

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

SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERAHMANE MIRA BEJAIA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMET DE GENIE ELECTRIQUE

OPTION : Electrotechnique Industrielle  
Réseaux Electriques



## Mémoire de Fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de master en Electrotechnique

Option : électrotechnique industrielle et réseaux électriques

### Thème :

Caractérisation expérimentale de la décharge couronne dans la configuration  
Duale/Triode

Rédigé par :

Mr MINDJOU Hichem

Mr OUARET Lamine

Encadré par :

Mr KASDI Ahmed

Mlle CHOUALI Sabrina

Année universitaire :  
2022/2023

## Résumé

L'objectif principal de notre travail, est la caractérisation expérimentale de la décharge couronne dans la configuration dual / triode. La décharge Couronne offre une large application technique et industrielle tels que les séparateurs et les filtres électrostatiques. Plusieurs études expérimentales et numériques ont été consacrées aux propriétés de la décharge couronne dans plusieurs configurations d'électrodes, tels que : fil-plan, pointe-plan... Notre travail porte sur l'étude de la décharge couronne en configuration dual composée d'un élément d'ionisation qui est un fil attaché à un cylindre. Cela est utilisé pour charger plusieurs matériaux diélectriques comme les films en polypropylènes ou encore les médias fibreux non tissés utilisés dans les filtres électriques. En outre, la configuration triode, qui se compose des éléments du dual avec l'insertion d'une grille métallique entre le fil et le plan de masse est aussi étudiée. Plusieurs essais ont été effectués sur les deux configurations, à savoir la mesure des caractéristiques courant-tension, la variation des paramètres géométriques et électriques (la tension appliquée, la hauteur grille-plan, la valeur de la résistance de la grille...). Cela nous permet de comprendre le comportement de la décharge couronne dans ces deux configurations. Il a été trouvé que l'activité de la décharge couronne est intense pour des tensions appliquées importantes et la géométrie de l'électrode influe sur la décharge couronne. Plusieurs paramètres géométriques ont un rôle important pour chaque type d'application désirée.

## Abstract

The main objective of our work is the experimental characterization of the crown discharge in the dual/triode configuration. The Crown discharge offers a wide technical and industrial application such as electrostatic separators and filters. Several experimental and numerical studies have been devoted to corona discharge properties in several electrode configurations, such as wire-plane, point-plane, etc. Our work focuses on the study of crown discharge in dual configuration composed of an ionization element that is a wire attached to a cylinder that helps us to discover several dielectric materials such as polypropylene films or non-woven fibrous media use in electrical filters, and the triode configuration which consists of the elements of the dual with the insertion of a metal grid between the wire and the ground plane. Several tests were carried out on the two configurations, namely the measurement of the current-voltage characteristics, the variation of the geometric and electrical parameters (the applied voltage, the grid-plane height, the grid resistance value, etc.), they allow us to track the crown discharge behavior of these two configurations. It has been found that the activity of the crown discharge is intense for high applied voltages, and the geometry of the electrode influences the crown discharge, so many geometric parameters have an important role for each type of application wishing to obtain.

# REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire nous remercions الله qui nous a doté d'une grande volonté et qui nous a aidé et donné du courage, la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien actif d'un certain nombre de personnes que nous tenons à remercier, tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce modeste travail trouvent ici l'expression de nos remerciements les plus chaleureux :

A nos chers parents pour tous les sacrifices consentis à notre égard et leur énorme soutien.

A tous nos familles et nos proches amis qui par leurs prières et leurs encouragements on a pu surmonter tous les obstacles.

A ceux qui nous ont encadrés, en l'occurrence Mr *KASDI Ahmed et à Mlle CHOUALI Sabrina* qui nous a inculqué une grande confiance et nous a orienté dans le bon sens quant à l'élaboration de ce projet.

A tous nos enseignants qui se sont tellement donnés durant ces 5 ans de formation.

