

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



Université A. MIRA, - Bejaïa –
Faculté de Technologie
Département de Génie électrique

Mémoire

Pour obtenir le titre de Master en Electrotechnique

Option : Technique de Haute Tension

Thème

DEPOT DE CHARGES ELECTRIQUES SUR DES FILMS EN POLYMERE PAR LA DECHARGE COURONNE BIPOLAIRE

Présenté par :

MR. BEKAKRIA ADEL

MR. DENNOUN MOHAMED RIDHA

SOUTENU DEVANT LE JURY COMPOSE DE :

MME. ROUHA	NACERA	Maitre de conférences B	Présidente
MR. YAHYAOUI	BELKACEM	Maitre de conférences B	Examineur
MR. ZEBBOUDJ	YOUCEF	Professeur	Encadreur
MR. OUNNOUGHI	TACFARINAS	Doctorant	Co-encadreur

Promotion 2016/2017

Remerciements

Ce travail a été réalisé au Laboratoire de haute tension de l'Université Abderrahmane Mira de Bejaia, sous la direction du professeur ZEBBOUDJ Youssef, nous lui exprimons toute notre profonde reconnaissance d'avoir accordé toute sa confiance, l'aide et les conseils qu'il nous a apporté au cours de ce travail et nos remerciements à Mr OUNNOUGHI.T pour son aide et les conseils au long de ce travail.

J'exprime ma profonde reconnaissance à Madame ROUHA Nacera, maitre de conférences à l'université de Bejaia pour m'avoir accueilli de présider notre jury de mémoire.

J'adresse également mes remerciements à Messieurs YAHYAOUI Belkacem, maitre-assistant A à l'université de Bejaia pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Nos remerciements vont également à tous les techniciens des laboratoires d'analyses chimie industriel de l'université de Bejaia, particulièrement Madame BEN AMOUR.A qui nous a aidé pour réaliser ce travail.

Nous tenons à remercier tous les enseignants du département d'électrotechnique et particulièrement ceux en option technique de haute tension qui nous ont enseigné durant nos années d'études.

Enfin notre profond remerciement est adressé à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Nous remercions aussi pour monsieur BOUDJEOUAN Fares de Laboratoire physique, qui nous à aider dans la préparation des échantillons.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Plus respectivement à mes très chers parents qui grâce à eux et leur sacrifice pendant toute la durée de mes études.

A mes grand parents

A mes oncles et à mes tantes

A mes frères Abdelaziz, Djebbar, Lakhdar et Abbas

A mes sœurs Ouardda et souraya

A toute la promotion de technique de haute tension

A mon ami de parcours M.Ridha avec lequel j'ai eu le plaisir de travail et à toute sa famille

Et mes copains Latamene,

Hamana, Halim, Karime, Jigo, CHRIJ, Larbi, a tout(e)s mes ami(e)s et surtout un grand merci pour Tayri

Que DIEU, le tout puissant, vous préserve et vous procure santé et longue vie afin que je puisse à mon tour vous combler

Adel

Dédicaces

*A mes très chers parents qui n'ont jamais cessé de me soutenir
tout au long de mon parcours d'étude.*

A tous mes oncles et tantes, en particulier Malika, Dalila et Amel.

A mes très chers frères M.Lamine, M. Anwar.

A ma petite sœur Rym.

A tous mes cousins et cousines.

*A mon ami BEKAKRIA Adel avec lequel j'ai eu le grand plaisir
de travailler et de compagnie et à toute sa famille.*

A tous mes amis(es) de promo.

*Que dieu, le tout puissant, vous préserve et vous procure santé et
longue vie pleine de joie, bonheur, paix et succès.*

M.Ridha

NOTATIONS

Notations

DBD : décharges à barrière diélectrique.

COV : composés organiques volatiles.

ESP : le précipitateur électrostatique.

MEMS : systèmes micro-électromécaniques.

PS : potentiel de surface.

DPS : du déclin de potentiel.

PVC : polychlorure de vinyle.

PLA : acide poly lactique

h : Constante de Planck.

ν : Fréquence du photon.

e^- : charge d'un électron.

$h\nu$: Énergie du photon.

I : Courant électrique.

I_0 : Courant initial dû aux électrons primaires.

d : Distance inter électrodes.

α : Premier coefficient de Townsend (m^{-1}).

N : densité du gaz.

$\bar{\alpha}$: coefficient effectif d'ionisation.

γ : deuxième coefficient de Townsend.

l : distance qui séparent deux électrodes.

Ne_0 : nombre d'électrons initiaux générés à la cathode.

E : champ électrique.

δ : Densité de l'air.

m_1 : Coefficient qui tient compte de l'état de surface du conducteur.

m_2 : Coefficient qui prend en considération l'influence de la pollution des conducteurs.

r : Rayon du conducteur.

C : la capacité du condensateur

E_s : Champ seuil d'apparition de la décharge.

G, B, f : Des constantes qui diffèrent d'un auteur à l'autre, elles dépendent de la géométrie de l'électrode et de la densité du gaz.

R_0 : Rayon du conducteur de l'électrode active.

R : Rayon de la tête de l'avalanche.

E_c : champ de charge d'espace.

x : représente la distance critique.

n_e : Nombre critique d'électrons produits par l'avalanche.

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

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

M : nombre sans dimension liée à l'état de lissage de la surface du fil.

δ_r : Densité relative de l'aire.

T : température.

R_c : rayon du cylindre externe.

r_0 : rayon du fil.

β : constante appelée coefficient de recombinaison.

\emptyset : Diamètre de fil.

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

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

A^* : Atome excité.

A : Atome neutre.

TABLE DES FIGURES

Tables des figures

Chapitre 1

Figure I.1 : Avalanche électronique.....	8
Figure I.2 : Tube à décharge.....	9
Figure I.3 : Étapes successives de développement d'un streamer.....	11
Figure I.4 : Système de configuration pointe-plan.....	13
Figure I.5 : Caractéristique courant-tension d'une décharge couronne dans l'air à pression atmosphérique (configuration pointe-plan).....	15
Figure I.6 : Processus d'une décharge électrique couronne positive.....	17
Figure I.7 : Processus d'une décharge électrique couronne négative.....	17
Figure I.8 : Représentation schématique d'une décharge couronne continue bipolaire...	18
Figure I.9 : Différents processus qui peuvent contribuer au déclin du potentiel de surface	21

Chapitre 2

Figure II.1 : Représentation schématique des principales étapes de la destruction des oxydes toxiques par décharge couronne.....	23
Figure II.2 : principe de production d'ozone par décharge couronne.....	24
Figure II.3 : Electrofiltre à un seul étage fil-cylindre à gauche, fil-plaque à droite.....	25
Figure II.4 : Schéma descriptif de l'électro-séparateur et ses éléments constitutants...	26
Figure II .5 : mécanismes de génération de charges électriques.....	27
Figure II .6 : Electret dipolaire.....	28
Figure II .7 : principe de formation d'électret par décharge couronne.....	29
Figure II.8 : Création de terminaisons hydroxyle et carbonyle à la surface du PE dans un plasma de O ₂	30
Figure II.9 : Système de neutralisation de charge de médias de type triode	30
Figure II .10 : Utilisation d'une décharge a barrière diélectrique dans le traitement surfacique de plastiques.....	31

Chapitre 3

Figure III.1 : dispositif de chargement par décharge couronne bipolaire.....	34
Figure III.2 : dispositif de chargement et d'acquisition de données.....	36
Figure III.3 : Organigramme résumé de la démarche suivie lors des mesures du potentiel de surface après un dépôt de charge par décharge couronne bipolaire.....	37

Figure III.4 : vue de l'ensemble des équipements de l'expérience au niveau du laboratoire de haute tension.....	38
Figure III.5 : à gauche le polychlorure de vinyle (PVC). À droite l'acide poly lactique (PLA).....	39
Figure III.6 : Principe de modélisation par variation de capacité.....	41
Figure III.7: Principe de mesure du potentiel de surface à l'aide de la Sonde à condensateur vibrant.....	42
Figure III.8: Schéma de principe de l'analyse par spectroscopie IR-FT.....	43
Figure III.9 : Photo de l'appareil infrarouge.....	44
Figure III.10: l'appareil d'analyse ultraviolet.....	45
Figure III.11: Schéma de principe de l'analyse par spectroscopie d'absorptions ultraviolettes	45

Chapitre 4

Figure IV. 1: caractéristique courant-tension $I = f(V)$,décharge bipolaire avec échantillon avec variation de l'écartement $a=40-120$ mm, $h=50$ mm, $T=17^{\circ}\text{C}$, $Hr=63\%$, $Pa=101.5$ kPa.....	48
Figure IV. 2 : caractéristique courant-tension $I = f(V)$,décharge bipolaire avec échantillon avec variation de l'écartement $a=40-120$ mm, $h=50$ mm, $T=17^{\circ}\text{C}$, $Hr=63\%$, $Pa=101.5$ Pa.....	49
Figure IV. 3 : caractéristique courant-tension $I = f(V)$, corona bipolaire avec/sans échantillon un écartement $a=40$ mm, $h=50$ mm, $T=17^{\circ}\text{C}$, $Hr=63\%$, $Pa=101.5$ kPa.....	50
Figure IV. 4 Evolution du potentiel de surface en fonction du temps de chargement échantillon PVC, corona bipolaire, $a=40$ mm, $h=50$ mm. $U=\pm 10$ kV	51
Figure IV. 5 Evolution du potentiel de surface en fonction du temps de chargement échantillon PVC, corona bipolaire, $a=60$ mm, $h=50$ mm. $U=\pm 10$ kV.....	51
Figure IV. 6 Evolution du potentiel de surface en fonction du temps de chargement échantillon PVC, corona bipolaire, $a=80$ mm, $h=50$ mm. $U=\pm 10$ kV.....	52
Figure IV. 7 Evolution du potentiel de surface en fonction du temps de chargement échantillon PVC, corona bipolaire, $a=100$ mm, $h=50$ mm. $U=\pm 10$ Kv.....	52
Figure IV. 8 Evolution du potentiel de surface en fonction du temps de chargement échantillon PVC, corona bipolaire, $a=120$ mm, $h=50$ mm. $U=\pm 10$ kV.....	53
Figure IV. 9 Evolution du potentiel de surface en fonction de l'cartement « a », échantillon PVC, corona bipolaire, $h=50$ mm, $U=\pm 10$ kV, $t= 30$ mm.....	55
Figure IV. 10 Evolution du potentiel de surface en fonction du temps de chargement échantillon PVC, corona bipolaire, $a=40$ mm, $h=50$ mm. $U=\pm 10$ kV.....	56
Figure IV. 11 : comparaison entre le potentiel de surface sur les echantillons PVC-PLA Et en fonction des dimension des echantillons.....	57

Figure IV. 12	Evolution du potentiel de surface pour un échantillon en PVC.....	58
Figure IV. 13	Evolution du potentiel de surface pour un échantillon en PVC.....	59
Figure IV. 14	Evolution de potentiel de surface en fonction de temps sur le PVC chargé avec une corona monopolaire $t=60s, h=50mm, U=13kV$	60
Figure IV. 15	Evolution temporaire du DPS sur l'échantillon en (PLA).....	61
Figure IV. 16	Spectre TFIR du PVC vierge et chargé.....	62
Figure IV. 17	Spectre TFIR du PLA vierge et chargé V : vierge- C :chargé.....	63
Figure IV. 18	Spectre UV du PCV vierge et chargé.....	64
Figure IV. 19	Spectre UV du PLA vierge et chargé.....	65

TABLE DES TABLEAUX

Table des tableaux

Tableau I.1 : Paramètres caractéristiques des décharges dans les gaz	4
Tableau III.1 : quelques propriétés du polychlorure de vinyle (PVC)	39
Tableau III.2 : quelques propriétés du l'acide polylactique (PLA)	40
Tableau III.3 : Quelques domaine d'application du PVC et PLA.....	40

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

Notations	
Table des figures	
Table des tableaux	
Introduction générale	1
Chapitre 1: théorie de la décharge couronne	
I.1 Introduction.....	3
I.2 Historique	3
I.3 Généralités sur les décharges électrique	3
I.4 Décharge couronne.....	5
I.4.1 Mécanisme gouvernant la décharge couronne.....	5
I.5 Décharge de Townsend.....	7
I.5.1 Avalanche électronique et mécanisme de la décharge	7
I.5.2 Streamer.....	10
I.5.3 Décharge couronne en champs non uniformes.....	11
I.5.4 Seuil d'apparition de la décharge couronne	12
I.5.5 Quelques propriétés des décharges couronnes	14
I.5.5.1 caractéristique courant-tension et régime de la décharge.....	14
I.5.6 Différents types de la décharge couronnes	16
I.5.6.1 Décharge couronne à polarité positive	16
I.5.6.2 Décharge couronne à polarité négative	17
I.6. Décharge couronne bipolaire en géométrie 2 fils-plan	18
I.7 Phénomènes physiques intervenant dans le dépôt de charge électrique par décharge couronne.....	19
I.7.1 Le potentiel de surface et le déclin du potentiel de surface.....	19
I.7.2 phénomènes interviennent dans le déclin du potentiel de surface.....	20
I.8 Conclusion	21

Chapitre 2: Les applications industrielles de la décharge couronne

II. 1 Introduction	22
II.2 Dépollution par décharge couronne	22
II.3 Production d’ozone par Décharge couronne	23
II.4 L’électrofiltration	24
II.5 Séparateur électrostatique	25
II.6 Les électrets	26
II.6.1 formation des électrets par décharge couronne	27
II.7 La modification de propriétés superficielles des polymères	29
II.8 Neutralisation et charge des médias non-tissés	29
II.9 Conclusion	32

Chapitre 3: la partie experimentale

III.1 Introduction	33
III.2 Dispositifs expérimentaux.....	33
III.2.1 Caractérisation du système de chargement	33
III.2.2 Dispositif de mesure du potentiel de surface et d’acquisition de données.....	35
III.3 Mesure de déclin de potentiel de la surface.....	37
III.4 Condition de chargement	38
III.5 Matériaux chargés.....	38
III.5.1 Domaine d’application du polychlorure de vinyle (PVC) du l’acide polylactique (PLA)	40
III.6 Techniques de mesure du potentiel de surface.....	41
III.6.1 Mesure de potentiel de surface à l’aide d’une Sonde à condensateur vibrant	41
III.6.2 Analyse physico-chimique des échantillons	43
III.6.2.1 Analyse par infrarouge :	43
III.6.2.2 Analyse par ultraviolet	44
III.7 Conclusion	46

Chapitre 4: résultat et interprétation

IV. 1 Introduction	47
--------------------------	----

IV.2	Caractérisation du système de chargement en corona bipolaire	47
IV.2.1	Caractérisation courant-tension sans l'échantillon	48
IV.2.2	Caractérisation courant-tension en présence d'un échantillon.....	49
IV.3	Distribution du potentiel de surface sur des films en PVC	50
IV.3.1	Evolution du potentiel de surface en fonction du temps de chargement avec un écartement fixe.....	50
IV.3.2	Distribution de potentiel de surface avec variation de l'écartement et de temps de chargement fixe	54
IV.4	Distribution de potentiel de surface sur des films de PLA	56
IV.4.1	Distribution de potentiel de surface en fonction du temps de chargement avec un écartement fixe $a = 40\text{mm}$	56
IV.4	Comparaison entre les deux distributions de potentiel sur les deux films PVC et PLA	57
IV.5	Comparaison entre le dépôt de décharge en corona bipolaire et monopolaire appliqué au PVC	58
IV.6	Mesure de déclin de potentiel de surface des films polymères	59
IV.6.1	Mesure de déclin de potentiel de surface des films en PVC	59
IV.6.2	Mesure de déclin de potentiel de surface des films en PLA	60
IV.7	Analyse physico-chimique des échantillons d'essais	61
IV.7.1	Analyse par Infrarouge	62
IV.7.1.1	PVC état vierge et chargé	62
IV.7.1.2	PLA état vierge et chargé	63
IV.7.2	Analyse par ultra-violet.....	64
IV.7.2.2	PLA état vierge et chargé.....	65
IV.9	Conclusion	66
	Conclusion générale.....	67
	Références bibliographique	

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction générale

Le dépôt de charges électriques sur les matériaux diélectriques par décharge couronne monopolaire, été particulièrement étudiée d'un point de vue fondamental comme procédé de charge des matériaux isolant. Ce type de décharge survient à chaque fois que nous avons des champs électriques non homogènes dont l'intensité dépasse le seuil d'ionisation du milieu considéré, cela en appliquant une tension assez élevée (dizaines de kV) à une électrode de faible rayon de courbure (centaines de micromètres) situé à une certaine distance (plusieurs centimètres) par rapport à un plan de masse. L'électrode active peut être une pointe, ou un fil très fin, l'intensité du champ électrique au voisinage de l'électrode active est assez élevée pour que l'air soit ionisé. En effet, des charges électriques sont produites aux voisinages de l'électrode d'ionisation, puis elles dérivent vers l'électrode mise à la terre sous faible champ.

La dynamique des charges à la surface des différents matériaux isolants est l'un des indicateurs qui nous renseigne sur les différentes propriétés des matériaux isolant, ainsi la caractérisation par une mesure non disruptive entre autres, la mesure sans contact du potentiel de surface (PS) et du déclin de potentiel (DPS) nous permet d'évaluer la dynamique de l'injection des charges, la conduction volumique et la neutralisation de charges au niveau de ces matériaux.

Dans ce travail nous allons proposer une autre technique de dépôt de charge, qu'est le dépôt par une décharge couronne bipolaire, c'est-à-dire la coexistence des deux décharges à la fois, et cela en vue de proposer une autre méthode de caractérisation des matériaux isolant et aussi en vue de mieux comprendre autans les phénomènes régissant sur cette technique électrostatique.

Pour mieux cerner notre thème, nous avons répartir ce travail en quatre chapitres :

Le premier chapitre, nous décrivons les mécanismes élémentaires conduisant à la décharge couronne, les différents régimes de la décharge pour les interpréter selon le modèle de Townsend et le modèle des streamers. Les différents types de décharge, Phénomènes physiques intervenant dans le dépôt de charge électrique aussi la décharge couronne bipolaire ont fait l'objet de cette étude théorique.

Le second chapitre, est consacré aux domaines d'utilisations de la décharge couronne, allant de la dépollution des effluents gazeux au traitement de surface, en passant par les

ozoneurs, les électrofiltres et les électrets, en mettant en évidence leurs procédés techniques avec leurs applications actuelles dans le secteur de l'industrie.

Le troisième chapitre traite la partie expérimentale, qui s'est déroulé au niveau du laboratoire de haute tension, on a décrit le dispositif expérimental et le matériel utilisé, les conditions de chargement, les matériaux d'essais. Pour mettre en évidence la dynamique de l'injection des charges, la conduction volumique et la neutralisation de charges au niveau de ces matériaux, la mesure du potentiel de surface (PS) et le déclin du potentiel de surface (DPS) ont fait l'objet de ce chapitre, aussi le matériel utiliser pour la caractérisation physico-chimique et leurs techniques ont été traité.

Le quatrième chapitre est consacré à l'interprétation des résultats obtenus et aux phénomènes élucidés.

Enfin on termine avec une conclusion générale où l'on explique l'intérêt de cette étude ainsi que les principaux résultats obtenus.

CHAPITRE 1

THEORIE DE LA DECHARGE COURONNE

I.1 Introduction

L'objet de ce premier chapitre c'est d'effectuer une brève synthèse bibliographique sur la théorie de la décharge couronne, étant considérées comme une décharge électrique à pression atmosphérique, nous commençons dans un premier temps par quelques rappels et généralités dont nous rappellerons des différents étapes et processus d'apparition d'une avalanche électronique, nous allons décrire le critère de Townsend et le seuil d'apparition de la décharge couronne, où on a donné différents types de la décharge couronne, enfin nous allons parler sur le déclin de potentiel de surface et les phénomènes physiques qui influencent se précèdent.

I.2 Historique

L'étude scientifique des décharges électriques a commencé au XVIII^{ème} siècle par l'observation expérimentale d'étincelles produites par des générateurs électrostatiques et des éclairs d'orage. Ensuite l'invention de piles suffisamment puissantes a permis à V.V. Petrov de produire le premier arc électrique en 1803 dans l'air. Humphrey Davy en fit ensuite l'étude. Mais ce fut Michael Faraday qui, entre 1831 et 1835, découvrit et commença l'étude des décharges luminescentes en utilisant des tubes contenant des gaz à une pression de l'ordre de 100 Pa sous 1000 Volt. Par la suite, à la fin du XIX^{ème} siècle et au début du XX^{ème} siècle, la physique des décharges électriques dans les gaz a permis à la physique atomique de faire ses premiers progrès avec les travaux de William Crookes et de Thomson, avec en particulier la mise en évidence du rôle fondamental des électrons dans la décharge et la mesure du rapport e/m . Vers 1900, un élève de Thomson, Townsend, réalisa la première modélisation d'une décharge, correspondant au cas de la décharge luminescente en champ uniforme. Langmuir travailla aussi sur ces décharges et introduisit le concept du plasma. Au cours du XX^{ème} siècle on passa à l'exploration des décharges électriques en fonction de la fréquence, tandis que la modélisation progressait en raison du développement d'applications de plus en plus nombreuses des décharges [1-8].

I.3 Généralités sur les décharges électrique

Les plasmas utilisés pour des applications technologiques sont des milieux faiblement ionisés contenant des électrons libres, ions positifs et négatifs. Selon les niveaux de température et/ou de degré d'ionisation, les plasmas sont classés en deux catégories : les plasmas thermiques et les plasmas non thermiques hors équilibre [9-11]. En fonction de

la pression appliquée et la géométrie des électrodes utilisées pour générer des différents types des décharges : la décharge luminescente, les décharges à barrière diélectrique (DBD) et les décharges couronnes [12,13].

La décharge luminescente est une décharge obtenue le plus souvent à basse pression (moins de 10 mbar), entre deux électrodes planes. Les électrons produits dans ce type de décharge sont fortement énergétiques. Les atomes neutres excités ainsi que les molécules génèrent une luminescence typique (comme dans les tubes fluorescents). La décharge à barrière diélectrique (DBD) est une décharge silencieuse où un diélectrique couvre l'une des électrodes. La DBD est initiée en chaque point du gap. Les charges ainsi cumulées sur le diélectrique forment un champ électrique qui s'oppose au champ appliqué et permet d'interrompre le courant pendant quelques nanosecondes. La durée du pulse de courant dépend de la pression, des propriétés du gaz et de la nature du matériau diélectrique [14].

La décharge couronne est une décharge non homogène, générée à pression atmosphérique dans un système d'électrodes fortement dissymétriques (système pointe-plan) [15-16]. En effet, lors de la décharge, l'électrode de faible rayon de courbure soumise à une haute tension est le siège d'un fort champ électrique, qui constitue le facteur clé dans l'ionisation des espèces neutres présentes dans le gaz [17]. Les mécanismes à l'origine de l'initiation et du maintien des décharges électriques sont multiples. Ils dépendent des techniques utilisées pour l'initiation et des conditions ambiantes de pression et de composition des gaz plasmagènes [18].

Tableau I.2 : Paramètres caractéristiques des décharges dans les gaz [19].

	Décharge Glow	Décharge Couronne	DBD (silencieuse)
Pression	< 10mbar à 1	1bar	1bar
Champ électrique	10V/cm	0.5-10kV/cm	0.1-100kV/cm
Champ électrique réduit	50Td	2-200Td	1-500Td

I.4 Décharge couronne

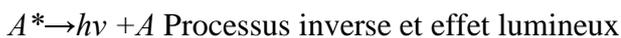
La décharge couronne désigne l'ensemble des phénomènes liés à l'apparition d'une conductivité d'un gaz au voisinage d'un conducteur porté à une tension dont le champ électrique environnant est intense mais non disruptif. Cette conductivité est due au phénomène d'ionisation. Ce type de décharge ne nécessite aucune source externe d'ionisation pour se développer, on dit que c'est une décharge auto-entretenu (autonome). Cependant, la présence d'un électron initial pour amorcer la décharge est nécessaire. La décharge couronne à pression atmosphérique est souvent associée à deux électrodes asymétriques. L'électrode active de faible rayon de courbure (une pointe ou un fil mince) est portée à un potentiel élevé. L'électrode passive (une plaque plate ou un cylindre), est mise à la terre, elle peut être positive ou négative selon la polarité de la tension appliquée à l'électrode active [20-21].

I.4.1 Mécanisme gouvernant la décharge couronne

Les phénomènes qui ont lieu dans les milieux gazeux sont présentés par des phénomènes de collision entre les particules de gaz. Lorsque l'énergie cinétique de ces particules, avant et après une collision obéit au principe de conservation de l'énergie, on parle de collision élastique dans le cas contraire ou le bilan énergétique est retrouvé en faisant intervenir des changements d'énergie interne d'une ou plusieurs particules on parle de collision inélastique. Ce sont ces dernières qui expliquent les phénomènes se produisant dans l'effet couronne [20].

- **Excitation atomique**

Un atome neutre peut-être excité soit par collision avec un électron ou absorptions d'un photon, les réactions résultantes s'écrivent :



La réaction (*) n'est possible que si l'énergie interne de l'électron incident est moins ou égale à l'énergie d'excitation. Dans le mécanisme de la décharge couronne, l'excitation atomique intervient essentiellement par son processus inverse, la désexcitation qui est

accompagnée de l'émission d'un photon et ce phénomène est responsable des effets lumineux observés.

