

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

Université Abderrahmane MIRA de Bejaïa

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique



# Mémoire de Fin d'Etudes

En vue d'obtention du diplôme de Master 2 en Electrotechnique

Option : Technique haute tension

## Thème

Paramètres influent sur le dépôt de charge électrique par effet couronne sur une surface d'un diélectrique

**Réalisé par :**

**Mr. KETIR Amar**

**Mr. MAY Bouzid**

**Encadré par :**

**Mr. YAHIAOUI Belkacem**

**Mr. RAHMANI Allaoua**

Année universitaire 2014/2015

## ***Remerciements***

Tout d'abord nous remercions le bon Dieu tout puissant de la bonne santé, la volonté et de la patience qu'il nous a donné tout au long de nos études.

Nous remercions très sincèrement Mr. B. YAHIAOUI et Mr. A. RAHMANI, nos encadreurs de ce travail, pour leurs conseils pertinents, et leurs orientations judicieuses, leur patience et par leurs suggestions a grandement facilité ce travail.

Nous remercions les jurys, Mr. Y. ZEBBOUJ et Mr. A. KASDI, pour l'honneur qu'ils n'ont fait en acceptant de juger notre travail.

Enfin, nous remercions vivement toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

# Sommaire

---

<b>Introduction générale</b> .....	1
------------------------------------	---

## **Chapitre I : Etude théorique de la décharge couronne**

I.1 Introduction.....	3
I.2 Définition de la décharge couronne .....	3
I.3 Différents régimes de la décharge (caractéristique courant-tension).....	4
I.4 Mécanismes de décharge couronne.....	6
I.5 Effet de la polarité sur le processus de développement de la décharge couronne .....	7
I.5.1 Décharge couronne positive.....	8
I.5.1.a Stabilité de phénomène .....	9
I.5.2 Décharge couronne négative.....	9
I.5.2.a) Apparence lumineuse.....	10
I.5.2.b) Stabilité du phénomène .....	10
I.6 Décharge couronne en régime alternatif .....	10
I.7 Facteur influençant la décharge couronne .....	11
I.7.1 Facteur géométriques .....	11
I.7.1.a) Rayon de la courbure .....	11
I.7.1.b) Distance inter-électrodes .....	11
I.7.1.c) La nature des électrodes.....	12
I.7.1.d) La forme d'électrodes .....	13
I.7.1.e) Etat de surface.....	14
I.7.2 Facteurs physico-chimique .....	15
I.7.2.a) La densité de l'air .....	15
I.7.2.b) La température .....	15
I.7.2.c) L'humidité .....	15
I.7.2.d) La pression.....	15
I.7.3 Facteurs électriques.....	16
I.8 Application de la décharge couronne.....	16
I.9 Conclusion .....	17

## **CHAPITRE II : Généralités sur les matériaux diélectriques**

I.1 Introduction :.....	18
II.2 Généralités sur les diélectriques : .....	18
II.2.1 Leur résistivité : .....	19
II.2.2 Leur permittivité.....	20

## Sommaire

---

II.2.3	Leur facteur des pertes diélectriques .....	20
II.2.4	Leur rigidité diélectrique .....	21
II.2.5	Leur résistance à l'arc .....	22
II.2.6	Leur température admissible .....	22
II.3	Matériaux isolants fibreux .....	22
II.3.1	Classification des différents matériaux fibreux .....	22
II.3.2	Techniques de fabrication des médias non tissés .....	23
II.4	Matériaux isolants films .....	24
II.4.1	Méthodes de fabrication des films .....	24
II.5	Les électrets .....	25
II.5.1	Méthodes de formation d'électrets .....	26
II.6	dépôt de charge sur une surface d'un diélectrique.....	27
II.6.1	Méthodes de chargement .....	27
II.6.1.a)	Charge par effet triboélectrique .....	27
II.6.1.b)	Charge par rouleau électrostatique .....	28
II.6.1.c)	Charge par décharge couronne .....	29
II.6.2	Processus de charge dans une configuration triode .....	31
II.6.2.a)	Effet de la position de la grille sur la largeur de dépôt.....	31
II.6.2.b)	Effet de la position de la grille sur l'uniformité de dépôt .....	32
II.7	Conclusion .....	33

### **Chapitre III : Méthodes de mesure de la charge déposée sur la surface d'un diélectrique**

III.1	Introduction .....	34
III.2	Caractérisation d'un électret.....	34
III.2.1	Mesure de courant : .....	34
III.2.2	Mesure du potentiel : .....	35
III.3	Équations de base .....	36
III.4	Méthodes d'évaluation de l'état de charge.....	36
III.4.1	Les mesures indirectes : .....	37
III.4.2	Les mesures directes.....	37
III.5	Mesure de la résistance .....	37
III.4.1	Mesure de la résistivité de surface .....	38
III.4.1.a)	Mesure de la résistivité de surface entre deux électrodes parallèles .....	38
III.4.1.b)	Mesure de la résistivité de surface entre deux électrodes concentriques .....	39
III.4.2	Mesure de la résistivité transversale.....	40

## Sommaire

---

III.5 Méthodes électrostatiques de mesure de charge .....	41
III.5.1 Méthode de compensation.....	41
III.5.2 Méthode à sonde capacitive .....	42
III.5.3 Méthodes de Sonde à induction .....	43
III.5.4 Méthodes de Moulin à champ .....	45
III.5.5 Sonde à condensateur vibrant.....	47
III.6 Conclusion.....	48

### Chapitre VI : Etude expérimental et interprétation des résultats

IV.1 Introduction.....	49
IV.2 Problématique .....	49
IV.3 Matériaux testés .....	50
IV.4 Mode expérimental .....	51
VI.4.1 Poste de charge.....	52
VI.4.2 Poste de mesure.....	53
IV.5 Evaluation de l'état de charge en polarité négative .....	55
IV.5.1 Influence du temps d'exposition sur la charge déposée.....	55
IV.5.1.a) Influence du temps d'exposition sur le déclin de la charge déposée .....	56
IV.5.2 Influence de la tension appliquée $V_a$ sur la charge déposée .....	57
IV.5.2.a) Influence de la tension appliquée $V_a$ sur le déclin de la charge déposée.....	58
IV.5.3 Le déclin du potentiel de surface (DPS) .....	59
IV.6 Evaluation de l'état de charge en polarité positive .....	61
IV.6.1 Influence du temps d'exposition $t_c$ sur la charge déposée .....	61
IV.6.1.a) Influence du temps d'exposition sur le déclin de la charge déposée .....	62
IV.6.2 Influence de la tension appliquée $V_a$ sur la charge déposée .....	63
IV.6.2.b) Influence de la tension appliquée sur le déclin de la charge déposée.....	65
IV.6.3 Le déclin du potentiel de surface (DPS) .....	66
IV.7 Influence de la polarité de la charge sur le niveau de chargement .....	67
IV.7.1 Influence de la polarité sur le déclin de la charge déposée.....	68
IV.8 Conclusion .....	69
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>70</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>71</b>

Figure (I.1) : Différentes configurations de décharge couronne .....	4
Figure (I.2) : Caractéristique courant-tension d'une décharge couronne dans l'air à pression atmosphérique (configuration pointe-plan).....	5
Figure (I.3) : Topologie de la décharge couronne en configuration pointe-plan. ....	7
Figure (I.4) : Descriptif de la décharge couronne positive.....	8
Figure (I.5) : Descriptif de la décharge couronne négative.....	9
Figure (I.6) : Influence de la distance inter-électrodes sur le courant de la décharge couronne .....	12
Figure (I.7) : Caractéristique courant-tension selon la nature des électrodes.....	12
Figure (I.8) : Distribution du champ dans un système pointe-plan.....	14
Figure (I.9) : Distribution du champ dans un système plan-plan.....	14
Figure (I.10) : Schéma d'évolution de la décharge observée en fonction de la pression.....	16
Figure (II.1) : Echelle des résistivités de quelques matériaux .....	19
Figure (II.2) : Circuit équivalent parallèle représentant un diélectrique.....	21
Figure (II.3) : Circuit équivalent série représentant un diélectrique. ....	21
Figure (II.4) : Classification des différentes matières utilisées pour la fabrication des fibres..	23
Figure (II.5) : Procédé de fabrication des films par le procédé centrifugation. ....	25
Figure (II.6) : Mécanismes de génération de charges électriques .....	26
Figure (II.7) : Dispositif de charge par effet triboélectrique.....	28
Figure (II.8) : Principe de charge par rouleau électrostatique.....	28
Figure (II.9) : Principe de formation d'électret par décharge couronne.....	29
Figure (II.10) : Dispositifs à triode de charge par effet couronne.....	30
Figure (II.11) : Décharge couronne dans le système triode de charge.....	31
Figure (II.12) : Effet de la position de la grille sur la largeur de dépôt.....	32
Figure (II.13) : Effet de la position de la grille sur l'uniformité de dépôt. ....	33
Figure (III.1) : Mesure de courant à potentiel fixe.....	35
Figure (III.2) : Caractérisation d'un matériau par le potentiel de surface après dépôt de charge. ....	35
Figure (III.3) : Principe de mesure de la résistivité superficielle selon la norme EN 1149-1..	38
Figure (III.4) : Mesure de la résistivité de surface entre deux électrodes parallèles.....	38
Figure (III.5) : Configuration d'une électrode concentrique.....	39
Figure (III.6) : Principe de mesure de la résistance transversale selon la norme EN 1149-2..	40
Figure (III.7) : Principe de la méthode de compensation.....	42
Figure (III.8) : Principe de la sonde capacitive .....	43
Figure (III.9) : Modèle capacitif de la sonde à induction.....	44
Figure (III.11) : Schéma de principe d'un moulin à champ.....	45
Figure (III.12) : Principe du voltmètre sans contact.....	47
Figure (III.13) : Principe de modulation par variation de capacité.....	47
Figure (IV.1) : Dispositif expérimental.....	50

Figure (IV.2): Dispositif expérimental de dépôt et de mesure de potentiel de surface et son déclin (DPS).....	51
Figure (IV.3) : Photographie de Dispositif expérimental.....	52
Figure (IV.4) : Poste de charge.....	52
Figure (IV.5) : Photographie de l'électrode duale.....	53
Figure (IV.6) : Poste de mesure.....	53
Figure (IV.7) : Photographie du poste de mesure.....	54
Figure (IV.8) : Profils du potentiel de surface avant et après son déclin et le suivi de son déclin sur l'instrument virtuel.....	54
Figure (IV.9) : Les profils du potentiel de surface en fonction du temps d'exposition $t_c$ pour une tension appliquée $V_a$ de 15kV. $t_1 = 2s$ , $t_2 = 10s$ et $t_3 = 30s$ .....	55
Figure (IV.10) : Les profils de déclin du potentiel de surface en fonction du temps d'exposition $t_c$ pour une tension appliquée $V_a$ de 15 kV. $t_1 = 2s$ , $t_2 = 10 s$ et $t_3 = 30 s$ . $t_1$ , $t_2$ et $t_3$ mesuré après 10 s et $t_1'$ , $t_2'$ et $t_3'$ après 10mn du dépôt de charge.....	56
Figure (IV.11) : Les profils du potentiel de surface en fonction de tension appliquée $V_a$ pour un temps d'expositions $t_c= 2 s$ , $V_1 = 13 kV$ , $V_2 = 15 kV$ et $V_3 = 18 kV$ .....	58
Figure (IV.12) : Les profils de déclin du potentiel de surface en fonction de tension appliquée $V_a$ , $t_c=2 s$ .....	59
Figure (IV.13) : Les profils de déclin du potentiel de surface en fonction des tensions appliquée et les durées de dépôt. $V_1 = 13 kV$ pour $t_c= 2 s$ , $V_1'=13 kV$ pour $t_c= 10 s$ et $V_1''=13 kV$ pour $t_c = 30 s$ . $V_2 = 15 kV$ pour $t_c= 2 s$ , $V_2'=15 kV$ pour $t_c= 10 s$ et $V_2''=13 kV$ pour $t_c = 30 s$ . $V_3 = 18 kV$ pour $t_c= 2s$ , $V_3'=18 kV$ pour $t_c= 10 s$ et $V_3''=18 kV$ pour $t_c = 30 s$ .....	60
Figure (IV.14) : Les profils du potentiel de surface en fonction de la durée de dépôt $t_c$ pour une tension appliquée $V_a= 15kV$ . $t_1 = 2s$ , $t_2 = 10s$ et $t_3 = 30s$ .....	62
Figure (IV.15) : Les profils de déclin du potentiel de surface en fonction de la durée de dépôt $t_c$ $V_a= 15 kV$ . Pour $t_1 = 2 s$ , $t_2 = 10 s$ et $t_3 = 30 s$ . $t_1$ , $t_2$ et $t_3$ mesuré après 10 s et $t_1'$ , $t_2'$ et $t_3'$ après 10 mn de dépôt de charge.....	63
Figure (IV.16) : Les profils du potentiel de surface en fonction de la tension appliquée pour une durée de dépôt de 10 s. $V_1 = 13 kV$ , $V_2 = 15 kV$ et $V_3 = 18kV$ .....	64
Figure (IV.17) : Les profils de déclin du potentiel de surface en fonction de tension appliquée $V_a$ à une durée de dépôt de 10 s. Pour $V_1 = 13 kV$ , $V_2 = 15 kV$ et $V_3 = 18kV$ . $V_1$ , $V_2$ et $V_3$ mesuré après 10 s et $V_1'$ , $V_2'$ et $V_3'$ après 10 mn de dépôt de charge.....	65
Figure (V.18) : Les profils de déclin de potentiel de surface pour plusieurs niveaux de tension appliquée, à différentes durée de dépôt. $V_1 = 13 kV$ pour $t_c= 2 s$ , $V_1'=13 kV$ pour $t_c= 10 s$ et $V_1'' =13 kV$ pour $t_c = 30 s$ . $V_2 = 15 kV$ pour $t_c= 2 s$ , $V_2'=15 kV$ pour $t_c= 10 s$ et $V_2''=13 kV$ pour $t_c = 30 s$ . $V_3 = 18 kV$ pour $t_c= 2s$ , $V_3'=18 kV$ pour $t_c= 10 s$ et $V_3''=18 kV$ pour $t_c = 30 s$ .....	66
Figure (IV.19) : Les profils du potentiel de surface en polarité positive et négative. $V_a = 18 kV$ ,.....	67
Figure (IV.20) : Les profils de déclin du potentiel de surface en polarité positive et négative. $V_a = 18 kV$ , $t_c = 30s$ , les lignes continues représente le potentiel juste après le dépôt et les lignes en pointées après dix minutes de dépôt.....	68

Tableau (I.1) : Influence de la nature des électrodes sur la mobilité ionique en tension positive et négative ( $H_R=5\%$ ,  $\varnothing_{fil}=125\mu m$ ) ..... 11

Tableau (IV.1) : Quelques propriétés du polypropylène (PP)..... 50





# ***Introduction générale***

### Introduction générale

L'amélioration de l'efficacité des électrets est une préoccupation majeure de l'industrie. De nombreuses études ont été effectuées pour augmenter le rendement des diélectriques, et la stabilité de ces charges électriques. Dans lesquelles le mécanisme électrostatique de capture en dépend, reste à approfondir. En effet, la charge acquise par les matériaux diélectriques se dissipe.

Notre étude est focalisée sur la formation et l'évaluation de la charge déposée sur la surface du matériau. Son objectif est double:

- évaluer la réponse d'un diélectrique à un dépôt de charges électriques, générées par décharge couronne.
- appréhender les paramètres expérimentaux responsables d'affaiblissement de son état de charge, tout en identifiant les facteurs qui affectent la stabilité de ces électrets.

Pour cela, nous avons adopté une démarche expérimentale. Dans un premier temps, l'étude du processus de génération des charges électriques par décharge couronne, en présence d'un diélectrique, nous a imposé la réalisation d'un système d'électrodes de type « duale ». L'évaluation du comportement du matériau diélectrique à la charge d'espace par la mesure de sa résistivité est insuffisante. En pratique, le diélectrique est non-linéaire et sa surface n'est pas toujours homogène. La migration des charges peut être affectée par la distribution initiale du potentiel. Étant donné que la situation qui nous intéresse correspond au cas d'un diélectrique ayant une surface en contact avec une électrode reliée à la masse affectée par un dépôt de charge électrique, la caractérisation du film par la mesure du potentiel est appropriée. L'intérêt de ce type de mesure est sa simplicité et sa facilité de mise en œuvre.

Le travail présenté dans ce mémoire était orienté vers la mise en œuvre de la technique de mesure de potentiel de surface appliquée aux matériaux isolants, pour l'utiliser à la caractérisation de l'état de charge des films.

Dans le premier chapitre, nous allons parler de la décharge électrique en commençant par la définition de décharge couronne et les différents systèmes qui existent dans l'étude de cette décharge. Ensuite on décrira les étapes de la décharge couronne en parlant des caractéristiques courant-tension et les facteurs influençant la décharge couronne.

Le deuxième chapitre sera consacré à la présentation de l'état des connaissances sur les électrets obtenus à partir des matériaux isolants fibreux et films, et un aperçu particulier sur les méthodes de dépôt de cette charge sur la surface d'un diélectrique.

Et dans le troisième chapitre, nous aborderons les techniques expérimentales de mesures électrostatiques, utilisées pour évaluer ces matériaux.

Au dernier chapitre, une série de mesures du potentiel de surface et le suivi de son déclin (DPS), effectuées sur un échantillon. Les mesures seront présentées et discutées en fonction des conditions de charge par décharge couronne.

# ***CHAPITRE I***

***Etude théorique de la décharge  
couronne***

## I.1 Introduction

A l'état normal de température et de pression, les gaz sont des isolants parfaits. Cependant, si l'on applique un champ électrique suffisamment intense entre deux électrodes mises dans un milieu gazeux, celui-ci devient plus ou moins conducteur et un claquage électrique se produit. Les phénomènes complexes qui se produisent alors portent le nom de décharge électrique dans les gaz.

Les phénomènes de décharge électrique ont fait l'objet de plusieurs études et cela depuis plus d'un siècle. Les premières études décrivant leur évolution et proposant des mécanismes de décharge datent du début de XX<sup>ème</sup> siècle. En effet les premières publications sur l'effet couronne datent de 1915 avec des travaux effectués par F. Peek, qui a établi par des essais expérimentaux une loi empirique exprimant le champ seuil d'apparition de l'effet couronne.

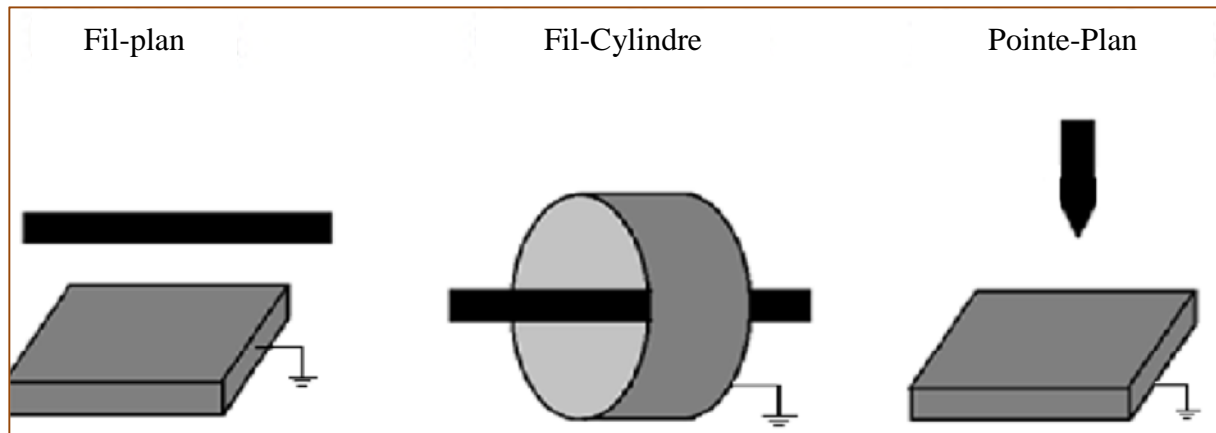
La création des électrons libres par rayonnement cosmique ou par la radioactivité naturelle dans certains nombres d'ions positifs. Lorsque ces électrons sont soumis à l'action d'un champ électrique, ils sont accélérés, et si le champ est assez intense, l'énergie qu'ils acquièrent devient suffisante pour provoquer l'ionisation des molécules neutres qu'ils heurtent (ionisation par choc). Il se crée de nouveaux électrons libres, lesquels, soumis au même champ, vont également ioniser des molécules, et ainsi de suite : le processus prend une allure d'avalanche. Pour que celle-ci puisse se maintenir, il faut qu'elle atteigne une taille critique, et que le champ électrique ait une valeur suffisante [1].

Dans ce chapitre, nous allons présenter dans le cas de décharge couronne le processus physique qui conduit à la production d'espaces réactifs et à leur dispersion, Ces phénomènes qui ont largement été décrits pour des géométries pointe-plan, peuvent être généralisés à la configuration fil-cylindre, fil-plan, pointe-plan...etc.

## I.2 Définition de la décharge couronne

Les décharges couronnes sont caractérisées par une dissymétrie géométrique des électrodes. Les configurations courantes utilisées dans les expériences sont de type fil-plan, fil-cylindre, pointe-plan figure (I.1). Lors de l'application d'une haute tension au niveau de l'électrode ayant le plus faible rayon de courbure, le champ électrique produit dans l'espace

inter-électrodes est fortement inhomogène. Il a une valeur élevée au voisinage de cette électrode puis décroît rapidement au fur et à mesure qu'on s'approche de la cathode plane.



**Figure (I.1) :** Différentes configurations de décharge couronne.

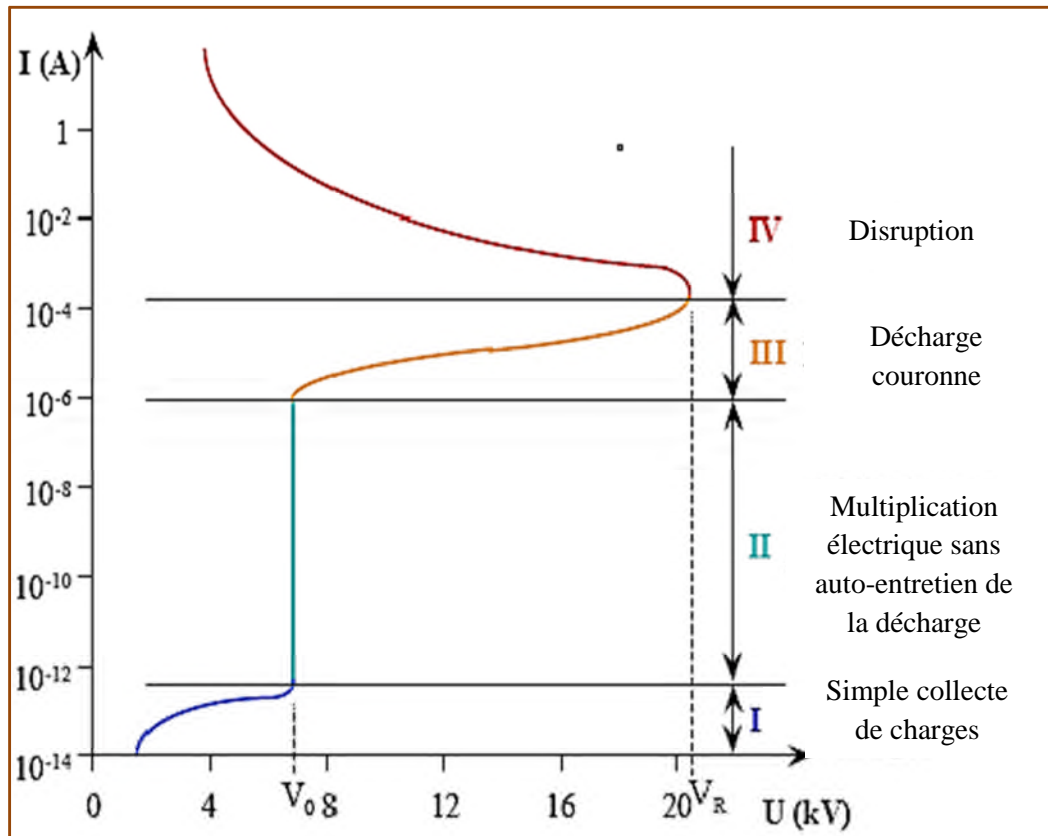
Les deux régimes de décharge couronne sont les régimes luminescent (glow) et filamentaire. Ce dernier est caractérisé par la présence de dards, c'est à dire d'impulsions de courant issues de l'extrémité de l'électrode à fort rayon de courbure qui se propagent dans l'espace inter-électrode jusqu'à atteindre l'électrode à faible rayon de courbure. On appelle ces impulsions de courant streamer et impulsion de Trichel [1].

### I.3 Différents régimes de la décharge (caractéristique courant-tension)

Un électron placé dans un champ électrique uniforme ( $\mathbf{E} = \mathbf{V}/\mathbf{d}$ ), où  $\mathbf{V}$  est la différence de potentiel appliquée entre deux électrodes de distance  $\mathbf{d}$  est accéléré et peut ioniser des atomes ou des molécules, tel que  $\mathbf{A} + \mathbf{e}^- \rightarrow \mathbf{A}^+ + 2\mathbf{e}^-$ . L'ionisation d'un espace conduit à la formation d'une particule chargée et à la libération d'un électron supplémentaire, qui à son tour va être accéléré et acquérir une énergie suffisante pour ioniser une seconde particule. Ce mécanisme d'ionisation successive est connu sous le nom « d'avalanche électrique » ou « décharge Townsend » [2].

Pour que la décharge soit auto-entretenu, il est nécessaire que tout électron qui quitte la zone d'ionisation soit remplacé. Chaque électron doit créer suffisamment d'ions positifs, de photons et d'espèces métastables pour qu'au moins l'un d'eux puisse produire un nouveau électron, appelé électron secondaire. Sous l'influence des champs électrique appliqué, toutes les particules ainsi créés vont se déplacer dans l'espace inter-électrodes et générer un courant

électrique, appelé également courant de décharge. La figure (I.2) décrit le comportement du courant en fonction de la valeur de la tension appliquée [3]. La courbe permet de distinguer quatre régimes :



**Figure (I.2) :**Caractéristique courant-tension d'une décharge couronne dans l'air à pression atmosphérique (configuration pointe-plan) [3].

- **Le premier régime :** consiste en la collecte des espèces 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 phénomène d'ionisations extérieures. La décharge est auto-entretenu. C'est le régime de la décharge couronne, où apparaissent les dards, appelés aussi streamers.
- **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 est suffisamment important pour que les phénomènes d'ionisation deviennent majoritaires par rapport à l'attachement électrique. Le régime d'arc atteint, le milieu passe à l'état de plasma thermique.

#### I.4 Mécanismes de décharge couronne

Les décharges couronne se situent dans le régime (III) de la figure (I.2). La décharge est établie entre une électrode active et électrode passive (reliée à la terre). L'électrode active est une pointe, à laquelle on applique un haut potentiel électrique tandis que l'électrode passive est une plaque figure (I.3). On obtient alors une décharge couronne volumique [4]. La dissymétrie des électrodes conduit à un champ électrique inhomogène dans l'espace inter-électrodes. En absence de charge d'espace, Hartmann [5] a établi une expression du champ électrique  $E$  en fonction du potentiel appliqué au point le long de l'axe de symétrie  $x$  :

$$E(x) = \frac{V}{\left(x + \frac{r}{2}\right) \cdot \ln\left(\frac{2d+r}{r}\right)} \quad \text{I.1}$$

Avec :

$V$  : Le potentiel

$d$  : Distance inter-électrodes

$r$  : Le rayon de courbure de la pointe

$x$  : L'abscisse du point considéré par rapport à l'extrémité de la pointe prise comme origine

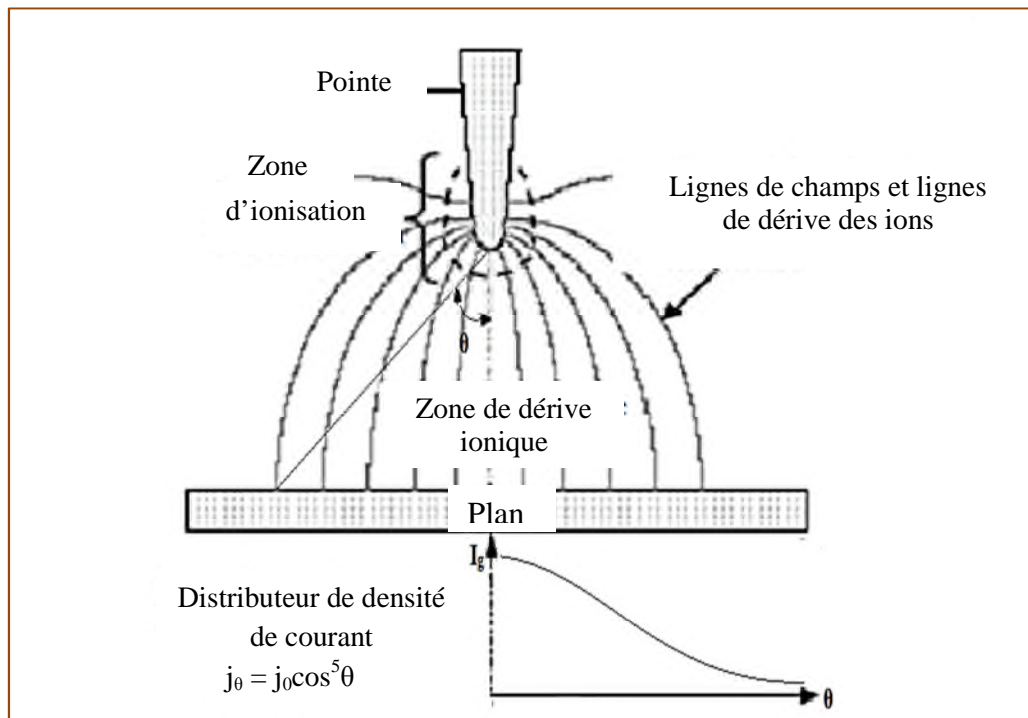
Dans une configuration fil-plaque, Lacoste et al. [6] ont utilisé :

$$E(x) = E_i \frac{r}{x} \quad \text{I.2}$$

Avec :

$E_i$  : Le champ électrique à la surface du fil





**Figure (I.3) :**Topologie de la décharge couronne en configuration pointe-plan [7].

Dans la configuration pointe-plan, le champ électrique au voisinage de la pointe est intense ce qui permet l'ionisation. La forme en couronne autour de la pointe a donc donné le nom à la décharge. Après cette zone d'ionisation se trouve une région de champ plus faible où les particules ionisées dérivent. L'électrode passive sert alors à collecter les charges par ailleurs, la décharge couronne est le siège d'une forte activité physico-chimique

### **I.5 Effet de la polarité sur le processus de développement de la décharge couronne**

La décharge couronne peut être positive ou négative selon la polarité de l'électrode de faible rayon de courbure [8]. Si elle est positive, on parle d'une décharge couronne positive, sinon, d'une décharge couronne négative. Du fait de la différence de masse entre les électrons (négatifs) et les ions (positifs), la physique de ces deux types de décharge couronne est radicalement différente [9].