# *Dédicace*

*Rien n'est aussi beau à offrir que le fruit d'un labeur qu'on dédie du fond du cœur à ceux qu'on aime et qu'on remercie en exprimant la gratitude et la reconnaissance durant toute notre existence.*

*Nous dédions ce mémoire : A nos très chers parents qui ont toujours été là pour nous, qui ont sacrifié leur vie pour notre réussite et nous sont éclairés le chemin par leurs conseils judicieux.*

*En espérant qu'un jour, nous pourrions leur rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour nous.*

*Que dieu leur prête bonheur et longue vie, A nos frères et sœurs et, nos cousins et cousines, à toutes nos familles, A nos meilleurs amis et tous ceux qui nous sont chers, A tous nos professeurs qui nous ont enseignés.*

*M. MINDJOU HICHAM, OUARET LAMINE*

# Table des matières

<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>I Chapitre I :Généralités du la décharge couronne</b> .....	3
I.1 Introduction .....	3
I.2 Historique .....	3
I.3 GENERALITES SUR LA DECHARGE COURONNE .....	4
I.3.1 Description de la décharge couronne .....	4
I.3.2 Définition de la décharge couronne .....	4
I.3.3 Domaine d’existence de la décharge couronne .....	5
I.3.4 Processus de formation de la décharge couronne .....	6
I.3.5 Polarité de la décharge couronne .....	8
I.3.6 Caractéristique courant/tension de la décharge couronne .....	10
I.4 DECHARGE DE TOWNSEND .....	11
I.4.1 Phénoménologie de la décharge.....	11
I.4.2 Critère de claquage de Townsend .....	13
I.4.3 Décharge en champs non uniformes .....	14
I.4.4 Loi de Paschen .....	14
I.5 Seuil d’apparition de la décharge couronne .....	16
I.6 Les facteurs influençant la décharge couronne.....	17
I.6.1 Facteurs physico-chimiques.....	17
I.6.2 Facteurs électriques.....	17
I.6.3 Facteurs géométriques.....	18
I.7 Applications utilisant la décharge couronne.....	19
I.7.1 Filtrage électrostatique .....	19
I.7.2 Séparation électrostatique .....	20
I.7.3 Générateur d’ozone .....	20
I.7.4 Neutralisation et charge des médias non-tissés.....	21
I.7.5 Paratonnerre .....	22
I.7.6 Autres applications.....	23
I.8 Conclusion .....	23
<b>II Chapitre II : Description de l’étude expérimentale</b> .....	23
II.1 Introduction .....	23
II.2 Description des installations expérimentales.....	23

II.2.1	Les alimentations électriques : .....	23
II.2.2	Les systèmes d'électrodes de décharge couronne utilisée.....	26
II.2.3	Systèmes de mesure .....	31
II.3	Conclusion .....	34
III	CHAPITRE III Résultats et interprétations .....	35
III.1	INTRODUCTION .....	35
III.2	CARACTERISTIQUES COURANT-TENSION I(V) .....	35
III.3	Décharge couronne en configuration duale (fil-cylindre) .....	36
III.3.1	Influence du rayon du fil ( $R_f$ ) de l'électrode active du duale :.....	36
III.3.2	Influence de la distance H .....	37
III.3.3	Influence du diamètre du cylindre du duale $D_c$ : .....	38
III.3.4	Influence de la distance fil-cylindre D : .....	39
III.3.5	Influence de la polarité :.....	40
III.4	Décharge Effet de présence de la grille métallique .....	40
III.4.1	Effet de la hauteur sur la caractéristique IV .....	41
III.4.2	Influence de la résistance de la grille sur la caractéristique IV .....	42
III.4.3	L'effet de distance de la grille sur le caractéristique IV.....	43
III.4.4	Effet de variation de $E_g$ sur I(V) .....	44
III.5	Conclusion .....	44
<b>CONCLUSION</b> .....		<b>46</b>