- **L'ionisation par collision électronique**

L'ionisation d'un gaz par les électrons libres accélérés dans le champ électrique est le processus essentiel de la formation des ions positifs, ce phénomène est appelé α (ou avalanche, Voir ci-dessous). L'ionisation n'a lieu par choc électronique que lorsque l'énergie cinétique de l'électron incident est moins égale à l'énergie d'ionisation de l'atome considéré on écrit : $e^- + A \rightarrow e^- + e^- + A^+$

- **La photo-ionisation** : Pour qu'un processus d'ionisation puisse se produire lors de l'absorption d'un photon par une particule gazeuse, il faut que l'énergie du photon incident soit au moins égale à l'énergie d'ionisation de la particule considérée. Elle peut se produire comme suit : les électrons accélérés par le champ électrique excitent par collision des molécules neutres qui reviennent à leurs états fondamentaux avec émission d'un photon.

- **La Recombinaison** : soit deux types à considérer :

-Recombinaison entre ions : ce phénomène est caractérisé par la présence d'ions positifs et négatifs qui changent leurs charges pour y revenir à l'état neutre. Ces réactions inverses des réactions d'ionisation libèrent une certaine énergie, soit sous forme de photon soit d'énergie cinétique cédée à une molécule de gaz voisin. Dans l'effet couronne ces réactions se produiront dans la région de champs électrique faible.

-Recombinaison entre ion positif et électron : lorsqu'un électron se recombine avec un ion positif pour donner un atome neutre, la réaction libère une énergie égale à l'énergie d'ionisation sous forme d'un photon. Les photons émis peuvent à leurs tours ioniser le gaz à une certaine distance ce qui expliquerait le développement des streamers (voir ci-dessous) on écrit :

-L'attachement : l'attachement d'un électron par un atome ou une molécule neutre conduit à la formation d'un ion négatif seulement si les électrons sont fortement énergétiques. Il s'avère que le champ électrique très faible dans les conditions normales de l'aire que l'attachement des électrons est alors extrêmement rapide et que le nombre

d'électrons libres par unité de volume est alors diminuée de moitié en quelque 10^{-10} secondes. Ce mécanisme est exprimé par le coefficient d'attachement η .

-Le détachement : c'est le processus inverse du précédent. Un ion négatif perd son électron supplémentaire. Dans le cas de la décharge couronne ce processus ne joue aucun rôle, la neutralisation d'un ion négatif a lieu principalement par collision ou par absorption de l'électron par un conducteur.

-Le mouvement de charge dans un champ électrique

Les particules chargées subissent normalement un mouvement désordonné d'agitation thermique et de diffusion. En présence d'un champ électrique, ces particules sont soumises de plus à une force $\mathbf{F} = q \mathbf{E}$ qui leur communique une accélération dans la direction du champ. Sous l'effet de cet ensemble de forces, les particules acquièrent en une vitesse moyenne \mathbf{v} . Le mouvement des ions est alors régi par $\mathbf{v} = \mu \mathbf{E}$ [21].

I.5 Décharge de Townsend

I.5.1 Avalanche électronique et mécanisme de la décharge

Si on considère un gaz contenu entre deux électrodes, il peut exister dans ce gaz en l'absence de tout champ électrique appliqué, un certain nombre de charges créées par des mécanismes naturels, tels que rayonnement ultraviolet ou radioactivité, soit par des mécanismes artificiels, par exemple un bombardement électronique (EB), rayonnement ultraviolet (UV) pour en extraire des électrons. Si un champ électrique est appliqué, les électrons sont suffisamment accélérés par le champ pour produire d'autres électrons par les collisions, qui à leur tour acquièrent par le champ électrique assez d'énergie pour ioniser d'autres atomes, et ainsi de suite, et le nombre d'électrons libres continuera à augmenter comme ils continuent à se déplacer sous l'action du champ électrique. C'est ce phénomène, qui provoque un accroissement exponentiel de la densité de charge électronique lorsqu'on s'éloigne de l'électrode. Le claquage a donc lieu fait du phénomène d'avalanche ceci est montré sur la figure (I.1).

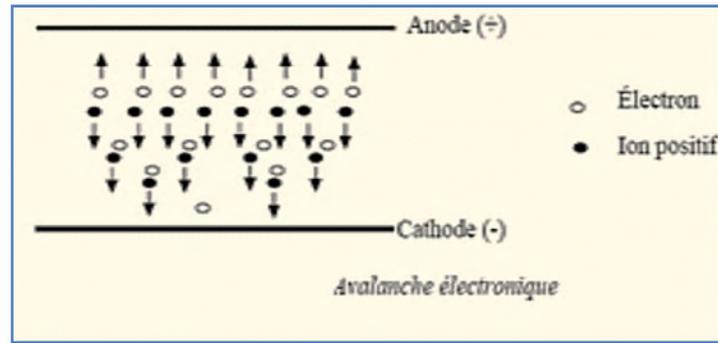


Figure I.1 : Avalanche électronique.

Cette avalanche peut être étudiée quantitativement à partir de la connaissance de premier coefficient d'ionisation de Townsend « α », représente le nombre d'électrons (ou ions positifs) créés par un électron par élément de longueur le long d'une ligne de force du champ appliqué. Une expression empirique exploitable considère que l'énergie thermique des électrons est acquise par le travail du champ électrique sur une distance de l'ordre du libre parcours moyen. Or ce dernier est inversement proportionnel à la pression [22-24]. A partir de la formule empirique de Paschen.

$$Vs = f(p \cdot d) \quad (\text{I.1})$$

Townsend a établi que :

$$\alpha = AB \exp\left(\frac{-BP}{E}\right) \quad (\text{I.2})$$

A et B, qui dépendent du gaz, peuvent être déterminées à partir du premier coefficient d'ionisation « α »

Le mécanisme de la décharge de Townsend a suscité l'intérêt de plusieurs auteurs [20-21]. Il a introduit un coefficient multiplicateur α qui permet d'exprimer l'accroissement des électrons dN le long d'un parcours élémentaire dx de l'avalanche telle que :

$$dN(x) = N_0(x) \cdot \alpha \cdot dx \quad (\text{I.3})$$

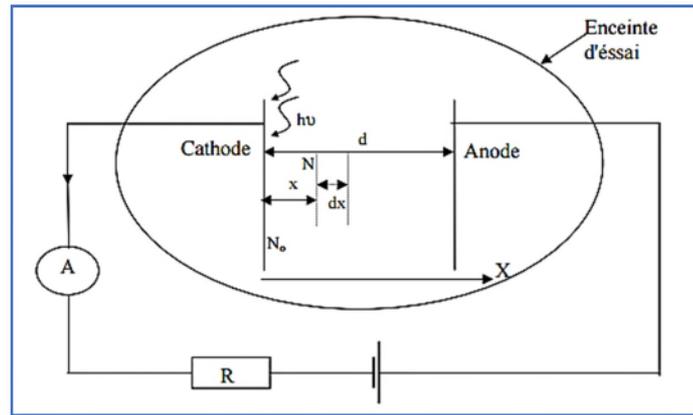


Figure I.2 : Tube à décharge [22]

Le coefficient d'ionisation α est appelé aussi premier coefficient de Townsend. La valeur de α dépend de la valeur du champ local et de la nature du gaz et de la pression du gaz. Dans un champ homogène est constant dans tout l'intervalle. Ainsi en intégrant l'équation (I.2) nous obtenons :

$$N(x) = N_0 \exp(\alpha \cdot x) \quad (\text{I.4})$$

Où N_0 est le nombre d'électrons initiaux générés à la cathode. Le nombre d'électrons atteignant l'anode est donné par la relation :

$$N = N_0 \exp(\alpha \cdot d) \quad (\text{I.5})$$

Le terme $\exp(\alpha \cdot l)$ représente le nombre d'électrons engendrés par un électron en parcourant la distance interélectrode. La charge collectée à l'anode par vaut :

$$e \cdot N_x = e \cdot N_0 \exp(\alpha \cdot x) \quad (\text{I.6})$$

$$I = I_0 \cdot \exp(\alpha \cdot x) \quad (\text{I.7})$$

Pour qu'une véritable décharge puisse se produire, il faut qu'une succession d'avalanche puisse avoir lieu. Pour Townsend la cause de ce phénomène est le bombardement de la cathode décrit comme suit : au niveau de la cathode, les ions positifs forment au cours des collisions ionisantes un bombardement de la cathode et peuvent en extraire des électrons. Ce phénomène est caractérisé par le deuxième coefficient de Townsend « γ », qui dépend de la nature du gaz interélectrode et particulièrement du matériau constituant la cathode.

Et le courant collecté à l'anode s'obtient par la relation suivante :

$$i = i_0 \frac{\exp(\alpha.d)}{1-\gamma.(\exp(\alpha.d)-1)} \quad (\text{I.8})$$

et le nombre d'électrons crée par avalanche sera :

$$N = N_0 \frac{\exp(\alpha.d)}{1-\gamma.(\exp(\alpha.d)-1)} \quad (\text{I.9})$$

Le critère de claquage de Townsend est alors défini comme la distance d pour laquelle le courant devient infini

$$\gamma(\exp(\alpha d) - 1) = 1 \quad (\text{I.10})$$

I.5.2 Streamer

Une série d'observations expérimentales effectuée à des pressions élevées de l'ordre de la pression atmosphérique ont permis de mettre en doute le mécanisme d'avalanche décrit par Townsend et de proposer la théorie dite *des streamers* [25-28]. Cette dernière implique seulement les processus d'ionisation dans le volume du gaz, à savoir le processus α et la photo-ionisation du gaz [29], ainsi que la déformation du champ électrostatique par la charge d'espace provoquée par le développement des avalanches et des streamers. Le phénomène de streamer (dard en notation française) peut être décrit physiquement de la manière suivante : Supposons qu'à la suite d'un certain nombre d'avalanches, un filament conducteur partant de l'anode se soit formé possède à son extrémité une charge positive qui crée un fort champ dans son voisinage.

Dans ce champ, un électron libre conduit à une avalanche, les électrons en tête de l'avalanche tendent à neutraliser la charge positive de l'extrémité du filament, en même temps qu'ils excitent les molécules du gaz, ces dernières vont en particulier émettre des radiations photo ionisantes.

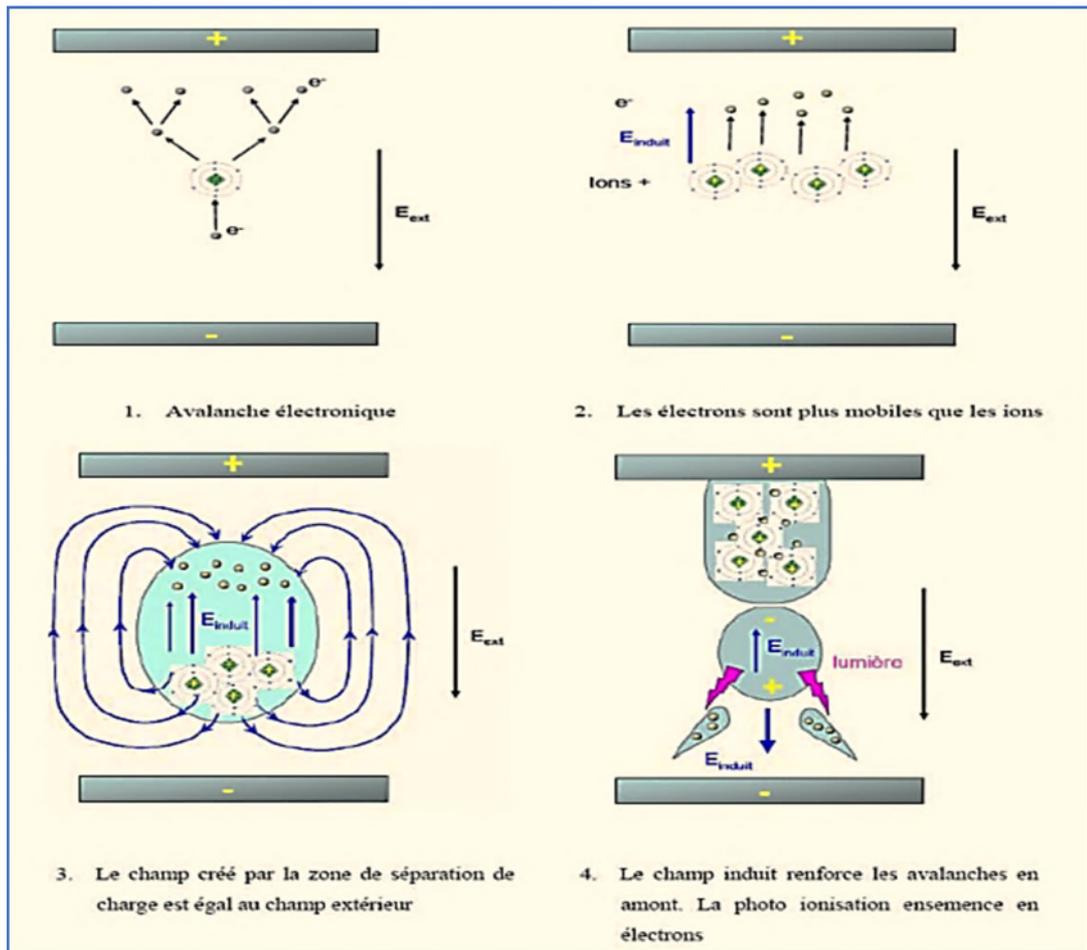


Figure I.3 : Étapes successives de développement d'un streamer [8].

I.5.3 Décharge couronne en champs non uniformes

En champs non uniformes, le champ électrique varie le long du trajet de l'avalanche, ce qui est le cas au voisinage d'une électrode pointe ou d'un conducteur cylindrique. A cet effet le coefficient α n'est plus constant et N est exprimé par :

$$N = \exp \int_0^l \alpha(E) dl \quad (\text{I.11})$$

L'intégrale étant prise le long d'une ligne de force du champ.

En polarité négative du conducteur, l'avalanche électronique se développe depuis le conducteur vers l'extérieur, elle s'arrête à une certaine distance où le champ est faible.

Dans les zones à faible champ, où l'attachement est favorisé, on peut écrire que :

$$N = \exp \int_0^l (\alpha - \eta) dl \quad (\text{I.12})$$

Où : η coefficient d'attachement.

Ainsi, la multiplication électronique s'arrête lorsque l'avalanche a atteint une taille critique L_c . [25-28], A ce stade l'attachement équilibre la formation de nouveaux électrons c'est-à-dire : $\alpha - \eta = 0$, correspondant au champ critique du minimum d'ionisation. Dans la zone des champs faibles, où l'énergie des électrons n'est plus suffisante pour créer de nouvelles paires, les électrons s'attachent aux molécules neutres pour former des ions négatifs, pendant que les ions positifs, également fournis par l'avalanche, se concentrent au voisinage immédiat du conducteur.

On est donc en présence d'un nuage d'ions de deux polarités, qui, compte tenu de leur faible mobilité s'accumulent devant le conducteur. Cependant, comme les ions positifs seront rapidement neutralisés (par restitution d'électrons au contact de conducteur), on observe un excès d'ions négatifs et par conséquent une réduction du champ électrique entre le conducteur et le nuage négatif. Cette réduction bloque la décharge jusqu'au moment où les ions négatifs, empotés suffisamment loin du conducteur, permettront à nouveau le démarrage d'un nouveau processus d'avalanche. En polarité positive du conducteur, l'avalanche électronique prend au contraire naissance dans l'espace voisin, et se développe vers le conducteur. Les électrons sont absorbés par celui-ci, laissant derrière eux un nuage d'ions positifs, ce processus d'ionisation se propage au tour du conducteur nettement plus loin que les avalanches de polarité négative. Les ions positifs qui s'accumulent le long d'un streamer forment un important nuage de charge d'espace positives. Les charges réduisent suffisamment l'intensité du champ électrique aux environs immédiats du conducteur pour arrêter l'ionisation jusqu'au moment où le nuage emporté loin du conducteur permet à nouveau le démarrage du processus d'avalanche.

I.5.4 Seuil d'apparition de la décharge couronne

Pour évaluer le seuil de l'effet couronne à la surface de l'anode, Peek, en s'inspirant de la théorie de Townsend proposée en 1920, a suggéré pour la première fois une loi empirique établie en géométrie cylindrique dans l'air ambiant, et en tension alternative. Cette équation est appelée depuis la loi de Peek :

$$E_c = E_0 \delta m_1 m_2 \left(1 + \frac{0.308}{\sqrt{\delta r}} \right) \quad (\text{I.13})$$

Avec :

$E_0 = 30 \text{ kV/cm}$: Valeur de crête du champ électrique en conditions normales.

r : Rayon du conducteur en cm et m_1 : Coefficient qui tient compte de l'état de surface du conducteur (l'irrégularité géométrique du conducteur) et m_2 : Coefficient qui prend en considération l'influence de la pollution des conducteurs souvent le produit ($m_1 m_2$) est remplacé par un seul coefficient : « m ». δ : Densité de l'air :

$$\delta = \frac{P}{P_0} \frac{273+t_0}{273+t}$$

Le terme « $\left(1 + \frac{0.308}{\sqrt{\delta r}}\right)$ » : est appelé correction de Peek, il tient compte du fait que plus le rayon du conducteur est petit plus il est difficile d'ioniser loin de ce conducteur.

Cette difficulté d'ioniser est due au fait que le champ électrique décroît très rapidement en s'éloignant du conducteur (figure I.4) [30].

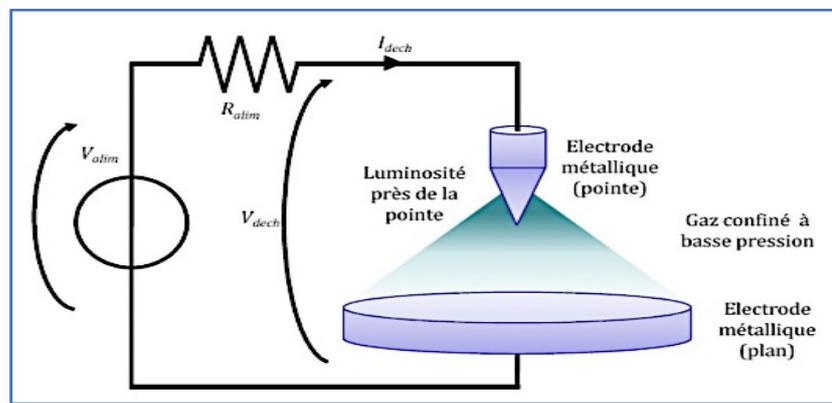


Figure I.4 : Système de configuration pointe-plan [31]

Depuis de nombreuses formules empiriques et semi-empiriques du champ seuil de l'effet couronne ont été établies par divers auteurs. Dans tous les cas, l'expression du seuil « E_s » est donnée sous la forme générale suivante [32].

$$E_s = f \left(1 + \frac{G}{R_0^B} \right) \quad (\text{I.14})$$

Avec :

E_s : Champ seuil d'apparition de la décharge.

G, B, f : des constantes qui diffèrent d'un auteur à l'autre, elles dépendent de la géométrie de l'électrode et de la densité du gaz.

R_0 : Rayon du conducteur de l'électrode active.

Récemment, des études approfondies et des mesures expérimentales très précises ont été réalisées sur le seuil d'apparition de la décharge couronne. Ces auteurs ont proposé un modèle physico-mathématique qui généralise la loi de Peek. Ce modèle repose d'une part sur la notion de la longueur de l'avalanche « L_c » définie pour la première fois par Nasser et al [50], et de l'autre sur un critère qui a été proposé à l'origine par Meek et amélioré ultérieurement par Hartmann. Ce dernier suppose qu'à la tête de l'avalanche les électrons ne peuvent se multiplier en raison des champs « E_s » à la surface de l'anode et « E_p », dû à la charge d'espace en tête de l'avalanche, qui s'oppose. La somme algébrique est donc égale au champ critique du minimum d'ionisation « E_c » correspondant à « $\alpha - \eta = 0$ »

$$E_c = E_s + E_p \quad (\text{I.15})$$

L'expression du champ seuil à la surface de l'anode est :

$$E_s = E_c \left(1 + \frac{L_c}{R_0} \right) \quad (\text{I.16})$$

E_c : calculé en fonction de la pression, de la température et de l'humidité absolue « Ha » est donné par l'expression suivante [32] :

$$E_c(\delta, Ha) = E_c(1,0)\delta(1 + a\sqrt{ha}) \quad (\text{I.17})$$

I.5.5 Quelques propriétés des décharges couronnes

I.5.5.1 caractéristique courant-tension et régime de la décharge

La figure I.5 décrit le comportement du courant en fonction de la valeur de la tension appliquée. La courbe permet de distinguer quatre régimes régissant la décharge couronne [32].

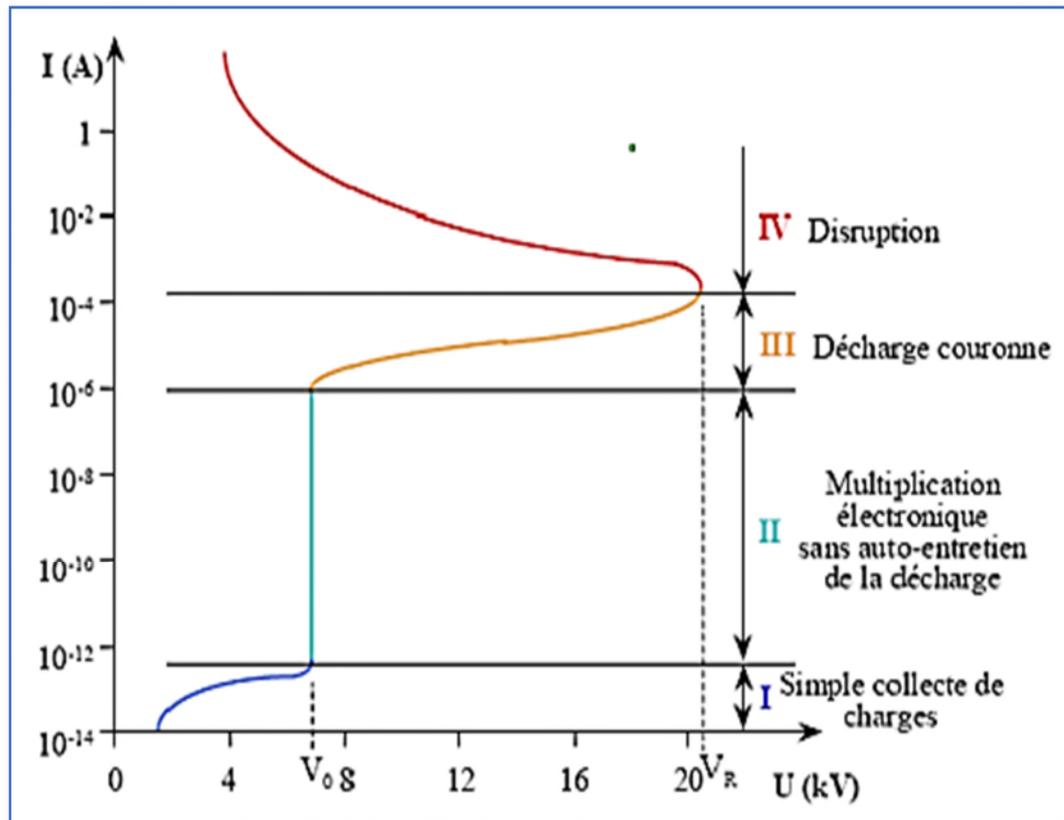


Figure I. 5 : Caractéristique courant-tension d'une décharge couronne dans l'air à pression atmosphérique (configuration pointe-plan)

-**Le premier régime** : consiste en la collecte des espèces chargées présentes naturellement dans le milieu. Ces espèces sont produites par l'impact de rayons cosmiques ou de particules issues de la désintégration spontanée de certains atomes (radioactivité naturelle) sur le gaz présent dans l'espace inter électrodes.

-**Le second régime** : 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. Le courant augmente très fortement pour une très faible variation de la tension appliquée.

-**Le troisième régime** : l'ionisation du gaz par la décharge est suffisante pour ne plus nécessiter de phénomènes d'ionisation extérieurs ; la décharge est auto-entretenu. C'est le régime de la décharge couronne, où apparaissent les dards, appelés aussi streamers, qui est responsable de la composante impulsionnelle du courant.

-Le quatrième régime : au-delà d'une tension appliquée « V_r », la température du canal augmente fortement, ce qui provoque la dilatation brutale du gaz. Le champ réduit « E/N » est alors suffisamment important pour que les phénomènes d'ionisation deviennent majoritaires par apport à l'attachement électronique. Le régime d'arc est atteint, le milieu passe à l'état de plasma thermique.

I.5.6 Différents types de la décharge couronnes

La génération de décharges peut se faire suivant deux types de polarité, négative ou positive, deux types de décharges sont distingués, les décharges avec ou sans présence de diélectrique.

I.5.6.1 Décharge couronne à polarité positive

La décharge électrique couronne fonctionne généralement à la pression atmosphérique (Figure I.6). Une haute tension positive est appliquée sur le fil et le cylindre est relié à la masse, les électrons libres formés naturellement dans l'espace inter électrode sont accélérés vers le fil. Dans la région d'ionisation, très près du fil, où le champ électrique réduit (E/N) est plus grand que 120Td ($1\text{Td} = 10^{-12} \text{V.m}^2$), les collisions non élastiques produisent des paires électron-ion positif [33].

La décharge électrique couronne positive est entretenue par des électrons secondaires qui sont produits par la photo ionisation du gaz dans la région du plasma (la région où les réactions d'impact électroniques sont significatives). Dans la décharge couronne positive, la région couronne du plasma coïncide avec la région d'ionisation ce que n'est pas le cas d'une décharge couronne négative.