Le champ seuil de l'effet couronne est légèrement plus petit en tension positive qu'en tension négative et les pertes sont plus élevées en polarité négative qu'en polarité positive [10]. La décharge positive présente un grand intérêt dans la mesure où elle constitue la contrainte la plus sévère pour un intervalle du point de vue d'isolation. Les décharges négatives sont en effet de structure très complexe. Il faut pratiquement une tension d'environ deux fois plus forte que dans le cas de la décharge positive pour obtenir l'amorçage [11].

### I.5.1 Décharge couronne positive

La décharge couronne positive est celle qui se produit quand la pointe est portée à un potentiel positif et la plaque à la terre. Dans ce cas, dans la zone de champ intense autour de la pointe, des électrons sont produits par photo-ionisation et sont accélérés vers l'anode. Autour de celle-ci, se développe alors une région de forte ionisation : zone en pointillé à la figure (I.4). Les ions positifs ainsi créés sont repoussés par l'anode, sous l'effet des forces de Coulomb, jusqu'à une distance de la pointe (inférieure au millimètre) au-delà de laquelle le champ électrique trop faible ( $< 30 \text{ kV/cm}$  dans l'air à pression atmosphérique) ne permet plus la création d'ions positifs. Les ions positifs migrent donc vers la cathode (la plaque). Cette zone unipolaire, puisqu'il n'y a que des ions positifs, est appelée région de « dérive » figure (I.4) [5].

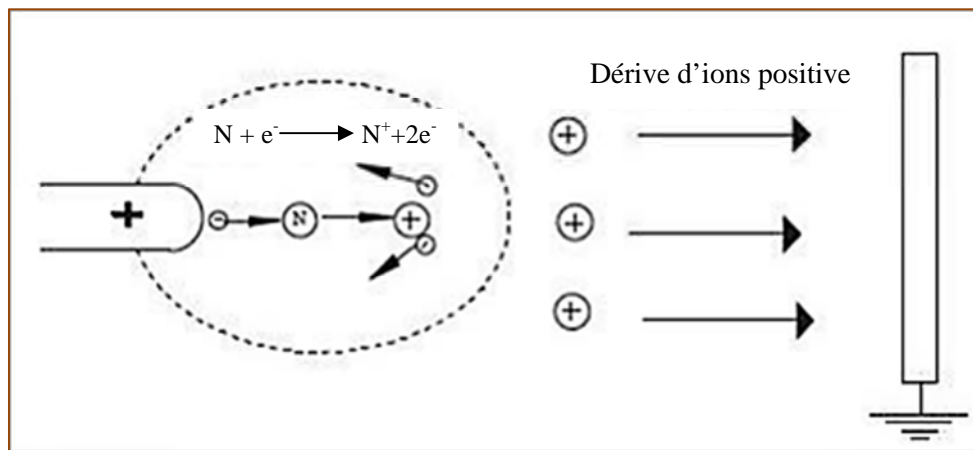


Figure (I.4) : Descriptif de la décharge couronne positive.

Pour cette décharge, il y a avancement de streamers, qui se propage en quelque sorte comme une extension de l'anode. La décharge est composée d'une phase de propagation du streamer (durée de la propagation de  $50 \text{ ns}$  à la vitesse de  $2 \times 10^5 \text{ m/s}$ ) et d'une phase de restauration pendant laquelle les ions dérivent. Ces deux phases forment un cycle de

fréquence **10 kHz**. Le courant de décharge n'est donc pas continu, mais correspond à une succession de phénomènes transitoires. Goldman et al (1985) [5]. indique qu'un courant positif de **50  $\mu\text{A}$**  se décomposerait en un courant unipolaire continu de **20  $\mu\text{A}$** , distribué uniformément à la surface de la cathode, et de streamers contribuant à **30  $\mu\text{A}$**  percutant la cathode à une fréquence de **10 kHz** [6].

### I.5.1.a) Stabilité de phénomène

Une succession d'avalanche se forment dans une certaine zone de tension. Mais il est quand même difficile d'obtenir un phénomène stable.

### I.5.2 Décharge couronne négative

Dans le cas où la pointe est portée à un potentiel négatif, il y a toujours une création d'électrons par photo-ionisation et apparition de la zone d'ionisation autour de la pointe. Goldman et Sigmond (1982) [12] expliquent que les ions positifs alors créés reviennent rapidement à la cathode. Seuls les ions négatifs créés par attachement dans une zone où le champ est plus faible peuvent migrer vers la plaque. De plus, lorsque la haute tension dépasse un seuil, il y a passage à l'arc [13] Figure (I.5).

Le courant de cette décharge est dû à des impulsions de Trichel à une fréquence qui dépend de la tension appliquée. Ces impulsions sont régulières et sont dues au champ électrique qui s'affaiblit au voisinage de la cathode. Les ions négatifs empêchent en effet la multiplication des avalanches électroniques. Une fois ces ions migrés vers l'anode, de nouvelles avalanches apparaissent. L'intervalle entre deux pics de courant, impulsions de Trichel, dépend donc du temps nécessaire aux ions négatifs à atteindre l'anode [13].

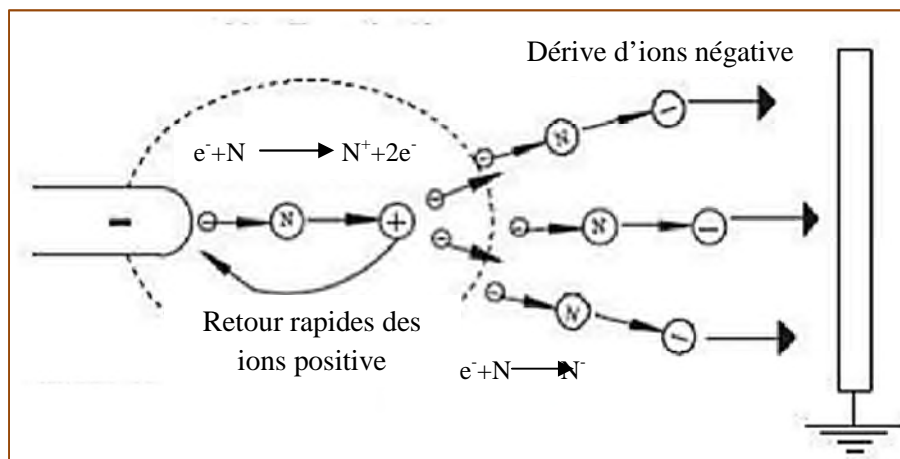


Figure (I.5) : Descriptif de la décharge couronne négative.

Les mécanismes physico-chimiques au sein des décharges couronnes sont assez complexes et sont encore amplement étudiés par les physiciens des plasmas, car ils ne sont pas encore totalement connus.

### **I.5.2.a) Apparence lumineuse**

Un courant de particules négatives part de la pointe vers le plan, il atteint **1 à 100  $\mu\text{A}$** .

On obtient (avec une pointe) une zone lumineuse en forme de champignon qui a la couleur bleu violacée dans l'air [14]. Cette couleur est due au spectre de l'azote et des composés oxygénés. Dans le cas d'un fil, celui-ci est bordé de petits champignons. Une gaine sera formée autour du fil quand on augmente la tension.

### **I.5.2.b) Stabilité du phénomène**

Ce phénomène d'effluve négatif ne s'étend qu'à une faible distance de fil, donc pas de formation d'un canal entre électrodes; on peut réduire leur distance sans qu'il se produise d'étincelle. Parce que l'étincelle se produit quand elle part d'un fil positive, l'effluve négatif ne tourne pas de lui-même à l'étincelle. C'est un phénomène stable qui se confine au voisinage de fil [14].

## **I.6 Décharge couronne en régime alternatif**

A la place d'un potentiel continu appliqué à la pointe, on peut également y appliquer un signal sinusoïdal à valeur moyenne nulle. Les alternances positives et négatives peuvent donner lieu à leurs modes de décharge respectifs. Dans ce cas, les processus de la décharge soumise à une excitation alternative sont identiques à ceux décrits pour une excitation continue, dans la mesure où l'intervalle de temps entre les inversions de polarité est suffisamment long pour que toutes les charges résiduelles de l'alternance précédente soient écoulées [13].

Si l'excitation est supérieure à la fréquence  $f_{\text{max}}$ , la charge d'espace va osciller et augmenter à chaque période entre les électrodes. Cet effet cumulatif aura pour conséquence des passages à l'arc pour des potentiels plus faibles qu'en continu. Goldman et al [15] a identifié trois composantes de courant dans le cas d'une tension alternative:

- Le courant capacitif dû à l'intervalle gazeux entre les électrodes qui jouent le rôle d'un condensateur.

- Le courant synchrone, continu et en phase avec la tension appliquée.
- Le courant impulsionnel, somme des impulsions « streamers » pour les alternances positives et des impulsions de « Trichel » lors des alternances négatives.

On peut aussi utiliser des décharges couronnes pulsées. Elles consistent à appliquer des pics de forte tension mais pendant un très court instant ( $t < 1\text{ms}$ ) pour limiter le passage à l'arc. Dans ce cas, la valeur moyenne de la tension n'est pas nulle.

## **I.7 Facteur influençant la décharge couronne**

Plusieurs facteurs peuvent influencer le seuil et les caractéristiques de la décharge couronne [16]. On distingue trois facteurs essentiels :

- Facteurs géométriques.
- Facteurs physico-chimique.
- Facteurs électriques.

### **I.7.1 Facteur géométriques**

#### **I.7.1.a) Rayon de la courbure**

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

#### **I.7.1.b) Distance inter-électrodes**

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

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

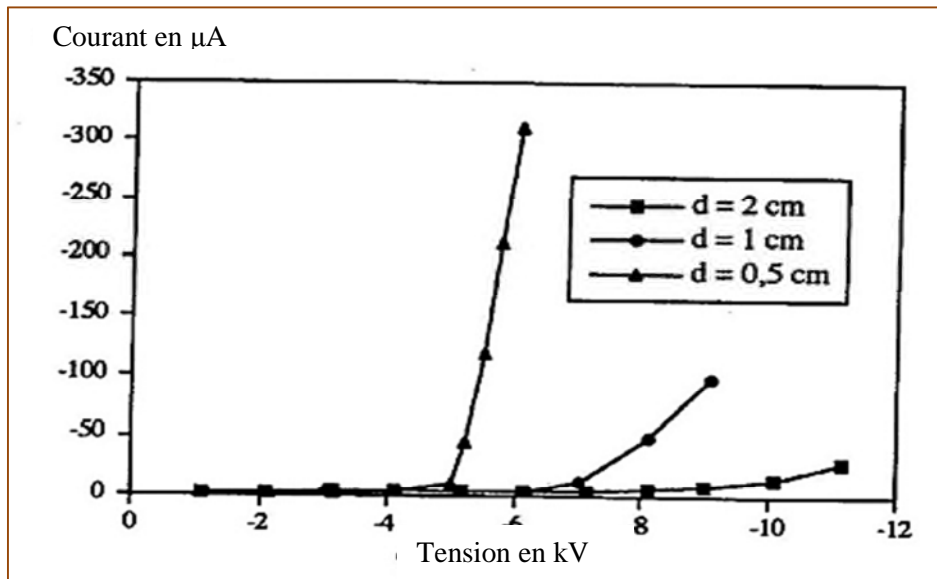


Figure (I.6) :Influence de la distance inter-électrodes sur le courant de la décharge couronne [4]

I.7.1.c)La nature des électrodes

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

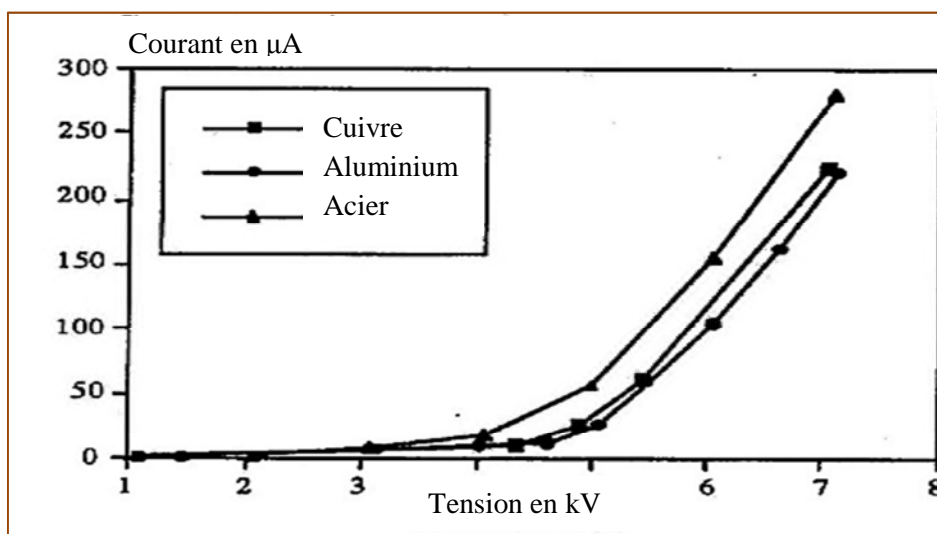


Figure (I.7) :Caractéristique courant-tension selon la nature des électrodes [4]

La nature des électrodes et la tension appliquée influent sur la mobilité ionique comme le montre le tableau suivant :

**Tableau (I.1) :** Influence de la nature des électrodes sur la mobilité ionique en tension positive et négative ( $H_R=5\%$ ,  $\varnothing_{fil}=125\mu\text{m}$ ) [4].

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

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

#### **I.7.1.d) La forme d'électrodes**

Dans la forme d'électrodes utilisées, la distribution du champ électrique dans l'espace inter électrode, avant l'amorçage de la décharge, dépend de la configuration géométrique des électrodes.

En champ non homogène, comme c'est le cas en géométrie pointe-plan figure (I.8), la décharge couronne présente une zone de stabilité.

Par contre, en champ homogène figure (I.9), dès son apparition, la décharge transite rapidement vers l'arc électrique.

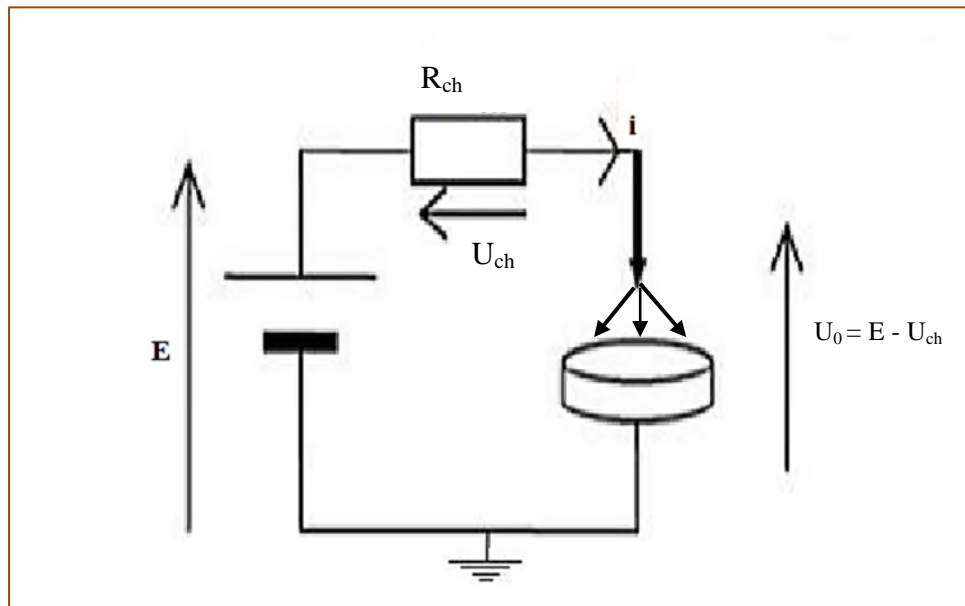


Figure (I.8) : Distribution du champ dans un système pointe-plan

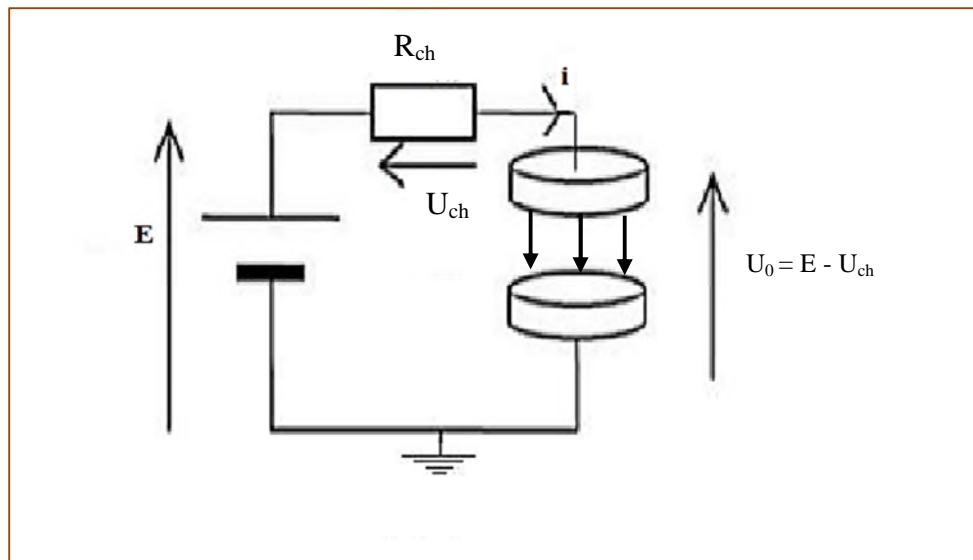


Figure (I.9) : Distribution du champ dans un système plan-plan

### I.7.1.e) Etat de surface

L'état de surface des conducteurs est un paramètre important par le fait que, plus il se dégrade plus les pertes augmentent et plus le champ perturbateur est élevé. Parmi les facteurs de dégradation, la pollution végétale ou industrielle, jouent un rôle important, mais malheureusement difficilement maîtrisable. Plus encore, la pluie, en raison des aspérités que constituent les gouttes d'eau suspendues aux conducteurs, multiplie le nombre d'aigrettes génératrices de l'effet couronne[17].



## I.7.2 Facteurs physico-chimique

### I.7.2.a) La densité de l'air

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

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

$$U_{dn} = \frac{U_d K_h}{\delta} \quad \text{I.4}$$

Avec :

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

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

### I.7.2.b) La température

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

### I.7.2.c) L'humidité

L'influence de l'humidité sur la rigidité diélectrique de l'air est très importante, surtout dans le cas où le champ électrique est non uniforme. Ce phénomène serait lié d'une part à l'accroissement de l'attachement des électrons libres, du fait de la présence de vapeur d'eau dans l'air (grande électronégativité) et d'autre part la plus grande absorption des photons en tête des streamers, dans la région où se produisent les avalanches secondaires par photo-ionisation. Le seuil d'apparition de la décharge couronne survient à des tensions toujours plus basses pour **90%** que pour **5%** d'humidité relative [17]. Cette différence pourrait s'expliquer par l'augmentation de la conductivité de l'air lorsque l'humidité relative de la cellule de décharge augmente.

### I.7.2.d) La pression

A partir de la tension atmosphérique, l'effet de la pression est proportionnel à la tension d'amorçage et inversement proportionnel au courant. La figure (I.10) montre l'effet de la pression sur la décharge.

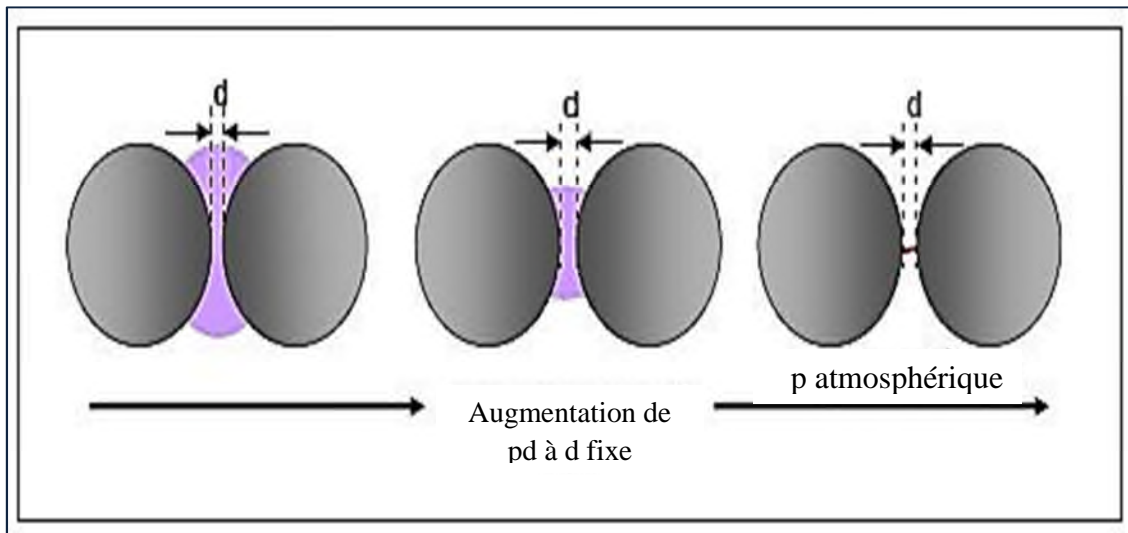


Figure (I.10) : Schéma d'évolution de la décharge observée en fonction de la pression [4].

### I.7.3 Facteurs électriques

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

Les différents modes d'émission de charges qui ont été décrits en tension alternative sont observés également en tension continue, la seule différence est que l'effet couronne en tension alternative implique que la concentration des émissions de charges correspond à la crête de la sinusoïde du courant, tandis qu'en continu l'émission de charges est permanente [19].

### I.8 Application de la décharge couronne

La décharge couronne présente des aspects utiles recherchés pour ses nombreuses applications : Dépôt de charge en reprographie, traitement de surfaces métalliques et isolantes, textiles, applications biologiques, séparateur électrostatique, dépoussiéreur électrique, neutralisation, production d'ozone [20], ...etc. Et des aspects nuisibles: pertes d'énergie dans les lignes de transmission, perturbations radioélectriques, défaut d'isolement, l'apparition de phénomène de corrosion, photocopieur, laser à azote, refroidissement de composants électroniques, coloration des véhicules ...etc.

**I.9 Conclusion**

Nous avons rappelé dans ce chapitre, le mécanisme de création de décharge couronne dans le cas d'une décharge positive et négative. Les mécanismes de développement de l'avalanche électronique et de propagation des décharges ont été également décrits. En d'autres termes, les électrons accélérés par le champ électrique entrent en collision avec les molécules neutres présentes dans l'espace inter-électrode et conduisent à l'excitation et à l'ionisation du gaz.

En effet, lors de la décharge couronne, l'électrode de faible rayon de courbure soumise à la haute tension devient le siège d'un champ électrique intense. Donc l'étude des phénomènes physiques fondamentaux de la décharge couronne nous permet de définir les paramètres essentiels influençant la décharge couronne tel que le diamètre de conducteur, la tension appliquée, la distance entre électrodes, et l'influence des paramètres physiques, tel que l'humidité, la température, et la pression.

# ***CHAPITRE II***

***Généralités sur les matériaux  
diélectriques***

## I.1 Introduction :

L'électricité statique est souvent perçue comme une nuisance. Elle est à l'origine d'explosions des silos de céréales et des tanks pétroliers, de vieillissement des matériaux diélectriques, de dysfonctionnement de circuits électroniques et de multiples désagréments pour chacun d'entre nous dans la vie quotidienne.

Ce chapitre est consacré à la présentation de l'état des connaissances sur les diélectriques et les électrets obtenus à partir des matériaux isolants fibreux et films. En premier lieu, nous aborderons brièvement les techniques et les étapes de fabrication des médias fibreux et films, utilisés dans l'industrie pour des applications aussi diverses que l'isolation de câbles électriques et la fabrication des produits ménagers. Tout en explicitant les mécanismes mécaniques et électriques de collecte des particules qui coexistent lorsque ces médias ont subi un dépôt de charges électriques. Nous évoquerons également les méthodes de formation des électrets, en accordant une place de choix aux dispositifs de charge basés sur la décharge couronne car leur mise en œuvre permet une meilleure maîtrise du dépôt de charges électriques.

## II.2 Généralités sur les diélectriques :

Lorsque l'on observe les matériaux sous l'angle de leur réponse à une sollicitation électrique on est appelé à parler soit de diélectrique soit d'isolant. Afin d'éviter toute incompréhension nous donnons les définitions suivantes :

- **Un isolant :** est un matériau qui ne conduit pas l'électricité. Sa destination première est d'empêcher tout contact entre des pièces métalliques portées à des potentiels différents. Une façon plus simple de définir un matériau isolant est de dire qu'il est caractérisé par une résistivité électrique très élevée. A l'opposé de celle des métaux, la résistivité de ces matériaux décroît lorsque leur température augmente [21].
- **Un diélectrique :** est un matériau plus ou moins isolant (résistivité élevée), bande d'énergie interdite de quelques électrons volt (eV), polarisable, c'est-à-dire dans lequel des dipôles électrostatiques existent (diélectrique polaire) ou se forment sous l'effet d'un champ électrique (dipôles induits) [22]. En d'autres termes un diélectrique peut être défini comme un milieu matériel dans lequel la bande de conduction est séparée de la bande de valence par une énergie supérieure à 5 eV [23]. Dans la

pratique technologique la différence entre isolant et diélectrique ne découle pas de propriétés différentes mais de l'angle sous lequel est vu le problème. C'est ainsi que lorsque le souci d'empêcher un contact galvanique est important nous parlerons d'isolant, par contre lorsque notre intérêt est focalisé sur les propriétés découlant de la polarisation ou de la permittivité plus ou moins accentuée nous invoquons le terme diélectrique.

Enfin, compte tenu de ce qui vient d'être dit, les mots isolant et diélectrique peuvent être considérés comme étant des synonymes.

Les matériaux isolants sont caractérisés par :

**II.2.1 Leur résistivité :**

Celle-ci s'exprime en ohmmètre [ $\Omega.m$ ] dans le système international d'unités. Sur la Figure (II.1) nous donnons à titre d'information l'échelle des résistivités pour quelques matériaux d'usage courant en électrotechnique. Sur cette figure les matériaux isolants correspondent à la partie grise.

