Polyéthylène, arborescences, MEB, FTIR

Numéro d'ordre : REs - 230