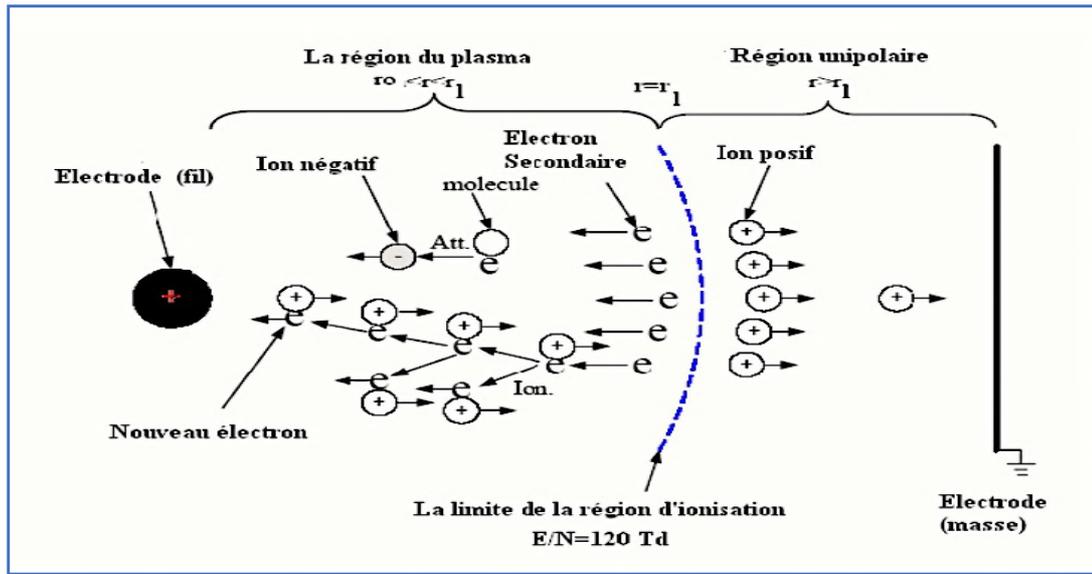


Figure I.6 : Processus d'une décharge électrique couronne positive [34].

I.5.6.2 Décharge couronne à polarité négative

Les mécanismes de génération d'électrons et d'ions dans la décharge couronne négative diffèrent de ceux de la décharge couronne positive [35,36].

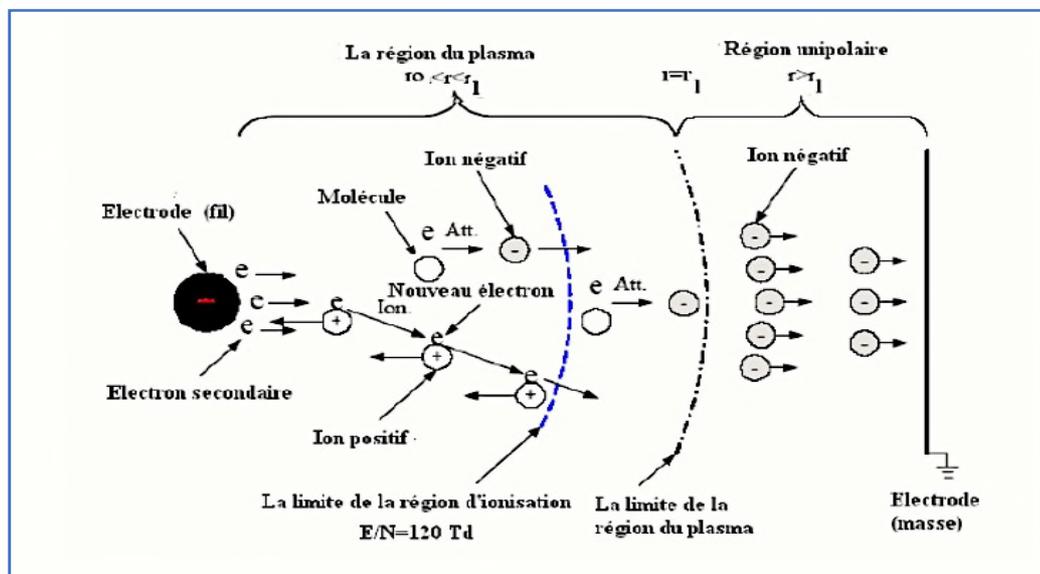


Figure I. 7 : Processus d'une décharge électrique couronne négative [34].

Les électrons sont présents à l'extérieur de la région d'ionisation et les électrons secondaires sont produits par la photoémission sur la surface de la cathode. Si une haute tension négative est appliquée sur le fil et le cylindre est relié à la masse (Figure I.7), la

décharge couronne négative apparaisse comme des points séparés (trichels) le long du fil. Lorsque la tension appliquée est au voisinage de la tension d'amorçage, seulement quelques trichels apparaissent. Ils sont irrégulièrement distribués le long du fil. Si on augmente la tension appliquée le nombre du trichels augmente et la distribution de ces trichels devient plus uniforme [37-39]. La largeur de la région d'ionisation est la même pour les deux polarités positive et négative. La décharge couronne négative est entretenue par les électrons secondaires qui sont produits essentiellement par la photoémission à la surface de la cathode.

I.6. Décharge couronne bipolaire en géométrie 2 fils-plan

La configuration bipolaire étudiée consiste en deux électrodes cylindriques de rayon R , suspendues horizontalement au-dessus d'un plan mis à la terre, et distantes d'une distance, sont portés respectivement aux potentiels $+V_a$ et $-V_a$, figure I.8.

Dans le cas de l'électrode active à laquelle l'on a appliqué une tension positive, les électrons seront attirés vers celle-ci. Comme au voisinage de cette électrode le champ est intense, ces électrons vont acquérir une énergie cinétique suffisante pour ioniser le gaz environnant. Le développement de l'ionisation du gaz, par collision électronique, commence alors à partir de la frontière entre la zone d'ionisation et la zone de dérive en progressant vers l'électrode active. Quant aux ions positifs produits dans la zone d'ionisation, ils dérivent vers le plan mis à la terre en traversant la région II(a) constituant ainsi une charge d'espace monopolaire positive.

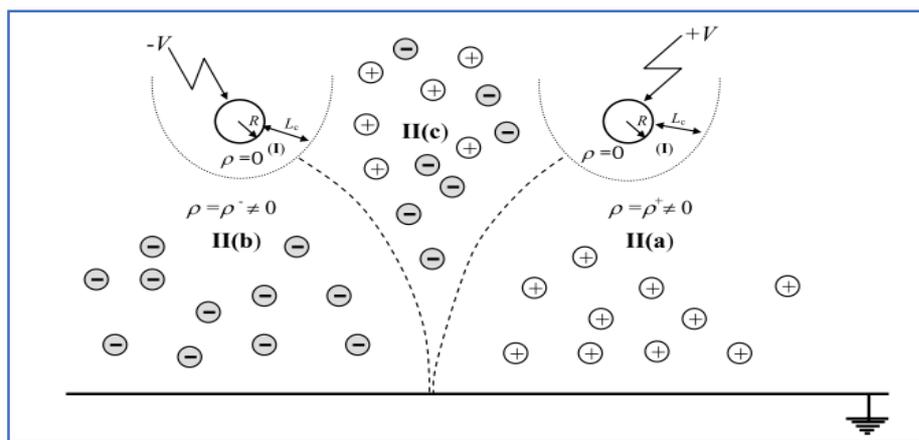


Figure I.8: Représentation schématique d'une décharge couronne continue bipolaire.

Par contre, dans le cas de l'électrode à couronne négative, les électrons seront refoulés vers le plan. En traversant la zone de dérive où le champ est faible, les électrons s'attachent à des molécules ou à des atomes et forment ainsi une charge d'espace monopolaire négative dans la région II(b). Quant aux ions positifs créés dans la zone d'ionisation, ils sont accélérés vers l'électrode active et accentuent ainsi l'effet γ . Enfin, dans la région entre les deux conducteurs, II(c), la charge d'espace est bipolaire, c'est-à-dire qu'elle est constituée de charges positives et de charges négatives. Dans cette région, les ions positifs et les ions négatifs dérivent de l'un des conducteurs vers l'autre [40]. Dans cette région, le processus de recombinaison est à considérer entre les deux espèces chargées. Le taux de recombinaison est directement proportionnel aux concentrations des ions positifs et des ions négatifs. Pour une concentration des ions positifs (n_+) égale à la concentration des ions négatifs (n_-), le taux de recombinaison est donné par [41,42].

$$\frac{dn_+}{dt} = \frac{dn_-}{dt} - \beta n_+ n_- \quad (\text{I.18})$$

Où β est une constante appelée coefficient de recombinaison (en m^3/s).

I.7 Phénomènes physiques intervenant dans le dépôt de charge électrique par décharge couronne.

I.7.1 Le potentiel de surface et le déclin du potentiel de surface

Un diélectrique, chargé en surface, présente un potentiel surfacique local. Et la mesure du potentiel de surface permet de quantifier l'importance de la conduction surfacique sur les échantillons, au cours du temps, cette valeur du potentiel décroît et ce fait représente nettement l'aptitude du matériau à évacuer, par plusieurs mécanismes.

Le champ appliqué par les charges déposées en surface crée un phénomène de polarisation dipolaire, par l'orientation des dipôles déjà existant ou une polarisation interfaciale par la migration des charges vers les interfaces. Ceci provoque l'apparition d'une charge en surface, de signe opposé par phénomène d'influence totale [43]. La charge déposée en surface peut être neutralisée par les porteurs libres provenant de l'atmosphère environnante le matériau [44], ou aussi traverser l'interface et pénétrer dans le volume pour engendrer un phénomène d'injection [45, 46]. Ce dernier mécanisme dépend fortement du champ électrique appliqué.

La conduction surfacique est une autre cause du déclin de potentiel en surface [47], en particulier dans le cas des polymères vieillis [48]. Dans le cas des films minces, les phénomènes piézoélectriques peuvent aussi participer à l'évolution temporelle du potentiel en surface d'un matériau. La charge déposée exerce une force sur le matériau qui subit l'effet d'une contrainte mécanique pouvant générer un effet piézo-électrique. D'autre part, l'effet seul de la pression électrostatique peut conduire à une relaxation mécanique du volume du matériau qui peut avoir une influence sur le potentiel de surface. Pour étudier un matériau diélectrique à partir de la mesure du déclin de potentiel en surface, il est primordial d'identifier les phénomènes prédominants.

I.7.2 phénomènes interviennent dans le déclin du potentiel de surface

Les phénomènes physiques qui interviennent dans le déclin du potentiel de surface d'un isolant après dépôt de charge (le plus souvent par décharge couronne) sont nombreux.

C'est pourquoi, l'interprétation des courbes d'évolution du potentiel de surface au cours du temps nécessite une connaissance de ces mécanismes et qui sont [49-51] :

- neutralisation atmosphérique.
- phénomène piézoélectrique.
- conduction de surface.
- polarisation de l'échantillon.
- injection de charges.

La figure 1.9 résume schématiquement les différents processus qui peuvent contribuer au déclin du potentiel de surface.

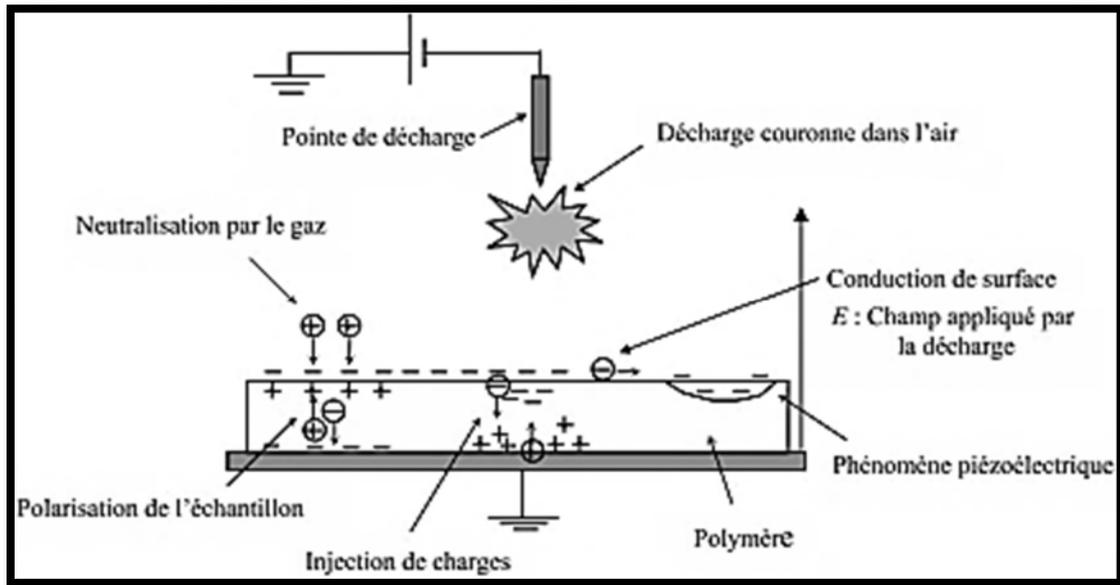


Figure 1.9 : Différents processus qui peuvent contribuer au Déclin du potentiel de surface [49].

I.8 Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la revue bibliographique concernant les décharges électriques en entre autres les décharge couronne. Cette décharge électrique, ayant lieu dans l'air et à pression atmosphérique, étudiée depuis longtemps, est établie entre une pointe (portée à un potentiel soit continue, positif ou négatif, soit à un signal alternatif) et un plan dans le but de montrer son rôle efficace dans le dépôt de charge qui va être ensuite utilisée dans le cadre de ce travail.

CHAPITRE 2

LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES DE LA DECHARGE COURONNE

II. 1 Introduction

L'utilité d'application de la décharge couronne dans l'industrie est très vaste, elles remplacent des techniques souvent plus polluantes (utilisation de solvants). Les décharges couronne offrent de nombreuses possibilités d'applications industrielles.

Nous allons citer quelques domaines d'application de la décharge couronne, nous allons commencer par la dépollution et production de l'ozone par décharge couronne, L'électrofiltration, séparateur électrostatique, les électrets, modification de propriétés superficielles des polymères et Neutralisation et charge des médias non tissés. La recherche réalisée sur le sujet tendant à accroître leurs intégrations dans le domaine industriel et d'offrir de nouvelles possibilités. Pour cela nous avons déterminé leur domaine d'application afin de s'étendre d'une façon assez profonde dans ce chapitre.

II.2 Dépollution par décharge couronne

Le traitement de gaz avec les décharges couronne se fait par des réacteurs (Plasmas froids ou non thermiques). L'utilisation des réacteurs plasmas froids hors équilibre généré par des décharges électriques de type couronne nous permet de traiter les gaz à pression atmosphérique. Le traitement s'effectue soit en détruisant les espèces toxiques, soit en les transformant en espèces moins nocives et/ou plus facilement traitables par d'autres techniques de dépollution. Les espèces toxiques traitées peuvent être des oxydes d'azote et de soufre du type NO_x et SO_x ou des composés organiques volatiles (COV).

Dans certains cas, le réacteur corona peut également servir de précipitation électrostatique et piéger les poussières ou les particules lourdes. A titre d'exemple, les (COV) sont fractionnés en espèces plus petites et moins nocives, les oxydes seront transformés plutôt en acide puis neutralisé sous forme de sels solides.

- Pour les COV : $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z + \text{radicaux} \rightarrow n \text{CO}_2 + m \text{H}_2\text{O}$
- Pour oxydes : oxyde + radicaux \rightarrow acide
- acide + base \rightarrow sel

Le traitement d'un gaz d'échappement par réacteur corona s'effectue en trois principales étapes comme il est indiqué sur la figure II.1. [52].

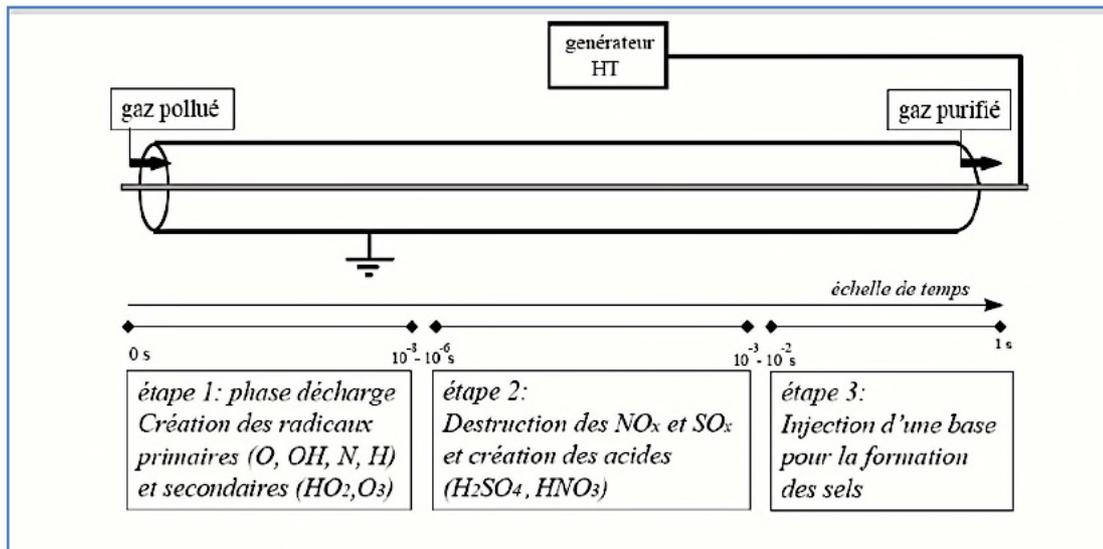


Figure II.1 : Représentation schématique des principales étapes de la destruction des oxydes toxiques par décharge couronne.

II.3 Production d'ozone par Décharge couronne

L'ozone peut être généré à partir de trois méthodes essentielles : la méthode de décharge électrique (la méthode la plus utilisée), la méthode photochimique et la méthode électrochimique [53]. Toutefois nous nous intéresserons à la méthode de décharge couronne, étant donné que notre travail s'inscrit dans le cadre de celle-ci. Le système de la décharge couronne a été étudié comme une méthode alternative à la décharge silencieuse pour la génération d'ozones. Dans cette décharge il n'y a pas de barrière diélectrique entre les électrodes métalliques [54]. Avec cette méthode on peut obtenir un grand rendement et une grande concentration dans un espace inter électrode large comparé à celui d'un ozoniseur de décharge silencieuse, cette méthode a quelques avantages comparés à la production et à la maintenance d'un ozoniseur, cependant une plus haute tension que celle d'une décharge silencieuse et nécessaire.

Il est difficile d'obtenir une décharge stable. Facilement, il peut y avoir un développement d'un arc ou spark. La génération d'ozone dépend de la tension appliquée :

1. Dans le cas d'une tension positive, la décharge apparaît entièrement dans l'espace inter électrode.
2. Dans le cas d'une tension négative, la décharge n'apparaît que près de la région d'électrode active.

Notons que la polarité positive, représentée par le grand volume de décharge est plus effective pour la génération d'ozone que la polarité négative.

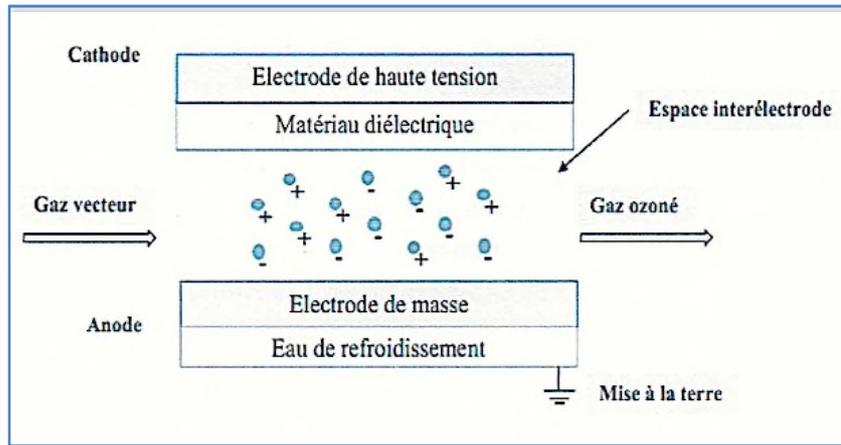


Figure II.2 : principe de production d'ozone par décharge couronne.

On ne peut faire une liste complète des applications que l'ozone présente, car jour après jour on trouve de nouveaux domaines où l'utilisation d'ozone résout les problèmes rencontrés dans l'industrie. Citons à titre d'exemples : la stérilisation et l'épuration de l'eau. Les traitements thérapeutiques. La décoloration des pigments, Déchets industriels, Désodorisation en général...etc.

II.4 L'électrofiltration

L'électrofiltration est un procédé extrêmement efficace pour la séparation des particules d'un gaz. Les électrofiltres sont principalement utilisés dans l'industrie lourde telle que la sidérurgie, les unités d'incinération des déchets, les cimenteries, les unités de production d'énergie. Ils peuvent également être utilisés pour des applications domestiques telles que l'épuration de l'air des locaux (fumés de tabac, ...) ou celle des ambiances de travail (brouillards d'huile, poussières de bois, ...). Leur efficacité est extrêmement élevée, notamment pour les particules submicroniques où d'autres systèmes sont peu efficaces. Le filtre électrostatique est un dispositif dans lequel les forces électrostatiques piègent les particules contenues dans un gaz. Il est constitué d'un ensemble d'électrodes actives et d'électrodes de collecte et peut-être de géométrie plane ou cylindrique. La décharge générée au sein de ce dispositif, souvent maintenue à un fort

potentiel négatif, produit des ions, par attachement des électrons libres aux molécules du gaz. Lors de collisions de ces ions avec des particules, ces dernières se chargent.

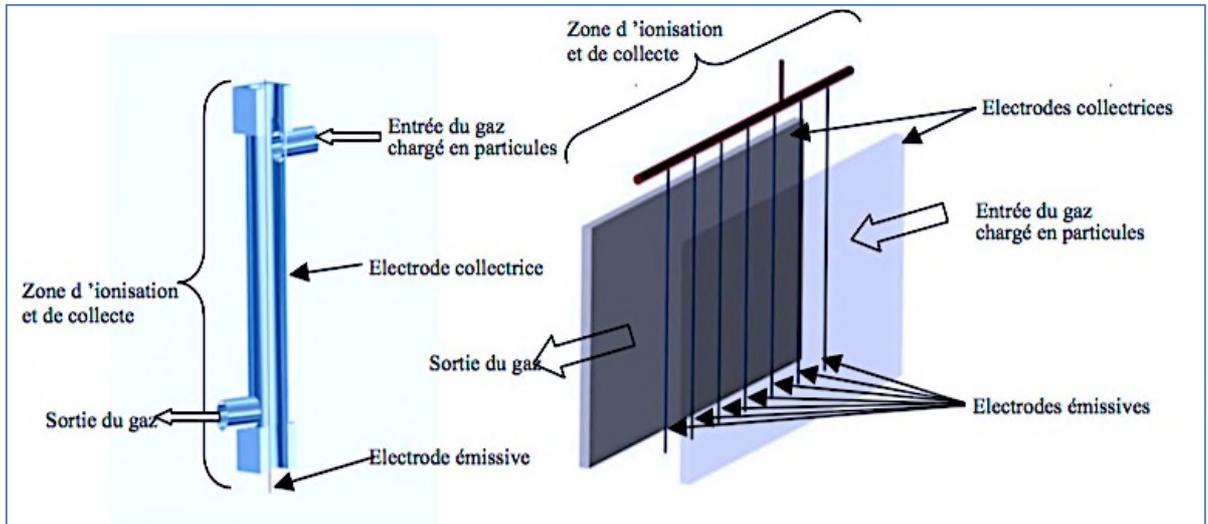


Figure II.3: Electrofiltre à un seul étage fil-cylindre à gauche, fil-plaque à droite [55]

L'électrofiltration ou précipitation électrostatique est basée sur trois étapes fondamentales (Figure II.3) :

- Charger électriquement les particules en suspension dans les gaz à traiter ;
- Collecter les particules chargées sous l'action d'un champ électrique ;
- Récupérer les particules collectées.

II.5 Séparateur électrostatique :

Des charges électriques sont créées par ionisation de l'air grâce à la décharge couronne générée par l'électrode à pointes (1), appelée électrode couronne. Les granules déposés sur le cylindre tournant (3) par le Vibro-transporteur (4) acquièrent tous une charge électrique de même signe que le potentiel de la haute tension continue, et se comportent différemment suivant qu'ils sont électriquement conducteurs ou isolants. Dans tous les cas, le produit granulaire à séparer est déposé sur la surface de l'électrode cylindrique reliée à la terre, qui l'introduit dans la zone du champ électrique. Deux mécanismes de charge sont simultanément employés : "bombardement ionique" et "induction électrostatique". Le premier est destiné aux particules isolantes seulement, passant à travers la décharge couronne ; le deuxième concerne seulement les particules conductrices en contact avec le tambour en présence d'un champ électrique externe, à

savoir le champ électrostatique généré par l'électrode elliptique [56].