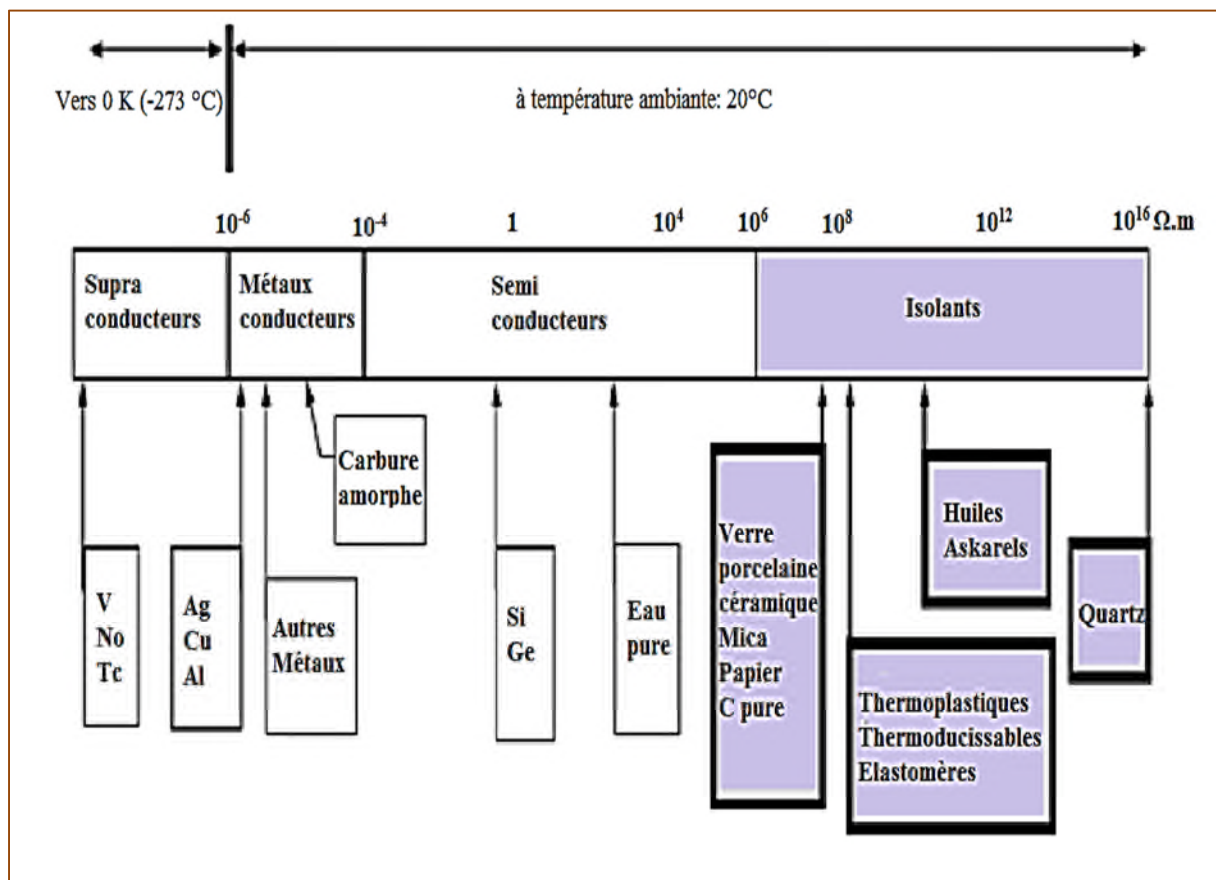


Figure (II.1) : Echelle des résistivités de quelques matériaux [4].

### II.2.2 Leur permittivité

Cette grandeur s'exprime en Farad par mètre [F/m] dans le système international d'unités. Cette grandeur est également désignée parfois par le terme pouvoir inducteur spécifique ou constante diélectrique. Toutefois dans la pratique on utilise de façon quasi exclusive la permittivité relative  $\epsilon_r$  représentant le rapport de la permittivité absolue à la permittivité du vide  $\epsilon_0$ .

La permittivité relative représente aussi le rapport de la capacité d'un condensateur ayant le matériau comme diélectrique à la capacité du même condensateur, mais avec le vide à la place du diélectrique. Ceci est donné par la formule (II.1).

$$\epsilon_r = \frac{C}{C_0} \quad (\text{II.1})$$

### II.2.3 Leur facteur des pertes diélectriques

Ce facteur revêt une grande importance puisqu'il rend compte de la puissance dissipée dans le matériau lorsqu'un champ électrique variable lui est appliqué. Il est donné par la tangente de l'angle  $\delta$  appelé angle de pertes. En fait l'angle de pertes représente l'écart à la quadrature entre le courant et la tension d'un condensateur ayant le matériau considéré comme diélectrique. Il est utile de noter à ce niveau que l'importance du facteur de pertes n'est pas tellement liée à la perte de puissance en termes de coût bien que cela ne soit pas toujours négligeable. L'intérêt accordé à ce facteur réside plutôt dans le fait que la puissance est perdue dans un milieu diélectrique très mauvais conducteur de la chaleur. C'est pour cela que les pertes diélectriques peuvent conduire à des échauffements prohibitifs des matériels. Lorsqu'un dispositif constituant un condensateur réel (avec pertes) est représenté par le schéma équivalent parallèle tel que représenté sur la figure (II.2) le facteur des pertes est donné par :

$$\tan\delta = \frac{1}{\omega C_p R_p} \quad \text{II.2}$$

Dans cette expression :

$\omega = 2\pi f$  : représente la pulsation de la tension appliquée.

$C_p$  : est la capacité du circuit équivalent parallèle pour l'isolant considéré.

$R_p$  : est la résistance du circuit équivalent parallèle pour l'isolant considéré.

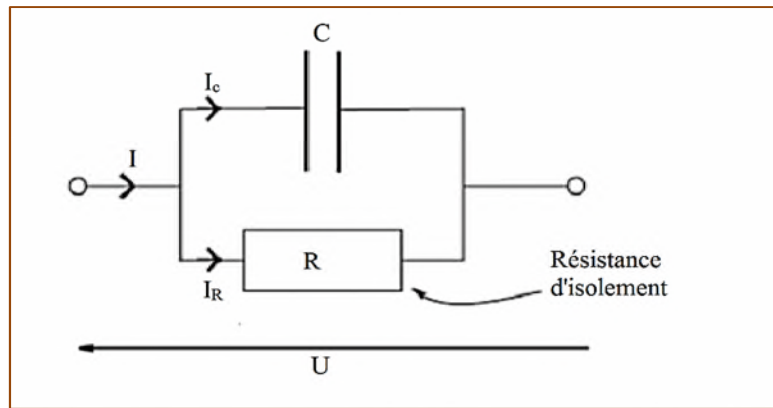


Figure (II.2) : Circuit équivalent parallèle représentant un diélectrique.

Le schéma équivalent série d'un condensateur est donné sur la figure (II.3).

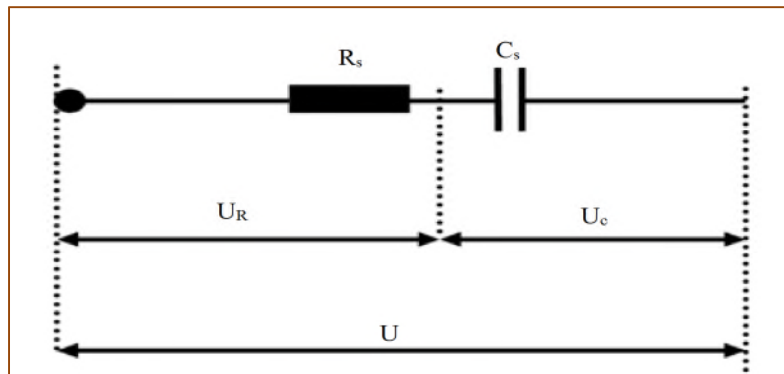


Figure (II.3) : Circuit équivalent série représentant un diélectrique.

Dans ce cas :

$$\tan\delta = \omega C_s R_s \tag{II.3}$$

La valeur «  $\tan \delta$  » est appelée facteur de dissipation diélectrique. On définit également l'indice de pertes diélectriques par la relation :

$$\epsilon_r'' = \epsilon_r \cdot \tan\delta \tag{II.4}$$

### II.2.4 Leur rigidité diélectrique

Elle représente l'une des caractéristiques importantes d'un isolant puisqu'elle traduit son aptitude à résister à une contrainte électrique sans se détériorer. Elle s'exprime habituellement en kilovolts par millimètre [kV/mm]. La rigidité diélectrique d'un matériau, dépend de la fréquence mais aussi de la durée d'application de la tension ainsi de la façon avec laquelle la contrainte est appliquée (rampe, créneau, choc).



La rigidité diélectrique **E** d'un matériau est définie par le rapport de la tension **U** laquelle se produit le claquage à la distance **d** séparant des électrodes normalisées quelles est appliquée la tension :

$$E = \frac{U}{d} \quad \text{II.5}$$

### **II.2.5 Leur résistance à l'arc**

C'est la durée maximale d'application d'une tension supérieure à la tension de claquage d'un isolant avant l'apparition d'un arc électrique. Elle se mesure en secondes.

### **II.2.6 Leur température admissible**

C'est un paramètre significatif pour tous les matériaux isolants et il détermine leur classification. En termes techniques nous parlons de classe d'isolement laquelle est représentée par une lettre. Au-delà de cette température caractéristique de la classe, il est fortement déconseillé de travailler sous peine de réduire de façon sévère la durée de vie de l'équipement. Il est avéré que dans tous les cas, les matériaux isolants voient leurs propriétés se détériorer très vite aux températures élevées et la détérioration peut atteindre un niveau tel que l'isolation cesse de jouer convenablement son rôle. Ce processus est désigné sous le terme de vieillissement thermique [21].

## **II.3 Matériaux isolants fibreux**

Les matériaux fibreux font aujourd'hui l'objet de nombreux développements technologiques. Un média non tissé se présente sous la forme d'une nappe ou voile de fibres enchevêtrées de façon pseudo-aléatoire et dont la cohésion provient du processus de fabrication. La cohésion d'un voile plus ou moins épais est assurée par des liaisons inter fibres de types chimique, physique, voire mécaniques. Les fibres utilisées dans la fabrication des médias non-tissés sont soit naturelles, soit chimiques (synthétiques ou artificielles).

### **II.3.1 Classification des différents matériaux fibreux**

Le schéma de la figure (II.4) illustre la classification des différentes matières utilisées pour la formation des fibres [24].

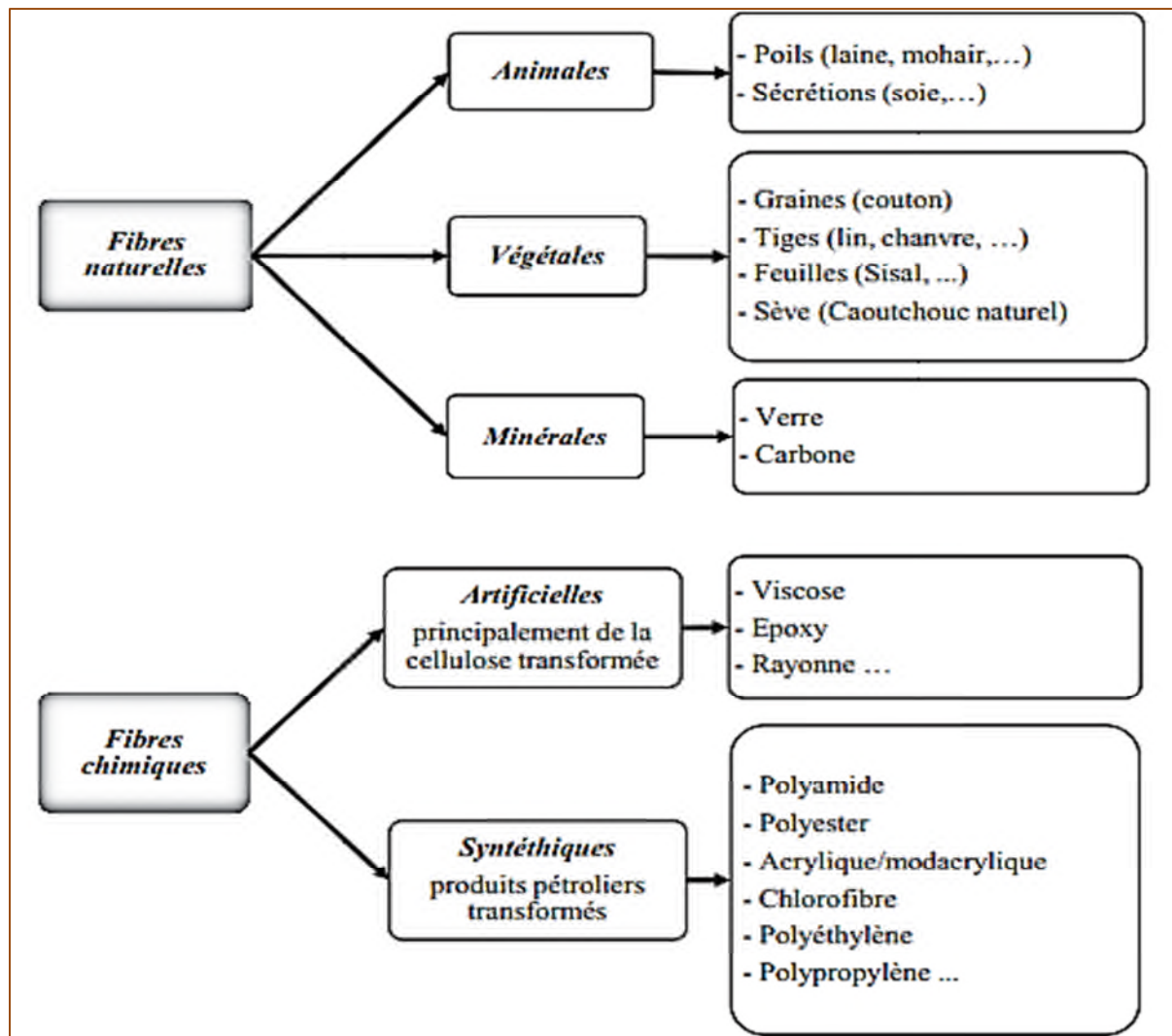


Figure (II.4) : Classification des différentes matières utilisées pour la fabrication des fibres [25].

### II.3.2 Techniques de fabrication des médias non tissés

Les technologies pour la production de textiles sont parmi les plus anciennes développées et utilisées par l'humanité, pour répondre aux besoins fondamentaux tels que la protection contre le froid et la chaleur. Actuellement la fabrication des médias non tissés est devenue une industrie à part entière, elle répond à un marché réel et émergent. Plusieurs études assez récentes ont été focalisées sur les processus de formation et de transformation de fibres [26]. Des progrès significatifs ont été accomplis dans le domaine de la fabrication des nano-fibres tout au long de ces dernières années. L'électro-filage (Electrospun) est un procédé électrostatique par lequel des nano-fibres de polymères, ayant un diamètre inférieur à 100 nm et de kilomètres de longueur, peuvent être réalisées [27].

Les méthodes industrielles de fabrication des médias non-tissés permettent d'obtenir des produits finis en s'affranchissant d'une grande partie de la chaîne de production traditionnelle. En effet, on part directement de la fibre pour obtenir le produit fini. Ainsi, la fabrication d'un média non-tissé comprend trois étapes principales à savoir :

- la formation du voile.
- la consolidation de ce voile.
- sa finition.

## **II.4 Matériaux isolants (Films)**

La technique de mise en œuvre privilégiée pour obtenir les films minces. Ces couches sont essentiellement synthétisées à partir de précurseurs organosiliciées, et nous verrons ainsi les différentes approches étudiées pour diminuer la constante diélectrique. La création de porosité dans ces matériaux est beaucoup plus contrôlée.

### **II.4.1 Méthodes de fabrication des films**

Quel que soit le matériau envisagé, une technique a émergé pour fabriquer des films minces diélectriques et le dépôt par centrifugation. Empruntée aux polymères, cette méthode se décompose en trois étapes. Tout d'abord, les constituants des polymères sont mélangés avec un solvant. Ensuite, cette solution est déposée au centre du substrat de silicium. La mise en rotation de celui-ci engendre des forces de centrifugation qui assurent une distribution uniforme de la solution à la surface. L'épaisseur du film déposé est déterminée par le couple vitesse de rotation de la plaque (qui fixe la valeur de la force de centrifugation) et viscosité de la solution. La dernière étape est un recuit qui est divisé lui-même en deux parties: un premier recuit à faible température (en général inférieure à 250°C) pour retirer le solvant, puis un second recuit pour stabiliser le film. Ce dernier traitement (température supérieure à 350°C) permet la réticulation de la matrice pour obtenir la structure finale, mécaniquement stable [25].

La figure (II.5) présente les techniques de fabrication des films par le procédé de centrifugation.

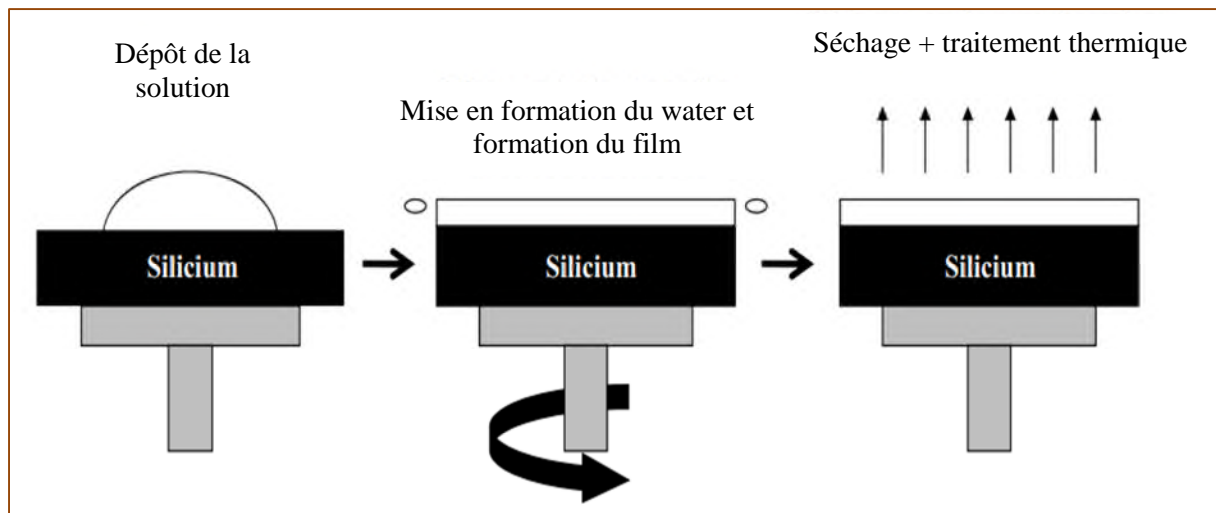


Figure (II.5) : Procédé de fabrication des films par le procédé centrifugation [25].

## II.5 Les électrets

Par analogie avec les aimants permanents (MAGNETS), le terme électret a été introduit en 1892 par Olivier Heaviside pour désigner les diélectriques à polarisation permanente. Ainsi, l'électret produit un champ électrique sans aucune source externe. Ce n'est qu'en 1919 que Mototaro Eguchi a pu donner la première confirmation expérimentale, où il réussit à fabriquer un électret par application d'un champ électrique à un échantillon de cire de Carnauba en cours de refroidissement à partir de sa température de fusion. Les molécules polaires de cette cire, libres de s'orienter sous champ électrique au voisinage de la température de fusion, restaient figées avec l'orientation imposée au retour à l'état solide, bien que le champ appliqué a été supprimé. La polarisation rémanente était comprise typiquement entre  $10^{-4}$  et  $10^{-5}$  C.m<sup>-2</sup>, et pouvait persister plusieurs années [28].

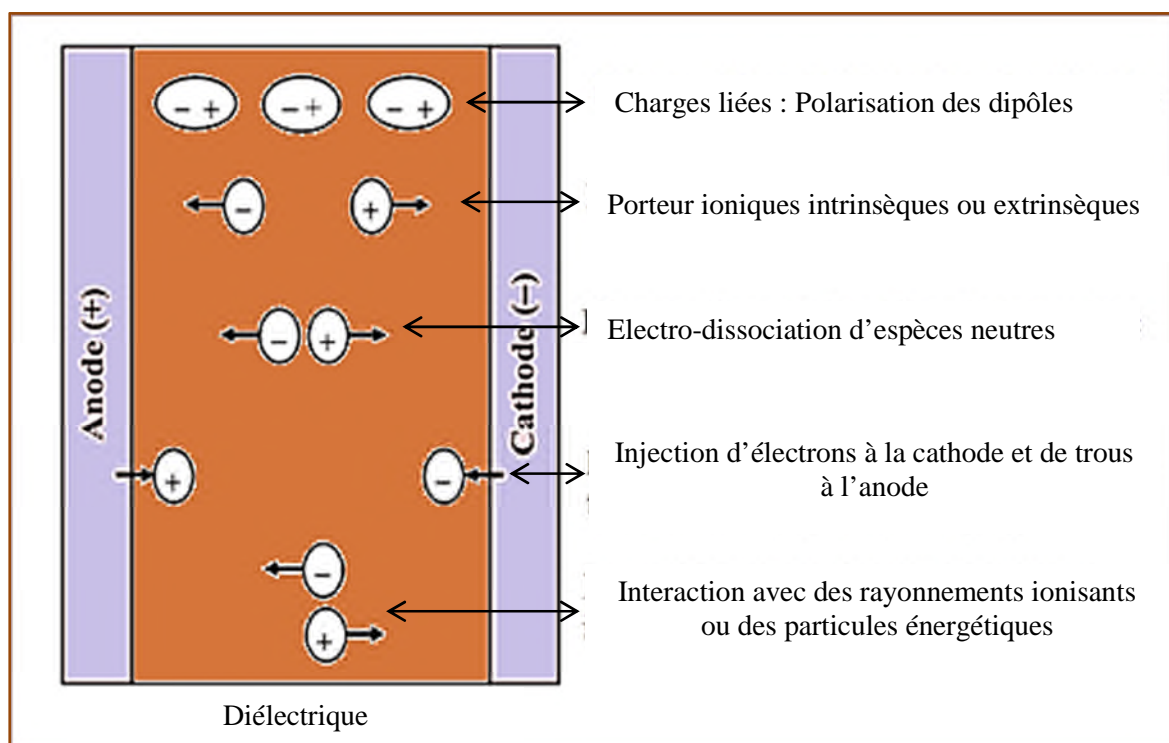
Un électret est défini comme un diélectrique qui porte une polarisation induite. Cette polarisation est quasi permanente, c'est-à-dire que le temps de déclin est plus long que la durée de son utilisation. La polarisation est due à des charges électriques réelles sur la surface ou/et dans le volume du 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 [28].

Les électrets sont utilisés soit sous forme de films minces, soit sous forme de structures fibreuses [24].

## II.5.1 Méthodes de formation d'électrets

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 monocharges appelées charges réelles, et des dipôles orientés appelés charges liées.

Il existe plusieurs méthodes de formation des électrets à charge d'espace. La polarisation provient de charges des deux signes. Ces charges peuvent être obtenues par séparation d'hétérocharges présentes et piégées dans le matériau et/ou par injection d'homocharges au niveau des électrodes lors de l'opération de polarisation. La polarisation peut également provenir d'un excès de charges apportées par d'autres processus tels que la décharge couronne, l'implantation électronique (canon d'électrons), ou la triboélectricité (contact + frottement) [24]. La figure (II.6) résume les mécanismes physiques de base pouvant expliquer la présence de charges électriques dans un diélectrique situé entre deux électrodes de polarités opposées.



**Figure (II.6) :** Mécanismes de génération de charges électriques [25]

## II.6 dépôt de charge sur une surface d'un diélectrique

### II.6.1 Méthodes de chargement

Un corps chargé électriquement est la manifestation d'une accumulation ou d'une perte de charges électriques. En effet, lorsqu'un corps est en équilibre, il est électriquement neutre. Ce corps sera électrisé lorsque quelques-uns de ses atomes auront soit gagné, soit perdu un ou plusieurs électrons rompant ainsi l'équilibre et la neutralité. On dit alors que ce corps possède une charge électrique.

Il y a de nombreux modes d'électrisation possibles:

- par frottement (triboélectricité).
- par contact (transfert direct de charges).
- par ionisation (émissions d'ions sous haute tension).
- par influence (à l'aide d'un champ électrique).
- par clivage (fragmentation).
- par effet photoélectrique.
- par émission thermoélectronique.
- par ballo-électricité (agitation des particules dans un flux de gaz) etc....

Les méthodes les plus répandus étant l'effet triboélectrique, par transfert de charges à l'aide d'un rouleau électrostatique et par décharge couronne. Ces techniques sont les plus utilisées pour charger les diélectriques en vue de la caractérisation de leur aptitude à garder l'état d'électrisation.

#### II.6.1.a) Charge par effet triboélectrique

Il s'agit d'un transfert de charges électriques entre différents matériaux : lorsque deux matériaux électriquement neutres entrent en contact, il y a un transfert de charges qui aboutit à l'obtention de deux matériaux chargés, l'un positivement et l'autre négativement [24]. Si l'un des matériaux présente une conductivité faible, les charges ainsi générées resteront après séparation et de nouveaux contacts auront pour effet de produire de nouveaux transferts de charges. L'effet triboélectrique est en général associé à l'apparition de charges électriques après frottement entre deux matériaux mais sa définition s'étend souvent aux transferts de charges par contact, le frottement étant l'équivalent de contacts suivi de séparations, mais s'accompagnant de génération de chaleur et parfois de transfert de masse. La figure (II.7) présente un dispositif de charge par effet triboélectrique utilisé dans l'évaluation de l'aptitude

d'un textile fibreux à se charger par frottement et à atteindre des potentiels de surface plus ou moins importants. Cette évaluation permet de prévenir la manifestation des courants de décharge [24].

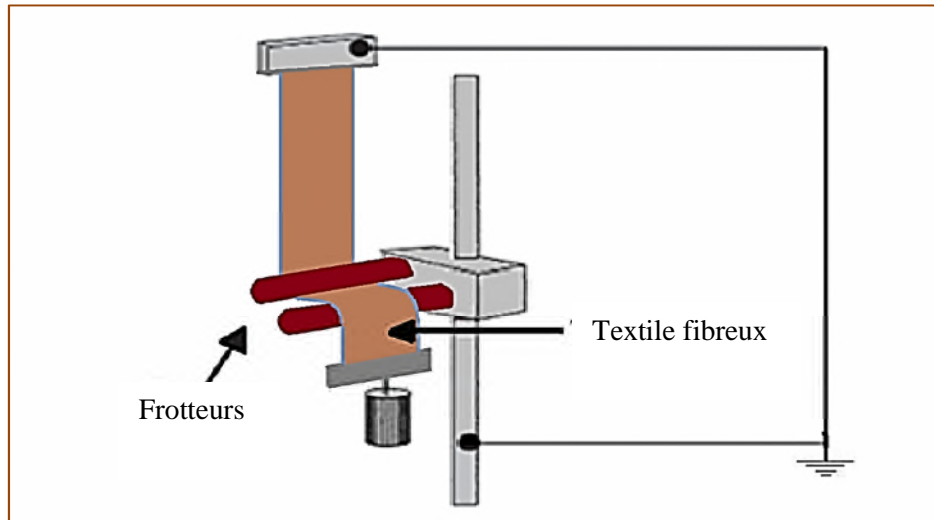


Figure (II.7) : Dispositif de charge par effet triboélectrique.

#### II.6.1.b) Charge par rouleau électrostatique

Le contact entre deux matériaux est, en fait, suffisant pour produire un phénomène d'électrisation. Un diélectrique peut être aussi chargé avec un rouleau électrostatique en contact avec la surface libre de l'échantillon et dont le potentiel de charge est aussi contrôlé par la source haute tension figure (II.8) [29].

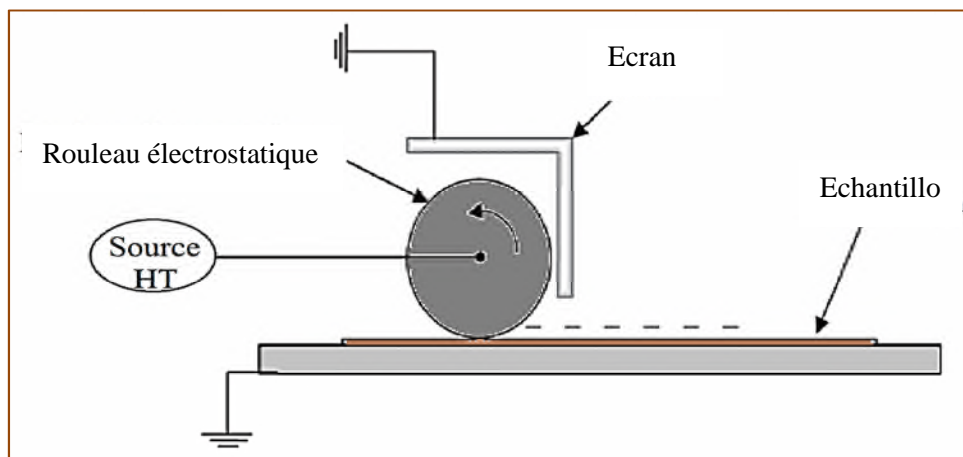


Figure (II.8) : Principe de charge par rouleau électrostatique.

Le transfert de charge au contact entre le rouleau et la surface du diélectrique est très probablement de type électronique. La charge séparée résulte des différences dans la structure

électronique des deux corps en contact; elle est influencée tout d'abord par la nature des matériaux et par les traitements subis par leurs surfaces [24].

### II.6.1.c) Charge par décharge couronne

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 [25].

Ce procédé de formation est basé sur la génération de décharge 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. 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.9) illustre le principe de formation d'électret par décharge couronne négative.

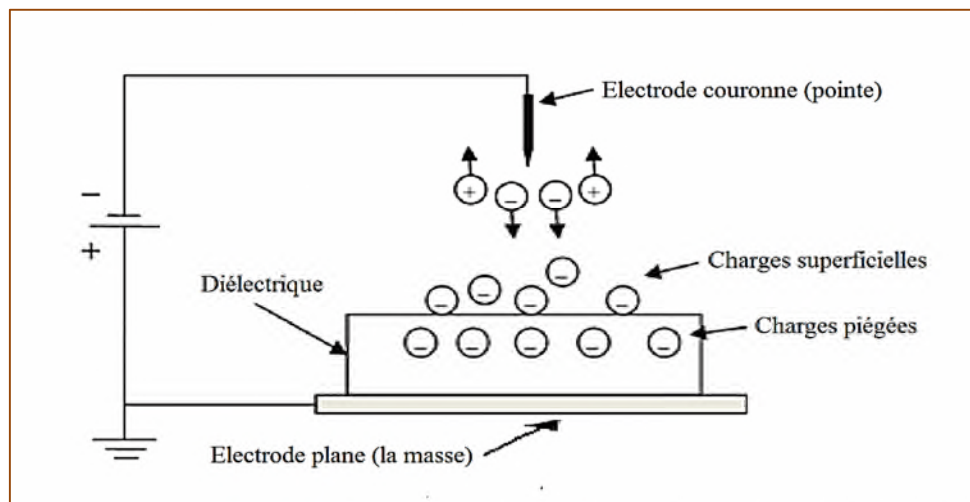


Figure (II.9) : Principe de formation d'électret par décharge couronne.

Le contrôle du dépôt de charges par le dispositif primaire est extrêmement difficile, voir impossible. L'insertion d'une grille conductrice entre le diélectrique et l'électrode couronne, portée à un potentiel plus faible et de même polarité que le potentiel appliqué à l'électrode active permettra le contrôle du niveau du potentiel de surface et l'obtention d'un dépôt uniforme. Dans cette configuration d'électrode, appelée configuration triode, les



charges issues de l'ionisation de l'air sont accélérées sous action du champ électrique, passent à travers la grille et viennent de déposer sur la surface libre du diélectrique. Le potentiel de surface du diélectrique croît jusqu'au niveau du potentiel de la grille. A partir de ce moment-là, le champ entre la grille et la surface du diélectrique est nul. Les ions ne traversent plus la grille. Ainsi le potentiel de surface est limité par le potentiel de la grille. Il existe plusieurs dispositifs à triode pour la formation contrôlée d'électrets [30]. La figure (II.10) résume ces dispositifs à triode de charge par décharge couronne.

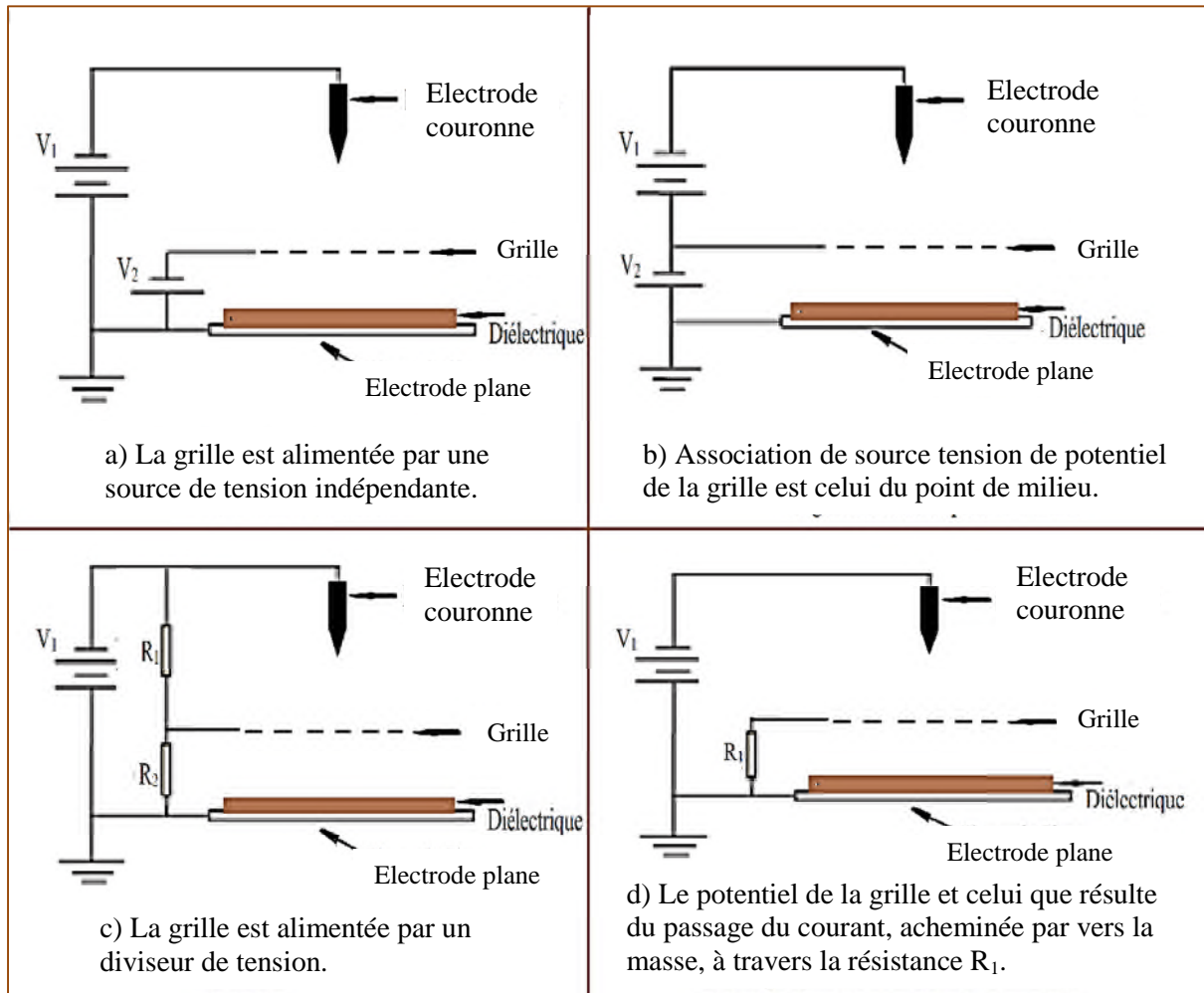


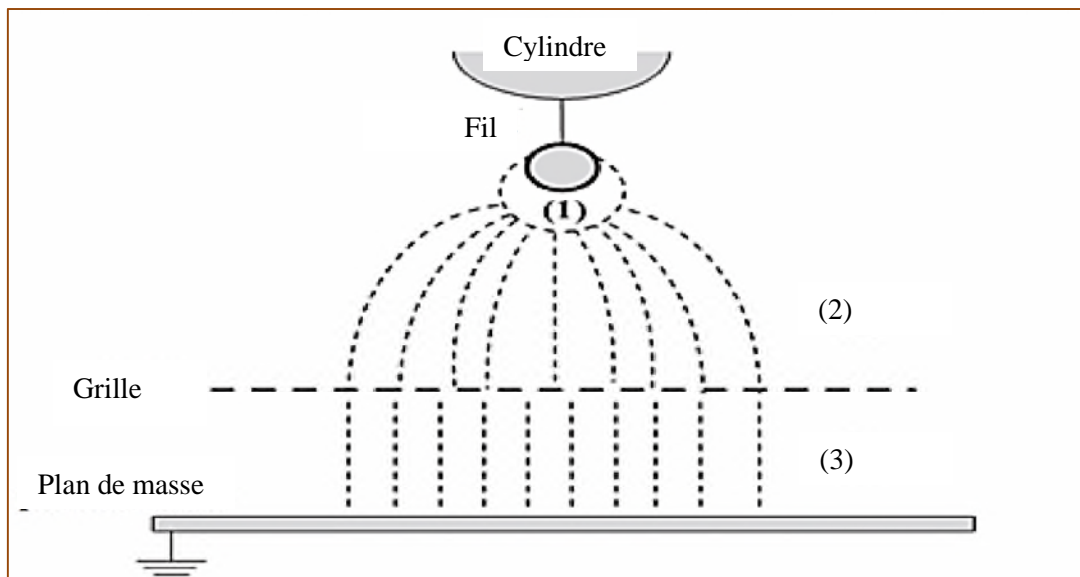
Figure (II.10) : Dispositifs à triode de charge par effet couronne.

Ces ions (positifs ou négatifs selon la polarité de la pointe) peuvent se déposer sur une surface isolante placée à proximité. Il en résulte une densité superficielle de charge sur cette surface. Cette méthode de charge d'une surface est plus facile à maîtriser et la charge est plus uniforme que celle obtenue par frottement [29].

### II.6.2 Processus de charge dans une configuration triode

En considérant les dimensions des mailles de la grille assez petites devant la distance  $d$  entre la grille et le plan de masse, l'ensemble grille-plan peut être assimilé à une configuration d'électrodes définie par deux plans parallèles. La topographie du champ électrique, définie par la distribution du champ et du potentiel électrique dans le système triode de charge, permet de connaître les caractéristiques qualitatives du procédé de charge. En effet, ce procédé dépend du processus de génération d'ions par effet couronne et de la dérive des charges sous l'action du champ électrique le long des lignes caractéristiques [30].

La décharge couronne désigne l'ensemble des phénomènes liés à la modification de la conductivité d'un gaz à proximité d'un conducteur de faible rayon de courbure, porté à un potentiel positif ou négatif assez élevée dont le champ électrique environnant est intense mais non disruptif. Dans le cas de la configuration triode, où une électrode duale (fil-cylindre) est utilisée pour générer la décharge couronne et la grille est reliée à la masse via une résistance électrique, la conductivité est due aux phénomènes d'ionisation intense de l'air au voisinage immédiat du fil à potentiel élevé. Ainsi, l'espace inter-électrodes est répartie en trois zones telles qu'elles sont illustrées sur la figure (II.11).



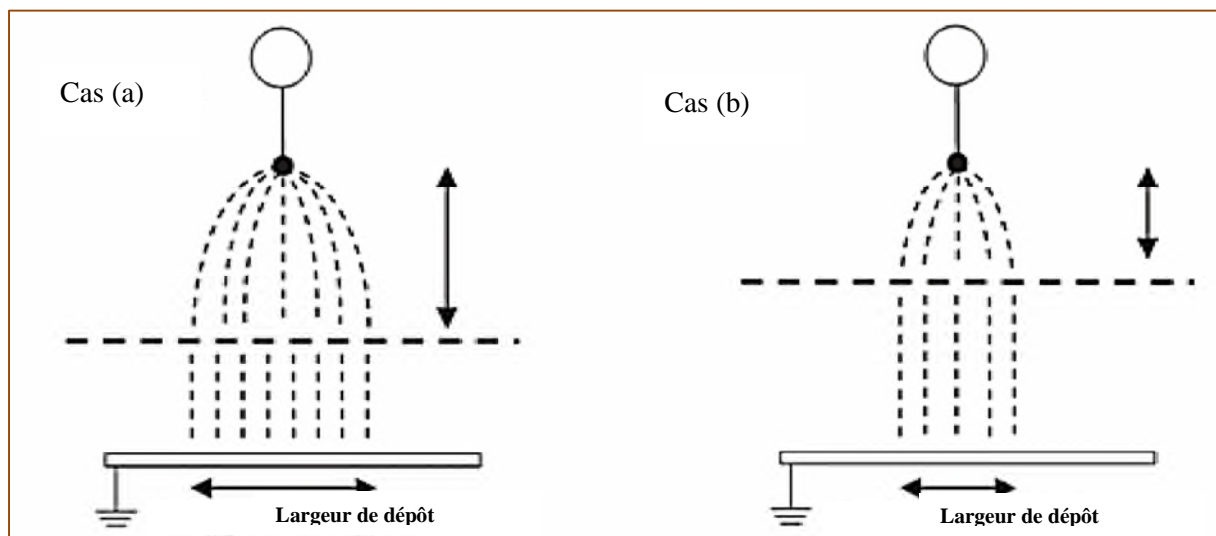
**Figure (II.11) :** Décharge couronne dans le système triode de charge.

#### II.6.2.a) Effet de la position de la grille sur la largeur de dépôt

La zone active (1) est près de l'électrode active où le champ est supérieur au champ critique du minimum d'ionisation. Elle est caractérisée par une densité de charge totale nulle.

Avant que la décharge se produise et l'électrode duale soit portée à un potentiel élevé, la grille a le même potentiel que celui du plan de masse. Ainsi le champ électrique est très inhomogène dans la zone (2) et pratiquement nul dans la zone (3). En présence de la décharge, des charges de même polarité que celle de l'électrode duale sont collectées par la grille et s'écoulent à travers la résistance vers la masse. La tension produite aux bornes de la résistance fixe le potentiel de la grille.

En présence d'un matériau diélectrique posé sur le plan de masse, les charges qui traversent la grille sont attirées vers la masse sous l'action du champ électrique et interceptées par ce diélectrique. Ainsi la surface libre du matériau subit un dépôt de charges sous l'action du champ électrique dû à la différence de potentiel entre la grille et le plan de masse. Le matériau continue à se charger jusqu'à ce que le potentiel de surface de celui-ci soit égal à celui de la grille. Ainsi, la zone (2) est caractérisée par une charge d'espace importante tandis que la zone (3) est caractérisée par un champ électrique et une charge d'espace pratiquement négligeables. La figure (II.12) illustre l'influence de la position de la grille sur la largeur de la surface chargée qui se rétrécit lors que la grille est très proche de l'électrode couronne.

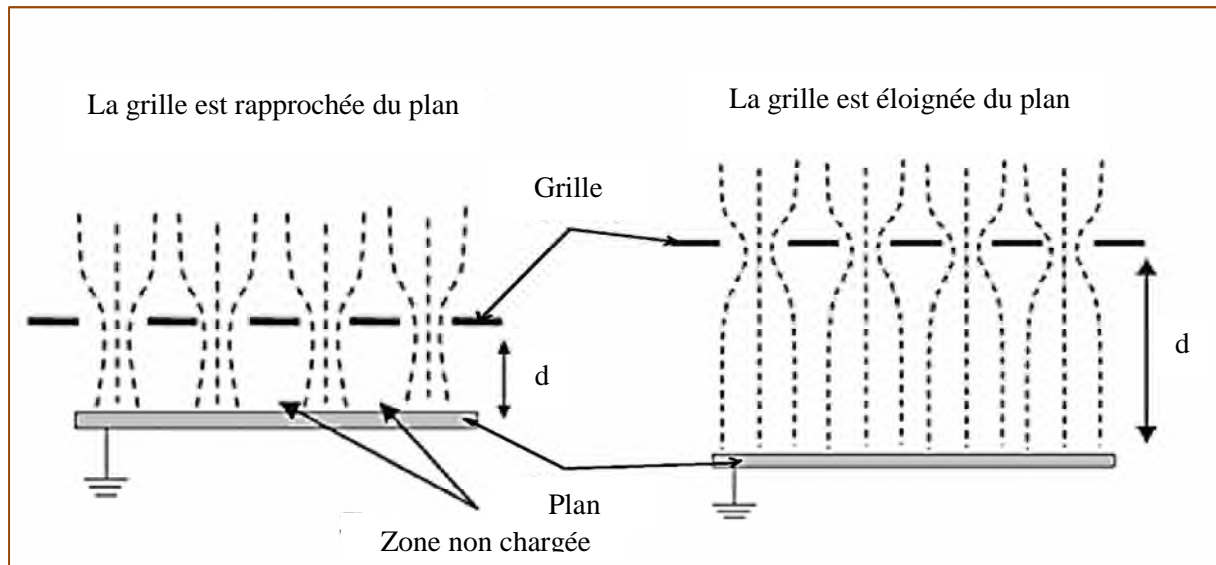


**Figure (II.12) :** Effet de la position de la grille sur la largeur de dépôt.

### II.6.2.b) Effet de la position de la grille sur l'uniformité de dépôt

Si la grille est très proche de la masse, telle qu'elle est présentée à la figure (II.13) l'inhomogénéité du champ électrique entre la grille et le plan s'accroît et il apparaît des zones non chargées. En effet, les dimensions des mailles de la grille ne sont plus négligeables par rapport à la distance  $d$  relativement petite, alors l'uniformité de dépôt n'est plus garantie. Ainsi, il faut maintenir une distance minimale entre la grille et le plan de masse afin que

l'ensemble grille-plan soit semblable à une configuration plan-plan et pour éviter, lors de la charge du média fibreux, tout contact entre la grille et les fibres du matériau.



**Figure (II.13)** : Effet de la position de la grille sur l'uniformité de dépôt.

## II.7 Conclusion

Nous avons donné quelques généralités sur les matériaux diélectriques utilisés dans le génie électrique pour les besoins des dispositifs électriques. Les électrets, notamment les médias fibreux et films minces sont très demandés dans le domaine industriel eu égard à leurs excellentes susceptibilités de mieux mettre au profit ces mécanismes physiques.

Ce chapitre est consacré à la présentation de l'état des connaissances sur les électrets obtenus à partir des matériaux isolants fibreux et des films. En premier lieu, nous aborderons brièvement les techniques et les étapes de fabrication utilisés dans l'industrie pour des applications aussi diverses que l'isolation et la fabrication des produits électriques. Ensuite, nous accorderons une attention particulière aux mécanismes mécaniques et électriques de collecte des particules qui coexistent lorsque ces médias fibreux ont subi un dépôt de charges électriques. Nous évoquerons également les méthodes de formation des électrets, en accordant une place de choix aux dispositifs de charge basés sur l'effet couronne car leur mise en œuvre est moins coûteuse et permet une meilleure maîtrise du dépôt de charges électriques.

# ***CHAPITRE III***

***Méthodes de mesure de la  
charge déposée sur la surface  
d'un diélectrique***

### III.1 Introduction

La compréhension des phénomènes liés à la génération de la charge d'espace et à son évolution ainsi qu'au comportement du diélectrique chargé permettra non seulement la prévention des risques électrostatiques, mais aussi l'amélioration des performances des électrets. Pour cela, dans ce chapitre, nous intéressons aux mécanismes de génération de la charge d'espace et à ses effets. Nous abordons globalement les techniques expérimentales qui caractérisent l'aptitude du diélectrique à stocker ou à évacuer la charge électrique et en particulier les techniques de mesures électrostatiques, utilisées pour caractériser l'état de charge du média et son évolution dans le temps, à savoir la mesure de la charge électrique et le potentiel de surface.

Nous nous intéressons aux méthodes permettant de caractériser l'état de charge des électrets obtenus par excès de charges, notamment ceux qui ont subi un dépôt de charges par décharge couronne, ainsi qu'aux méthodes permettant l'évaluation du potentiel de surface.

### III.2 Caractérisation d'un électret

Le comportement d'un électret est intimement lié à sa charge d'espace qui dépend à la fois des mécanismes de sa génération, son accumulation et les phénomènes de dissipation de cette charge dans le diélectrique. L'accumulation significative de charges électriques se produit dans des matériaux isolants ayant une résistivité supérieure à  $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ . C'est le cas des polymères dont l'habilité à stocker de la charge est très élevée [31]. L'étude de la réponse des isolants solides chargés s'effectue souvent dans deux situations types, à savoir, la mesure du courant en circuit fermé et la mesure du potentiel de surface en circuit ouvert.

#### III.2.1 Mesure de courant :

Cette configuration qui est illustrée par la figure (III.1), est la plus facile à maîtriser, le diélectrique étant placé entre deux électrodes. Ainsi la surface de l'isolant est à un potentiel unique, imposé par le circuit et sa caractérisation s'effectue par la mesure du courant  $i(t)$  [32]. Dans le cas où le matériau possède une conductivité intrinsèque, un courant de conduction  $i_c$  sera superposé au courant d'absorption. Ce dernier est composé d'un pic de charge instantané égal au courant de déplacement et d'un courant de polarisation. La conduction extrinsèque peut se manifester à des valeurs de champ et de température élevées. Elle est due à l'injection et au transport de la charge d'espace dans le diélectrique. Lorsqu'on court-circuite après un

certain temps, le courant de conduction s'annule et un courant de résorption se manifeste avec la même dynamique que le courant d'absorption mais de signe opposé, c'est un courant de décharge [33].

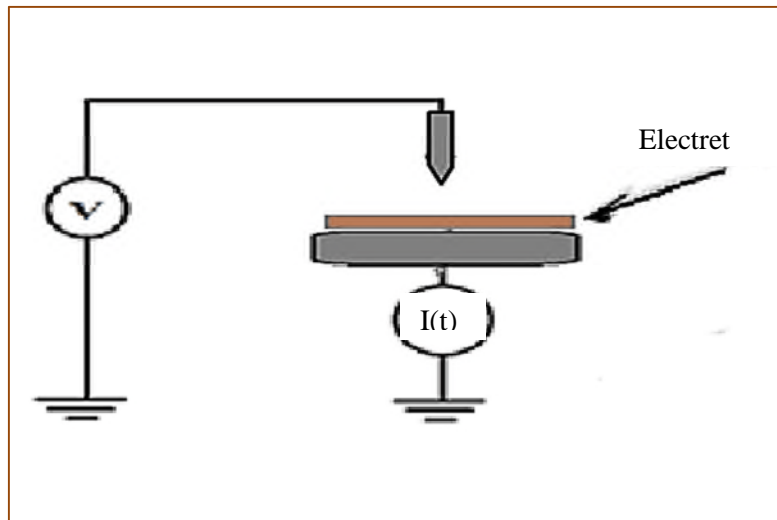


Figure (III.1): Mesure de courant à potentiel fixe.

### III.2.2 Mesure du potentiel :

Cette configuration qui est illustrée par la figure (III.2), permet de caractériser l'électret par la mesure de variation du potentiel de surface. Le matériau étant posé sur une électrode reliée à la masse, la surface supérieure est libre et elle subit un dépôt de charges électriques afin de fixer la distribution de charge initiale. Ceci peut être réalisé par décharge couronne. Une sonde asservie au potentiel de la surface libre permet la mesure de ce potentiel, ainsi, le champ à l'extérieur du diélectrique est nul et le circuit peut être considéré ouvert.

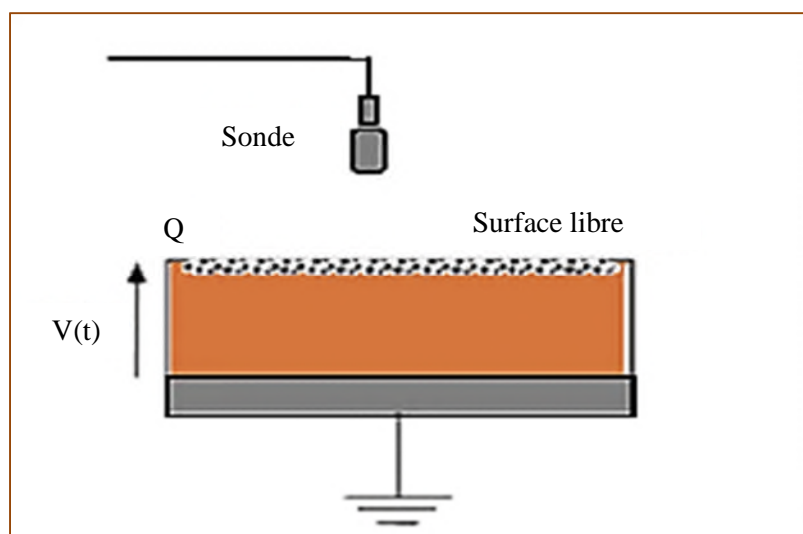


Figure (III.2) : Caractérisation d'un matériau par le potentiel de surface après dépôt de charge.

### III.3 Équations de base

Dans la modélisation en électrostatique des isolants chargés, les équations de Maxwell font intervenir, en chaque point de l'isolant et à tout instant, le vecteur de déplacement électrique  $\vec{D}$ , la densité de charge  $\rho$  et la densité de courant  $\vec{j}$ . Le problème est régi par l'équation de Poisson (III.1) et l'équation de continuité (III.2).

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad \text{III.1}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \vec{j} = 0 \quad \text{III.2}$$

Le déplacement électrique s'écrit en fonction du champ électrique  $\vec{E}$ , la polarisation  $\vec{P}$  et la permittivité du vide  $\epsilon_0$  :

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad \text{III.3}$$

Les conditions aux limites sont nécessaires et elles dépendent de la situation considérée. Le potentiel de la face inférieure de cet isolant est nul. L'utilisation de la sonde électrostatique de mesure asservie au potentiel de l'isolant, impose un champ électrique nul à l'extérieur de celui-ci. Ainsi le déplacement électrique en chacun des points de l'isolant sera égal à la densité surfacique de charge existante entre ce point et l'extérieur de l'isolant [30]. Cette densité de charge, fixée initialement par le procédé de charge, sera la grandeur d'entrée [32]. L'équation de continuité, en circuit ouvert, s'écrit dans ce cas en chaque point de l'isolant:

$$\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + (\sigma + \sum \mu_i \rho_i) \cdot \vec{E} - \sum D_n \vec{\nabla} \rho_i = 0 \quad \text{III.4}$$

Le second terme représente la conduction composée d'une conductivité intrinsèque du matériau et d'une conduction due à la charge d'espace, avec  $\mu_i$  et  $\rho_i$  étant la mobilité et la densité de charge du porteur de type  $i$ . Le dernier terme représente la diffusion des porteurs, caractérisés par la constante de diffusion  $D_n$ .

### III.4 Méthodes d'évaluation de l'état de charge

L'évaluation des charges d'espace d'un électret, réparties en surface et en profondeur du matériau, peut se réaliser par la mesure directe ou indirecte de celles-ci. Elle permettra de caractériser l'aptitude du diélectrique à accumuler et à piéger des charges électriques.



Plusieurs techniques de mesures ont été développées, certaines d'entre elles permettent d'estimer la répartition spatiale de la charge d'espace et son amplitude, tandis que d'autres donnent la possibilité d'accéder à des informations relatives aux charges d'espace dans les isolants sans pour autant conduire à la détermination de la distribution spatiale [33].

#### **III.4.1 Les mesures indirectes :**

Les mesures indirectes vont permettre de déterminer des paramètres physiques intervenant dans le comportement électrostatique des corps étudiés. Le fait que certains matériaux plus que d'autres posent problème d'un point de vue électrostatique est lié à la difficulté qu'ils ont à écouler les charges électriques. En effet, un risque de décharge électrique apparaît lorsque les charges ont le temps de s'accumuler en quantité suffisante pour atteindre le potentiel disruptif de l'air. La plupart des mesures faites sur les matériaux, sont des mesures permettant de déterminer la potentialité de ces matériaux à retenir les charges électriques, ce sont donc des mesures de résistance ou de résistivité électrique, au niveau de la surface ou du volume du matériau.

#### **III.4.2 Les mesures directes**

Les mesures directes de la charge électrique sont établies sur un même principe de base; un capteur relié à un appareil de mesure dont la base est un voltmètre. L'impédance d'entrée de ce voltmètre doit être la plus grande possible, afin d'éviter toute consommation de sa part.

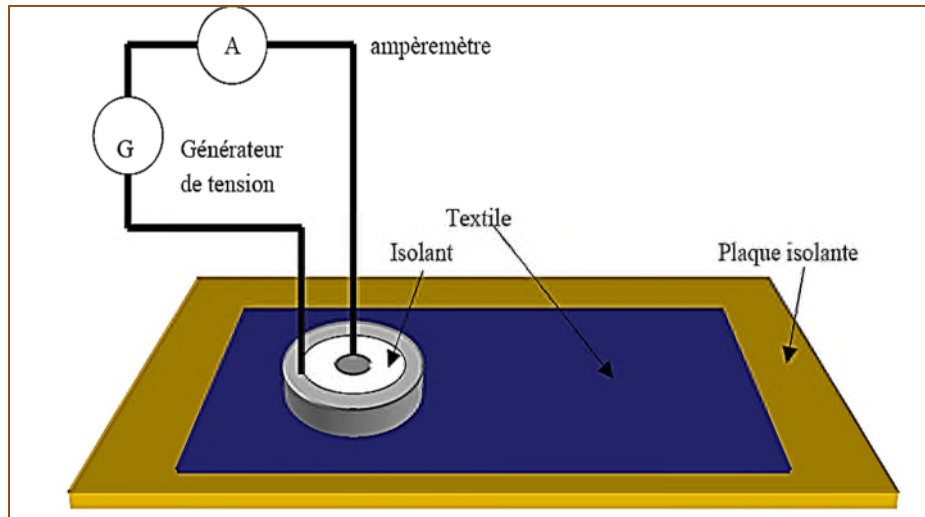
### **III.5 Mesure de la résistance**

La notion de résistance électrique est la propriété qu'un corps s'oppose au passage du courant électrique (son unité est l'Ohm). On détermine la résistivité superficielle par une mesure de résistance entre deux électrodes parallèles à la surface d'un échantillon, quand on a la distance inter-électrodes qui est égale à la longueur de l'électrode (configuration d'un carré), d'où la résistivité est indépendante des dimensions et est égale à la résistance mesurée. Cette résistivité superficielle est exprimée plus fréquemment en  $\Omega$  par carré.