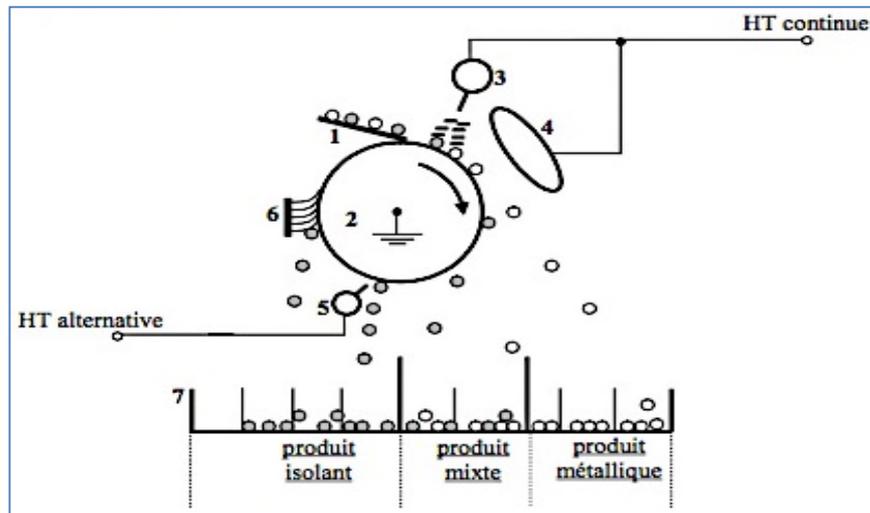


Figure II.4 : Schéma descriptif de l'électro-séparateur et ses éléments constituants [68].

- (1) Electrode couronne reliée à une source de HT, (2) Electrode statique reliée à la même source de HT, (3) Electrode cylindrique reliée à la terre, (4) Vibro-transporteur, (5) Electrode de neutralisation reliée à une source HT alternative, (6) Brosse, (7) collecteur de particules.

1/ Les granules isolants : restent "collés" et adhèrent à la surface du tambour grâce à la force d'image électrique. Ils tombent dans la partie du collecteur (7) qui leur est réservée lorsque la force de pesanteur l'emporte sur la force d'image. Pour assurer la chute de ces particules, certains électro séparateurs sont équipés d'une autre électrode à pointes, appelée électrode de neutralisation (5), pour éliminer la charge q par neutralisation. Les particules qui ne tombent pas et qui restent "collées" sont éliminées de la surface du tambour par une brosse (6).

2/ Les granules conducteurs : perdent rapidement la charge à travers le cylindre relié à la terre, en arrivant dans la zone du champ électrostatique généré par l'électrode statique de forme elliptique (2). Ils acquièrent par induction électrostatique une charge de signe opposé au potentiel de la haute tension, et sont ensuite attirés par l'électrode elliptique et collectés dans la partie droite du collecteur.

II.6 Les électrets

Un électret est défini comme un diélectrique qui porte une polarisation induite, cette polarisation est quasi permanente, c'est-à-dire que le temps de déclin est plus long

que la durée de son utilisation. La polarisation est due à des charges électriques réelles sur la surface ou/et dans le volume du matériau ou bien aux dipôles orientés et figés dans le volume. Les électrets sont essentiellement des matériaux désordonnés tels que les polymères et les minéraux amorphes. Les électrets occupent une place de choix dans les nouvelles technologies. Les techniques de formation et caractérisation de ces matériaux se sont perfectionnées, leurs utilisations sont élargies aux systèmes micro-électromécaniques (MEMS) et aux applications dans le domaine biomédical. Les électrets sont utilisés soit sous forme de films minces, soit sous forme de structures fibreuses et poreuses [57].

II.6.1 formation des électrets par décharge couronne

Selon les modes de formation des électrets, ces derniers sont classés en deux familles, les électrets dipolaires et les électrets à charge d'espace. En effet, les charges électriques qui peuvent être créées et piégées dans un diélectrique pour former un électret sont de deux catégories majeures : des mono charges appelées *charges réelles*, et des dipôles orientés appelés *charges liées*.

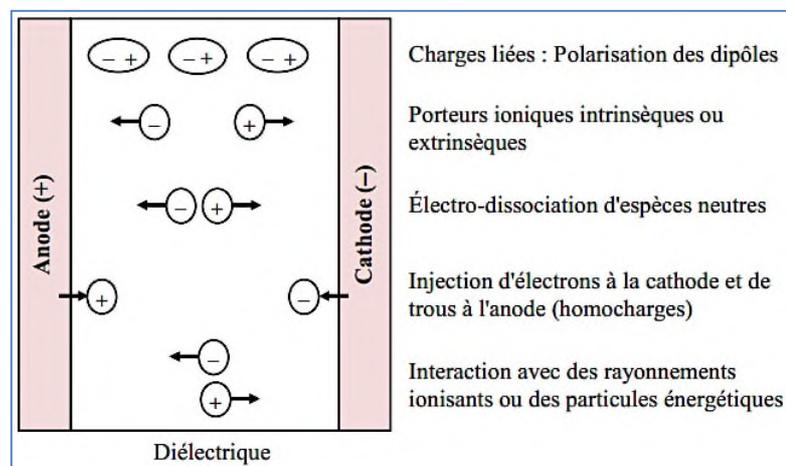


Figure II .5 : mécanismes de génération de charges électriques.

Un électret dipolaire est généralement un thermo-électret qui résulte de l'orientation de dipôles par application d'un champ électrique à une température élevée qui correspond à la température de fusion ou de ramollissement.

Puis obtention de l'état orienté figé à température ambiante [57-59]. La figure II.6 illustre l'orientation des dipôles avant et après la formation de l'électret.

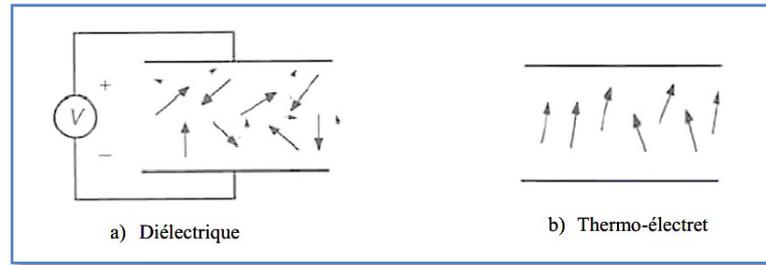


Figure II .6 : Electret dipolaire

La charge par décharge couronne est adéquate pour la formation des électrets, qu'ils soient des films ou des matériaux fibreux. Cette méthode de charge est largement utilisée dans l'industrie où la formation d'électrets est réalisée à la chaîne. Le procédé industriel est assez performant, il permet d'asservir le potentiel de surface des électrets afin de contrôler le niveau et la qualité du dépôt des charges électriques [60].

Ce procédé de formation est basé sur la génération de décharges couronne en appliquant une tension assez élevée (dizaines de kV) à une électrode de faible rayon de courbure (centaines de micromètres) située à une certaine distance (plusieurs centimètres) par rapport à un plan de masse. L'électrode active peut être une pointe, plusieurs pointes posées en forme de peigne, ou un fil très fin. Le champ électrique dans l'espace inter-électrodes est non uniforme, son intensité au voisinage de l'électrode active est assez élevée pour que l'air soit ionisé. Le diélectrique est posé sur le plan de masse. Sous l'action du champ électrique, il reçoit des charges de même polarité que l'électrode couronne. La figure II.7 illustre le principe de formation d'électret par décharge couronne négative.

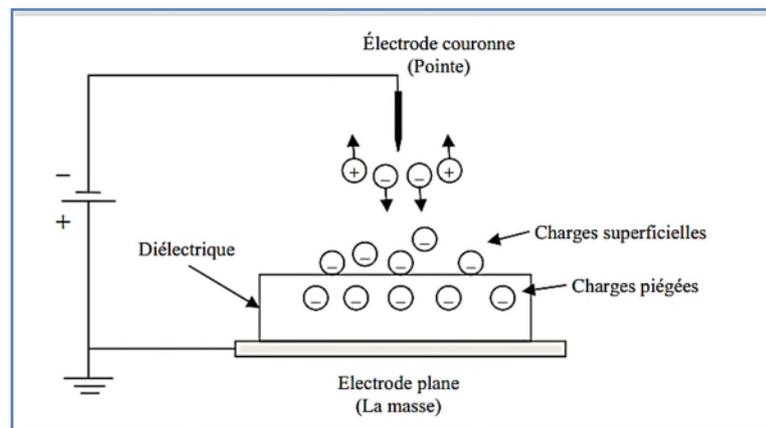


Figure II .7 : principe de formation d'électret par décharge couronne.

II.7 La modification de propriétés superficielles des polymères :

La surface d'un polymère exposée au contact des espèces actives du plasma (électrons, ions, atomes excités) sera modifiée par la destruction des liaisons et la création de sites actifs qui peuvent se combiner avec les atomes présents dans le milieu. La figure montre l'exemple de la modification de la surface du polyéthylène dans un plasma d'oxygène. La présence d'atomes provenant de molécules telles que O_2 , N_2 ou NH_3 va ainsi produire à la surface du polymère des groupements fonctionnels qui conduiront à des propriétés de hydrophilie, d'hydrophobie ou à l'amélioration du pouvoir adhésif du matériau. On obtient ainsi une augmentation de la mouillabilité, ou l'avivage des surfaces sans l'utilisation des solvants (énergie de surface contrôlée, protection de l'environnement) [61].

Ces propriétés ont trouvé aujourd'hui un large développement dans le collage, l'impression et aussi pour le traitement des tissus naturels ou synthétiques.

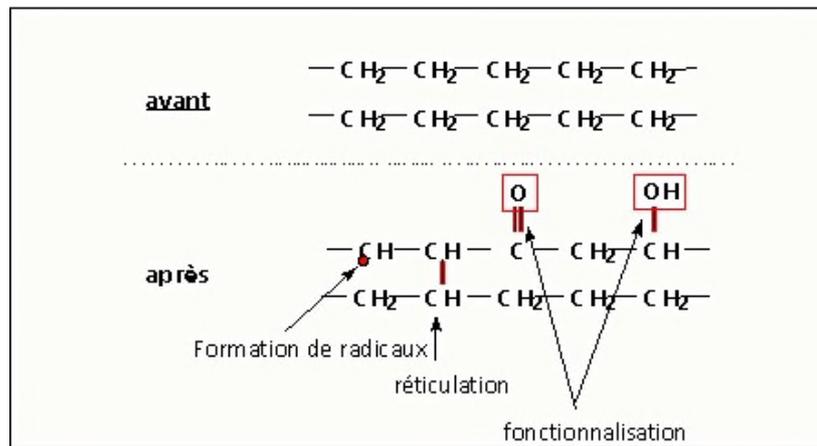


Figure II.8 : Création de terminaisons hydroxyle et carbonyle à la surface du PE dans un plasma de O_2 [61].

II.8 Neutralisation et charge des médias non-tissés

La présence des charges électriques à la surface des matériaux isolants est accompagnée assez souvent de nuisances électrostatiques non négligeables. Dans de nombreuses applications, telles que la manipulation de matières textiles, des feuilles de papier ou des films polymères, les forces électriques associées à ces charges peuvent coller les matériaux les uns aux autres ou à des surfaces métalliques.

Les décharges électriques à partir d'éléments chargés représentent une importante source de danger électrique dans le processus de fabrication des dispositifs électroniques. La neutralisation de la charge électrique est couramment faite en utilisant la décharge couronne générée par de diverses configurations d'électrodes.

Dans certains cas, afin de mieux contrôler la valeur du potentiel, et donc de la charge à la surface des matériaux à neutraliser, une configuration d'électrodes de type « triode » est employé (figure II.9). Cette configuration est aussi utilisée pour la charge des films ou des médias non tissés isolant. C'est pour cela que plusieurs recherches ont visé plus particulièrement cette classe d'application du système d'électrodes « triode ». Un nombre d'études, menés par les industriels et les laboratoires de recherche, se sont focalisés sur la caractérisation de l'efficacité des filtres à air réalisés en utilisant des médias non tissés, soumis au préalable à l'action d'une décharge couronne.

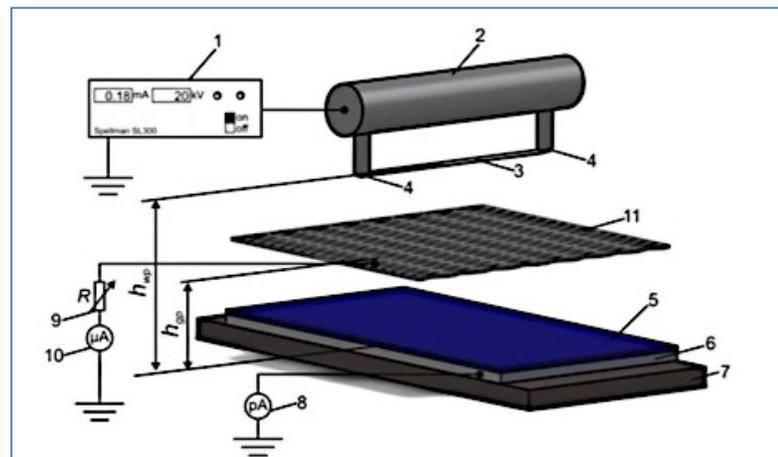


Figure II.9 : Système de neutralisation de charge de médias de type triode [62].

1-source DC HV ; 2-cylindre métallique ; 3-fil tungstène ; tiges métalliques supportant le fil, 5-échantillon ; 6-Plaque métallique mise à la terre (électrode) ,7- support PVC ;

8-Pico-ampèremètre ; 9- Résistance variable ;10-Micro- ampèremètre.

En raison de leurs caractéristiques et de leurs qualités intrinsèques, les plasmas froids se diffusent dans d'autres secteurs comme dans :

- **La métallurgie et la mécanique** : durcissement superficiel et protection anticorrosion des pièces et outillages.

- **La plasturgie** : préparation de la surface à une enduction ultérieure, nettoyage et dégraissage, élaboration de fonctions sélectives sur membranes, modification du coefficient de frottement, création d'un effet barrière, notamment pour les emballages alimentaires.
- **Le textile** : anti-mouillabilité, antiglisse ou encore l'optique et l'optoélectronique (dépôt, organométalliques multicouches).
- **Élimination de l'électricité statique** : l'électricité statique est, dans l'industrie, la source de dysfonctionnements gênants. Elle provoque des décharges néfastes aux dispositifs électroniques.

La figure II.10 représente un exemple d'utilisation de la décharge à barrière diélectrique pour le traitement d'une surface de plastique.

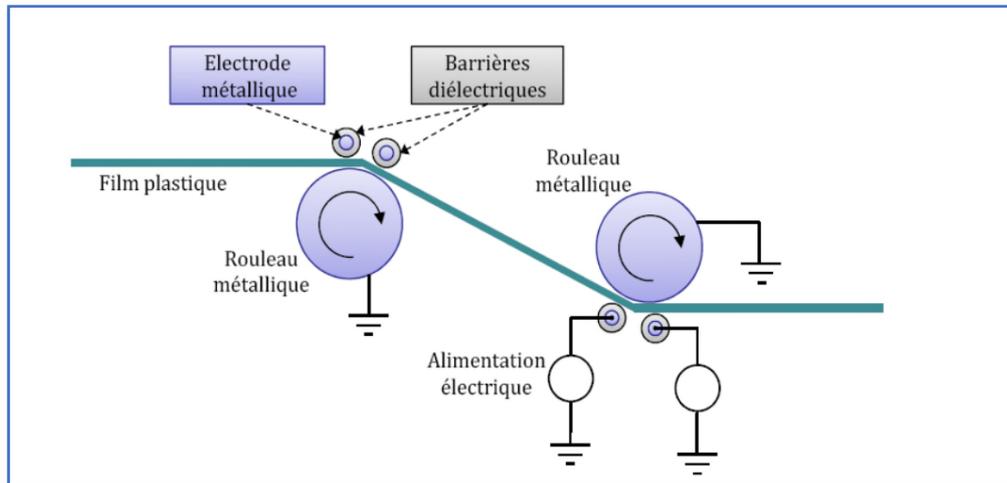


Figure II .10 : Utilisation d'une décharge a barrière diélectrique dans le traitement surfacique de plastiques [63].

II.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décerné les différentes applications de la décharge couronne et son utilisation globalement dans le domaine industriel, ainsi nous avons parlé sur son rôle en expliquant le principe de fonctionnement et technique de chaque application.

Le travail qui va suivre au niveau du laboratoire c'est d'utiliser la décharge couronne bipolaire pour le chargement des matériaux polymères en vue d'élucider les phénomènes résultant en comparaison au dépôt de charge par décharge couronne mono polaire.

CHAPITRE 3

LA PARTIE EXPERIMENTALE

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous avons basé sur la partie pratique de notre mémoire, en décrivant les dispositifs expérimentaux au quels nous allons pratiquer notre expérience, qu'elle est constituée de deux parties : la première partie pour la caractérisation du système de chargement, la seconde partie pour chargement des échantillons et mesuré du potentiel de surface afin d'acquisition de données sous format « txt ».

Nous allons décrire la méthode de mesure de déclin de potentiel opératoirement, les conditions de chargement et les matériaux à chargés, ainsi nous allons site la technique de caractérisation des polymères par mesure de potentiel de la surface à l'aide d'une sonde à condensateur vibrant (sonde de kelvin). L'analyse structural et morphologique des échantillons mis en œuvre par infrarouge et ultraviolet dans le but est de faire une caractérisation et leur comportement physique chimique par rapport à la décharge couronne bipolaire.

Les précautions sont présentes afin de manipuler dans des conditions favorables dans le but d'avoir des résultats fiables et d'éviter les erreurs systématiques.

III.2 Dispositifs expérimentaux

III.2.1 Caractérisation du système de chargement

La décharge couronne est un dispositif de chargement utilisé essentiellement pour le chargement des matériaux isolants. Grâce à cette technique il est possible de déposer des charges électriques aussi bien positives que négatives selon la polarité du système de décharge. Toutes les procédures expérimentales concernant le chargement par décharge couronne et des mesures du potentiel de surface ainsi que du déclin du potentiel sur les échantillons d'essais a été réalisé dans un poste de chargement constitué d'un système d'électrode deux fils- plan.

La caractérisation du système de chargement est une étape fondamentale qui consiste à relever les caractéristiques courant-tension et cela dans le but de déterminer toutes les informations physiques concernant la tension et le courant de chargement. Le dispositif expérimental de chargement par effet couronne que nous avons utilisé représenté dans la figure (III.1). Composé de deux électrodes cylindriques polies en tungstène, de faible rayon

de courbure (diamètre $d=0.3\text{mm}$) et d'un plan en acier inoxydable mis à la terre, les électrodes active (1), séparées par un écartement (a), sont tendu parallèlement par deux support en plexiglas (2) suspendu à une hauteur $h=50\text{mm}$ du plan (3), l'une des électrodes est porté une haute tension positive (V^+) et l'autre à une haute tension négative (V^-), ces deux fils sont connectés à une source de haute tension continue variable (0 à $\pm 20\text{ kV}$, 0.5 mA). La source de haute tension est directement reliée au réseau alternatif de (230V , 50Hz) et à la masse de l'installation du laboratoire.

Le courant I que nous avons mesuré est celui collecté par le plan de mesure lors de la décharge couronne bipolaire, avec un millivoltmètre numérique d'une impédance d'entrée de $10^9\Omega$ connecté en parallèle avec une résistance $R=104\text{ k}\Omega$ reliés à la terre, les mesure en été effectué avec et sans échantillon (4) sur le plan de mesure. Les caractéristiques courant-tension sont rapportés dans le chapitre suivant.

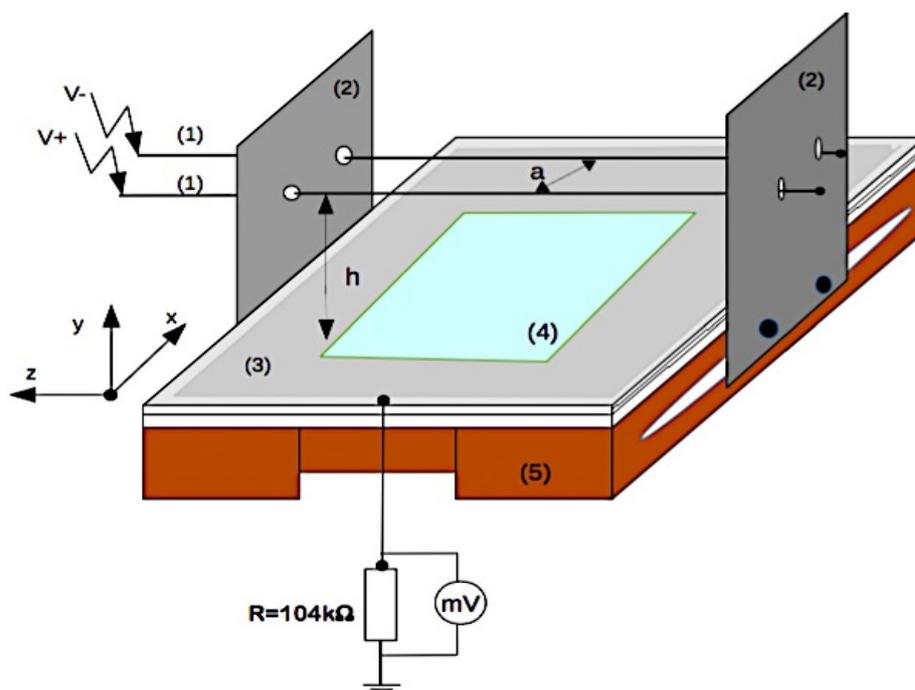


Figure III.1 : dispositif de chargement par décharge couronne bipolaire.

- 1- Electrodes cylindriques
- 2- Supports des électrodes
- 3- Plan de masse
- 4- Echantillon
- 5- Support en bois

III.2.2 Dispositif de mesure du potentiel de surface et d'acquisition de données

Le banc de mesure du potentiel de surface est composé d'un voltmètre électrostatique (Modèle Trek 341 B) muni d'une sonde vibrante avec un étendu de mesure de 3kV précisément 3150 V, la sonde est placée en regard de la surface de l'échantillon à caractériser (figure III.2). La mesure du potentiel de surface est effectuée sans contact sur l'échantillon. Le principe de fonctionnement de la sonde vibrante est expliqué en détail dans la page (41,42).

La sonde est placée à faible distance de l'échantillon ($3mm$) afin d'avoir un bon temps de réponse. La lecture des mesures se fait à travers la sortie analogique du voltmètre électrostatique grâce à un oscilloscope numérique (Tektronix TDS 1012) à fréquence $f=1/T$ ($T=500ms$), muni d'une interface (TDS 2CMAX) connecté d'une part au voltmètre électrostatique via sa sortie analogique (RS 232) et d'autre part, relié à un ordinateur, les valeurs mesurées du potentiel de surface sont visualisées puis sauvegardées sous format "Txt" ainsi 2500 points sont récoltés pour chaque balayage de la sonde de mesure.

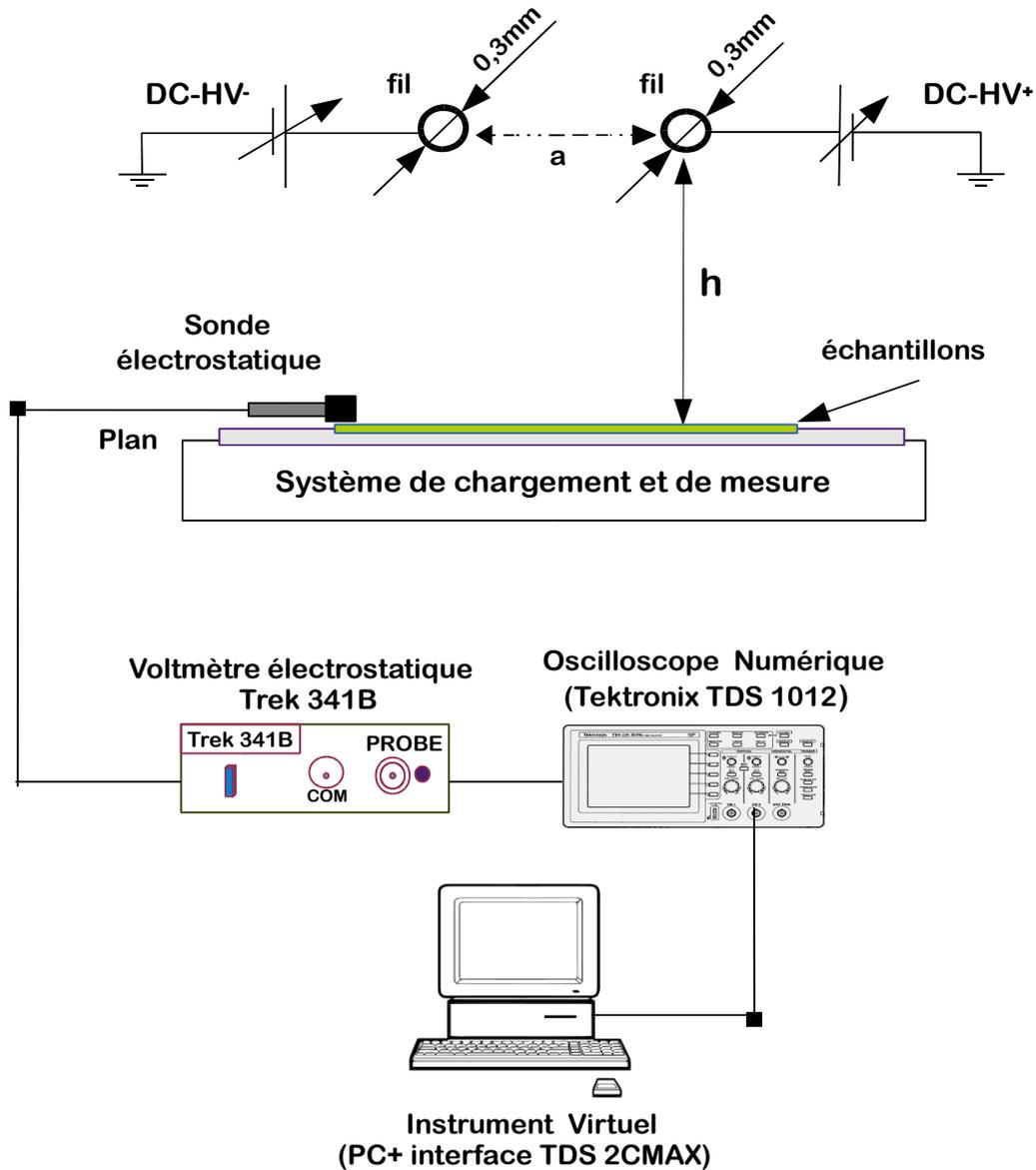


Figure III.2 : dispositif de chargement et d'acquisition de données.