Les mesures des résistances sont faites selon les normes suivantes : (IEC 613406-5-1, EN 1149-1, EN 1149-2) [24].

### III.4.1 Mesure de la résistivité de surface

Selon la norme (EN 1149-1), la méthode de détermination de la résistivité de surface est illustrée sur la figure (III.3). Cette méthode est basée sur l'utilisation d'une électrode concentrique [34].

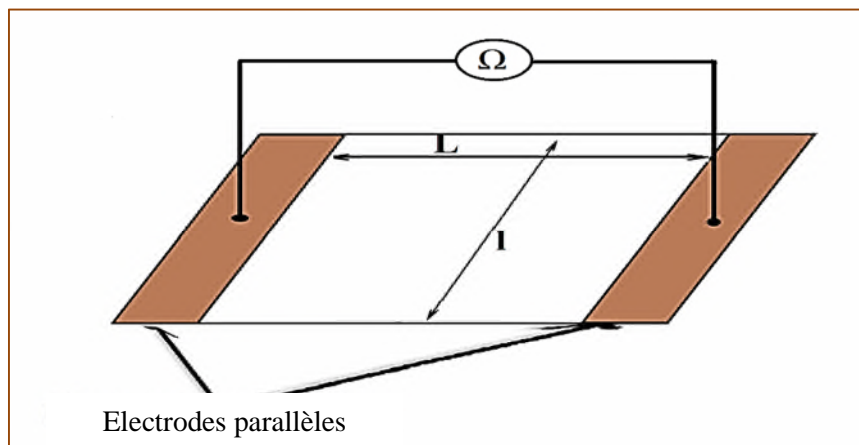


**Figure (III.3) :** Principe de mesure de la résistivité superficielle selon la norme EN 1149-1 [24].

#### III.4.1.a) Mesure de la résistivité de surface entre deux électrodes parallèles

Pour déterminer la résistivité de surface, il suffit de mesurer la résistance entre deux électrodes parallèles à la surface de l'échantillon figure (III.4). Dans ce cas la résistivité  $\rho_s$  se déduit de la résistance de surface  $R_s$  mesurée avec l'ohmmètre par l'utilisation de la relation :

$$\rho_s = R_s \frac{1}{L} \quad \text{III.5}$$



**Figure (III.4) :** Mesure de la résistivité de surface entre deux électrodes parallèles.

Lorsqu'on a  $\frac{l}{L}$  égal à l'unité, dans ce cas là on trouve la configuration d'un carré, d'où l'égalité suivante :  $\rho_s = R_s$ . La résistivité est alors exprimée en  $\Omega$  par carré.

### III.4.1.b) Mesure de la résistivité de surface entre deux électrodes concentriques

Pour déterminer la résistance de surface et la résistivité de surface avec l'utilisation des électrodes concentriques, il faut connaître d'abord la densité de courant dans l'espace inter-électrodes. Pour le cas d'anneaux concentriques la densité de courant  $\mathbf{J}$  est donnée par l'équation (III.6) [34].

$$\mathbf{J} = \frac{I_s}{2\pi r e_0} \quad \text{III.6}$$

Avec:

- $I_s$  : correspond au courant électrique de surface (on suppose en fait que tout le courant circule dans une fine couche d'épaisseur  $e_0$  à la surface de l'échantillon) ;
- $r$  : Le rayon variant de  $h_1$  qui est le rayon de l'électrode centrale à  $h_2$  représentant le rayon interne de l'électrode extérieure. La figure (III.5) représente la configuration d'une électrode concentrique.

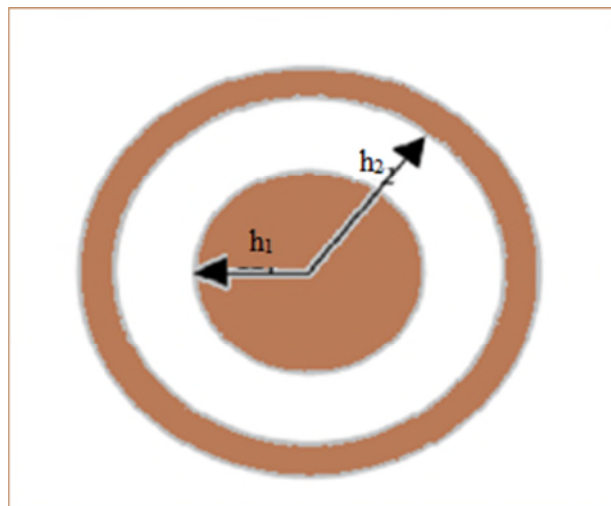


Figure (III.5) : Configuration d'une électrode concentrique.

Nous pouvons déterminer l'intensité du champ électrique  $\mathbf{E}$ , avec l'application de la loi d'ohm entre les deux électrodes, par conséquent on a l'équation (III.7).

$$\mathbf{E} = \rho \cdot \mathbf{J} = \frac{\rho I_s}{2\pi r e_0} \quad \text{III.7}$$

Où  $\rho$  : est la résistivité volumique de la fine couche superficielle.

On détermine la tension  $U$  entre les deux électrodes par l'intégration du champ électrique  $E$  entre  $h_1$  et  $h_2$ .

$$U = \int_{h_1}^{h_2} E \, dr = \frac{\rho I_s}{2\pi r e_0} \int_{h_1}^{h_2} \frac{1}{r} \, dr = \frac{\rho I_s}{2\pi r e_0} \ln\left(\frac{h_2}{h_1}\right) \quad \text{III.8}$$

On déduit la résistance de surface  $R_s$ :

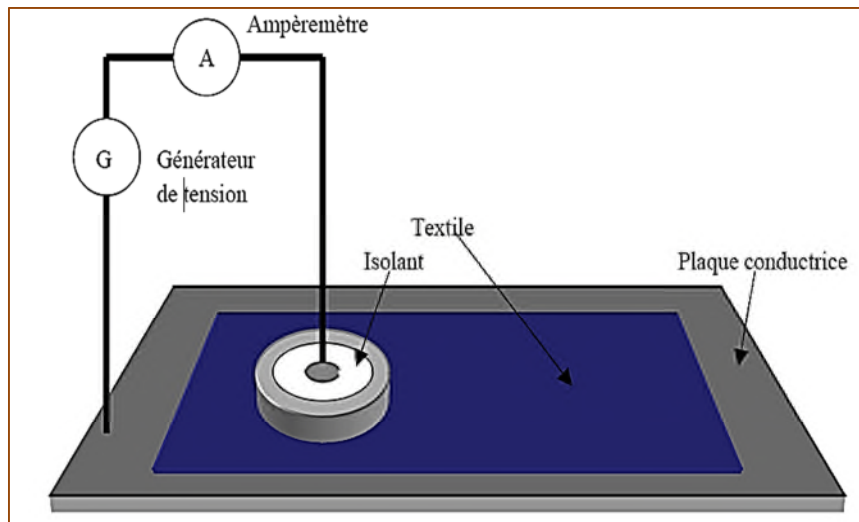
$$R_s = \frac{U}{I_s} = \frac{\rho}{2\pi r e_0} \ln\left(\frac{h_2}{h_1}\right) \quad \text{III.9}$$

La résistivité surfacique est alors donnée par la relation:

$$\rho_s = \frac{\rho}{e_0} = \frac{2\pi}{\ln\left(\frac{h_2}{h_1}\right)} R_s \quad \text{III.10}$$

### III.4.2 Mesure de la résistivité transversale

Pour mesurer la résistance transversale, en utilisant la même électrode concentrique et en plaçant l'échantillon entre l'électrode et un plan conducteur, on réalise la mesure de la résistance transversale comme est indiquée par la norme (NE1149-2) et montrée sur la figure (III.6).



**Figure (III.6)** : Principe de mesure de la résistance transversale selon la norme EN 1149-2 [24].

La détermination de la résistance transversale par cette méthode se fait directement par le rapport de la tension  $U$  appliquée entre le plan conducteur et l'électrode et le courant  $I_T$  qui traverse l'échantillon et mesuré par l'électrode.

$$R_T = \frac{U}{I_T} \quad \text{III.11}$$

### III.5 Méthodes électrostatiques de mesure de charge

Les méthodes électrostatique de caractérisation des électrets doit permettre la détection des charges électriques sans qu'il y ait ni circulation de courant électrique ni redistribution et neutralisation partielle de ces charges. Ces techniques reposent sur le principe que les charges réelles induisent leurs images en surface conductrice [34].

Les mesures qui restent pratiques et fiables sont des mesures sans contact basées sur le phénomène d'influence. Elles permettent de mesurer soit le champ électrique, soit le potentiel électrique, ces mesures pouvant servir alors à étudier la réponse d'un électret. Le principe porte sur l'utilisation d'une électrode détectrice reliée à un instrument de mesure, le plus souvent un électromètre. Cependant il faut garder à l'esprit que se sont des mesures très sensibles, il faut que la mesure elle-même n'affecte pas les résultats. C'est pourquoi il est important que l'impédance d'entrée de l'appareil de mesure soit très élevée ( $>10^{11}\Omega$ ) et que la capacité d'entrée soit faible ( $< 5\text{pF}$ ) [35].

Il est également important de réunir des conditions optimales car tout couplage capacitif de l'électrode détectrice peut introduire une erreur de mesure substantielle. Des dérives de mesure peuvent être attribuées au circuit électronique et aux accumulations de la charge indésirable sur ou à proximité de l'électrode sonde. La qualité des mesures dépend aussi de l'environnement et de l'état de surface de l'électrode détectrice. La résolution des mesures dépend de la configuration géométrique formée par la sonde et l'échantillon ainsi que leurs dimensions respectives [34]. Cette section est focalisée sur la présentation des différents principes de mesure sans contact en électrostatique.

#### III.5.1 Méthode de compensation

Considérons le dispositif de la figure (III.7), d'où l'expression des tensions  $V_S$  et  $V_0$  respectivement aux bornes de l'électret et aux bornes de l'intervalle d'air est obtenue. Si l'intervalle d'air entre l'électrode supérieure et la surface libre de l'électret tend vers l'infini et en introduisant la densité surfacique totale de charges  $\sigma_T$ , telle qu'elle est définie par la relation :

$$\sigma_T = \sigma_s + \sigma_p = \sigma_r - P + \sigma_p \quad \text{III.12}$$

Avec:  $\sigma_p$ : Est appelée la projection de  $\mathbf{p}(\mathbf{x})$  ou la densité surfacique équivalente.

$\sigma_s$ : Densité surfacique.

Alors nous pouvons réécrire l'expression de ces tensions :

$$V_s = V_0 = \frac{\sigma_T d}{\epsilon_r \epsilon_0} \quad \text{III.13}$$

La densité surfacique totale de charges en fonction de la tension aux bornes est :

$$\sigma_T = \frac{\epsilon_r \epsilon_0}{d} V_s \quad \text{III.14}$$

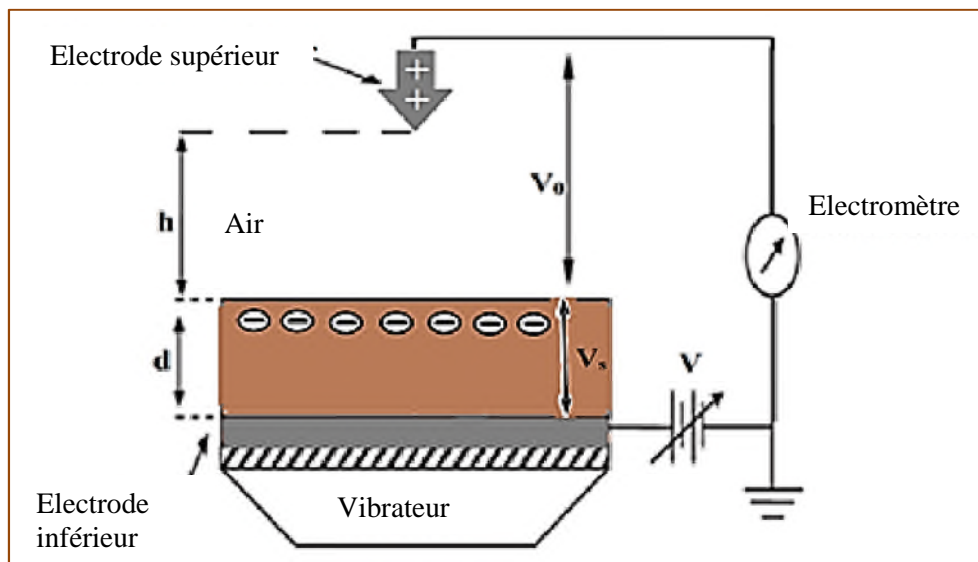
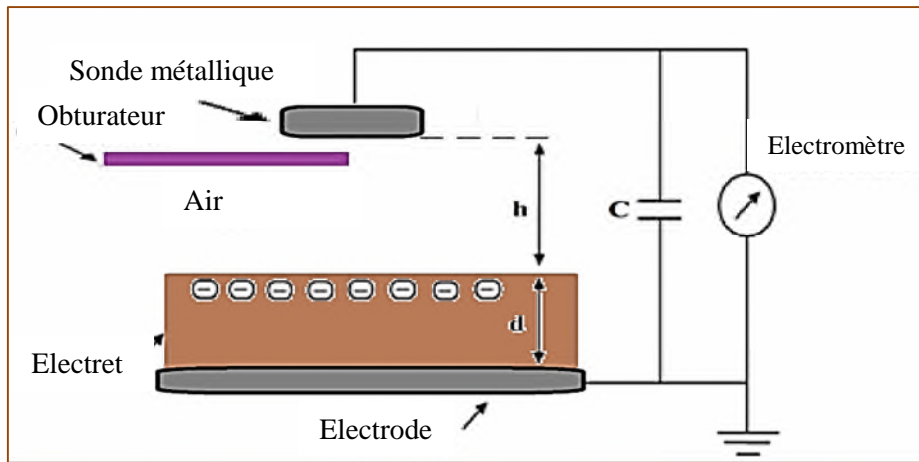


Figure (III.7) : Principe de la méthode de compensation.

Cette méthode est simple et elle ne nécessite pas la mesure de l'intervalle d'air. Pour améliorer la sensibilité du dispositif, illustré à figure (III.7), on provoque des vibrations de l'électret à l'aide d'un vibreur. Les vibrations provoqueront une variation de l'intervalle d'air et l'électromètre indiquera une composante alternative. Si la compensation de la tension  $V_0$  est effectuée avec précision, par un ajustement adéquat de la source continue, alors la composante alternative sera éliminée [28].

### III.5.2 Méthode à sonde capacitive

Cette méthode est utilisée pour caractériser un électret dont une face est libre et l'autre est métallisée ou en contact avec une électrode reliée à la masse. Dans ce cas, une sonde métallique est placée en parallèle avec la surface libre du diélectrique dont l'intervalle d'air est assez large. La sonde est reliée à l'électrode à travers un condensateur électrique de capacité très élevée que celle formée par la sonde et l'électrode. La figure (III.8) illustre le principe de la sonde capacitive dont un obturateur couvre la sonde métallique du champ de l'électret.



**Figure (III.8) :** Principe de la sonde capacitive

Lorsque l'obturateur est retiré, la sonde est exposée au champ créé par l'électret et des charges électriques s'écoulent vers la capacité en créant à ses bornes une tension, dont la valeur est indiquée par l'électromètre. Cette tension est exprimée en fonction de la densité des charges induite au niveau de la sonde métallique  $\sigma_{\text{sup}}$ , sa surface  $S$  et la capacité  $C$  du condensateur :

$$V = - \frac{S\sigma_{\text{sup}}}{C} \quad \text{III.15}$$

L'évaluation de la densité surfacique totale de charges  $\sigma_{\text{T}}$  peut être obtenue en introduisant la relation:

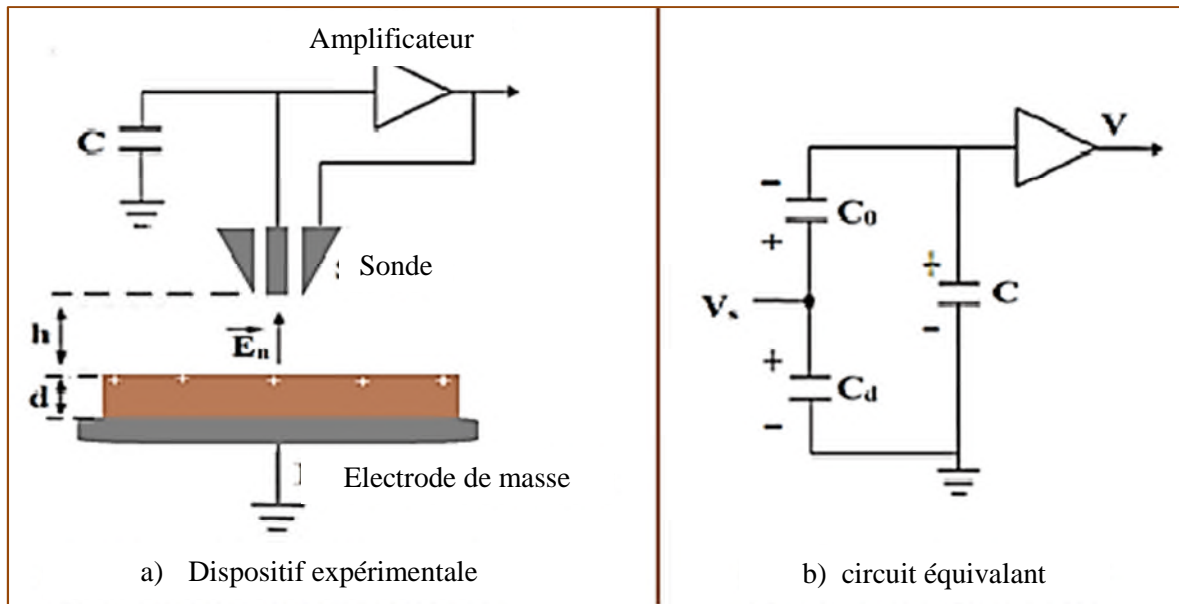
$$\sigma_{\text{T}} = - \frac{(\epsilon_r h + d)}{d} \sigma_{\text{sup}} \quad \text{III.16}$$

Cette densité surfacique totale de charges  $\sigma_{\text{T}}$  peut être exprimée en fonction de la tension indiquée par l'électromètre.

$$\sigma_{\text{T}} = \frac{(\epsilon_r h + d)}{d} \frac{CV}{S} \quad \text{III.17}$$

### III.5.3 Méthodes de Sonde à induction

Lorsque la plaque sensible de la sonde à induction, présentée sur la figure (III.9), est exposée au champ électrique  $\vec{E}_n$  créé par des charges proches, une charge image apparaît et qui est recueillie au niveau du condensateur ayant une capacité  $C$ . La tension aux bornes de cette capacité est amplifiée et le signal est exploité afin de déterminer soit le champ électrique, soit la charge d'un isolant [35].



**Figure (III.9) :** Modèle capacitif de la sonde à induction.

- $C$ : la capacité du circuit extérieur (champ-mètre ou électromètre + câblage).
- $C_0$ : la capacité définie entre la face libre du diélectrique et la sonde.
- $C_d$ : la capacité définie entre la face libre du diélectrique et l'électrode de masse.

La relation entre le potentiel de surface  $V_s$  et la tension  $V$  mesurée à l'aide de la sonde à induction est :

$$V_s = \frac{C_0 + C}{C_0} V \quad \text{III.18}$$

Sous la sonde, le champ électrique est supposé perpendiculaire à la surface de l'électrode détectrice et uniforme, alors :

$$E_n = \frac{|V_s - V|}{h} = \frac{C}{C_0} \frac{V}{h} \quad \text{III.19}$$

En introduisant l'expression de la capacité  $C_0$ , définie entre la sonde et la face libre de l'isolant dont  $h$  est la distance entre eux, le champ électrique vu par la sonde sera fonction de la tension mesurée, la capacité  $C$  et la surface de l'électrode détectrice  $A$ . Par contre, ce champ dépend de l'épaisseur  $d$  du diélectrique et de la présence de l'électrode de masse à travers de la tension mesurée de  $V$ . L'expression du champ est explicitée par la relation suivante:

$$E_n = \frac{C}{\epsilon_0 A} V \quad \text{III.20}$$

Le numérateur de cette expression  $CV$  représente la charge totale  $Q$  vue par la sonde, et la densité de charge surfacique  $\sigma_s$  le long de la surface  $A$  de l'électrode détectrice est égale



à cette charge divisée par la surface  $A$ . La condition standard à la limite, s'applique au niveau de la surface conductrice de la sonde, alors:

$$D_n = \epsilon_0 E_n = \sigma_s \quad \text{III.21}$$

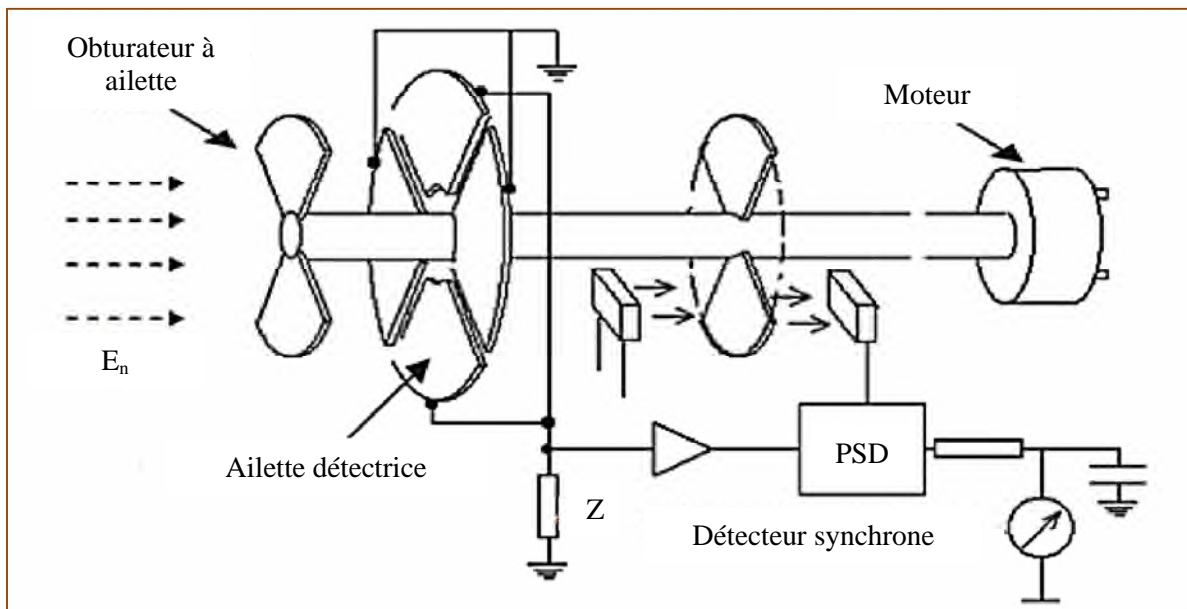
Ceci est complètement en accord avec l'expression (III.20) du champ  $E_n$  et elle peut être retrouvée:

$$E_n = \frac{\sigma_s}{\epsilon_0} = \frac{\frac{Q}{A}}{\epsilon_0} = \frac{C V}{\epsilon_0 A} \quad \text{III.22}$$

Ces résultats supposent que la distribution de la charge surfacique le long de la surface vue par la sonde est uniforme. La taille de la sonde est un facteur d'intensification du champ au niveau de sa surface, ceci peut affecter la distribution surfacique de la charge d'où nous réitérons l'importance de la géométrie de la sonde et la surface chargée du diélectrique [36].

### III.5.4 Méthodes de Moulin à champ

Le moulin à champ fonctionne sur le même principe que la sonde à induction, seulement un obturateur tournant, sous forme d'une ailette, permet de moduler le champ incident en obstruant par intermittence la plaque sensible. Il permet une meilleure sensibilité et il n'est pas nécessaire de refaire le zéro à chaque mesure.



**Figure (III.11)** : Schéma de principe d'un moulin à champ [25].

La modulation de la charge induite, obtenue par la modulation de la surface exposée au champ incident, génère un signal alternatif proportionnel au champ, peut être amplifié à

l'aide d'un système de détection synchrone. Cela évite les perturbations dues aux champs alternatifs non harmoniques de la fréquence de l'obturateur et les dérives lentes inhérentes aux amplificateurs pour tensions continues [37].

L'abréviation PSD (phase-sensitive detection) désigne le détecteur synchrone.

En introduisant la condition limite à la surface de l'ailette détectrice, le courant engendré par la variation de la charge induite  $Q$  à cause de la modulation de la surface  $A$  exposée au champ s'écrit :

$$i = \frac{dQ}{dt} = \frac{d(\sigma_s A(t))}{dt} = \epsilon_0 E \frac{dA(t)}{dt} \quad \text{III.23}$$

Supposant que la modulation de la surface  $A$  est définie par l'harmonique suivante :

$$A(t) = A_0 \frac{1 + \sin(\omega t)}{2} \quad \text{III.24}$$

Alors le pic de courant dépendra de l'intensité du champ incident et la fréquence de la modulation :

$$i_{\text{pic}} = \omega \epsilon_0 E \frac{A_0}{2} \quad \text{III.25}$$

Le moulin à champ est exploité pour concevoir un voltmètre sans contact, il existe des versions commerciales. Le principe, présenté à la figure (III.12), est celui qu'un moulin à champ miniature qui utilise une sonde dont l'armature n'est pas reliée à la masse. Le signal délivré par le détecteur synchrone est amplifié à l'aide d'un amplificateur haute tension. Ce dernier est connecté à l'armature de la sonde, ainsi une contre-réaction est réalisée et elle permet d'asservir potentiel de la sonde jusqu'à ce que le champ incident approche le zéro.

Lorsque l'annulation du champ est obtenue, alors le potentiel de l'armature de la sonde est égale au potentiel de surface du diélectrique chargé. Cette technique introduit moins de perturbations et elle permet de suivre l'évolution du potentiel de surface [38].

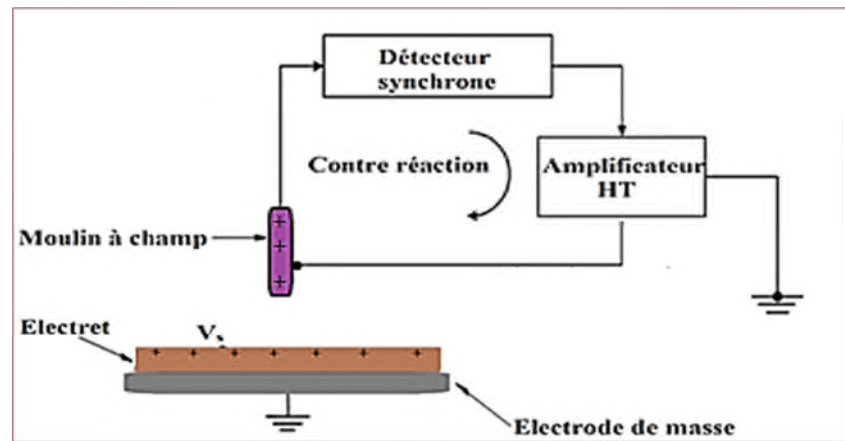


Figure (III.12) : Principe du voltmètre sans contact.

### III.5.5 Sonde à condensateur vibrant

La sonde à condensateur vibrant est aussi connue sous le nom de la sonde capacitive de Kelvin. Elle 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 contourner les dérives de la sonde à induction. En effet, il est possible de transformer au préalable les tensions ou courants continus que l'on veut mesurer en tensions alternatives de façon à pouvoir utiliser des amplificateurs ordinaires à couplage par capacité ou par induction [39].

Pour effectuer cette conversion, un procédé utilisable est celui d'une modulation par variation de capacité, procédé purement électrostatique. Une sonde métallique vibre à l'aide d'un oscillateur mécanique au-dessus de la surface chargée d'un échantillon, où les déplacements de la plaque métallique sont perpendiculaires au champ électrique incident de la surface chargée. La figure (III.13) illustre ce principe de modulation :

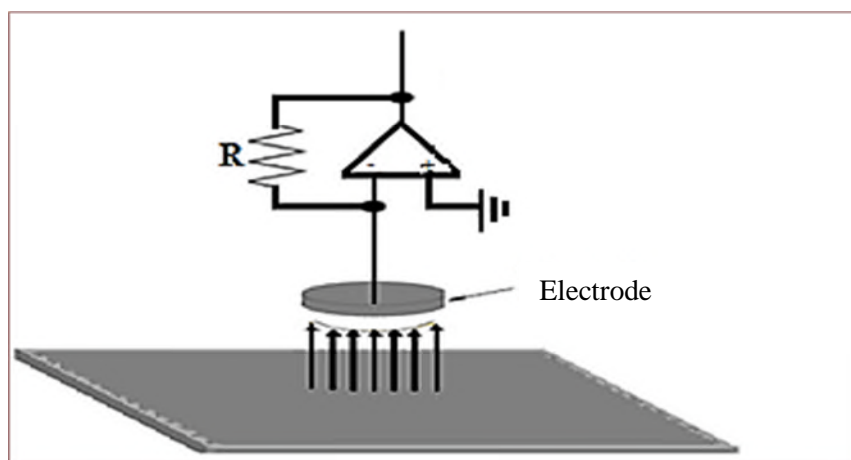


Figure (III.13) : Principe de modulation par variation de capacité.

Le signal détecté est l'intensité de courant électrique  $i$  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 [38].

$$i = C \frac{dV_s}{dt} + V_s \frac{dC}{dt} \quad \text{III.26}$$

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.27), où  $C_0$  est la capacité moyenne et  $C_1$  est l'amplitude des variations.

$$C = C_0 + C_1 \sin(\omega t) \quad \text{III.27}$$

Pour une différence du potentiel de surface  $V_s$  entre la sonde et l'échantillon constant, l'expression (III.26) du courant se réduit à :

$$i = V_s \frac{dC}{dt} \quad \text{III.28}$$

La mesure automatique de la différence du potentiel de surface  $V_s$ , est obtenue par l'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 ( $V_s - V_m$ ).

$$i = (V_s - V_m) \frac{dC}{dt} = 0 \quad \text{III.29}$$

### III.6 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de comprendre que; la compréhension et la maîtrise des phénomènes liés à la génération de la charge d'espace et à son évolution, ainsi le comportement du diélectrique chargé, sont indispensables à la mise en œuvre des solutions techniques appropriées, pour l'amélioration des performances des électrets.

On a choisi parmi les méthodes de dépôt des charges présentées auparavant, la méthode sans contacte par la décharge couronne pour la suite de notre travail, qui offre une meilleure maîtrise de contrôle des charge déposée. Les techniques de mesures électrostatiques, notamment la mesure de potentiel de surface, sont faciles à utiliser pour caractériser l'état de charge des électrets et son évolution dans le temps.

# ***CHAPITRE VI***

***Etude expérimental et  
interprétations des résultats***

## **IV.1 Introduction**

L'objectif de ce travail est d'étudier le processus de charge et de décharge des films en polypropylène (PP). Dans le but de maîtriser leur électrisation par décharge couronne, On procède à l'identification des facteurs influents, ainsi leurs interactions sur la charge déposée et sur la stabilité de celle-ci. Les échantillons sont chargés par décharge couronne positive ou négative afin de montrer l'éventuelle influence de la polarité sur la capacité du diélectrique et sur la stabilité de la charge déposée.

Afin d'atteindre cet objectif, la génération des charges, leurs dépôts sur la surface du film en PP, ainsi que le suivi de leurs évolution dans le temps. Nous avons utilisé un dispositif expérimental constitué de deux postes; poste de chargement et poste de mesure et d'acquisition de données. Les charges sont générées par décharge couronne dans une configuration d'électrodes de type « duale ». Bien que l'évaluation de l'état de charge est basée sur la mesure du potentiel de surface et le suivi de son déclin dans le temps. L'évolution du potentiel de surface au cours du temps est obtenue par des mesures sont contact a l'aide d'une sonde électrostatique.Cette sonde est reliée à un voltmètre électrostatique qui est interfacé par l'intermédiaire d'un électromètre à un ordinateur doté d'un instrument virtuel.La mesure du potentiel de surface en fonction du temps, permet de fournir des informations sur la vitesse d'écoulement des charges déposées. Une base de données est conçue pour le traitement et l'analyse de l'évolution du potentiel de surface et le suivi de son déclin.

Les mesures réalisées sont présentées et discutées en fonction des paramètres de charge par la décharge couronne. Evidemment, la tension électrique,la durée de dépôt des charges et la polarité, sont les facteursqui nous intéressent afin de voir leurs influences sur l'état de charge et le déclin du matériau.

## **IV.2 Problématique**

Le gros défi, auquel notre travail a dû répondre, était d'assurer l'uniformité et la persistance de la charge des films, afin d'améliorer l'état de charge de ces matériaux réalisés par décharge couronne positive et négative.

La technique utilisée pour la charge du matériau est basée sur la configuration d'électrodes (fil-plan). Le dépôt des charges sur la surface libre du matériau est assuré par des décharges couronne dans un arrangement d'électrodes de type dual(figure IV.1), alimentées en tension continue positives ou négatives; cette dernière doit être assez élevée pour générer

des décharges couronnes, ces charges se dirigent sous l'action du champ électrique vers le matériau situé sur la plaque métallique reliée à terre.

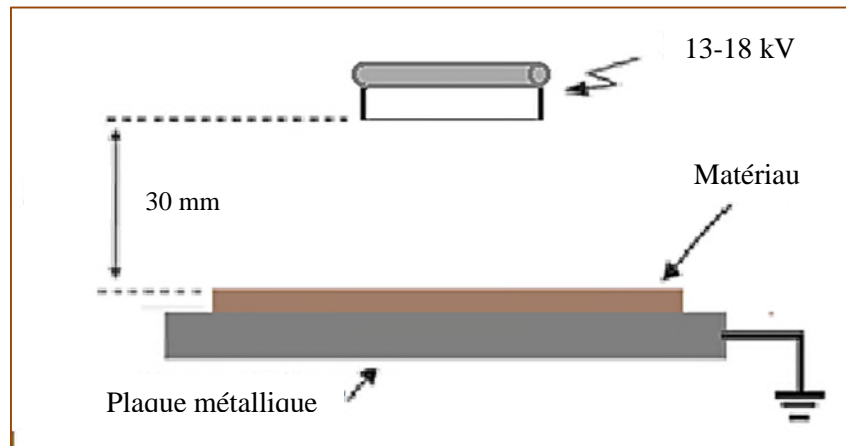


Figure (IV.1) : Dispositif expérimental.

Les solutions techniques pour améliorer l'état de charge du matériau nécessite une meilleure maîtrise du dépôt des charges électriques par décharge couronne. Le suivi de l'état de charge des films pourrait se faire par la mesure du potentiel de surface, qui permettra une évaluation des facteurs impliqués dans l'affaiblissement de la charge.

### IV.3 Matériaux testés

Les expériences ont été réalisées sur un film en polypropylène d'épaisseur de 120µm, longueur de 10 cm et de largeur de 7,5 cm. L'évaluation de l'état de charge par la mesure du potentiel de surface permet d'approfondir nos connaissances sur le comportement et la capacité des matériaux en polypropylène (PP) à retenir les charges.

Le polypropylène (PP) est un polymère non polaire, très bon isolant, il est aussi le polymère industriel le moins épais. Le tableau (IV.1) présente quelques propriétés du polypropylène [25].

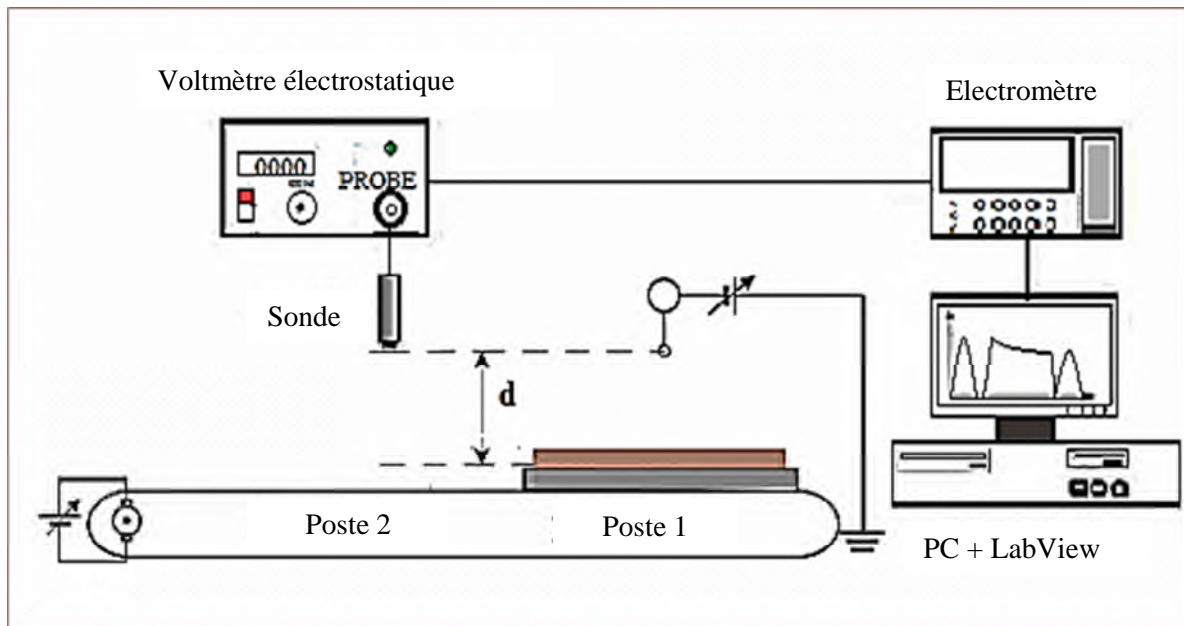
Tableau (IV.1) : Quelques propriétés du polypropylène (PP)

▪ Permittivité relative à 20°C et 50Hz	2,1 à 2,7
▪ Facteur de pertes diélectriques à 20°C et 50Hz	0,0001 à 0,0005
▪ Rigidité diélectrique à 20°C (MV/m)	50 à 95
▪ Résistivité transversale (Ω. cm)	$10^{15}$ à $10^{17}$
▪ Absorption d'eau en pourcentage par 24h de temps d'immersion.	< 0,05
▪ Masse volumique (kg. m <sup>-3</sup> )	904

#### IV.4 Mode expérimental

Le dispositif expérimental permet d'effectuer les différents essais, réalisée à l'institut d'Angoulême université de Poitier, le dépôt de charge et la mesure du potentiel de surface, ainsi que son déclin. Il s'agit d'une configuration très courante dans l'étude du potentiel de surface et le suivi de son déclin, où l'une des surfaces de l'isolant est chargée. Le matériau est en contact avec une plaque métallique, liée à la terre, est porté par un chariot solidaire avec un tapis roulant qui se déplace par l'intermédiaire d'un moteur électrique à vitesse réglable, pour transférer l'échantillon vers le poste de mesure.

L'ensemble des mesures sont réalisées, est constitué dans deux postes. La figure (IV.2) illustre l'ensemble de ces postes ainsi que les instruments utilisés. Sur le premier poste, la charge de la surface libre du matériau est obtenue en l'exposant durant un temps variable, à une décharge couronne générée dans une configuration d'électrodes « duale ». Après avoir été chargé, le matériau est transféré vers le poste de mesure sans contact du potentiel de surface. L'utilisation de l'électromètre, dans le poste de mesure, a permis l'interfaçage des appareils de mesures avec l'ordinateur, et cela pour réaliser l'acquisition des données à l'aide d'un instrument virtuel «LabView».



**Figure (IV.2):** Dispositif expérimental de dépôt et de mesure de potentiel de surface et son déclin (DPS).



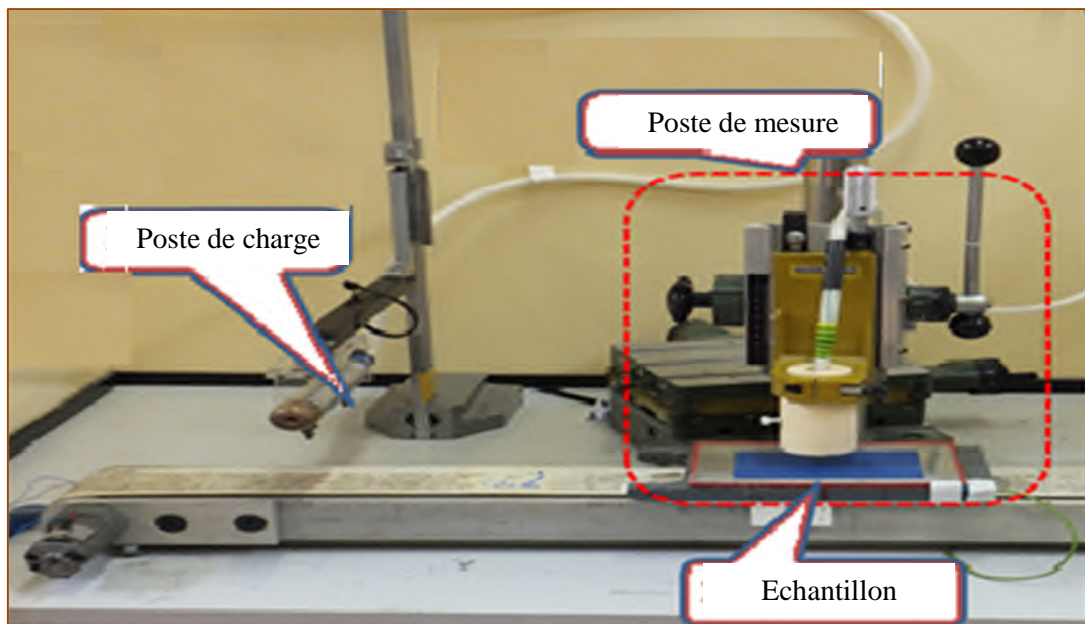


Figure (IV.3): Photographie de Dispositif expérimental.

#### VI.4.1 Poste de charge

La méthode la plus simple et la plus répandue pour déposer des charge sur la surface d'un matériau isolant est la technique de dépôt par décharge couronne. Elle permet d'effectuer le dépôt de charge sans contact avec la surface du diélectrique, et dans l'air ambiant ou dans des chambres dont les paramètres de l'air sont contrôlés. Il est supposé habituellement qu'il y a différents types de pièges sur la surface du diélectrique dans lesquels les charges peuvent être piégées. Cette méthode consiste à exposer la surface du matériau directement à la décharge couronne générée dans l'une des configurations d'électrodes « pointe-plan » ou « fil-plan ».

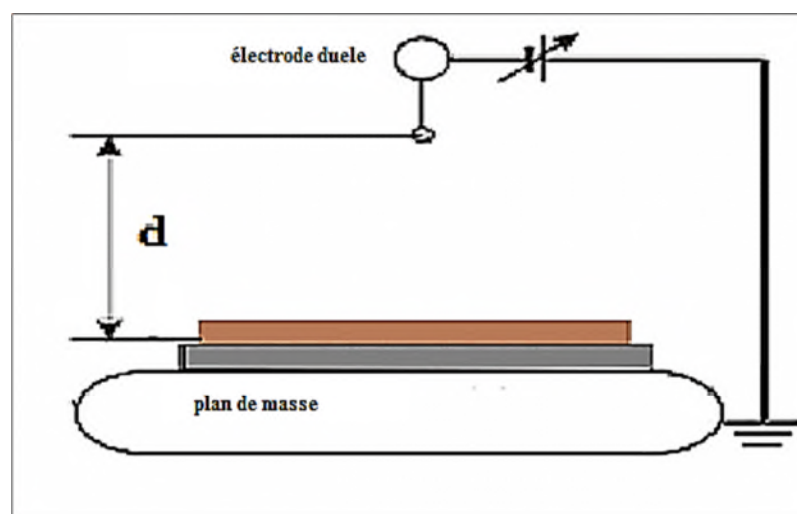


Figure (IV.4): Poste de charge.

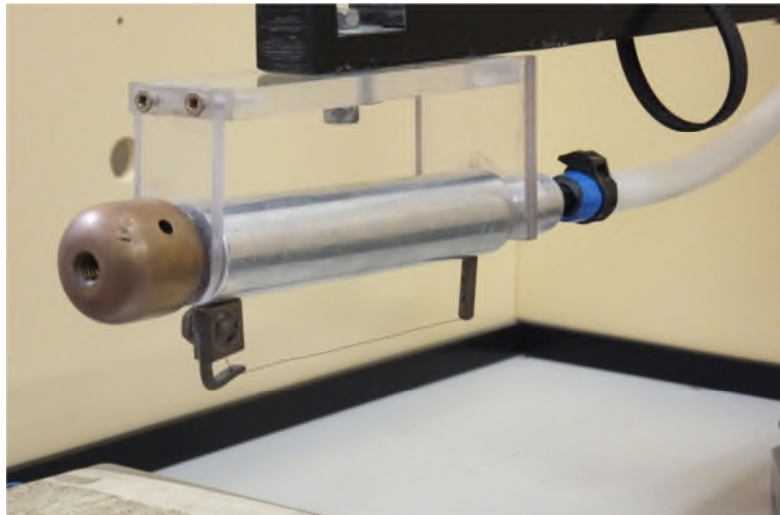


Figure (IV.5): Photographie de l'électrode duale

L'électrode duale est composée d'un fil en acier, ayant un rayon de 0,1mm, relié à un cylindre métallique ayant un diamètre de 26mm. L'ensemble est porté à un potentiel continu de polarité positive ou négative. La distance inter électrodes est de 30mm.

#### VI.4.2 Poste de mesure

Une fois que le matériau est chargé par décharge couronne, il est transféré vers le deuxième poste dédié à la mesure du potentiel de surface. La figure( IV.6) illustre le principe de mesure sans contact du potentiel de surface.

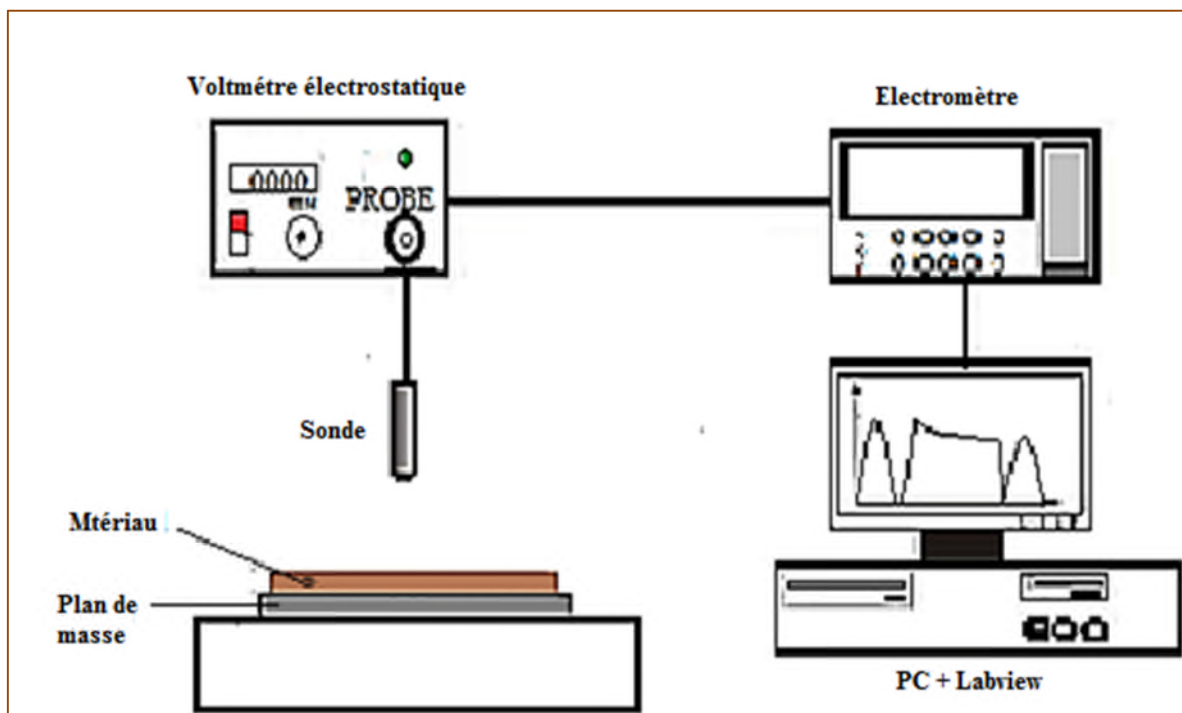


Figure (IV.6): Poste de mesure.

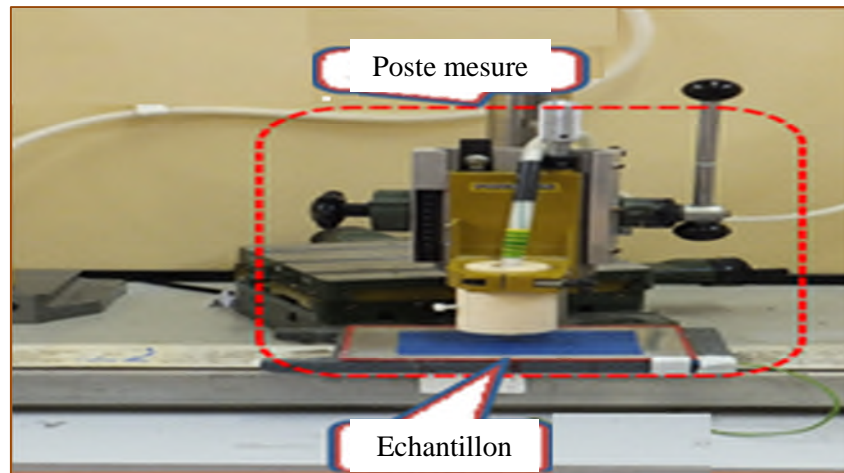


Figure (IV.7): Photographie du poste de mesure.

Le matériau positionné sous la sonde électrostatique à condensateur vibrant (modèle 3450) est située à une distance de 3mm. La sonde à son tour est connectée à un voltmètre électrostatique de type Trek modèle 341B, permet la mesure du potentiel de surface et le suivi de son déclin, au-dessus de la surface de l'échantillon. L'acquisition et l'enregistrement des données expérimentales sur ordinateur sont gérés par un instrument virtuel « LabView ». Un électromètre numérique de type Keithley modèle 6514, étant branché au voltmètre électrostatique, communique avec l'instrument virtuel implanté à l'aide d'un ordinateur et un bus GPIB de la norme IEEE 488. La figure (IV.8) présente la face avant de l'instrument virtuel « LabView », cette interface permet de contrôler l'acquisition des données, des mesures et l'affichage de celles-ci.

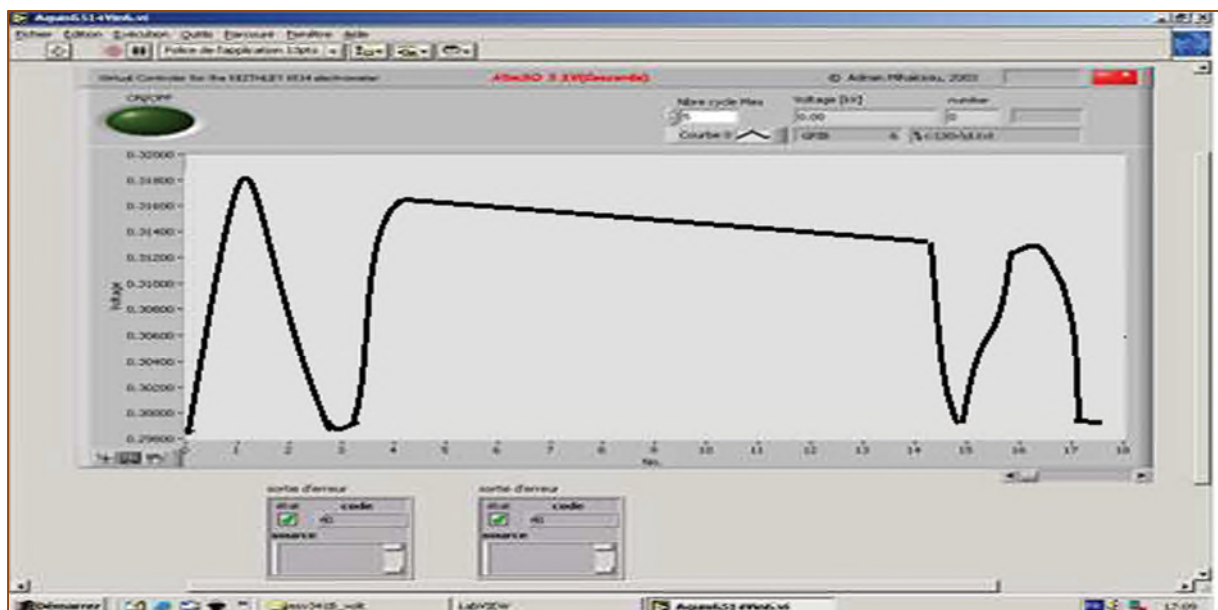


Figure (IV.8): Profils du potentiel de surface avant et après son déclin et le suivi de son déclin sur l'instrument virtuel.

### IV.5. Evaluation de l'état de charge en polarité négative

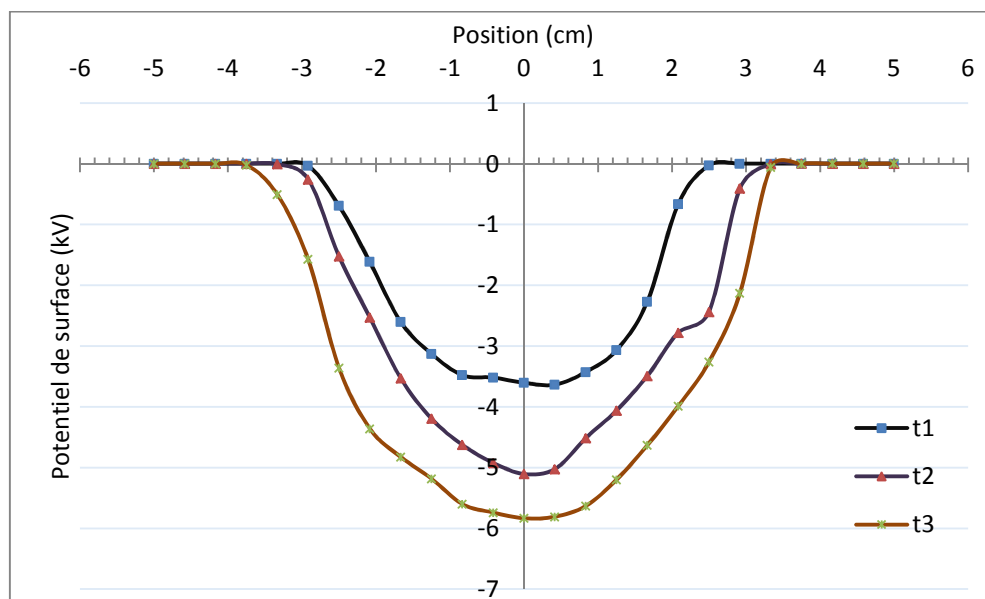
Dans cette partie, nous présentons les profils du potentiel de surface et les courbes de son déclin, obtenu sur des échantillons chargés par décharge couronne continue négative.

Pour éviter la dégradation physique de la surface d'échantillons, nous avons appliqué des tensions de 13 kV, 15 kV et 18 kV pour chaque durée d'exposition de la charge de 2 s, 10 s et 30 s, dont l'expérience est générée dans une configuration d'électrode « duale-plan ». Où les mesures sont déroulées dans les conditions atmosphériques suivantes:

- La température est comprise entre 24 et 26°C.
- L'humidité relative est comprise entre 50 et 53 %.

#### IV.5.1. Influence du temps d'exposition sur la charge déposée

La figure (IV.9) présente les différents profils du potentiel de surface, pour les différents temps d'exposition  $t_c$  à une tension continue positive  $V_a = 15\text{kV}$ .



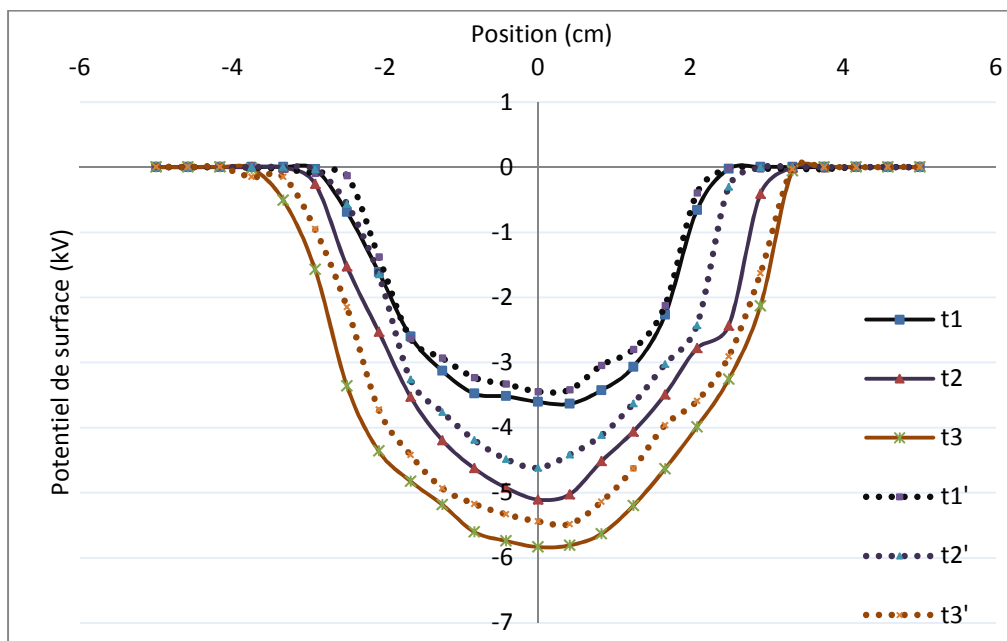
**Figure (IV.9):** Les profils du potentiel de surface en fonction du temps d'exposition  $t_c$  pour une tension appliquée  $V_a$  de 15kV.  $t_1 = 2\text{s}$ ,  $t_2 = 10\text{s}$  et  $t_3 = 30\text{s}$ .