Après le chargement de la surface de l'échantillon par effet corona, la sonde de mesure montée sur un chariot entraîné par un moteur à courant continu à vitesse fixe, permet de balayer toute la surface de l'échantillon selon les axes (ox) et (oz) cette opération prendra uniquement environ 3s pour ne pas manquer la valeur initiale du potentiel de surface V_0 et cela pour chaque balayage effectuer.

Plusieurs essais sont réalisés sur les échantillons qui sont positionnés sur le plan au milieu des électrodes active, 5 échantillons pour chaque essai et cela dans le but de définir les profils de base et d'en déterminer la reproductibilité des phénomènes régissant le dépôt de

charge par décharge couronne bipolaire.

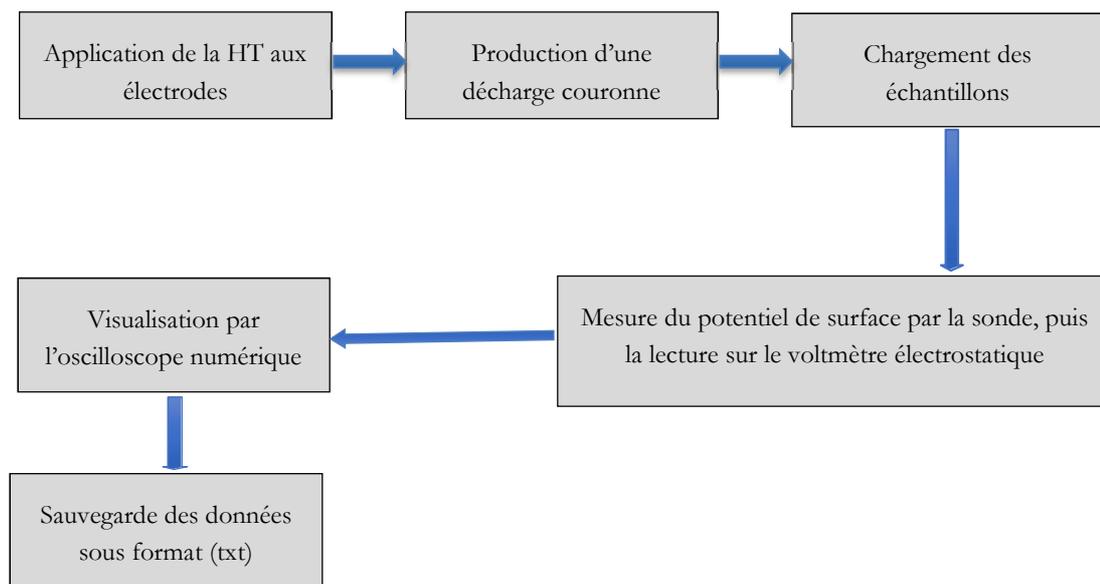


Figure III.3 : Organigramme résumé de la démarche suivie lors des mesures du potentiel de surface après un dépôt de charge par décharge couronne bipolaire.

III.3 Mesure de déclin de potentiel de la surface

Pour mesurer le déclin de potentiel de surface sur les échantillons, nous avons effectué une technique correspondant aux moyennes de laboratoire, nous avons chargé les matériaux avec décharge couronne bipolaire à une tension $U=\pm 10\text{kV}$ pendant deux minutes en géomètre deux fils-plans d'une hauteur h et d'un écartement $a=40\text{mm}$, après le chargement nous avons fixé la sonde et sans contact sur l'échantillon, connectée d'une part au voltmètre électrostatique. Une caméra fixée sur l'écran de voltmètre électrostatique permet d'enregistrer l'événement de potentiel mesure par la sonde jusqu'au moment où la tension s'annule. Les résultats sont exposés dans chapitre qui suit.



Figure III.4 : vue de l'ensemble des équipements de l'expérience au niveau du laboratoire de haute tension.

III.4 Condition de chargement

Le temps et la tension de chargement et l'écartement (a) varie selon l'objectif de l'essai, chaque échantillon est utilisé une seule fois, pour la charge et la mesure, dans les mêmes conditions. Dans chaque série d'essais, la température, la pression et l'humidité du laboratoire sont prélevées. Le seuil de la décharge, étant dépendant des conditions atmosphériques (température, pression, humidité et densité de l'air), est à chaque fois noté et précisé. Pour travailler dans les mêmes conditions atmosphériques, les essais sont effectués dans la même journée, et le lancement d'une série d'essais ne s'arrête que lorsque la manipulation s'achève.

III.5 Matériaux chargés

Afin d'évaluer l'état de charge des polymères par décharge couronne bipolaire en mesurant les potentiels de surfaces, les essais ont été réalisés sur deux types d'échantillons en polymères présentés sous forme de films pour le polychlorure de vinyle (PVC) est de taille A4 ((210 * 297)mm²) et d'épaisseur de 0.3 millimètres.

Les échantillons de poly lactique (PLA) sont réalisés au laboratoire de physique de l'université de Bejaia qui se présente sous forme de film circulaire avec un diamètre de 10 cm et d'une épaisseur de 0.2 mm . Le protocole de réalisation est le mélange direct, On a incorporé 2g de fibre du PLA dans 20 ml de chloroforme puis on a laissé agiter pendant 2h jusqu'à dissolution totale puis les échantillons sont exposés pour être séchés à l'intérieur de la hotte du laboratoire.

Ces deux polymères sont de structure amorphe, mais ils arrivent que localement, sur de courts segments de chaîne PVC, PLA s'organisent en phase cristalline, mais le taux de cristallinité ne dépasse jamais 10 à 15%. La masse volumique du PVC est de 1.38 g/cm^3 , transparent et relativement perméable à la vapeur d'eau, il offre une excellente rigidité jusqu'au voisinage de sa température de transition vitreuse, ce qui permet de proposer deux polymères (PVC, PLA) souples à température ambiante. Leurs formules chimiques sont comme suit :

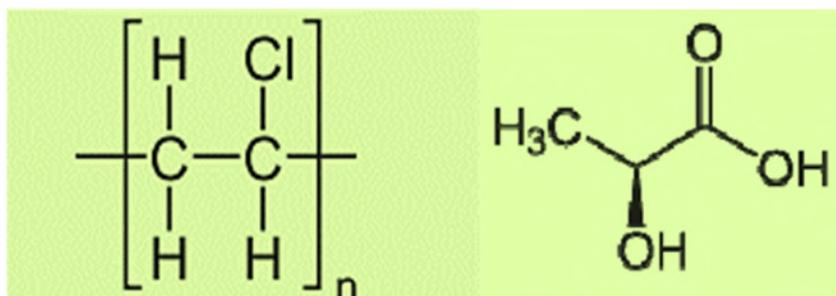


Figure III.5 : à gauche le polychlorure de vinyle (PVC). À droite l'acide polylactique (PLA)

Tableau III.1 : quelques propriétés du polychlorure de vinyle (PVC) :

Température d'emploi en régime continue (°C)	-30 à + 80 °c
Température de ramollissement (°C)	120 °c
Permittivité relative à 50 HZ	5 à 9
Facteur de perte diélectrique à 1MHZ	3.3 à 4.5
Rigidité diélectrique (kV/mm)	30 à 60
Résistance superficiel ($\Omega \cdot \text{Cm}$)	10^{10}
Résistance transversale ($\Omega \cdot \text{Cm}$)	10^{16}
Absorption d'eau (%)	1
Résistance aux radiations (rad)	$8 \cdot 10^7$
Résistance à l'attraction (MPa)	15

Le polychlorure de vinyle (PVC) se présente sous la formule chimique suivante : C_2H_3Cl et le l'acide polylactique (PLA) est sous la forme suivante : $C_3H_4O_2$.

Tableau III.2 : quelques propriétés du l'acide polylactique (PLA) :

Température de transition vitreuse	60 °c
Température de fusion	150 °c
Masse volumique	1.25 g/cm ³
Biodégradable	Oui
Compostage en jardin privé	Non
Recyclable	Non
Partie renouvelable dans les matières première	100 %
Bilan	Neutre

III.5.1 Domaine d'application du polychlorure de vinyle (PVC) et de l'acide polylactique (PLA)

Tableau III.3 : Quelques domaine d'application du PVC et PLA

PVC	PLA
<ul style="list-style-type: none"> • L'impression sur les films PVC (impression d'outils publicitaires ou pour l'industrie) • Emballage (sous forme de film étirable) • Utilisé comme isolant et pour le gainage des câbles • Intérieur & Bâtiment (plafonds tendus , les revêtements muraux PVC, tuyaux de canalisation) 	<ul style="list-style-type: none"> • Secteur médical (utilisés pour les sutures, systèmes de transport des substances actives ou participant à la fabrication de tissus). • Industrie agroalimentaire (les emballages de produits frais). • Intérieur & Bâtiment (du développement végétal, créer des structures de refuge). • Art & Mode (utilisation par les artistes, les designers textiles). • Le filament de PLA (fabrication d'objets à l'aide d'une imprimante 3D).

III.6 Techniques de mesure du potentiel de surface

III.6.1 Mesure de potentiel de surface à l'aide d'une Sonde à condensateur vibrant

La sonde à condensateur vibrant est très utilisée pour la caractérisation non destructive des électrets par la mesure sans contact du potentiel de surface à long terme. Cette sonde à courant porteur alternatif permet de transformer au préalable les tensions ou courant continus que l'on veut mesurer en tension alternative, de façon à pouvoir utiliser des amplificateurs, [76-79].

Pour effectuer cette conversion, un procédé purement électrostatique utilisable est celui d'une modulation par variation de capacité, une sonde métallique vibre à l'aide d'un oscillateur mécanique au-dessus de la surface chargée d'un échantillon ou les déplacements de la plaque métalliques sont perpendiculaires au champ électrique incident de la surface chargée.

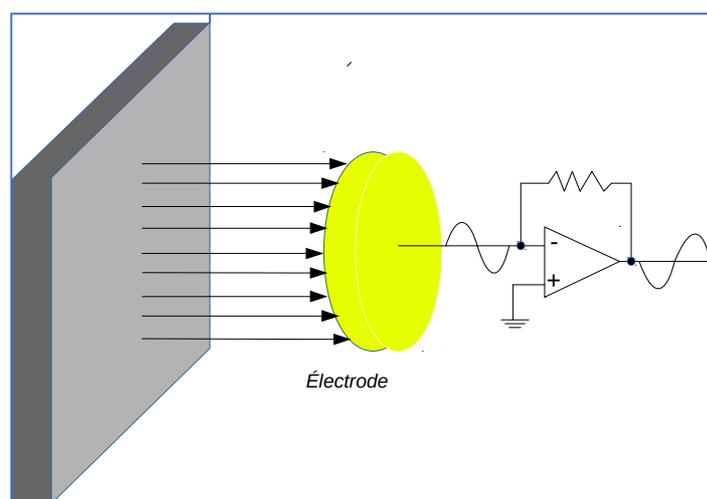


Figure III.6 : Principe de modulation par variation de capacité

Le signal détecté est l'intensité de courant électrique induit par la vibration de la sonde dans le champ électrique créé par la différence du potentiel de surface V_s entre la sonde et l'échantillon [76,80].

$$i = c \frac{dV_s}{dt} + V_s \frac{dc}{dt} \quad (\text{III.1})$$

$$C = C_0 + C_1 \sin(\omega t) \quad (\text{III.2})$$

Où « C » est la capacité du condensateur formé par la sonde et l'échantillon. Pour une modulation sinusoïdale, cette capacité est exprimée par la relation (III.1), où C_0 est la capacité moyenne et C_1 est l'amplitude des variations.

Pour une différence du potentiel de surface V_s entre la sonde et l'échantillon constant, l'expression (III.2) du courant se réduit à :

$$i = V_s \frac{dc}{dt} \tag{III.3}$$

La mesure automatique de la différence du potentiel de surface V_s , est obtenue par ajustement du courant i à zéro, à l'aide d'un servomécanisme électronique pour l'annulation du champ électrostatique.

Ceci nécessite que le potentiel de la sonde V_m soit au même potentiel de surface de l'échantillon car le courant n'est pas seulement fonction de l'amplitude et de la fréquence des vibrations, mais il dépend de la différence de potentiel ($V_s - V_m$).

$$i = (V_s - V_m) \frac{dc}{dt} = 0 \tag{III.4}$$

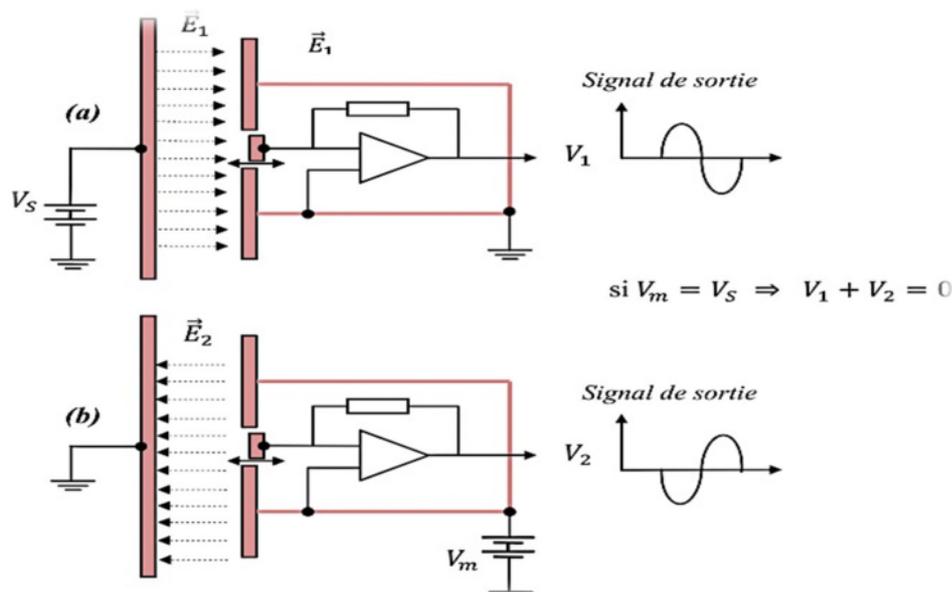


Figure III.7: Principe de mesure du potentiel de surface à l'aide de la Sonde à condensateur vibrant.

III.6.2 Analyse physico-chimique des échantillons

Dans l'objectif d'obtenir l'interprétation la plus plausible, et afin de mieux investir notre problématique, nous avons été amenées à soumettre nos divers échantillons aux analyses physico-chimiques. En effet, les informations découlant uniquement des mesures électrostatiques par la mesure du potentiel de surface, s'avèrent insuffisantes pour expliquer la dynamique du dépôt de charges électrique par décharge couronne bipolaire sur les échantillons, pour appréhender les possibles altérations (rupture de chaîne, formation de radicaux ...etc.), nos échantillons sont analysés à la FT-IR (infra-rouge à Transformée de Fourier) et (l'analyse par spectroscopie d'absorption ultraviolet).

III.6.2.1 Analyse par infrarouge :

La spectroscopie Infra-rouge à transformée de Fourier (ou FTIR : Fourier Transformed Infra Redspectroscopy), elle est basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par le matériau analysé qui permet de faire l'analyse fonctionnelle d'une molécule c'est-à-dire de décrire précisément l'ensemble des groupes chimiques qui la constitue. [80] Il est constitué de quatre éléments fondamentaux : la source infrarouge, un interféromètre, un détecteur et l'électronique de calcul (figure III.8)

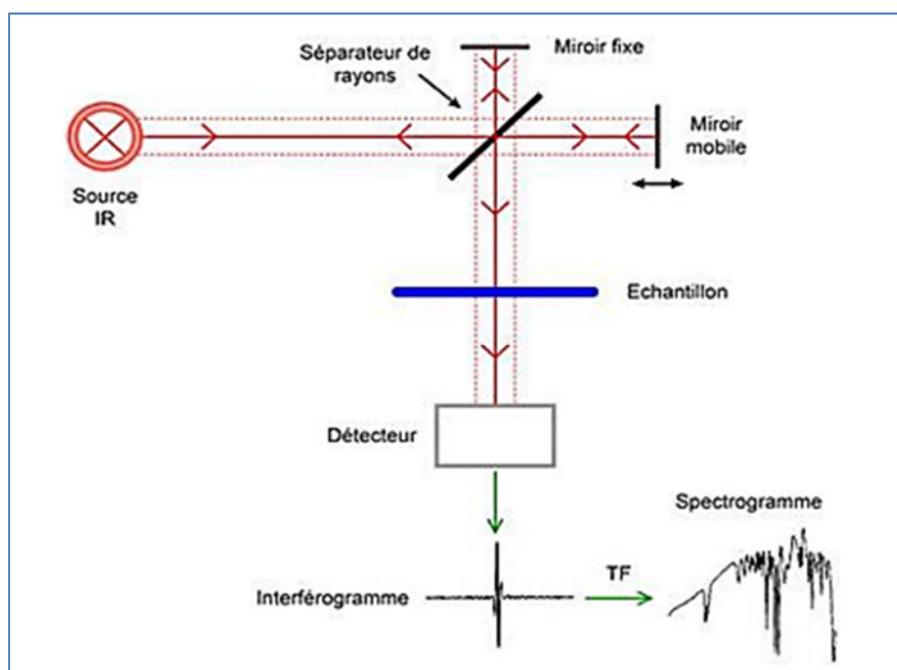


Figure III.8: Schéma de principe de l'analyse par spectroscopie IR-FT

Le schéma de principe illustré dans la figure III.8. Le rayonnement émis par la source reçoit le faisceau (rayonnement IR) est focalisé sur l'interféromètre puis arrive à la séparatrice qui le divise en deux parties égales, l'une orientée sur le miroir fixe et l'autre sur le miroir mobile.

Les deux faisceaux se recombinaient sur la séparatrice et passent par la suite vers l'échantillon, où les absorptions interviennent avant d'atteindre le détecteur.

Le faisceau arrive ensuite sur le détecteur pour être transformé en signal électrique. L'interférogramme est ensuite converti en un spectre infrarouge par une opération mathématique appelée transformée de Fourier.



Figure III.9 : Photo de l'appareil infrarouge

Cette analyse est réalisée par un spectroscope infrarouge à transformée de Fourier du type IRAffinity-1 accompagné du logiciel de traitement de données IRsolution, disponible au niveau du laboratoire de chimie de l'université de Bejaia, qui offre une gamme spectrale de 7800 à 350 cm^{-1} et une résolution maximale de 0,5 cm^{-1} .

III.6.2.2 Analyse par ultraviolet

La spectroscopie d'absorption dans l'UV et le visible est une méthode très commune dans les laboratoires. Elle est basée sur la propriété des molécules à absorber des radiations lumineuses de longueur d'onde déterminée.



Figure III.10: l'appareil d'analyse ultraviolet

1 - DOMAINE SPECTRAL

Le domaine UV-visible s'étend environ de 800 à 10 nm.

- Visible: 800 nm (rouge) - 400 nm (indigo)
- Proche-UV : 400 nm - 200 nm
- UV-lointain : 200 nm - 10 nm.

2 - PRINCIPE

Dans une molécule, les transitions électroniques UV-visibles mettent en jeu les énergies les plus importantes de la chimie (environ de 13000 à 50000 cm^{-1} soit 160 à 665 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$). L'ordre de grandeur des énergies mises en jeu est celui des énergies de liaison des molécules et ces rayonnements peuvent parfois provoquer des ruptures de liaisons. Plus généralement, ils provoquent des transitions électroniques entre les différents niveaux d'énergie des molécules.

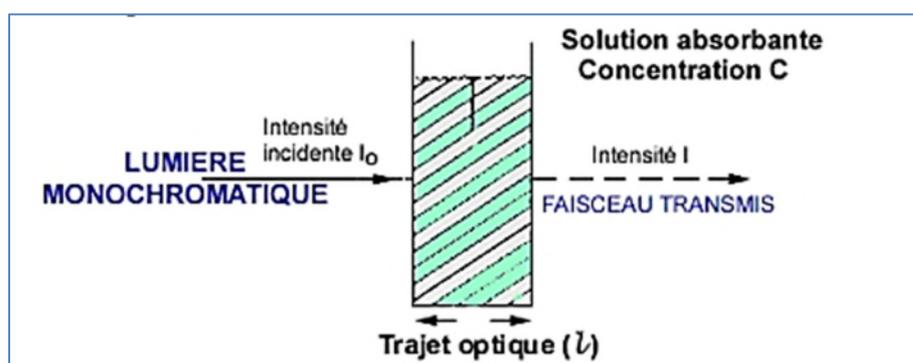


Figure III.11: Schéma de principe de l'analyse par spectroscopie

D'absorptions ultraviolettes

III.7 Conclusion

Cette partie du mémoire décrit la démarche expérimentale entreprise et les matériels que nous avons utilisés durant les expériences, là où nous avons caractérisé, chargement et de faire des mesures. Ainsi nous avons parlé sur la mesure de déclin de potentielles et les différentes méthodes de caractérisation des échantillons par mesure de potentiel de surface et l'analyse physico-chimique des polymères. La fiabilité des résultats repose sur la maîtrise de chaque procédé et technique utilisés.

Le chapitre qui suit est consacrée pour la présentation et l'interprétation des différents résultats obtenus.

CHAPITRE 4

RESULTAT ET INTERPRETATION

IV. 1 Introduction

L'objectif initié dans ce chapitre est qu'est l'investigation sur le dépôt de charge par décharge couronne bipolaire en vue de proposer une autre méthode de caractérisation des échantillons isolants sous forme de films.

On a organisé cette partie : en commençant par une caractérisation du système de chargement, afin d'avoir une idée sur les tensions et les courants de chargement par décharge couronne bipolaire aussi pour fixer par la suite les différents paramètres mis en jeux, telle que : l'écartement (a) des électrodes actives, le temps de chargement, la hauteur. Ces mesures nous permettent de tracer la caractéristique courant-tension sans échantillon et nous permet aussi de bien comprendre les conditions de chargement à la présence d'un échantillon pour illustrer l'influence de ce dernier sur le courant de décharge mesuré sur le plan.

La distribution du potentiel du potentiel de surface en fonction de l'écartement des électrodes active, en fonction du temps de chargement, la comparaison du potentiel de surface dans les deux types de décharges (monopolaire et bipolaire) dans les deux matériaux d'essais, le déclin du potentiel de surface (DPS), ont fait l'objet de ce chapitre.

Les propriétés physico-chimiques sont également une méthode qui nous permet de recueillir des informations sur les matériaux utilisés, des tests Infrarouge et UV-visible. Ont été mis en œuvre à la fin de ce chapitre.

IV. 2 Caractérisation du système de chargement en corona bipolaire

Dans le but de caractériser notre dispositif expérimental et afin d'avoir une idée sur les tensions et courant de chargement par décharge couronne bipolaire et dans différents paramètres entre autres, l'écartement (a) des électrodes actives, le temps de chargement.

En mesurant la tension récoltée aux bornes d'une résistance R de $104K\Omega$ via millivoltmètre reliant le plan à la masse, nous présenterons dans ce qui suit l'aspect des caractéristiques courant-tension avec des graphes comparatifs entre plusieurs cas avec et sans échantillon.

Durant toutes les essais, la hauteur des électrodes actives par rapport à l'échantillon est fixée à $h=50\text{mm}$ et l'écartement entre les électrodes variées de 2 mm à 120 mm .

IV. 2.1 Caractérisation courant-tension sans l'échantillon

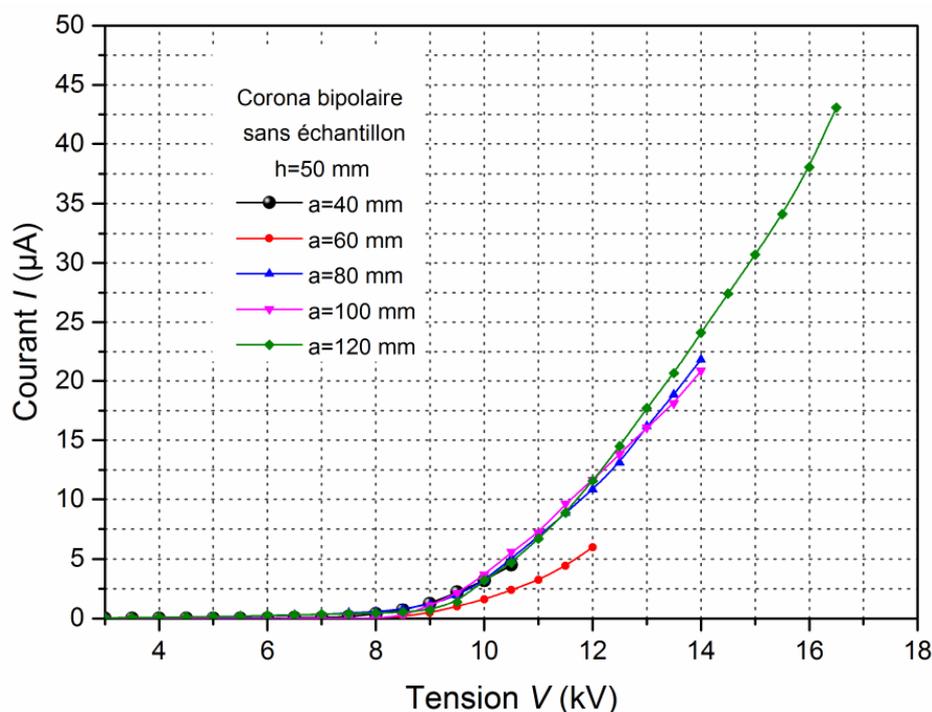


Figure IV. 1: caractéristique courant-tension $I = f(V)$, décharge bipolaire sans échantillon avec variation de l'écartement $a=40-120$ mm, $h=50$ mm, $T=17^{\circ}\text{C}$, $Hr=63\%$, $P_a=101.5$ kPa.