La figure(IV.9) montre la distribution du potentiel de surface, mesuré le long de l'axe d'échantillon. Où les valeurs crête du potentiel ont été enregistrées au centre de l'échantillon. On remarque clairement que le potentiel de surface est lié à la durée de dépôt des charges. On d'autres termes le potentiel est proportionnel au temps d'exposition de l'échantillon à la décharge couronne négative.

La largeur de la zone chargée du matériau s'élargit avec le temps d'exposition, elle est autant plus large que le temps d'exposition et grand. Dans les trois essais, la largeur de la surface chargée est de 5,5 cm pour la durée d'exposition de 2 s, 6,5 cm pour 10 s et 7 cm pour 30s. Cette croissance de largeur de la zone chargée est proportionnelle à la durée d'exposition, c'est à-dire plus la durée est longue plus la surface couverte par les ions produits par les décharges est large.

#### IV.5.1.a) Influence du temps d'exposition sur le déclin de la charge déposée

La figure (IV.10) présente les profils des potentiels de surface des charges déposées juste après le dépôt et après 10 minutes. La comparaison des profils des potentiels avant et après leurs déclin peut montrer d'éventuelle influence du temps d'exposition sur le déclin du potentiel de surface. Pour chaque durée de chargement deux profils sont prélevés, le premier est juste après l'extinction du réacteur couronne et le second profil est prélevé après dix (10) minutes.



**Figure (IV.10):** Les profils de déclin du potentiel de surface en fonction du temps d'exposition  $t_c$  pour une tension appliquée  $V_a$  de 15kV.  $t_1 = 2\text{ s}$ ,  $t_2 = 10\text{ s}$  et  $t_3 = 30\text{ s}$ .  $t_1, t_2$  et  $t_3$  mesuré après 10 s et  $t_1', t_2'$  et  $t_3'$  après 10mn du dépôt de charge.

On remarque que la durée d'activation par décharges couronne est assez élevée, ce qui influe fortement sur le potentiel de surface et la dynamique du déclin mesuré.

Plusieurs phénomènes physiques contribuent à la diminution de la charge déposée sur la surface de l'échantillon. Dans cette section on s'efforce de trouver d'éventuelle corrélation

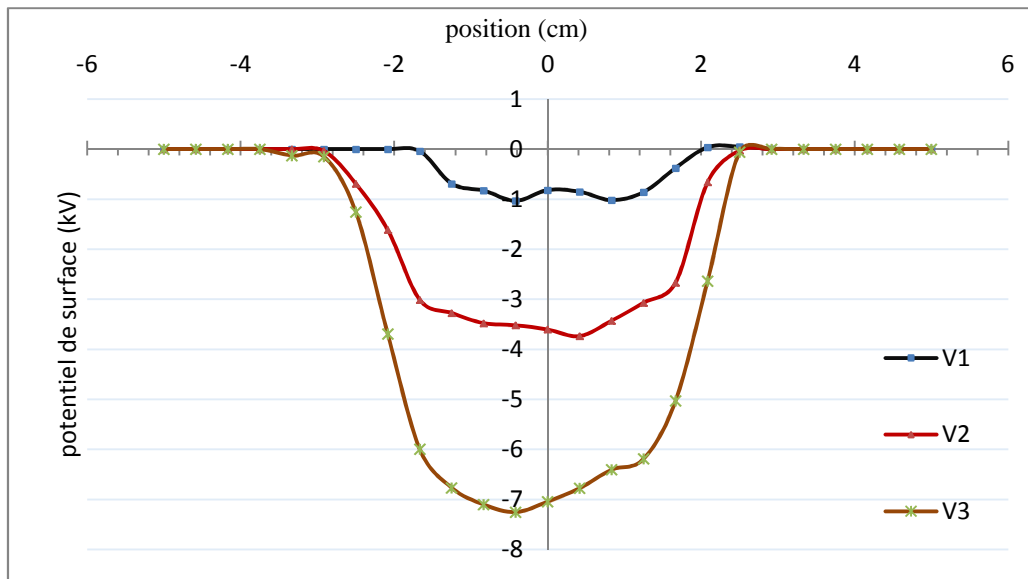
entre le temps de chargement et ces phénomènes. On constate que le déclin du potentiel de surface n'est pas le même pour les différentes valeurs du temps d'exposition, l'écart est important pour les valeurs du potentiel initial très élevée. En effet, le déclin de la valeur maximal est de 140 V pour un temps d'exposition de 2s correspondant au potentiel initial de -3,64 kV, 480 V pour 10s et 390 V pour 30s, correspondant aux potentiels initiaux de -5,10 kV et -5,83 kV respectivement.

On constate que la charge de matériau diminue plus vite, lorsque le potentiel de la charge déposée sur la surface du matériau diélectrique est très important. Les différences entre les profils du potentiels de surface avant et après le déclin ne sont pas les mêmes. Ceci signifie probablement qu'il y a, d'une part, l'existence d'un effet du champ locale qui joue un rôle important dans le processus de déclin, l'intensification du champ électrique provoque une conduction surfacique et/ou volumique, d'autre part. Un effet de la neutralisation des charges par l'air, suit aux recombinaisons de la charge avec les ions de polarité opposé contenu dans l'air ambiant.

En observant les profils des potentiels de surfaces, prélevés juste après le dépôt et après 600 secondes, ou nous avons constatés de légères diminutions dans la largeur de la zone chargée. Ceci révèle que la conduction surfacique est très faible ou inexistante. Ainsi le déclin de la charge déposée sur la surface diélectrique est dû à la conduction volumique et au phénomène de recombinaison des ions contenu dans l'air avec la charge surfacique.

#### **IV.5.2. Influence de la tension appliquée $V_a$ sur la charge déposée**

Les profils du potentiel de surface obtenus après des dépôts de charge, d'une durée de 2 secondes, par décharge couronne en utilisant trois tensions de l'électrode active sont présentés sur la figure (IV.11). Les profils prélevés illustrent l'effet de la tension appliquée à l'électrode active sur le potentiel de surface de la charge déposée et sur la largeur de la surface chargée.



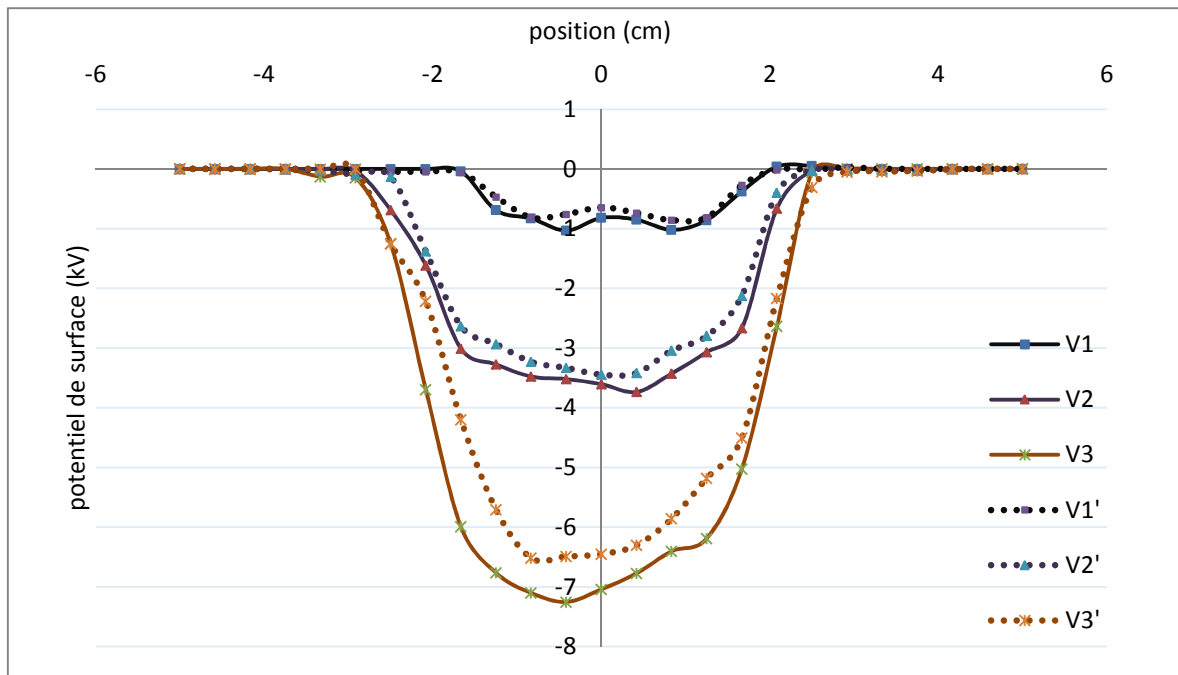
**Figure (IV.11):** Les profils du potentiel de surface en fonction de tension appliquée  $V_a$  pour un temps d'exposition  $t_c = 2$  s,  $V_1 = 13$  kV,  $V_2 = 15$  kV et  $V_3 = 18$  kV.

La figure (IV.11), montre la distribution du potentiel de surface mesuré le long de l'axe de l'échantillon, où les valeurs crêtes du potentiel de surface sont enregistrées au voisinage du milieu de l'échantillon, correspondant à la position juste au-dessous de l'électrode duale. Les profils montrent que les valeurs du potentiel de surface et la largeur de la zone chargée sont proportionnelles aux potentiels de l'électrode couronne. En effet, la charge s'accumule sur la surface du matériau, de sorte que l'amplitude du potentiel de surface augmente lorsque la tension appliquée est élevée.

La largeur de la zone chargée du film s'élargit avec l'augmentation du temps d'exposition, pour les trois valeurs de la tension de chargement, on mesure respectivement 3,6 cm pour une tension appliquée de 13 kV, 5 cm pour 15 kV et 5,4 cm pour 18 kV. Cette croissance de la largeur de la surface chargée est aussi proportionnelle à la durée d'exposition, c'est-à-dire plus la durée de chargement est longue plus la réception des ions produite par les décharges soit grande, ce qui justifie l'augmentation de la conduction surfacique, ainsi le matériau se charge pleinement.

#### IV.5.2.a) Influence de la tension appliquée $V_a$ sur le déclin de la charge déposée

Les profils présentés sur la figure (IV.12), montrent l'influence des valeurs des tensions appliquées à l'électrode couronne sur le déclin du potentiel de surface. Les premiers profils sont prélevés juste après le dépôt, approximativement 10 secondes, et les seconds profils après 10 min.



**Figure (IV.12):** Les profils de déclin du potentiel de surface en fonction de tension appliquée  $V_a$ ,  $t_c=2$  s.  $V_1 = 13$  kV,  $V_2 = 15$  kV et  $V_3 = 18$  kV.  $V_1$ ,  $V_2$  et  $V_3$  prélevés après 10 s et  $V_1'$ ,  $V_2'$  et  $V_3'$  après 10 mn du dépôt de charge.

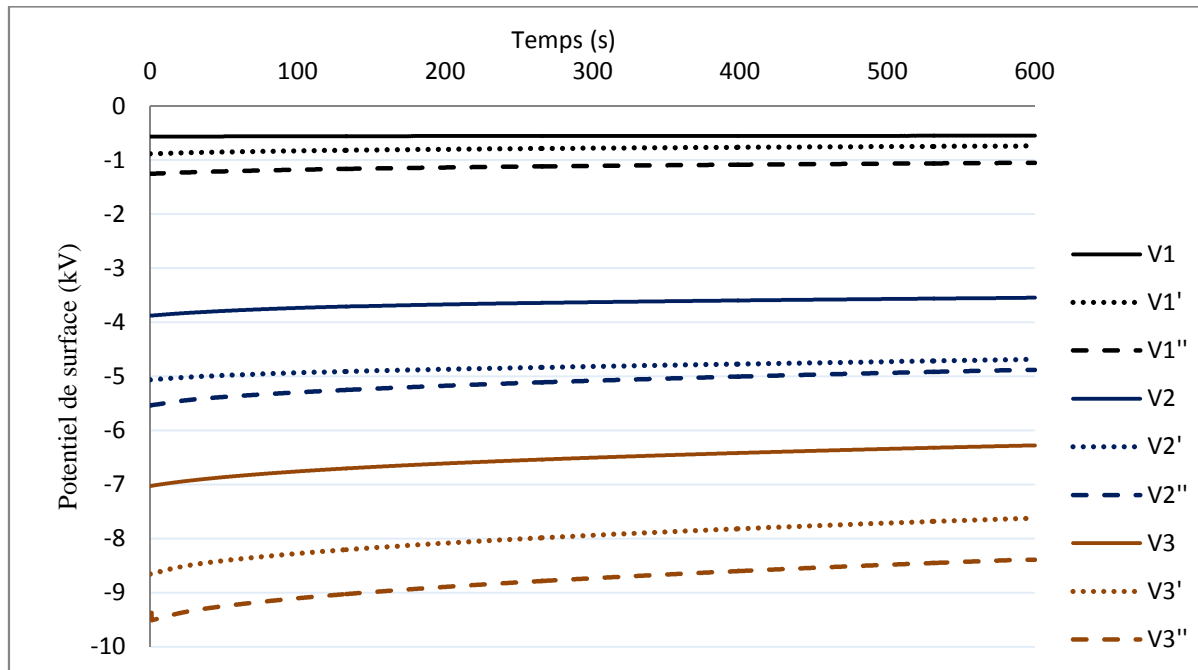
Les résultats montrent que même pour une courte durée d'exposition de 2 secondes le potentiel de surface de la charge déposée peut atteindre des valeurs de l'ordre de kilovolt. Le potentiel de surface augmente avec l'augmentation de la tension du réacteur couronne, mais plus le diélectrique est chargé plus cette charge est moins stable. Le potentiel de surface décline plus vite lorsque la tension appliquée à l'électrode couronne est très élevée. En effet, le potentiel de surface diminue de 180 V pour la tension appliquée de 13 kV, de 320 V pour 15 kV et de 600 V pour la tension de 18 kV. Le fait que la courbe d'évolution du déclin n'est pas la même, cela signifie probablement l'existence d'un effet du champ local qui joue un rôle important dans le processus du déclin, provoquant une conduction surfacique et/ou volumique. Et l'effet de la neutralisation par l'air, suit aux recombinaisons de la charge déposée avec les ions et des porteurs de charge de polarité opposée de l'air ambiant.

### IV.5.3. Le déclin du potentiel de surface (DPS)

Les courbes de DPS, en configuration duale, sont présentées en fonction de la tension appliquée et de la durée de dépôt des charges en figure (IV.13). Nous avons utilisé trois tensions d'alimentation de l'électrode couronne 13, 15 et 18 kV; une tension légèrement supérieure à la tension seuil de l'effet couronne 13 kV. Afin d'éviter une décharge complète



et/ou toute altération de la surface du film en PP par décharge couronne, on s'est limité à 18 kV.



**Figure (IV.13):** Les profils de déclin du potentiel de surface en fonction des tensions appliquées et des durées de dépôt. V1 = 13 kV pour  $t_c = 2$  s, V1' = 13 kV pour  $t_c = 10$  s et V1'' = 13 kV pour  $t_c = 30$  s. V2 = 15 kV pour  $t_c = 2$  s, V2' = 15 kV pour  $t_c = 10$  s et V2'' = 13 kV pour  $t_c = 30$  s. V3 = 18 kV pour  $t_c = 2$  s, V3' = 18 kV pour  $t_c = 10$  s et V3'' = 18 kV pour  $t_c = 30$  s.

La figure illustre les courbes du déclin de potentiel de surface DPS pour les trois valeurs de la tension appliquées, chaque courbe donnant l'évolution du potentiel pendant dix (10) minutes. Nous avons utilisé trois durées de chargement 2 s, 10 s et 30 s pour chaque tension d'alimentation de l'électrode duale. Bien que la tendance du déclin de potentiel de surface mesurée est quasi-linéaire à chaque niveau des décharges appliquées à l'électrode duale. On remarque qu'une longue exposition aux décharges couronnes produites par des tensions relativement élevées accélère le déclin du potentiel de surface. En d'autres termes le déclin est influencé beaucoup plus par l'augmentation de la tension que par la durée d'exposition, malgré une longue exposition procure une charge plus stable. Dans le but d'expliquer le phénomène de la tendance du déclin, nous avons calculé les taux d'affaiblissement du potentiel de surface après dix minutes. Sachant que les valeurs crêtes du potentiel initiales sont différentes, Le taux du DPS obtenus pour les différentes tensions et durées d'exposition sont les suivants:

- Pour  $V_a = 13\text{kV}$ , le taux est respectivement de 1,4%, 1,6% et 1,7% pour les différentes durées de dépôt 2, 10, et 30 s respectivement.
- Pour  $V_a = 15\text{kV}$ , le taux est respectivement de 8,8%, 7,5% et 12% pour différente durée de dépôt, de la valeur initial.
- Pour  $V_a = 18\text{kV}$ , le taux est respectivement de 10,8%, 12% et 14% pour différente durée de dépôt, de la valeur initial.

Ces résultats montrent l'effet des niveaux d'activation de la décharge couronne sur le potentiel de surface et la dynamique de son déclin, reflétant la stabilité de la charge déposée

#### **IV.6. Evaluation de l'état de charge en polarité positive**

Dans cette partie, les expériences sont effectuées avec le même dispositif expérimental utilisé en polarité négative, la même configuration d'électrode « duale-plan » est utilisée pour le dépôt de charge. Tous les essais sont effectués dans l'air ambiant avec les conditions atmosphériques suivantes :

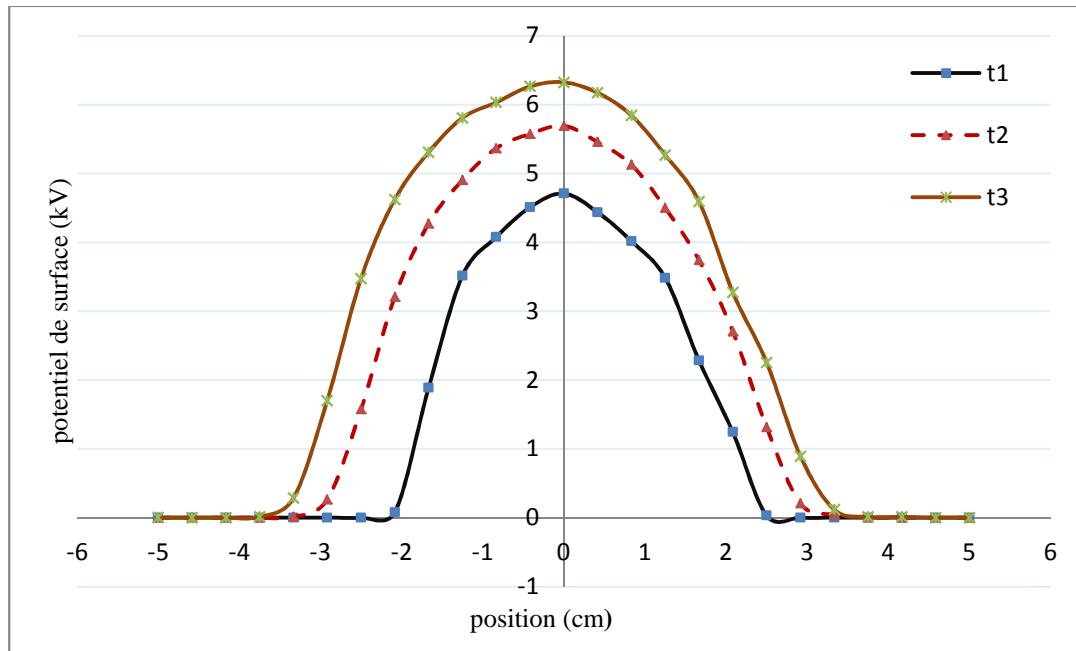
- La température est comprise entre 24 et 26 °C.
- L'humidité relative est comprise entre 50 et 53 %.

Les échantillons sont chargés par une décharge couronne continue positive, le premier profil du potentiel de surface est prélevé juste après l'extinction du réacteur couronne, et le second profil est prélevé après 10 minutes. Des courbes du potentiel de surface DPS, durant dix minutes, reflètent l'évolution de la valeur crête du potentiel de surface qui correspond généralement au milieu de l'échantillon. Nous avons testé les tensions suivantes ; 13 kV, 15 kV et 18 kV, et pour chaque tension appliquée trois durées de chargement de 2 s, 10 s et 30s. Comme pour la polarité négative afin d'éviter la dégradation et le vieillissement de la surface du film, et d'éventuel passage à l'arc de la décharge couronne, la valeur maximale testée est 18 kV.

##### **IV.6.1. Influence du temps d'exposition $t_c$ sur la charge déposée**

Les profils du potentiel de surface prélevés juste après le dépôt sont présentés sur la figure (IV.14). Cette figure montre l'effet du temps de chargement sur le gradient du potentiel de surface et sur la largeur de la surface chargée. En effet la surface chargée est proportionnelle au temps de chargement. Les largeurs des surfaces des échantillons effectivement chargées sont approximativement 4,5 cm, 6 cm et 7,2 cm pour les temps de chargement respectifs de 2

s, 10 s et de 30 s. Cette croissance est proportionnelle à la durée de chargement, c'est-à-dire plus la durée d'exposition est longue, plus la réception des ions produits par les décharges est grande, ce qui justifie l'augmentation de la conduction surfacique, ainsi la charge progresse sur la surface non chargée jusqu'à charger toute la surface du matériau. Ces résultats sont obtenus à la tension d'alimentation de l'électrode couronne  $V_a = 15\text{kV}$ .



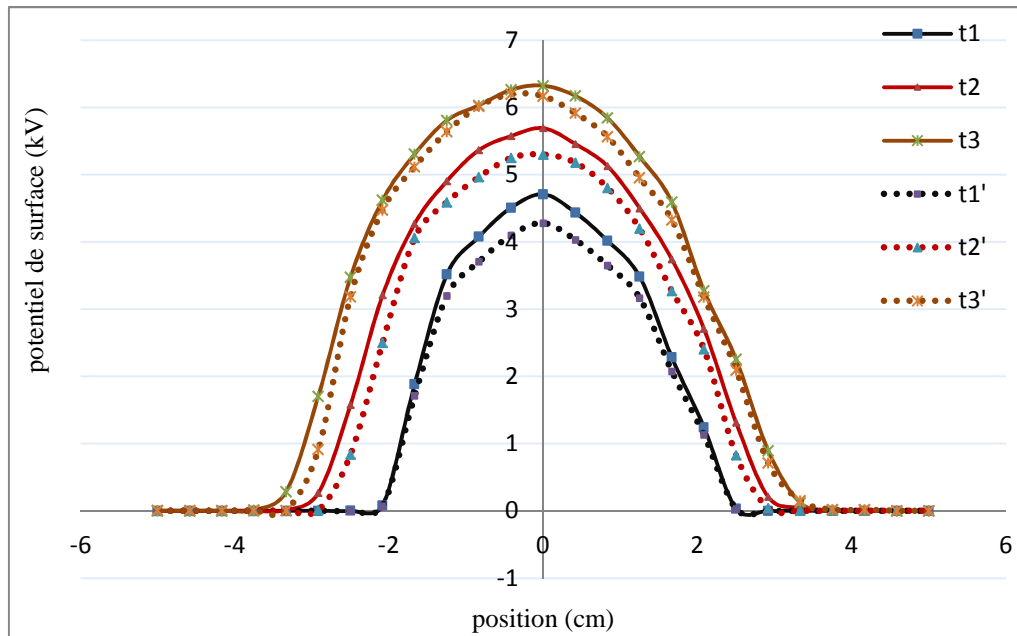
**Figure (IV.14):** Les profils du potentiel de surface en fonction de la durée de dépôt  $t_c$  pour une tension appliquée  $V_a = 15\text{kV}$ .  $t_1 = 2\text{s}$ ,  $t_2 = 10\text{s}$  et  $t_3 = 30\text{s}$ .

Cette figure montre les profils typiques du potentiel de surface prélevés le long de l'axe de l'échantillon, où les valeurs les plus élevées sont enregistrées au centre des échantillons, qui correspond à la position  $x = 0$ . Nous constatons que les profils du potentiel de surface sont étroitement liés à la durée de dépôt des charges.

L'analyse de la figure (IV.14), montre que pour un temps de chargement de 2 s, le potentiel de surface crête enregistré est de 4,71 kV. Il est de 5,69 kV pour le temps de chargement de 10 s et 6,32 kV pour  $t_c = 30\text{s}$ . Ces résultats montrent une augmentation non linéaire du potentiel de surface en fonction du temps de chargement. Sachant que le potentiel de surface est limité par plusieurs phénomènes physiques à savoir la capacité du diélectrique et le déclin.

## IV.6.1.a) Influence du temps d'exposition sur le déclin de la charge déposée

Les profils présentés sur la figure (IV.15) montrent l'influence du temps de chargement sur le taux des charges déposées et sur le déclin du potentiel de surface après 10mn du dépôt de charge.



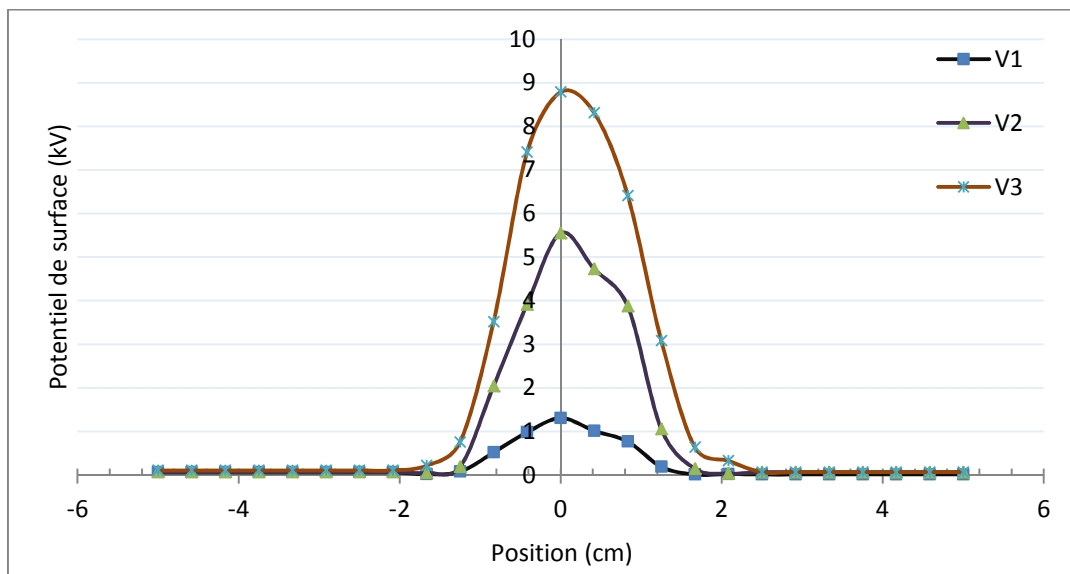
**Figure (IV.15):** Les profils de déclin du potentiel de surface en fonction de la durée de dépôt  $t_c$ ,  $V_a = 15$  kV. Pour  $t_1 = 2$  s,  $t_2 = 10$  s et  $t_3 = 30$  s.  $t_1$ ,  $t_2$  et  $t_3$  mesuré après 10 s et  $t_1'$ ,  $t_2'$  et  $t_3'$  après 10 mn de dépôt de charge.

Les profils du potentiel de surface prélevés juste après le dépôt à la tension de 15 kV sont proportionnels au temps de chargement, en effet la valeur crête du potentiel de surface obtenue avec 2 secondes d'exposition est de 4,71 kV contre 5,69 kV et 6,32 kV pour les temps de chargements de 10 et 30 secondes respectivement. La surface chargée s'élargit avec l'augmentation du temps d'exposition du matériau au flux des ions positifs, même tendance observée en polarité négative. La comparaison des profils après le déclin montre que plus le temps de chargement est long plus la charge déposée est stable et le déclin de potentiel est plus faible. Les valeurs enregistrées du déclin des valeurs crêtes du potentiel pour les trois temps de chargement 2 s, 10 s et 30 s sont respectivement 430 V, 390 V et 150 V. Ceci veut dire que le temps de chargement long procure plus de stabilité à la charge déposée.

On constate aussi une légère diminution de la largeur de la zone chargée après dix mn, ceci révèle que les conduction surfacique est faibles et le déclin est dû aussi à l'effet de recombinaison de la charge surfacique avec les particules de charges opposées de l'air et d'autres phénomènes physique plus complexes liés ou non à la structure du matériau.