La figure (IV.1) montre l'évaluation du courant de décharge en corona bipolaire sans échantillon et en fonction de l'écartement des électrodes actives, ainsi la variation de l'écartement « a » entre les deux électrodes actives impose un décalage de la tension seuil V_0 , car à chaque fois que l'écartement « a » est réduit, la tension seuil augmente et le courant récolté au niveau du plan est faible cela dit que le courant de décharge est inversement proportionnel à l'écartement « a » des électrodes.

Cela s'explique par la physique de la décharge, la région entre les deux électrodes constituées de charges positives et négatives ainsi la charge d'espace est bipolaire c'est-à-dire que les ions négatifs et positifs transitent d'une électrode à une autre, est le phénomène régissant ces basculements dans ce cas est la recombinaison entre ions et entre ions positifs et électrons sont vraiment considérable.

Toutefois la caractéristique courant-tension pour différentes valeurs d'écartement « a » suit la loi quadratique de Townsend $I = f(V^2)$.

$$I = KV(V - V_0) \quad (\text{IV.1})$$

Où K est une constante qui dépend de la configuration des électrodes, le courant de décharge de la mobilité des porteurs de charge, de la température, de la pression et de l'humidité, V_0 représente la tension seuil de l'effet couronne.

IV. 2.2 Caractérisation courant-tension en présence d'un échantillon

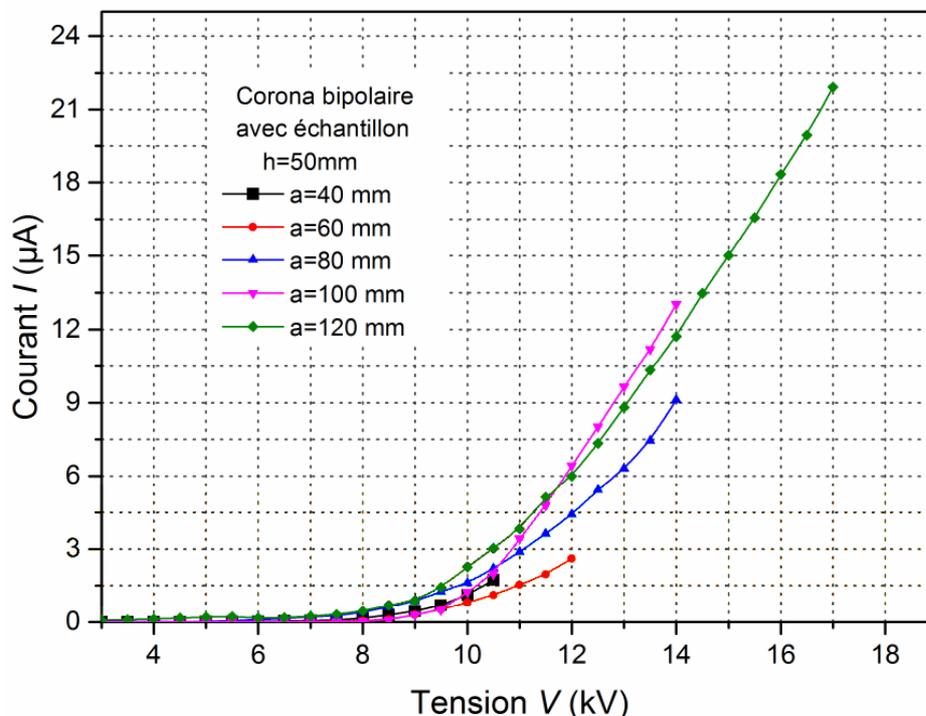


Figure IV. 2 : caractéristique courant-tension $I = f(V)$, décharge bipolaire avec échantillon avec variation de l'écartement $a=40-120$ mm, $h=50$ mm, $T=17^{\circ}\text{C}$, $H_r=63\%$, $P_a=101.5$ kPa.

Figure IV.2 met en évidence l'influence de l'échantillon sur le courant de décharge mesuré sur le plan, nous avons remarqué que le courant récolte au niveau du plan est diminué de moitié, approximativement de 50% en présence de l'échantillon par rapport à la mesure sans échantillon, ce résultat met en évidence les charges déposées sur l'échantillon et celles qui dérivent sur le plan, ainsi ils sont évacués directement à la masse. Toute fois la caractéristique courant-tension obtenue en présence de l'échantillon vérifié toujours la loi quadratique de Townsend $I = f(V^2)$, comme il a été précité.

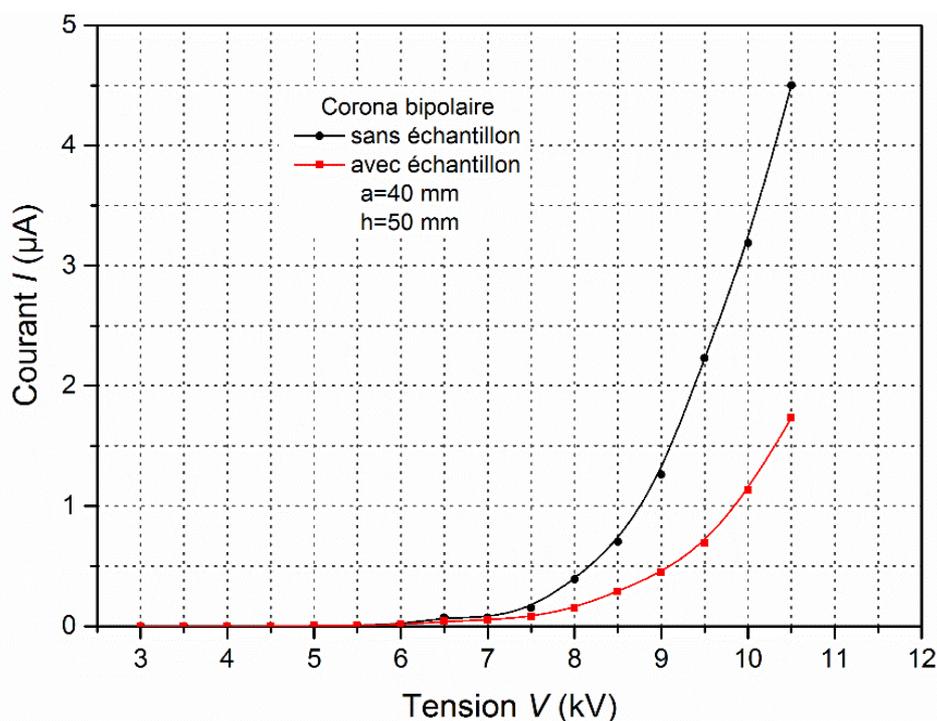


Figure IV.3 : caractéristique courant-tension $I = f(V)$, corona bipolaire avec/sans échantillon un écartement $a=40\text{mm}$, $h=50\text{mm}$, $T=17^\circ\text{C}$, $Hr=63\%$, $Pa=101.5\text{ kPa}$.

La Figure (IV.3), résume les phénomènes observés ci-dessus, la présence de l'échantillon sur le plan qu'est mis à la terre vérifie toujours la loi quadratique de Townsend $I = f(V^2)$, ainsi ça répond à notre besoins, où les charges produites sont déposées sur l'échantillon, les mesures du potentiel de surface résultants sur ces derniers nous permet d'effectuer notre investigation avec moins d'erreur de mesure, c'est-à-dire, le système de chargement est fiable pour effectuer un chargement et des mesures du potentiel.

IV.3 Distribution du potentiel de surface sur des films en PVC

IV.3.1 Evolution du potentiel de surface en fonction du temps de chargement avec un écartement fixe.

Dans l'objectif d'évaluer le potentiel de surface et d'en déterminer les profils des potentiels résultats dans le cas d'un dépôt de charge par corona bipolaire on a fixé l'écartement « a » et on a varié le temps de chargement « t » de 10s à 110s avec un pas de 20s, désormais la hauteur « h » est inchangé durant tous les essais.

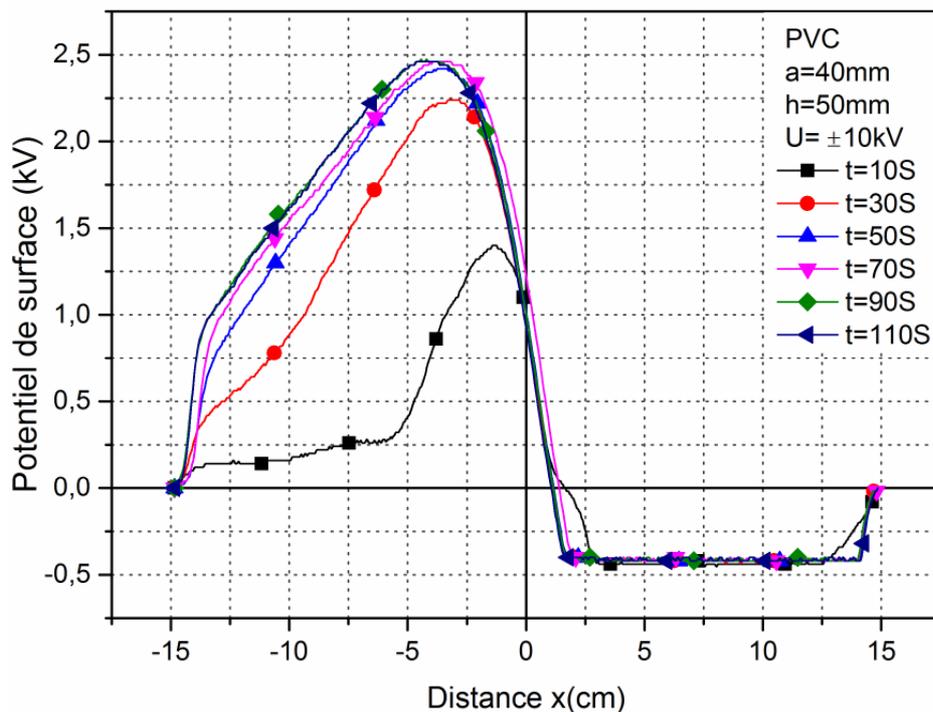


Figure IV. 4 Evolution du potentiel de surface en fonction du temps de chargement échantillon PVC, corona bipolaire, a=40mm, h=50mm.U=±10 kV

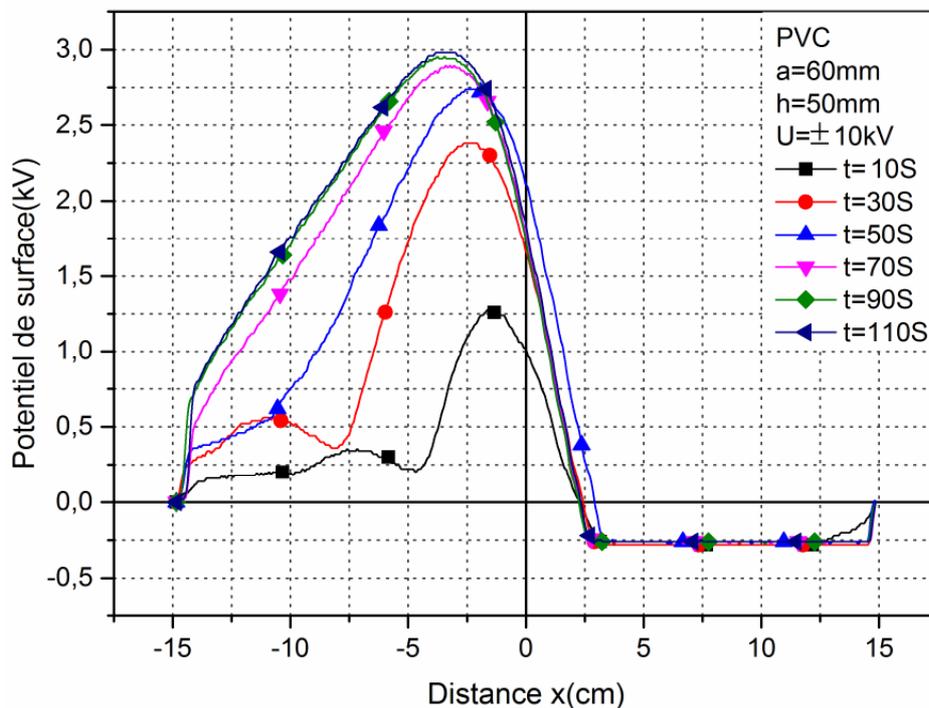


Figure IV. 5 Evolution du potentiel de surface en fonction du temps de chargement échantillon PVC, corona bipolaire, a=60mm, h=50mm.U=±10 kV.

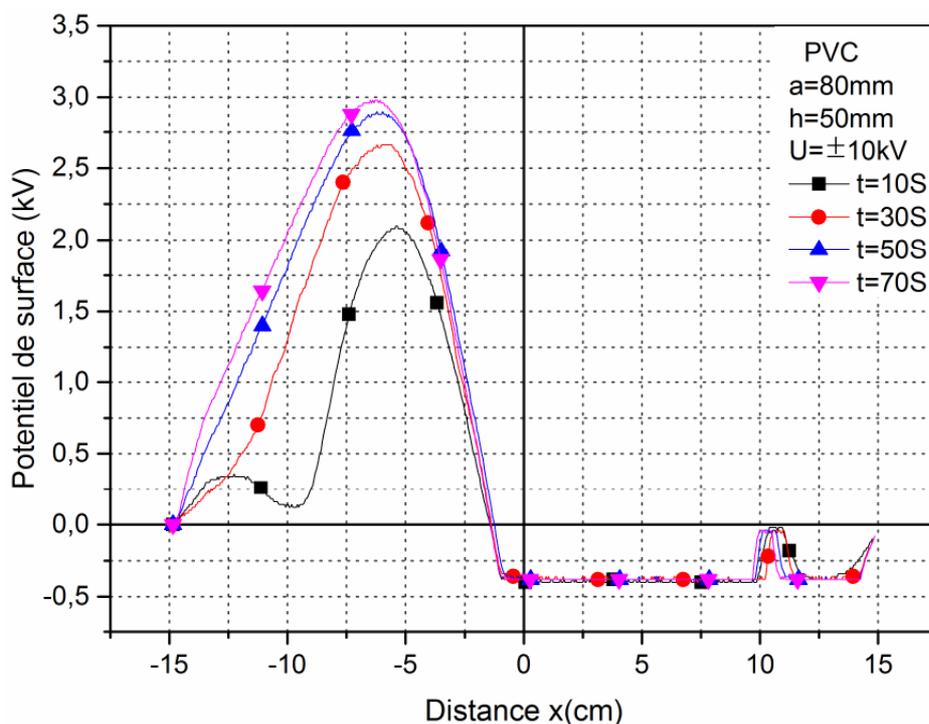


Figure IV. 6 Evolution du potentiel de surface en fonction du temps de chargement échantillon PVC, corona bipolaire, a=80mm, h=50mm.U=±10 kV.

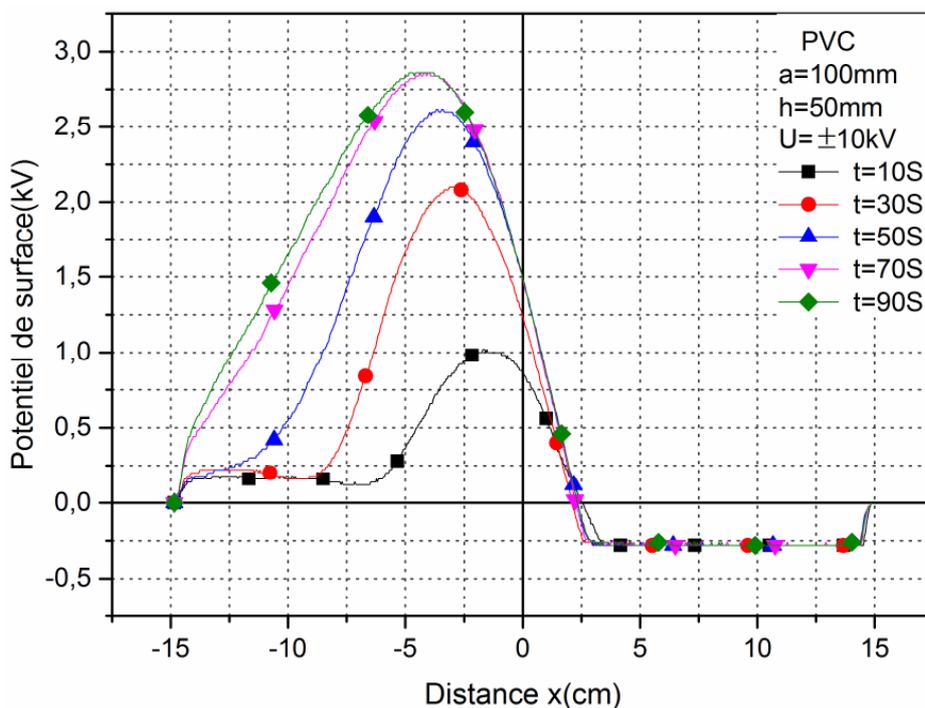


Figure IV. 7 Evolution du potentiel de surface en fonction du temps de chargement échantillon PVC, corona bipolaire, a=100mm, h=50mm.U=±10 Kv

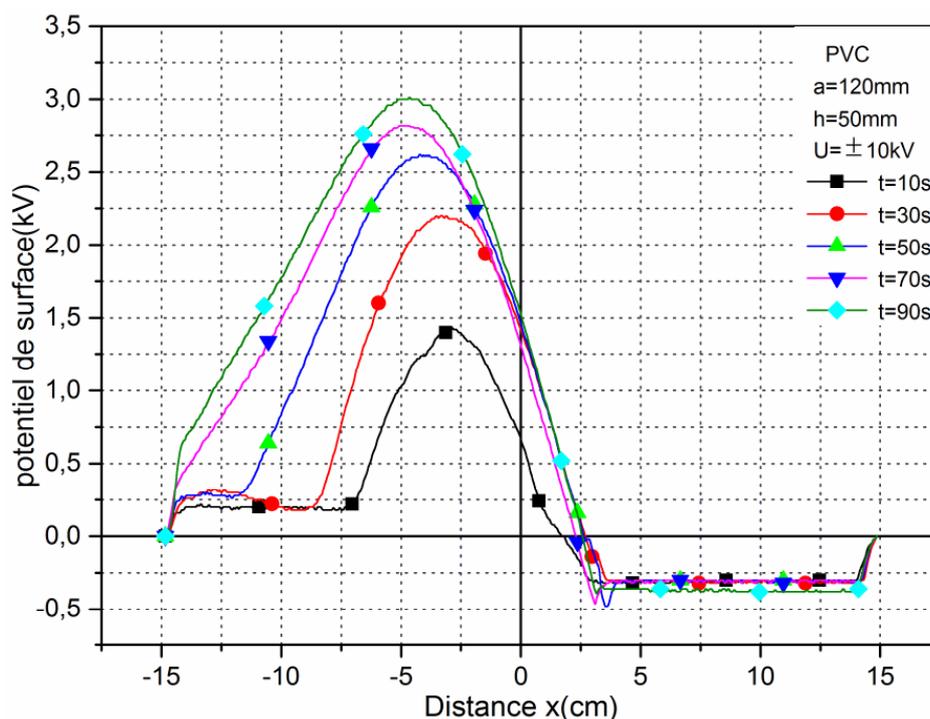


Figure IV. 8 Evolution du potentiel de surface en fonction du temps de chargement échantillon PVC, corona bipolaire, $a=120\text{mm}$, $h=50\text{mm}$. $U=\pm 10\text{ kV}$.

Les résultats des figures au-dessus montrent le potentiel et les profils récoltés à la surface des échantillons PVC, mesuré lors du balayage de la sonde à condensateur vibrant.

On remarque que les charges drainées à la surface des échantillons sont à l'image de la décharge couronne bipolaire, selon l'axe (ox) de l'échantillon, le potentiel de surface mesuré est positif du côté de la décharge positive, il est négatif du côté de la décharge négative, toute fois on confirme la domination des charges produite par l'électrode positive à celles produites par l'électrode négative,

Ainsi en délimite l'échantillon en deux zones selon l'axe (ox), la première qu'est de 2,5 à -14.84 cm, le potentiel est positif, le reste de la zone est négatif, aussi ce résultat met en évidence que le niveau du potentiel de surface sur l'échantillon dans la première zone est supérieur à celui de la deuxième zone et cela dans tous les écartements fixés et aussi en fonction du temps de chargement.

Le potentiel de surface augmente en fonction du temps de chargement pour atteindre des valeurs maximales du côté de la décharge positive, tout fois il augmente modestement du

côté de la décharge négatif, voire figure (IV. 8) à un écartement, $a=120\text{mm}$, $t=90\text{s}$, quoi que le potentiel de surface soit constant durant les temps de chargement voire de $t=10\text{s}$ à 70s .

Dans le dépôt de charges par corona bipolaire, le phénomène de migration latérale des charges est prépondérant au niveau de l'échantillon en fonction du temps de chargement les charges ont une direction préférentielle en diagonale de l'échantillon du côté de la décharge positive. Aussi probablement l'injection de charge peut être l'un des phénomènes à considérés, cela la prédominance des électrons produit qui sont plus énergétique pour arriver à s'injecter dans le matériau a des niveaux d'énergies considérable contrairement aux ions.

Un autre phénomène observé qui reflète la corrélation du potentiel de surface à la décharge couronne bipolaire, cela le potentiel de surface s'annule au niveau de l'échantillon, à $x=2.5\text{ cm}$, cette zone est la frontière qui sépare les deux zones de la décharges bipolaire produite, dans cette zone la recombinaison électronique à fait en sorte que les charges produites n'arrivent pas à atteindre l'échantillon.

IV. 3. 2 Distribution de potentiel de surface avec variation de l'écartement et de temps de chargement fixe

On a fixe le temps de chargement à $t=30\text{s}$ et en varie l'écartement des electrodes « a » de 40mm à 120mm , avec un pas de 20mm , on constate que le potentiel de surface mesuré a la surface de l'échantillon en *PVC* varie de manière aléatoire.

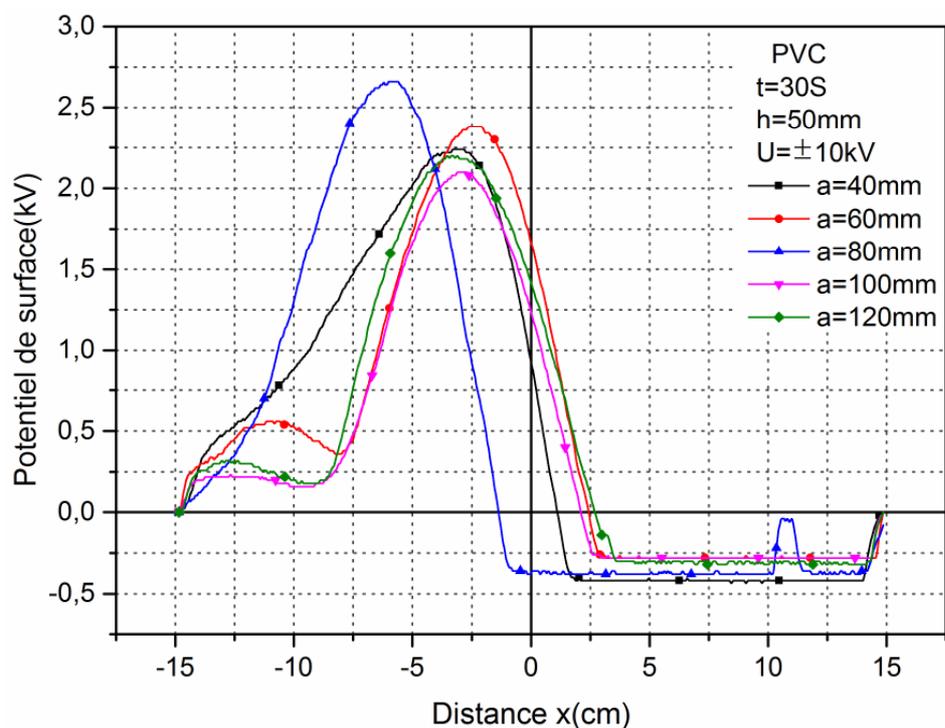


Figure IV. 9 Evolution du potentiel de surface en fonction de l'écartement « a », échantillon PVC, corona bipolaire, h=50mm, U=±10 kV, t= 30s

on constate que le potentiel de surface mesuré à la surface de l'échantillon en PVC varie de manière aléatoire. la figure Figure (IV. 9), montre qu'à l'écartement a=80mm est la position idéale qui nous permet de récolte le niveau le plus élevé du potentiel de surface, V=2.3 kV, pour t=30s, entre autres le potentiel mesuré le long de la distance (ox) du côté de la décharge négative est significative.

Contrairement au résultat trouver, en fonction du temps de chargement avec un écartement fixe, ou la migration latérale des charges ont une direction préférentielle du côté de la décharge positive, voire les figures (IV. 4 à IV. 8), dans ce cas la migration latérale des charges a deux directions préférentielles, du côté positive et négative de la décharge.

Cependant, la nature du matériau est aussi importante dans la distribution du potentiel de surface, car il peut présenter avant même le dépôt de charge un potentiel de surface initial, ce dernier peut augmenter au diminuer le potentiel.