### IV.6.2. Influence de la tension appliquée $V_a$ sur la charge déposée

Les profils prélevés après des dépôts de charge par décharge couronne positive durant 10 secondes, chaque profil correspond à une tension d'alimentation de l'électrode duale sont présentés en figure (IV.16). Nous avons choisis trois tensions d'alimentation de l'électrode active pour les mêmes raisons avancés précédemment en polarité négative. Alimenté par trois tensions d'alimentation  $V_a$  de 13, 15 et 18 kV, avec un temps de chargement de 10 secondes, sont présentés en figure (IV.14).



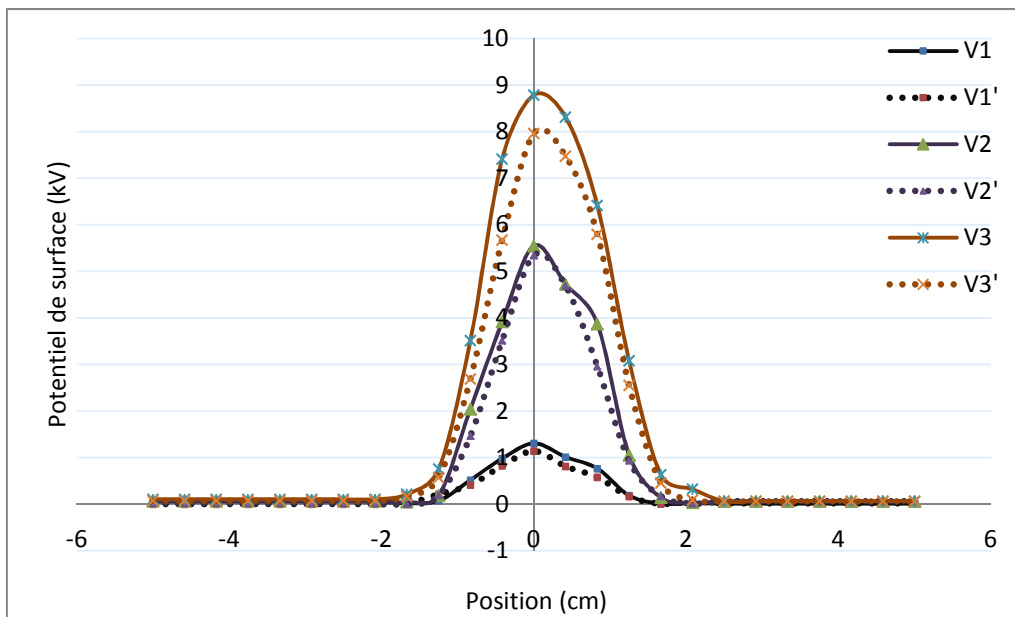
**Figure (IV.16):** Les profils du potentiel de surface en fonction de la tension appliquée pour une durée de dépôt de 10s.  $V1 = 13$  kV,  $V2 = 15$  kV et  $V3 = 18$  kV.

La figure (IV.16) illustre des profils typiques du potentiel de surface pour les trois tensions 13, 15 et 18 kV appliquées à l'électrode active, ou on constate que le potentiel de surface est proportionnel au potentiel appliqué. On a enregistré des valeurs crête au milieu des échantillons 1,31 kV, 5,55 kV et 8,79 kV qui correspondent respectivement au potentiel positif appliqué de 13 kV, 15 kV et 18 kV. On constate aussi que la surface chargée s'élargit avec l'augmentation de la tension appliquée et le temps d'exposition. La charge déposée s'accumule sur la surface du diélectrique tant que la capacité du matériau n'est pas encore atteinte et occupe plus de surface tant que le réacteur couronne est activé.

En effet, nous avons enregistré respectivement 2,6 cm pour une tension appliquée de 13 kV, 3 cm pour 15 kV et 4,2 cm pour 18 kV. Cette croissance est proportionnelle à la durée d'exposition, c'est à-dire plus la durée est longue plus la réception des ions produite par les décharges soit grande, ce qui justifie l'augmentation de conduction surfacique, ainsi les charges peuvent occuper toute la surface du matériau s'il est exposé pour une longue durée.

#### IV.6.2.b) Influence de la tension appliquée sur le déclin de la charge déposée

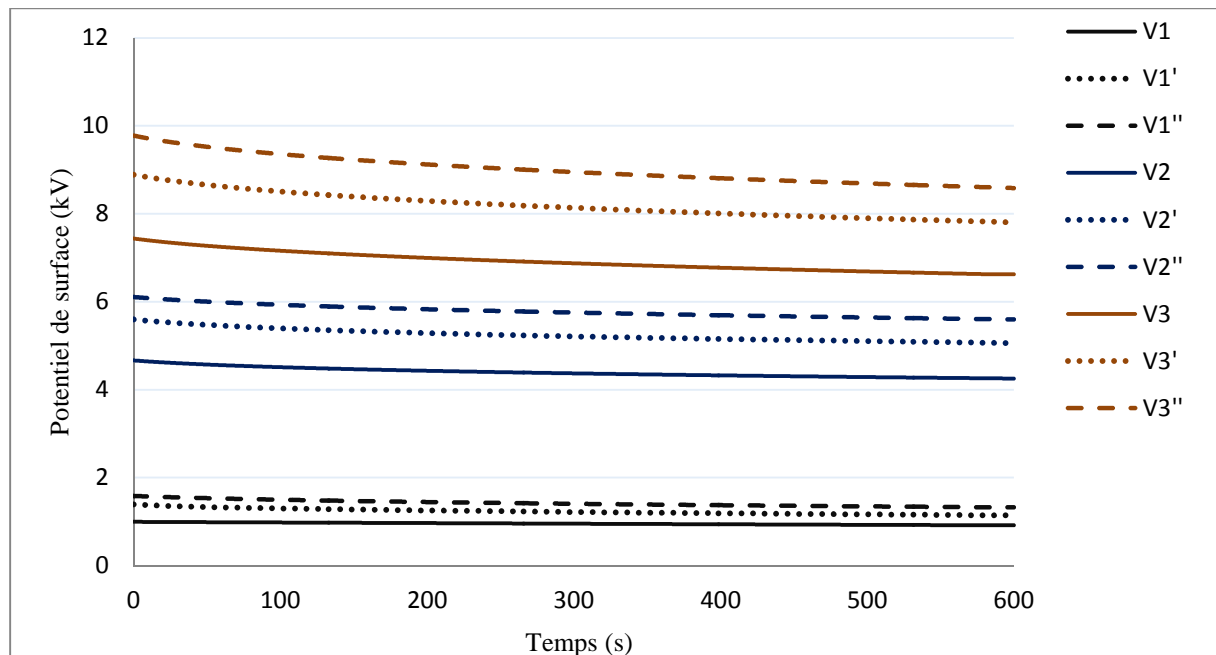
Les profils du potentiel de surface présentés sur la figure (IV.17) montrent l'influence du potentiel appliqué à l'électrode couronne sur le déclin de potentiel de surface des charges. Sachant que l'intensité de la décharge est proportionnelle au potentiel de l'électrode couronne. Dans cette partie le temps de chargement est de 10 secondes. Les profils du potentiel après son déclin sont prélevés après 10 minutes et ceci pour les trois valeurs du potentiel appliqué 13, 15 et 18 kV. La comparaison des profils avant et après le déclin montre que l'intensité de la décharge est un élément d'activation du déclin du potentiel de surface.



**Figure (IV.17):** Les profils de déclin du potentiel de surface en fonction de tension appliquée  $V_a$  à une durée de dépôt de 10 s. Pour  $V1 = 13$  kV,  $V2 = 15$  kV et  $V3 = 18$  kV.  $V1$ ,  $V2$  et  $V3$  mesuré après 10 s et  $V1'$ ,  $V2'$  et  $V3'$  après 10 mn de dépôt de charge.

Pour le potentiel de l'électrode couronne 18 kV, la valeur maximale du potentiel de surface est de 8,79 kV et après 10 minute elle devient 7,96 kV, le potentiel diminue de 830 V, alors que pour les tensions de 15 et de 13 kV, on enregistre des faibles déclin 200 V et 170 V respectivement. Cependant dans cet intervalle des tensions appliquées à l'électrode duale, le potentiel de surface des charges surfacique obtenu avec les tensions élevées (18 kV) même après son déclin, il reste toujours supérieur même aux potentiels initiaux des charges obtenues par des tensions moins élevées (13 kV et 15kV).

## IV.6.3. Le déclin du potentiel de surface (DPS)



**Figure (IV.18):** Les profils de déclin du potentiel de surface pour plusieurs niveaux de tension appliquée, à différentes durées de dépôt.  $V1 = 13 \text{ kV}$  pour  $t_c = 2 \text{ s}$ ,  $V1' = 13 \text{ kV}$  pour  $t_c = 10 \text{ s}$  et  $V1'' = 13 \text{ kV}$  pour  $t_c = 30 \text{ s}$ .  $V2 = 15 \text{ kV}$  pour  $t_c = 2 \text{ s}$ ,  $V2' = 15 \text{ kV}$  pour  $t_c = 10 \text{ s}$  et  $V2'' = 15 \text{ kV}$  pour  $t_c = 30 \text{ s}$ .  $V3 = 18 \text{ kV}$  pour  $t_c = 2 \text{ s}$ ,  $V3' = 18 \text{ kV}$  pour  $t_c = 10 \text{ s}$  et  $V3'' = 18 \text{ kV}$  pour  $t_c = 30 \text{ s}$ .

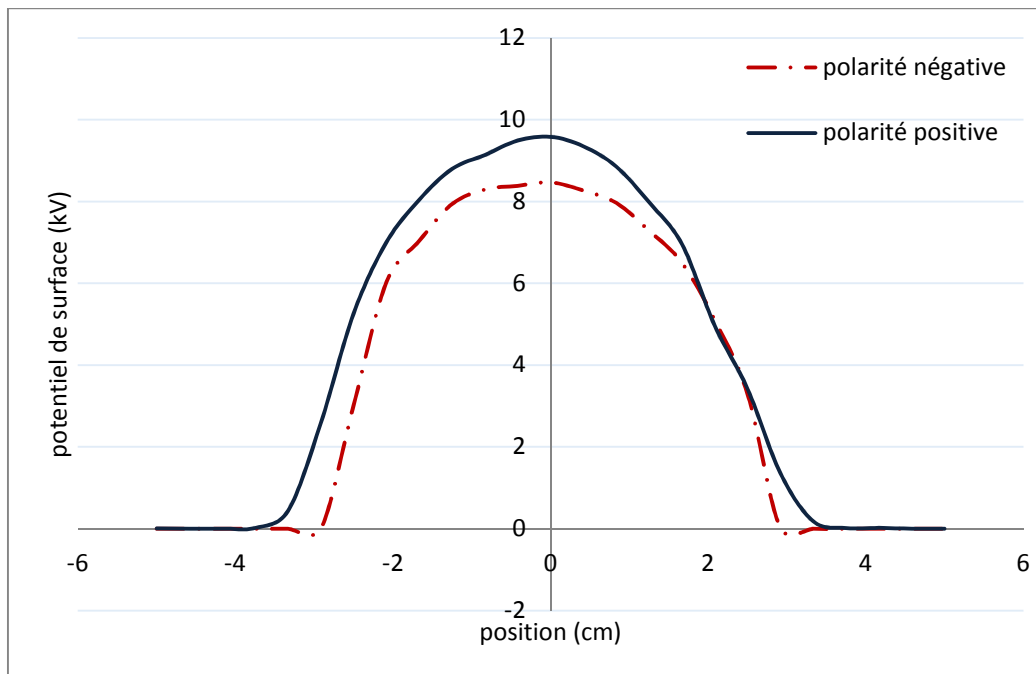
Les courbes de DPS présentées dans la figure (IV.18) montrent l'évolution du potentiel de surface dans le temps, généralement la valeur maximale du potentiel de surface qui correspond souvent au milieu de l'échantillon. Dans cette figure nous présentons les courbes de DPS pour chaque niveau de la tension appliquée et le temps d'exposition. Le potentiel de surface est observé pendant 10 minutes pour chaque niveau de tension (13, 15 et 18 kV) et du temps d'exposition (2, 10 et 30 secondes) en observant les courbes de DPS on constate que les courbes ne se croisent pas ceci veut dire que le DPS est proportionnel au potentiel initial de la charge surfacique déposée qui dépend de la tension appliquée à l'électrode duale.

On observe que les courbes de DPS, présentée sur la figure (V.5), sont mesurées pendant 10 mn sous des tensions inférieures ou égales à 18 kV et une variation du temps d'exposition de 2 s, 10 s et 30 s. Bien que la tendance du déclin de potentiel de surface mesuré est également quasi-linéaire à chaque niveau des décharges appliquées. Dans le but de quantifier le taux du déclin du potentiel de surface et de trouver d'éventuelle corrélation entre certains facteurs

avec le DPS. Les résultats obtenus des taux d'affaiblissement du potentiel de surface après 10 minutes, pour différentes tensions et durée d'exposition; sont les suivants:

- Pour  $V_a = 13\text{kV}$ , le déclin est respectivement de 5,5%, 8% et 6%, de la valeur initiale, pour les durées de dépôt 2 s, 10 s et 30 s respectivement.
- Pour  $V_a = 15\text{kV}$ , le déclin est respectivement de 9%, 9,6% et 8,34%, de la valeur initiale pour les différentes durées de dépôt respectives 2 s, 10 s et 30 s.
- Pour  $V_a = 18\text{ kV}$ , le déclin est respectivement 11%, 12% et 12,5%, de la valeur initiale pour les différentes durées de dépôt respectives 2 s, 10 s et 30 s.

#### IV.7 Influence de la polarité de la charge sur le niveau de chargement



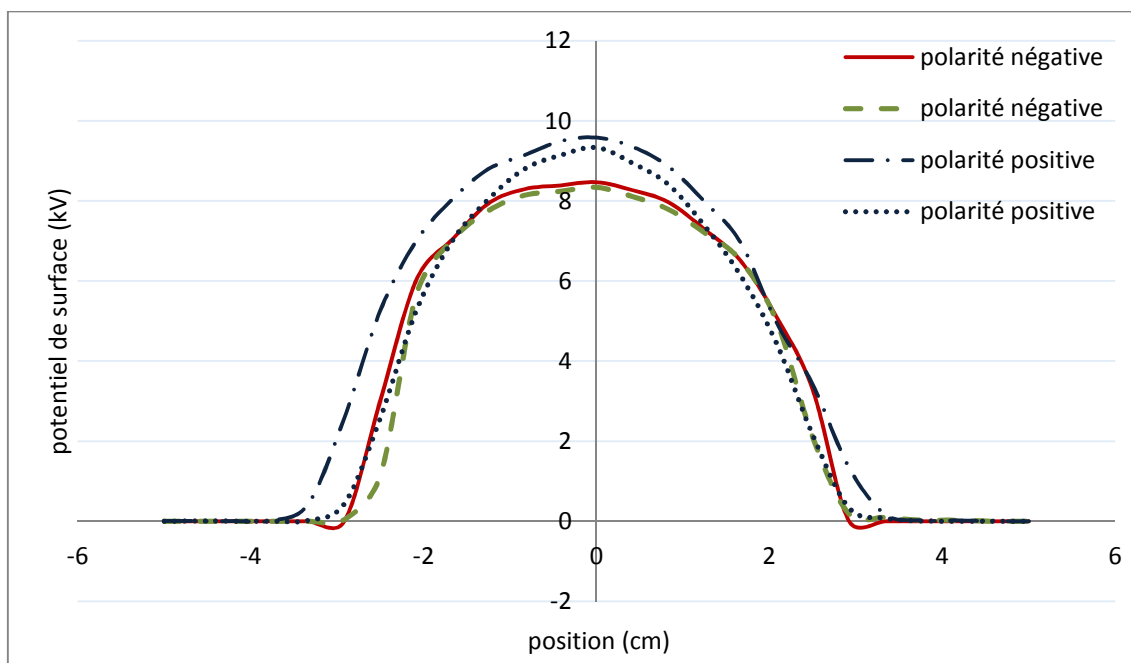
**Figure (IV.19):** Les profils du potentiel de surface en polarité positive et négative.  $V_a = 18\text{ kV}$ ,  
 $t_c = 30\text{ s}$

Dans cette partie, les mesures sont effectuées sur des échantillons chargés par une décharge de polarité positive et les autres échantillons par une charge de polarité négative avec une des tensions appliquées  $V_a = \pm 18\text{ kV}$ . Le temps d'exposition aux ions générés par le réacteur couronne est  $t_c = 30\text{ s}$ . L'objectif de ces essais est de relater d'éventuelle influence de la polarité de la charge sur le niveau et le déclin de la charge déposée. La figure (IV.19) présente les profils typiques des potentiels de surface de la charge positive et de la charge négative.



La visualisation des deux profils du potentiel de surface du matériau chargé par une charge positive et le matériau chargé par une charge négative, montre des différences non seulement au niveau du potentiel mesuré par la sonde électrostatique mais également à la prolongation de la zone chargée. En effet, la valeur crête du potentiel de surface de la charge positive est supérieure à 9,5 kV avec une largeur de la surface chargée dépassant 7 cm, alors que la valeur crête du potentiel en polarité négative est inférieure à 8,5 kV et une largeur de la surface chargée ne dépassant pas 6 cm. Ces différences peuvent être dû à la dissymétrie de la décharge couronne et aussi à la réponse du matériau à la polarité des charges déposées sur sa surface.

#### IV.7.1. Influence de la polarité sur le déclin de la charge déposée



**Figure (IV.20):** Les profils de déclin du potentiel de surface en polarité positive et négative.  $V_a = 18$  kV,  $t_c = 30$  s, les lignes continues représentent le potentiel juste après le dépôt et les lignes en pointées après dix minutes de dépôt.

Les profils typiques des potentiels de surface après 10 secondes et après 10 minutes du dépôt de charge en polarité positive et négative, obtenus par décharge couronne alimenté par des tensions continues  $\pm 15$  kV pendant 10 seconde, sont présentés en figure (IV.20). La comparaison des profils du potentiel de surface, avant et après leur déclin pour les deux polarités, montre que la charge déposée de polarité négative est plus stable que la charge positive. La valeur crête du potentiel positif passe de 9,58 kV après 10 secondes du dépôt à 9,33 kV après 10 minutes, le potentiel diminue de 250 V, par conséquent en polarité négative

le potentiel décline de 8,47 kV à 8,34 kV, avec une diminution de 130 V seulement. Le déclin de potentiel en polarité négative est presque la moitié du déclin en polarité positive.

En calculant les taux du déclin du potentiel de surface pour les deux polarités de la charge, on enregistre des taux de déclin inférieurs à 2,6% pour la polarité positive et il est de 1,5% pour la polarité négative, de la valeur du potentiel initial. Il est aussi constaté que la largeur de la surface chargée par des charges positives diminue sensiblement alors que la largeur de la surface chargée par des charges négatives reste presque la même, ceci est peut-être dû à la nature des pièges et aux degrés de piégeages des charges positives et négatives.

#### **IV.8. Conclusion**

Un dispositif de formation d'électret par décharge couronne a été utilisé, pour déposer des charges électriques générées dans une configuration d'électrodes de type «duale», sur une surface d'un film en polypropylène (PP). Le banc de mesure nous permet la mesure et l'enregistrement du potentiel de surface et le suivi de son déclin, pour plusieurs situations et en faisant varier des paramètres expérimentaux.

Les mesures réalisées sont présentées et discutées en fonction des trois paramètres (tension appliquée, temps d'exposition et les différentes polarités). Effectivement, la tension appliquée qui caractérise aussi l'intensité de la décharge couronne est le premier facteur influant sur le niveau d'état de charge du matériau. Le temps d'exposition long permet d'atteindre des potentiels élevés même avec des décharges de faibles intensités. Le temps de chargement est un facteur très influent sur la stabilité des charges déposées. La nature des pièges et le degré de piégeages qui sont des caractéristiques spécifiques des matériaux à prendre en considération dans le choix de polarités des charges a déposées.

L'évolution de DPS, nous permet de constater:

- Une décroissance lente du potentiel de surface démontre une grande capacité de piégeages du matériau utilisé.
- Une symétrie de DPS, ce qui ne conduit pas au croisement des courbes de déclin de potentiel de surface et l'absence de phénomène de « cross-over » ; veut dire que le matériau est loin d'éteindre sa capacité totale.



# *Conclusion générale*

### Conclusion générale

Le travail présenté a été consacré à l'étude de l'évaluation de l'état de charge d'un film diélectrique en PP, par la mesure du potentiel de surface et le suivi de son déclin. Ces derniers ont contribué efficacement à l'évaluation de la réponse des charges, déposées par décharge couronne, sur les matériaux diélectriques ; cela nous a permis d'approfondir nos connaissances sur cette technique du dépôt des charges sur une surface d'un diélectrique, ainsi que leurs évolution dans le temps.

Les solutions techniques pour améliorer l'état de charge des isolants nécessite une meilleure maîtrise du dépôt des charges électriques par décharge couronne. Le suivi de l'état de charge des films pourrait se faire par la mesure du potentiel de surface, qui permettra une évaluation des facteurs impliqués (tension appliquée, temps d'exposition et la polarité).

Les principales étapes sont les suivantes:

- ✓ L'utilisation d'un système d'électrodes couronne de type « duale » pour le dépôt des charges électriques sur un film diélectrique en PP, et la mesure sans contact du potentiel de surface et le suivi de son déclin.
- ✓ l'enregistrement du potentiel de surface et son déclin à l'aide d'une sonde, pour plusieurs essais et en faisant varier des paramètres expérimentaux.

Le profil du potentiel de surface nous a permis d'avoir une meilleure connaissance de la distribution et de l'état de charge d'un matériau diélectrique.

L'étude de la répartition du potentiel de surface et le suivi de son déclin, permet un meilleur arrangement du processus de l'état de charge des matériaux diélectriques. On obtient les conclusions suivantes:

- ✓ La tension appliquée est le premier facteur influant sur l'état de charge du matériau.
- ✓ La présence de l'effet de neutralisation par l'air ambiant, et l'intensification du champ locale qui conduit à la conduction surfacique et/ou volumique. Sont les causes qui affaiblissent la charge déposée sur la surface de matériau.
- ✓ L'amplitude du potentiel et la largeur de la zone chargée sont plus élevée, en polarité positive et pour des grandes valeurs des tensions appliquées et des temps d'expositions
- ✓ Le déclin du potentiel de surface est influencé par la variation des paramètres expérimentaux. La tendance de déclin augmente en polarité positive et avec des tensions appliquées et des temps d'expositions plus longs.

## Références bibliographiques

- [1] L. Martin, « Dépollution d'effluents chargés en composés organiques volatils cycliques (toluène et bêta-pinène) par décharge couronne à barrière diélectrique. Marquage isotopique et simulation du procédé, Thèse doctorat, Université Paris VI, 2005.
- [2] J. M. Townsend, « Electricity in gases », Oxford university press, 1914.
- [3] L. Parissi « Etude d'un procédé de traitement d'air chargé en composé organiques volatiles par décharge moyenne fréquence avec barrière diélectrique : mécanisme mis en œuvre et recherche d'optimisation », thèse de doctorat de l'université de Paris VI, 1999.
- [4] M. Handala « Etude de la décharge de surface sous tension alternative 50 Hz : une interface isolante air/solide », thèse de doctorat UMMT.O, décembre 2007.
- [5] G. Hartmann, « Spectrographie de la décharge couronne : Etude des mécanismes de collisions dans le dard », Thèse doctorat de l'université de Paris XI, 1977.
- [6] A. Lacoste, D. Pai, C. Laox, « Ion wind effect in a positive DC corona discharge in atmospheric pressure air », AIAA, PP, 354, Reno, 2004.
- [7] A. Alyan, « Études expérimentales des décharges couronnes pour la dépollution des gaz ». Thèse de doctorat, l'université de Toulouse III – Paul Sabatier Décembre 2009.
- [8] J. Koller, V. Kriha, J. Pichal, L. Aubrecht, « Corona discharge light emission and electric field intensity comparison ». czechoslovak journal of physics, vol. 54, 2004.
- [9] C. Junhong, J. H. Davidson « Model of the Negative DC Corona Plasma: Comparison to the Positive DC Corona Plasma ». Plasma Chemistry and Plasma Processing, Vol. 23, No. 1, Mars 2003.
- [10] B. S. C. A. Yall « Contribution à l'étude de l'influence des décharges de couronnes sur la perte de volume d'une asphérite de glace portée à un potentiel élevé ». Thèse pour l'obtention du grade de maîtrise. Université de Québec. Avril 1993.

- [11] Y. Fofana, « Modélisation de la décharge positive dans les grandes intervalles d'air ». Thèse de doctorat, L'école centrale de Lyon novembre 1996.
- [12] M. Goldman, A. Goldman, R.S. Sigmond, « the corona discharge, its properties and specific uses », Pure and appl. Chem. 57, n°9, pp 1353-1362, 1985.
- [13] L. Dascalescu, « An introduction to ionized gases, theory and applications », livre pp 65-67 Toyohashi University of Technology, Japon 1993.
- [14] B. Khaddour, « Modelisation du champ électrique modifié par la charge d'espace injectée », Thèse de doctorat de L'INPG, France 2006.
- [15] J.F. Loiseau, J. Batina, F.Noël, R. Peyrous, « Hydro-dynamical simulation of the electric wind generated by successive streamers in a pointe-to-plan reactor », J. Phys. D: Appl; Phys. Vol. 35, pp 1020-1031. 2002
- [16] M. Rezzouga, A.Tilmatine, R. Gouri, K.Medles, L. Dascalescu « Experimental modeling of high-voltage corona discharge using design of experiments », Front, Electr, Electron, Eng, 2(2), pp 139-143. 2007.
- [17] C.Gary « Effet couronne dans les réseaux électriques aériens », Techniques de l'ingénieur. D4440. 10 février 1998.
- [18] P.P. Panaget, « Etude en laboratoire des effets physico-chimique induits par les pertes électriques des lignes de transport à haute tension », Thèse de doctorat de l'université Pierre et Marie curie à Paris, 1997.
- [19] C. Gary « Effet couronne en tension alternative », Techniques de l'ingénieur. Tome 1. D640. 1979
- [20] M.Kachi, L.Dascalescu, « corona discharge in asymmetric electrode configuration », J. Electrostatics, 72, pp 6-12, 2014.

- [21] D.F. Warne «Génie électrotechnique». Édition 2007.
- [22] J. M. Vega «Matériaux diélectriques pour le génie électrique». Lavoisier 2007.
- [23] M. Aguet et M. Ianoz «Traité d'électricité : Haute Tension», vol XXII 2ème édition 2004.
- [24] T. Hammi, « Etude de méthodes de mesures et réalisation d'un banc de test pour l'évaluation des propriétés électrostatiques des textiles », Thèse de Doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, 2005.
- [25] B. Tabti, « Contributions à la caractérisation des filtres a électret par la mesure du déclin de potentiel de surface », thèse de doctorat, Université de Poitier, 2011.
- [26] R. Beyreuther, H. Brüning, « Dynamics of Fibre Formation and Processing », Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.
- [27] A. Frenot, I.S. Chronakis, « Polymer nanofibers assembled by electro spinning », COCIS Elsevier Science, Vol.8, pp.64–75, 2003.
- [28] K. C. Kao, « Dielectric phenomena in solids », Elsevier Academic Press, ISBN: 0-12-396561-6, 2004.
- [29] A. V. Antoniu, «contributions to the study of certain electrostatic hazards in the manufacturing process of electronic devices and circuits», Thèse de Doctorat, université de Poitiers, 2006.
- [30] C. Menguy, « Électricité statique : Principes. Problèmes. Applications », Techniques de l'Ingénieur, D1035, pp.1-25.
- [31] N. Berger, M. Denozière, J. C. Gilet, D. Guionnet, H. Romat, « Electricité statique », Edition INRS ED 874, 2ème édition, ISBN 2-7389-1196-X, 2004.

- [32] P. Molinié, « Comment modéliser un isolant en électrostatique? Approches classiques et modernes d'un problème complexe. », 5ème Congrès de la Société Française d'Electrostatique, Grenoble, France, 2006.
- [33] R. Fournié, R. Coelho, « Diélectriques : Bases théoriques », Techniques de l'Ingénieur, D2300, pp.1-18.
- [34] K. L. Kaiser, « Electrostatic discharge », Taylor & Francis Group, ISBN 0-8493-7188-0, 2006.
- [35] J. Chen, J. H. Davidson, « Model of the Negative DC Corona Plasma: Comparison to the Positive DC Corona Plasma ». Plasma Chemistry and Plasma Processing, Vol. 23, No. 1, 2003.
- [36] M. Blitshteyn, « Measuring the Electric Field of Flat Surfaces with Electrostatic Fieldmeters », Evaluation Engineering, Simco Industrial Static Control, November 1984.
- [37] R. S. Blacker, A. W. Birley, « Electrostatic Charge Occurrence, Significance and Measurement », Polymer Testing, Vol.10, pp.241-262, 1991.
- [38] R. Bansal, « Fundamentals of engineering electromagnetics », Taylor & Francis Group, ISBN 0-8493-7360-3, 2006.
- [39] A. Fritsch, « Potentiomètre à lame vibrante pour la mesure et l'enregistrement des potentiels de surface de couches mono moléculaires », Le Journal de Physique et Le Radium, Physique Appliquée, Tome 22, pp.183-185, 1961.