IV. 4 Distribution de potentiel de surface sur des films de PLA

IV. 4. 1 Distribution de potentiel de surface en fonction du temps de chargement avec un écartement fixe $a = 40\text{mm}$

L'échantillon est chargé par le système d'électrode bipolaire avec une tension de $U = \pm 10\text{kV}$, à des temps de chargement entre 10s à 110s avec un pas de 20s. Compte tenu des dimensions de l'échantillon du (PLA), diamètre=10 cm, on a fixé l'écartement à 40mm.

L'évolution des profils du potentiel de surface en fonction du temps, sont représentés dans la figure au-dessus.

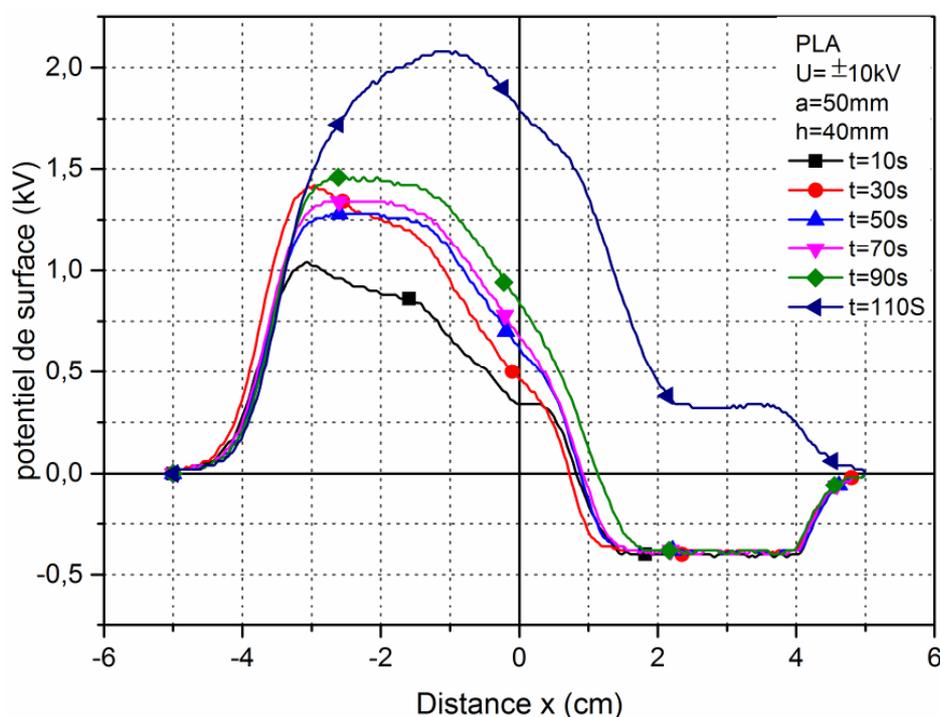


Figure IV. 10 Evolution du potentiel de surface en fonction du temps de chargement échantillon PVC, corona bipolaire, $a=40\text{mm}$, $h=50\text{mm}$, $U=\pm 10\text{ kV}$.

Le résultat de la figure (IV. 10) et dans les cinq premiers temps de chargement de $t=10\text{s}$ à $t=90\text{s}$, à une position de $x = -5\text{cm}$ à $1,5\text{cm}$, montre l'effet du temps de chargement sur le potentiel de surface sur un échantillon en (PLA) est similaire à ceux trouvés au niveau des échantillons du (PVC), voire les figure (IV. 4 à IV. 8), par contre l'allure du potentiel de surface mesuré à $t=110\text{s}$, est différente où l'écart est très grand par rapport au cinq premiers temps de chargement, on observe que dans les deux zones déjà définies, le potentiel de surface est positif le long de l'axe (ox) de l'échantillon. Le mécanisme responsable de cette variation brusque du potentiel de surface est expliqué par un la remontée du potentiel de

surface sur l'échantillon, à $t=110s$, le matériau isolant qui est le (PLA), il présente une forte charge d'espace interne répartie fortement près de sa surface libre, lors du dépôt de charges, ces charges interne sont neutralisées, ce phénomène leurs a permis de remonte à la surface, ainsi le potentiel résultant est positif dans cette zone.

IV. 4 Comparaison entre les deux distributions de potentiel sur les deux films PVC et PLA

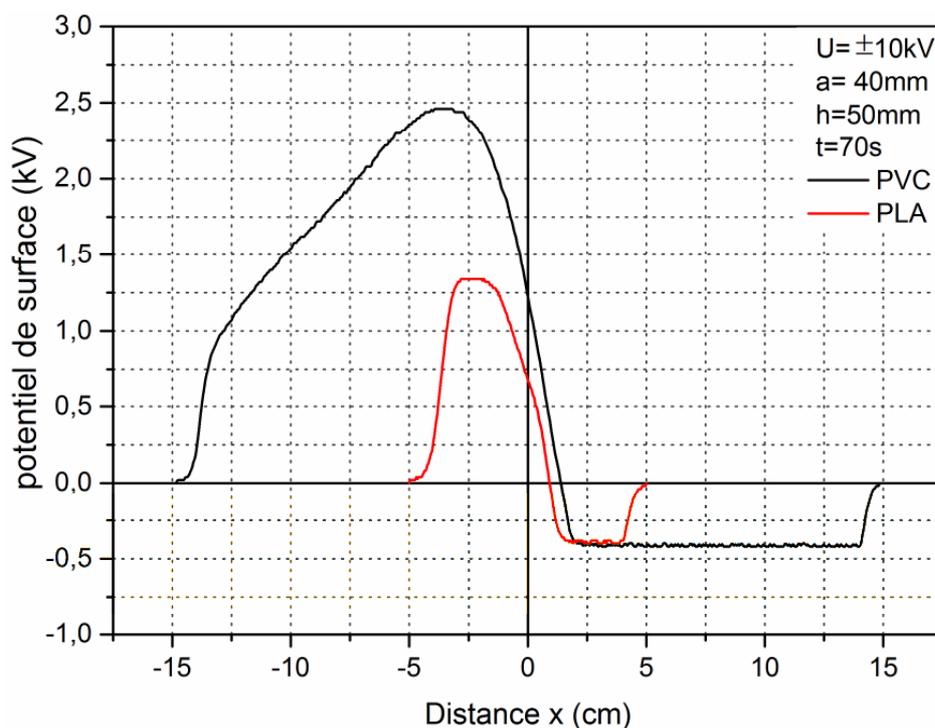


Figure IV. 11 : comparaison entre le potentiel de surface sur les échantillons PVC-PLA Et en fonction des dimension des échantillons.

La comparaison entre les deux profils du potentiel de surface obtenus sur les échantillons d'essais (PVC, PLA), après le chargement par la décharge couronne bipolaire, la figure au-dessus illustre que le potentiel de surface mesuré sur l'échantillon en PVC est plus élevé par rapport au potentiel surface mesuré au niveau de l'échantillon en PLA. Quoique les dimensions de l'échantillons sont à considérer.

Une diminution de 47% du potentiel de surface du (PLA) par rapport au potentiel de surface du (PVC) $V_{PVC} = 47\% V_{PLA}$ dans ce type de décharge les deux potentiels de surface sont asymétrique par rapport au centre des électrodes active. Aussi le potentiel de surface dans la deuxième zone ou gouverne la décharge négative, une variation de 4.76%

est enregistrée $VPVC = 4.76\% V_{PLA}$. Ce qui nous permet de dire que la distribution du potentiel de surface positive est prépondérante.

Durant tous nos essais sur les deux échantillons nous assistant à un comportement d'un condensateur polarisé par un champ électrique généré par une décharge couronne bipolaire, ou les charge positive sont stockée d'un côté et négative de l'autre, nous pouvons exprimer le comportement de ces échantillons : $Q = C (Vx - Vy)$, ainsi la différence de potentiel de surface est comme suite : $U = Vx - Vy$.

D'autres travaux sont vraiment nécessaires pour arriver à quantifier tous les quantités de charge et afin de déterminer toutes les équations régissant ces phénomènes dans le cas d'une application d'une décharge couronne bipolaire sur des films polymères en vue de trouver une application industrielle.

IV. 5 Comparaison entre le dépôt de décharge en corona bipolaire et monopolaire applique au PVC

Cette partie nous renseigne sur les phénomènes de dépôt de charge dans les deux types de décharge couronne ainsi en à déterminer les profils de base, les figures (IV. 12 et IV. 13) mettent en évidence ces différences.

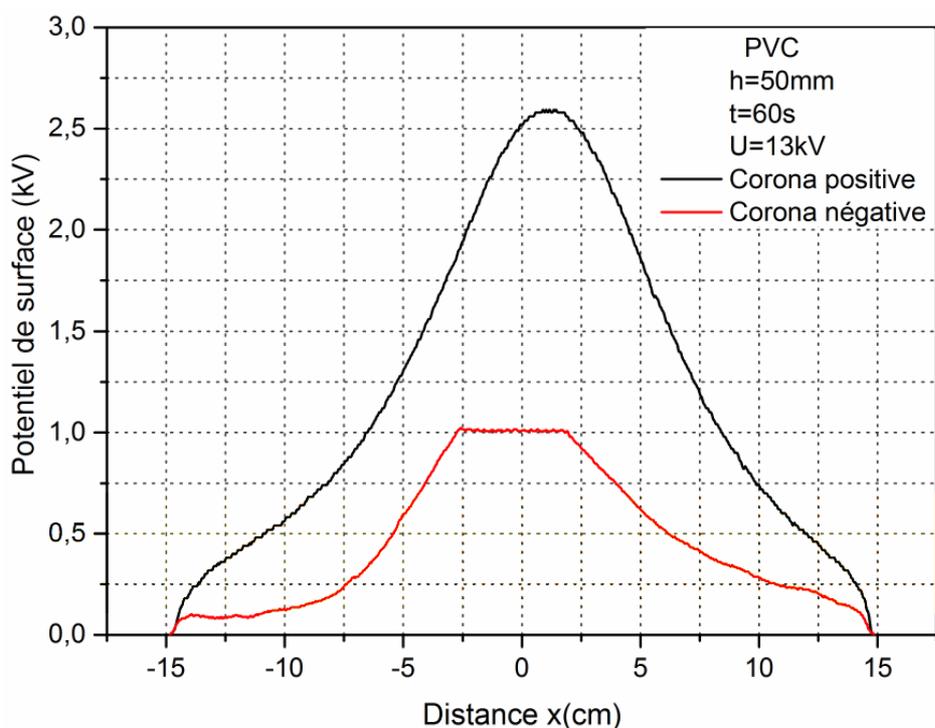


Figure IV. 12 Evolution du potentiel de surface pour un échantillon en PVC

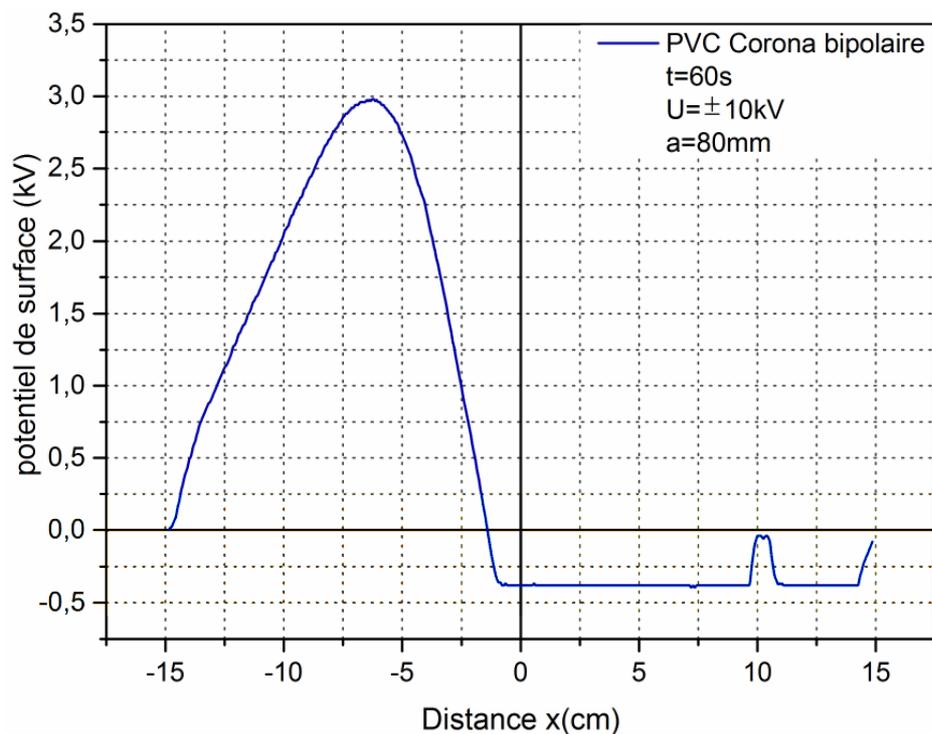


Figure IV. 13 Evolution du potentiel de surface pour un échantillon en PVC

Dans le dépôt de charge par décharge couronne monopolaire positive ou négative, comme le montre la figure (IV.12), on constate que la distribution du potentiel de surface est symétrique par rapport à la position de l'électrode active, au centre de l'échantillon de films en PVC. Contrairement au dépôt de charge par décharge couronne bipolaire, le potentiel de surface est asymétrique.

Les niveaux des potentiels de surface en corona bipolaire sont d'autant plus supérieurs, cela s'explique par les niveaux de tension fixée au niveau de la haute tension de chargement ± 10 kV donc une tension de 20kV au niveau des deux électrodes.

IV. 6 Mesure de déclin de potentiel de surface des films polymères

IV. 6. 1 Mesure de déclin de potentiel de surface des films en PVC

La figure au-dessus montre l'évaluation du déclin de la charge au niveau des échantillons PVC, après dépôt de charges par décharge couronne monopolaire, pour un seul niveau de tension.

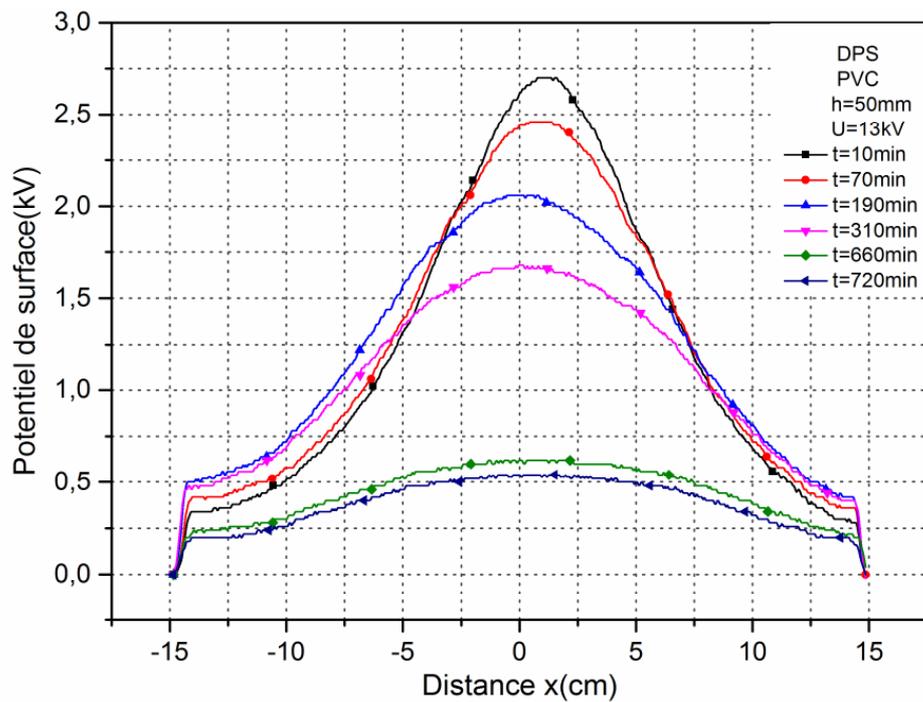


Figure IV. 14 Evolution de potentiel de surface en fonction de temps sur le PVC chargé avec une corona monopolaire $t=60s, h=50mm, U=13kV$.

On remarque que le matériau étudié (PVC) a tendance à garder les charges le plus longtemps possible, les charges déposées provoquent le phénomène de polarisation dipolaire, par l'orientation des dipôles déjà existant ou par une polarisation inter-faciale par la migration des charges vers les interfaces. Ceci provoque l'apparition d'une charge en surface, ou aussi traverser l'interface et pénétrer dans le volume pour engendrer un phénomène d'injection. Ce dernier mécanisme dépend fortement du champ électrique appliqué ce qu'est notre cas.

Cependant, la rétention des charges dans l'échantillon en PVC est très long, ceci ne fait donc que renforcer l'hypothèse d'une injection de charge comme phénomène prépondérant.

IV. 6. 2 Mesure de déclin de potentiel de surface des films en PLA

Nous avons pu mesurer le déclin par une technique mise au laboratoire de haute tension, avec une caméra fixée sur les valeurs affichées par le voltmètre électrostatique enregistre le déclin du potentiel sur l'échantillon.

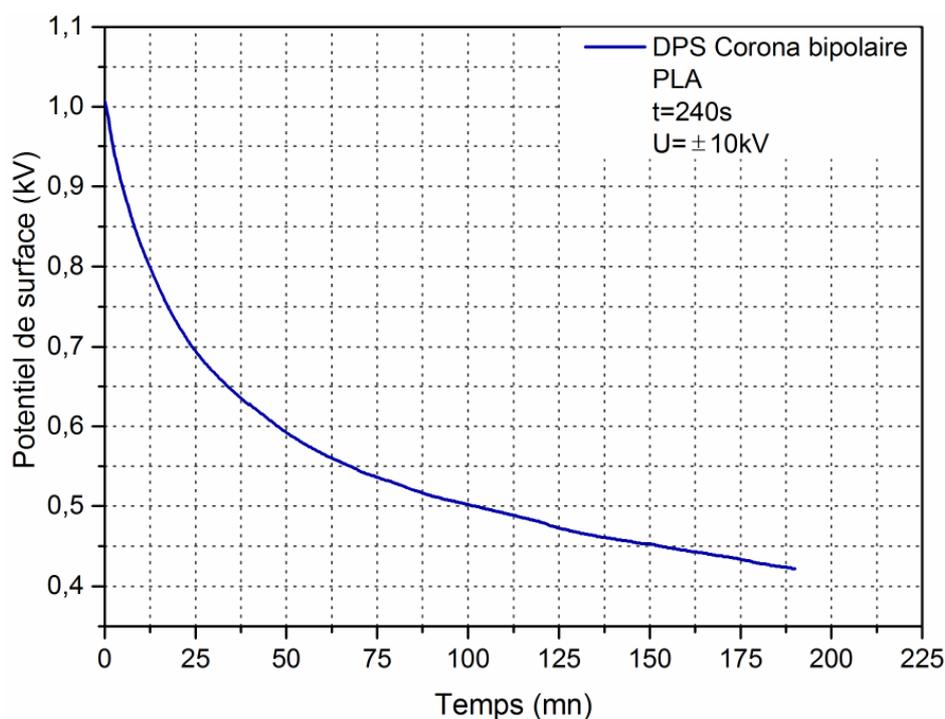


Figure IV. 15 Evolution temporaire du DPS sur l'échantillon en (PLA),

La figure (IV.15) montre l'évolution temporaire du DPS sur le (PLA), pour une seule valeur de tension de chargement $U \pm 10 \text{ kV}$, pour une valeur de température de 19°C à 21°C et une humidité relative de 58%. Le résultat présenté, montre un déclin très rapide particulièrement aux premiers instants. On observe, durant les premiers instants une déclinaison très importante de l'échantillon en PLA. Au bout de 100 mn, la charge est diminuée de 50%. Ceci illustre la nature du matériau. Plusieurs mécanismes peuvent expliquer le déclin de potentiel, la littérature nous apprend que le déclin du potentiel est provoqué essentiellement par trois mécanismes, la neutralisation de charges, la conduction de surface, la polarisation de l'échantillon ou l'injection de charges en volume. [49-51]. Cependant, L'allure de DPS obtenues peut être approchée par une loi exponentielle, ceci suggère donc la supposition d'une conduction surfacique ou une conduction volumique.

IV. 7 Analyse physico-chimique des échantillons d'essais

La surface d'un polymère exposée au contact des espèces actives de la décharge couronne (électrons, ions, atomes excités) sera modifiée par la destruction des liaisons et la création de sites actifs qui peuvent se combiner avec les atomes présents dans le milieu. Quoique les analyses physico-chimiques réalisées soient incomplètes pour expliquer la nature et les groupements chimiques et les liaisons formés d'une manière assez détaillée, les analyses

que nous avons pu réaliser sont les analyses pas infrarouges et par ultra-violet les seules disponibles au niveau du laboratoire de chimie industriel de l'université de Bejaia.

IV. 7. 1 Analyse par Infrarouge

IV. 7. 1. 1 PVC état vierge et chargé

La figure IV.16 montre le spectre IR-TF du PVC avant et après le chargement par décharge couronne pendant $t=240s$, avec une tension $U= \pm 10kV$

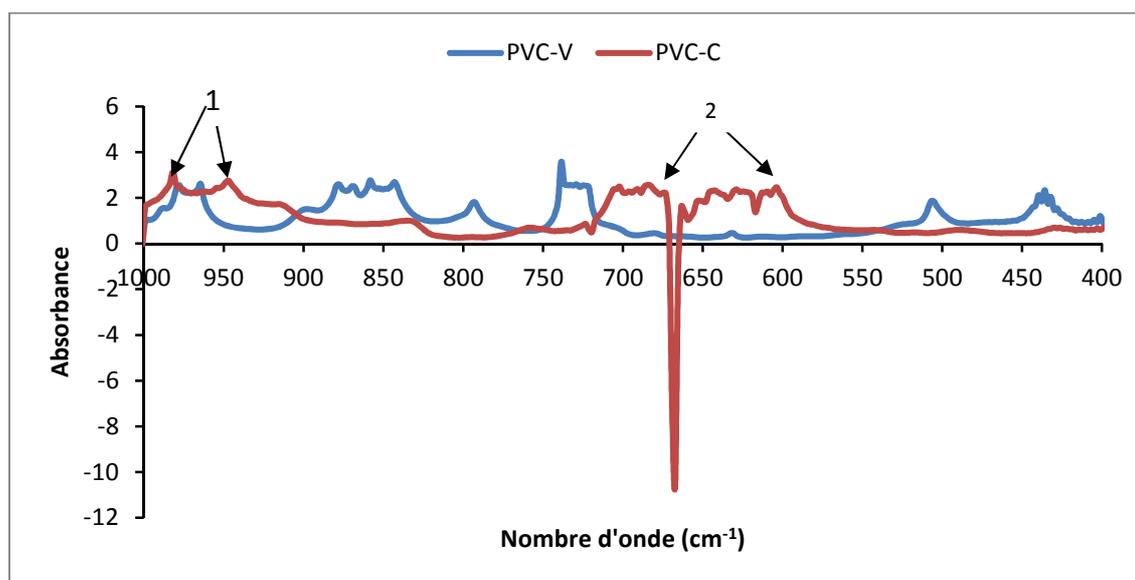


Figure IV. 16 Spectre TFIR du PVC vierge et chargé.

On remarque que l'échantillon a subi des transformations chimiques, à l'apparition ou à la disparition des groupements fonctionnels chimique sous l'effet du champ électrique produit par la décharge couronne bipolaire. Les résultats obtenus après un chargement de 240s montrent que, après le chargement de l'échantillon en PVC en remarque que :

- Des pics centrés à 900 à 995 cm^{-1} correspondent à la région des groupes des Alcènes (1), aussi une série de larges bandes d'absorptions (2), sont attribués aux déformations de la double liaison ($=C-H$).

IV. 7. 1. 2 PLA état vierge et chargé

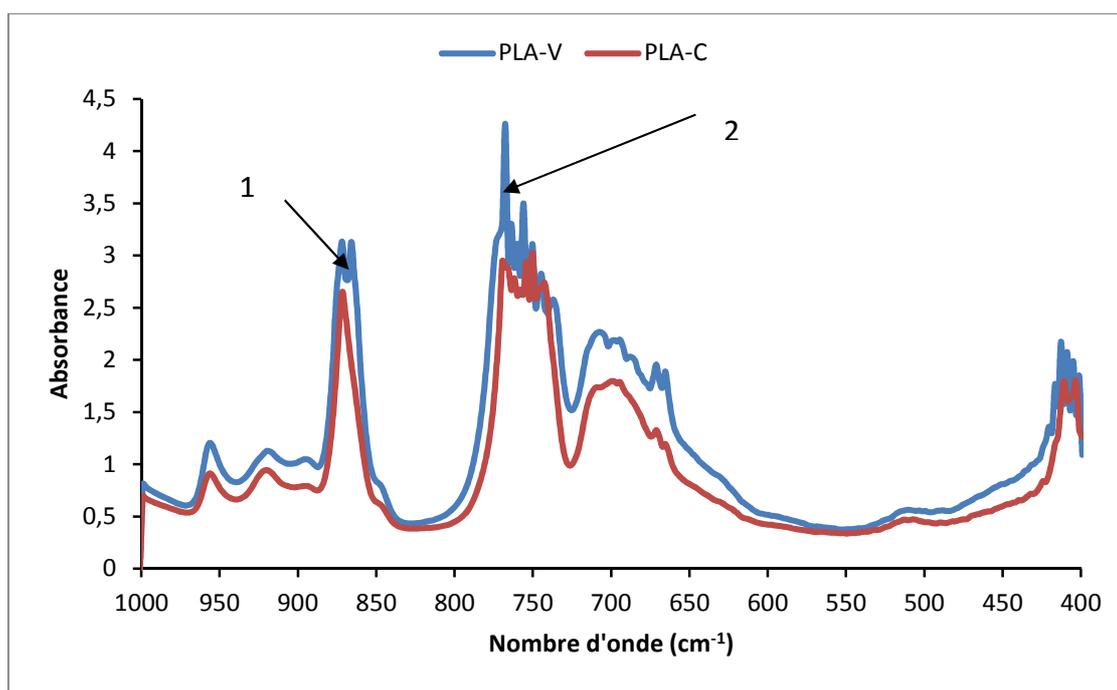


Figure IV. 17 Spectre TFIR du PLA vierge et chargé

V : vierge- C :chargé

Sur les échantillons du PLA la figure IV. 17 montre que, les pics (1) et (2) illustrés sont attribués aux déformations asymétriques et symétriques des groupements $-CH$.

Dans ce cas, d'autres analyses sont à suggérer pour élucider les nouvelles propriétés apparues comme la fonctionnalisation ou la réticulation du matériau après dépôt de charge par corona bipolaire, qui peut être un avantage industriel, voire les propriétés d'hydrophilie, d'hydrophobie ou à l'amélioration du pouvoir adhésif du matériau avec une telle décharge contrairement à la décharge couronne monopolaire déjà utilisée.

IV. 7. 2 Analyse par ultra-violet

IV. 7. 2. 1 PVC état vierge et chargé

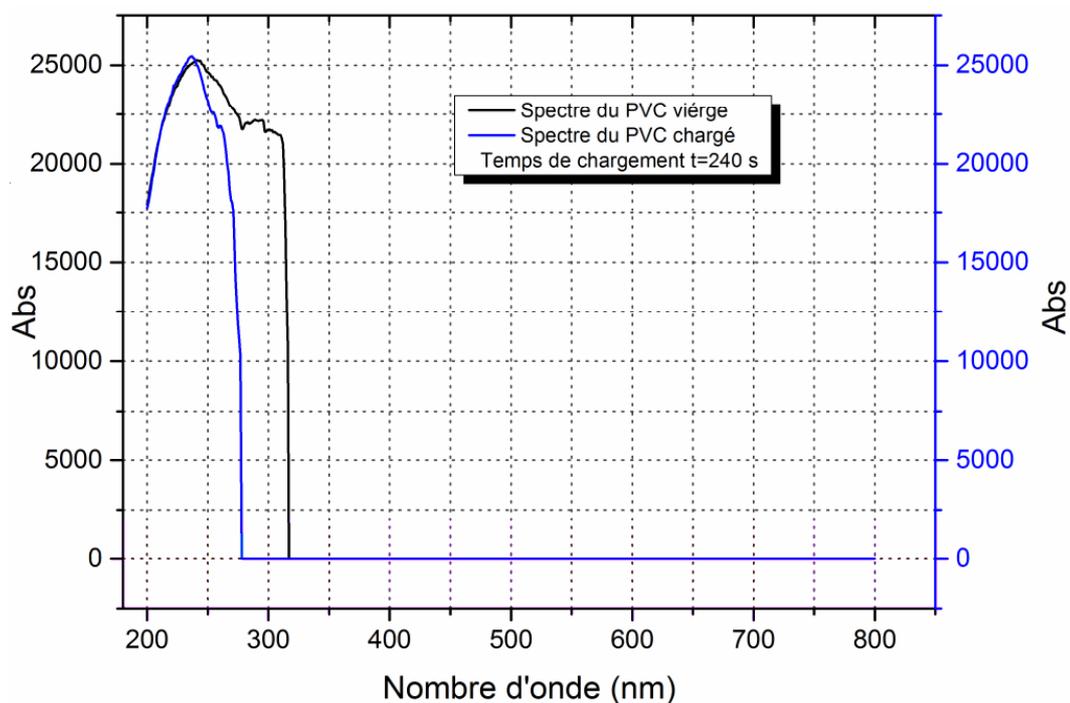


Figure IV. 18 Spectre UV du PCV vierge et chargé

On remarque d'après les spectres UV-visible du PVC enregistré dans le domaine 200-800nm avant et après le chargement, l'apparition d'une bande d'absorbance importante comprise entre 200 et 278nm, dont il apparait un pic d'absorbance de 25750 qui est obtenue à une longueur d'onde de $\lambda_{\max}=278\text{nm}$, en comparant les surfaces des deux spectres vierge et chargé, respectivement il est de $2.63 \cdot 10^6 \text{ molécules/nm}^2$ pour diminuer à $1.69 \cdot 10^6 \text{ molécules/nm}^2$. Ce résultat reflète la perte de masse au niveau de l'échantillon ainsi le vieillissement est la cause principale de ce phénomène.

IV. 7. 2. 2 PLA état vierge et chargé

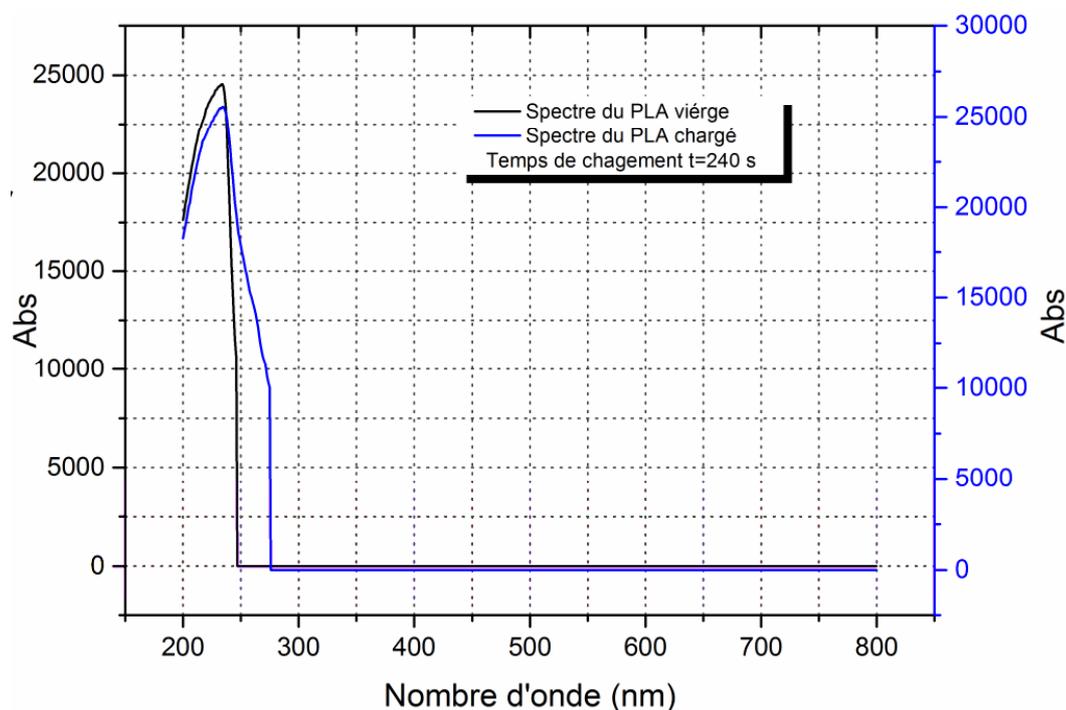


Figure IV. 19 Spectre UV du PLA vierge et chargé

D'après les spectres UV-visible du PLA dans les deux états, avant et après le chargement, on constate que l'absorbance du PLA est importante dans une plage comprise entre 200 et 275nm, qui est confirmé avec l'apparition d'un pic d'absorbance de 25500 dans une longueur d'onde de $\lambda_{\max} = 235\text{nm}$, ce qui confirme que le PLA à une structure dense et ne permet pas le passage de la lumière à travers, indiquant moins de transparence, ceci est également en accord à l'inspection visuelle du film.

Toute fois le temps de chargement qu'est considérable dans le cas d'un film de quelque millimètre d'épaisseur après 240s le matériau est vieillis sous l'effet du champ produit par la décharge couronne bipolaire.

IV. 9 Conclusion

Les essais expérimentaux et les résultats présentés dans ce chapitre après le dépôt de charge électrique sur des films en polymères (PVC, PLA) chargé par décharge couronne bipolaire en géométrie deux 2fils-plan, on a tiré les conclusions suivantes :

Les tracés des caractéristiques courant-tension avec et sans échantillons ont montré qu'elles évoluent toujours selon la loi quadratique de Townsend $I = f(V^2)$, comme il a été précité. Toute fois on a observé que la présence de l'échantillon sur le plan fait diminuer le courant de moitié. L'évolution du potentiel de surface en fonction du temps de chargement échantillon, montre qu'une grande corrélation entre les charges déposées et le monde de chargement effectuer, ainsi on observe la production de trois zones au niveau de l'échantillons, une zone chargée positivement et une autre négativement, celle du milieu entre les deux zone se traduit par un potentiel de surface nul. Quoique le potentiel augmente en fonction du temps de chargement continuellement dans les échantillons en PVC, contrairement à ceux en PLA ou la remonté du potentiel est observé.

La migration de charges est prépondérante, elle se manifeste différemment dans les deux échantillons mesurés et la mesure du déclin du potentiel de surface (DPS), renforce l'hypothèse d'une injection de charge comme phénomène prépondérant, tout ça nous renseigne sur le comportement des polymères et leurs capacités de stocké les charges injectées à leurs niveaux.

Les analyses infrarouges (FTIR) et UV- visible avant et après le chargement des échantillons (PVC, PLA) ont montré la déformation atomique est les pertes de masse au niveau de ces derniers respectivement.

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion générale

Les conclusions ressortis dans notre travail qu'est l'étude du dépôt de charges électriques sur des films polymères chargé par décharge couronne bipolaire, pourrait être formulée comme suit

1. Pour la caractérisation du système de chargement :
 - Les caractéristiques courant-tension avec et sans échantillons, évoluent toujours selon la loi quadratique de Townsend $I = f(V^2)$.
 - la présence de l'échantillon sur le plan fait diminuer le courant de moitié et la variation de l'écartement « a » entre les deux électrodes décale la tension seuil V_0 , à chaque fois que l'écartement « a » est réduit, la tension seuil augmente, le courant de décharge est inversement proportionnel à l'écartement « a » des électrodes.

2. Distribution du potentiel de surface fonction du temps de chargement avec un écartement fixe sur des films en PVC et en PLA.
 - Les charge à la surface des échantillons sont à l'image de la décharge couronne bipolaire, le potentiel de surface mesuré est positif du côté de la décharge positive, il est négatif du côté de la décharge négative.
 - Toute fois on confirme la domination des charges produite par l'électrode positive à celles produites par l'électrode négative.
 - Il existe trois zones de chargement au niveau de l'échantillons, une zone chargée positivement et une autre négativement, celle du milieu entre les deux zone se traduit par un potentiel de surface nul ou la recombinaison est dominante.
 - Le potentiel augmente en fonction du temps de chargement continuellement dans les échantillons en PVC, contrairement à ceux en PLA ou la remonté du potentiel est observé.
 - La migration latérale des charges est prépondérante, les charges ont une direction préférentielle en diagonale de l'échantillon du côté de la décharge positive pour le PVC et négative pour le PLA,

- L'injection de charge peut être l'un des phénomènes à considérés, la prédominance des électrons produit qui sont plus énergétique pour arriver à s'injecter dans le matériau à des niveaux d'énergies considérable contrairement aux ions.
3. *Pour la comparaison entre les deux distributions de potentiel sur les deux films PVC et PLA*
- Le potentiel de surface mesuré sur le PVC est plus élevé par rapport à celui en PLA.
 - Les deux potentiels de surface sont asymétriques par rapport au centre des électrodes actives.
4. *Pour la mesure du déclin de potentiel de surface PVC et PLA*
- La rétention des charges dans le PVC est très long, ceci renforce l'hypothèse d'une injection de charge au volume.
 - Une déclinaison très importante de l'échantillon en PLA durant les premiers instants, la charge est diminuée de 50% au bout de 100 min.
 - Le déclin du potentiel est provoqué essentiellement par la supposition d'une conduction surfacique ou une conduction volumique.
5. *Analyse physico-chimique des échantillons d'essais*
- Pour le spectre FTIR, une déformation de la double liaison (=C-H) au niveau du PVC.
 - Pour le spectre UV du PCV vierge et chargé en comparant les surfaces des deux spectres vierge et chargé, respectivement il est de $2.63 \cdot 10^6$ molécules/nm² pour diminuer à $1.69 \cdot 10^6$ molécules/nm². Ce résultat reflète la perte de masse au niveau de l'échantillon ainsi le vieillissement est la cause principale de ce phénomène. C₃H₄O₂

D'autres travaux sont vraiment nécessaires pour arriver à quantifier tous les quantités de charge et afin de déterminer toutes les équations régissant ces phénomènes dans le cas d'une application d'une décharge couronne bipolaire sur des films polymères en vue de trouver une application industrielle comme la caractérisation des matériaux isolant.

Aussi, d'autres analyse sont à suggérés pour élucider les nouvelles propriétés apparus comme la fonctionnalisation ou la réticulation du matériau après dépôt de charge par corona bipolaire, qui peut être un avantage industriel, voire les propriétés d'hydrophylies,

d'hydrophobie ou à l'amélioration du pouvoir adhésif du matériau avec une telle décharge contrairement à la décharge couronne monopolaire déjà utiliser.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUE

-
- [1] : M. Handala. Mohand-Amokrane « Étude de la décharge de surface sous tension alternative 50 Hz : effet sur une interface isolante air/solide ». Thèse de doctorat d'Etat, UMM T.O, décembre 2007.
- [3] : Stéphan. Eymerie « Etude expérimentale des décharges atmosphériques générées par impulsions nanosecondes : application aux traitements des particules de suie Diesel ». Thèse de doctorat de l'université de Rouen, avril 2003.
- [2] : Julien. Jarrige « Étude expérimentale des décharges électriques impulsionnelles. Application au traitement des effluents gazeux et à la décontamination de surface ». Thèse de doctorat de l'université de Rouen, février 2008.
- [4] : Myriam. Hamel, B.SC.A. « Influence de la variation de la température ambiante sur les vibrations induites par effet de couronne ». Thèse de doctorat de l'Université du Québec à Chicoutimi, 1991.
- [5] : Carl. Potvin « Comportement et effet de la charge d'espace sur les mécanismes des vibrations induites par effet de couronne ». Mémoire d'ingénieur de l'université de Québec, mars 2000.
- [6] : Brahim. Benamar « La faisabilité de l'électrofiltration d'une atmosphère chargée en poussières de bois : étude expérimentale et numérique ». Thèse de doctorat de l'université, Henri Poincaré, Nancy, le 13 novembre 2008.
- [7] : Alyen. Abahazem « Études expérimentales des décharges couronnes pour la dépollution des gaz ». Thèse de doctorat, l'université de Toulouse III – Paul Sabatier Décembre 2009.
- [8] : Claude. Gary « Effet couronne sur les réseaux électriques aériens ». Techniques de l'ingénieur, D 4.
- [9] : A. M. Pointu, J. Perrin, J. Jolly, « Plasmas Froids de Décharge-propriétés électrique ». Techniques de l'ingénieur, Traité de Génie Électrique. pp D 2830-2-15.
- [10] : JL. Delacroix, A. Bers, « Physique des plasmas ». Paris : Inter Editions/CNRS Editions, (1993).
- [11] : C. Tendero, C. Tixier, P. Tristant, J. Desmaison, P. Leprince. « Atmospheric Pressure plasmas : A review ». Spectrochimica Acta. Part B, (2005).
- [12] : C. Marteau, M. Haidara, A. Denat. « Dispositif d'étude des décharges électriques ». Revue de Physique Appliquée. 24, 597-606 (1989).
- [13] : T. Yokoyama, M. Kogoma, T. Moriwaki, S. Okazaki, « The mechanism of the stabilisation of glow plasma at atmospheric pressure ». J. Phys. D: Appl. Phys. 23, Chapitre 6 Références bibliographiques 2010 105 11251128 (1990).
- [14] : A. Ricard. « Plasma Réactifs ». Edition SEV (1995).

-
- [15] : G. V. Naidis « Conditions for inception of positive corona discharges in air ». J. Phys. D : Appl. Phys. 38, 2211-2214 (2005)
- [16] : A Yehia, A Mizuno, K Takashima « On the characteristics of the corona discharge in a wire-ductreactor ». J. Phys. D : Appl. Phys. 33, 2807-2814 (2000).
- [17] : E. M. Van Veldhuizen, W, R, Rutgers. « Inception behaviour of pulsed positive Corona in severalgases ». Journal of Physics. D. Applied Physics. 36, 2692-2696 (2003).
- [18] : A. Fridman, A. Chirokov, A. Gutsol, « Non-thermal atmospheric pressure discharges », J. Phys. D: Appl. Phys. 38, R21– R24 (2005).
- [19] : A. Goldman, M. Goldman. « Les plasmas froids à pression atmosphérique- La décharge couronne ». Les plasmas dans l'industrie. (1991).
- [20] : C. Gary « Les propriétés diélectriques de l'air et les très hautes tensions », Édition, Eyrolles, Paris 1984.
- [21] : C. Gary, M. Moreau « Effet couronne en tension alternative », Eyrolles, Paris 1976.
- [22] : J. M. Townsend, 1914, Electricity in gazes, Oxford University Press.
- [23] : M. Moisan et J. Pelletier « Physique des plasmas collisionnels : application aux décharges hautes fréquences ». EDP, sciences 2006.
- [24] : Alexandre. Labergue « Etude de décharges électriques dans l'air pour le développement d'actionneur plasma-application au contrôle de décollements d'écoulement ». Thèse de doctorat de l'université de Poitiers, novembre 2005.
- [25]: H.Reather, 1941 ,« discharge in gaz », Vol. 117, PP. 394-524. Zeit, Phys, «A Measurement of Direct Photon».
- [26]: L.B. Loeb, 1939, J. Appl. Phys, « Positive Coaxial Cylindrical Corona Discharges i n Pure N₂, O₂, and Mixtures Thereof » Vol. 10, P. 142.
- [27]: L.B. Loeb, 1948, « Ionizing Radiations Existed in a Positive Burst Pulse Corona in Hydrogen» Rev. Mod. Phys, Vol. 20, P. 152.
- [28]: J.M. Meek, 1940, “A theory of spark discharge” Phys. Rev, Vol. 57, PP. 722-728.
- [29] : E. Badareu, « décharges électriques dans les gaz » I. Popescu, 1965, « Gaz ionises *décharges électriques dans les gaz* », Dunod, Paris. [30] : Nicolas DUBUS « Contribution à l'étude thermique d'un réacteur à décharge à barrière diélectrique ». Thèse de doctorat de l'université de Poitiers, novembre 2009.
- [31] : Rafael Diez Medina « Alimentation de puissance d'une lampe exciplexe à décharge à barrière diélectrique, en vue du contrôle du rayonnement ». Thèse de doctorat de l'université Toulouse, octobre 2008.

-
- [32] : 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.
- [33] : J.J. LOWKE and R. MORROW, "Theory of Electric Corona Including the Role of Plasma Chemistry", *Pure & Appl. Chem.* 66 (6), 1287-1294 (1994).
- [34] : K. YANALLAH, "Etude Expérimentale et par Modélisation 1D et 2D de la Production de L'ozonedans une Décharge Electrique Couronne Négative et son Absorption par les Parois", Thèse de Doctorat, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, (2010).
- [35] : J.D. COBINE, "Gaseous Conductors : Theory and Engineering Applications", Dover Publications, New York (1958).
- [36] : H.J. WHITE, "Industrial Electrostatic Precipitation", Addison wesley Publishing Company, Inc, (1963)
- [37] : Y.P. RAIZER, "Gas discharge physics", Springer, New York (1997)
- [38] : C. KENTY, "Photoelectronic Yields in the Externe Ultraviolet", *Physical Review* 44 (11), 891-897(1933).
- [39] : G.W. TRICHEL, "the Mechanism of the Negative Point to Plane Corona near Onset", *Physical Review* 54, 1078-1084, (1938).
- [40] : Z. M. Al-Hamouz, 1994, Ph.D. Thèses, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran- Saudi Arabia.
- [41] : E. Kuffel, W. S. Zaengl, 1984, *High-Voltage Engineering : Fundamentals*, Pergamon Press, New York, pp. 366.
- [42] : G. Le Roy, C. Gary, B. Hutzler, J. Lalot et C. Dubanton, 1984, *Les propriétés diélectriques de l'air et les très hautes tensions*, Edition Eyrolles.
- [43] R. Goffaux, R. Coelho, "Considérations sur l'effet Maxwell-Wagner", *Revue Générale de l'Electricité*. Vol. 78, pp. 619-624, 1969
- [44] R. Coelho, L. Levy, D. Sarrail, "On the natural decay of corona charged Teflon sheet", *IEEE. IAS.* 84 :36C, pp. 1033-1037, 1984.
- [45] R. Coelho, L. Levy, D. Sarrail, "Charge decay measurement and injection in insulators", *J. Phys. D : Appl. Phys.* Vol., 22, pp. 1406-1409, 1989.
- [46] H. Von Berlepsch, "Interpretation of surface potential Kinetics in HDPE by a trapping model", *J. Phys. D : Appl. Phys.* Vol. 18, pp. 1155-1170, 1985.
- [47] J. Lowell, "surface conduction and absorption currents in polymers", *J. Phys. D : Appl. Phys.* Vol. 15, pp. 109-117, 1982

-
- [48] A. Crisci, B. Gosse, J-P. Gosse, V. Ollier-Duréault, “surface potentiel decay due to surface conduction”, EUR. Phys. J. Appl. Phys. Vol. 4, pp.107-116, 1998
- [49] P. Liovera, étude des mécanismes d’injection de charges dans les matériaux isolants au moyen de mesures électrostatiques de déclin et retour de potentiel. Nouveaux outils d’analyse, Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Paris-Sud, UFR Scientifique d’Orsay et Université Polytechnique de Valencia, No d’ordre 6823, (2002).
- [50] P. Molinie, « Etude de la neutralisation de la charge électrique déposée par effet couronne à la surface d’un isolant. Application au suivi des premiers stades de vieillissement d’un isolateur époxyde », Thèse de Doctorat, Université Paris VI, (1992).
- [51] P. Molinie, P. Liovera, » mise en œuvre et interprétation des mesures de potentiel de surface », Proc. 2Ème Conf. Société Française d’électrostatique, Montpellier, (2000), pp. 90-95.
- [52] : D. Dubois « réalisation et caractérisation d’un réacteur plasma de laboratoire pour les études sur la pollution des gaz d’échappement ». Mémoire master, physique, le 22juin2011.
- [53] : Rice, R.G, Ozone Reference guide. Electric Power Research Institute, St. Louis, MO (1996).
- [54] : F. Hegeler, H. Akizawa, « Ozone Génération by Positive and Negative Wire-to-Plate Streamer Discharges », J. Appl. Phys. Vol. 36, part1, No.8, pp. 5335, August 1997.
- [55] : KHALIJ M., – Caractérisation et modélisation de l’efficacité de filtration d’un électrofiltre de type Cottrell – Thèse de l’université Henri Poincaré, Nancy, 2001.
- [56] : Dascalescu L., "Numerical analysis of the Electric Field of roll type electrostatic separators", J. of electrostatics, 29, (1993), pp.255-267.
- [57] : D. L. Myers, B. D. Arnold, « Electret Media For HVAC Filtration Applications », Nonwoven Fabrics Research and Development, pp.43-54, 2003.
- [58] : F. Micheron, « Electrets », Techniques de l’ingénieur, E1893, pp.1-12.
- [59] : K. C. Kao, « Dielectric phenomena in solids », Elsevier Academic Press, ISBN : 0-12-396561-6, 2004.
- [60] : Z. Xu, L. Zhang, G. Chen, « Decay of electric charge on corona charged polyethylene », Journal Of Physics D : Applied Physics. Vol.40, pp.7085–7089, 2007.
- [61] : Polini W. et Sorrentino L. ; IBEC, Tokyo, JSAE (2003).

-
- [62] : B. Yahiaoui, M. Megherbi, A. Smaili, A. Antoniu, B. Tabti, L. Dascalescu, Distribution of electric potential at the surface of corona-charged polypropylen on woven fabrics after neutralization, IEEE Trans. Ind. Appl. 49 (2013) 1758e1766.
- [63] : Mouatsi. Abdelmalek « Etude de l'effet de l'humidité sur les propriétés électriques de la surface d'un polymère ». Thèse de magister de l'université Mentouri de Constantine.
- [64] : D.M. Taylor, « Mesuring technique for électrostatics », Jornal of Electrostatics VOL.51-52, PP. 502-508,2011.
- [65] : W.E. Vosteen, « A Review of Current Electrostatic Mesurment Technique and thier Limitations », Electrical Overstress Exposition, 24-26 Avril 1984, San Jose California.
- [66] : M. Brière, J.Weill, « L'électromètre à Condensateur vibrant », Le Journal de physique et le radium, Tom 16, pp. 695-703, 1955.
- [67] : A.Fritsch, « Potentiomètre à lame vibrante pour la mesure et l'enregistrement des potentiel de surface de couche mono moléculaires », Le Journal de Physique et le radium, Physique Appliquée, Tome 22, pp.183-185,1961.
- [68] : S.Zelmat « Etude des propriétés électrique d'un matériau poly imide à haute température : Application à la passivation des composants de puissance en carbone de silicium »Thèse de doctorat UPS Toulouse 2006 l'IPCMS (Institut de physique et chimie des matériaux de Strasbourg), 2004.
- [69] : J. Faerber, livre, Microscopie électronique à balayage, Microanalyse X par sonde électronique,Rapport de l'IPCMS (Institut de physique et chimie des matériaux de Strasbourg), 2004.