## Listes des figures

<b>Figure I.11</b> effet couronne lumineux.....	3
<b>Figure I.2</b> Configurations d'électrodes en décharge couronne . .....	5
<b>Figure I.3</b> Caractéristique courant-tension des décharges dans l'air à pression atmosphérique . .....	6
<b>Figure I.4</b> Amorçe de la décharge.....	7
<b>Figure I.5</b> Avalanche électronique.....	7
<b>Figure I.6</b> Schéma représentatif de la décharge couronne continue positive en géométrie fil-plan.....	9
<b>Figure I.7</b> Schéma représentatif de la décharge couronne continue négative en géométrie fil-plan...	10
<b>Figure I.8</b> Réalisation d'une décharge de Townsend à courant continu.....	11
<b>Figure I.9</b> Courant de décharge en fonction de la distance inter-électrodes. ....	12
<b>Figure I.10</b> Tension d'amorçage dans l'air en champ uniforme en fonction du produit pd.....	15
<b>Figure I.11</b> Distribution du champ dans un système pointe-plan(a) et dans un système plan-plan(b) . .....	19
<b>Figure I.12</b> Vue schématique d'un filtre électrostatique avec un réseau de pointes .....	20
<b>Figure I.13</b> Représentation schématique d'un séparateur électrostatique à tambour . .....	20
<b>Figure I.14:</b> Composants de base de toute installation expérimentale d'ozonation .....	21
<b>Figure I.15</b> Système de neutralisation et de charge des médias de type triode .....	22
<b>Figure I.16</b> : Utilisation de la décharge couronne pour le paratonnerre .....	22
<b>Figure II.1</b> Schéma en bloc de la source de haute tension utilisée .....	24
<b>Figure II.2</b> Schéma électrique de la source de haute tension utilisée (uniquement pour la Tension positive).....	24
<b>Figure II.3</b> Equipements de l'installation haute tension utilisée. ....	25
<b>Figure II.4</b> Installation haute tension utilisée du laboratoire de Bejaia .....	25
<b>Figure II.5</b> Constitution du dispositif expérimental. ....	27
<b>Figure II.6</b> Dispositif expérimental configuration Duale (fil-cylindre).....	28
<b>Figure II.7</b> Représentation longitudinale du dispositif d'électrode sous configuration Duale-Plan.....	28
<b>Figure II.8</b> Vue longitudinale du dispositif d'électrodes de la configuration Duale-Plan. ....	29
<b>Figure II.9</b> Décharge couronne dans le système triode. ....	30
<b>Figure II.10</b> Vue de côté de la configuration triode.....	30
<b>Figure II.11</b> Grille métallique.....	31
<b>Figure II.12</b> Vue de dessus de la sonde circulaire.....	32
<b>Figure II.13</b> Pico-ampèremètre à aiguille utilisé dans la mesure du courant de la sonde. ....	32
<b>Figure II.14</b> Le thermomètre à aiguille et l'hygromètre à cheveux disponibles au laboratoire haute tension. ....	33
<b>Figure II.15</b> Photo du baromètre à mercure utilisé dans la mesure de pression.....	33
<b>Figure III.1</b> Schéma principal de mesure pour la configuration duale. ....	36
<b>Figure III.2</b> Caractéristique I(V) pour des rayons de fils différents à différents rayons de fils pour $D_c=40\text{mm}$ , $D=40\text{mm}$ , $H=60\text{mm}$ et $v_{app}>0$ . ....	36
<b>Figure III.3</b> Caractéristique I(v) à différentes hauteurs H pour $D_c=40\text{mm}$ , $D=40\text{mm}$ , $R_f=0.25\text{mm}$ et $v_{app}>0$ .....	37
<b>Figure III.4</b> Caractéristique I(v) à différents diamètres du cylindre pour $H=50\text{mm}$ , $D=40\text{mm}$ , $R_f=0.2\text{mm}$ et $v_{app}>0$ . ....	38

<b>Figure III.5</b> Caractéristique $I(v)$ à différents distance fil-cylindre pour $H=50\text{mm}$ , $D_c=40\text{mm}$ , $R_f=0.2\text{mm}$ et $v_{app}>0$ .	39
<b>Figure III.6</b> Caractéristique $I(v)$ à différentes polarités pour $H=60\text{mm}$ , $D_c=40\text{mm}$ , $R_f=0.2\text{mm}$ et $D=40\text{mm}$ .	40
<b>Figure III.7</b> Schéma principal de mesure pour la configuration triode.	41
<b>Figure III.8</b> caractéristique $I(v)$ de la décharge couronne en géométrie triode(duale-grille) à différentes hauteurs $H$ avec $R_g=88\text{Mohm}$ et $d_g=28\text{mm}$ .	41
<b>Figure III.9</b> Caractéristique $I(v)$ de la décharge couronne en géométrie triode(duale-grille) à des différentes Résistance de grille avec $d_g=18\text{mm}$ et $H=60\text{mm}$ .	42
<b>Figure III.10</b> caractéristique $I(v)$ avec la variation de la distance grille-plan avec $H= 60\text{mm}$ et $R_g=88\text{Mohm}$ .	43
<b>Figure III.11</b> Caractéristique $I(v)$ avec la variation de la distance entre les fils avec $H= 60\text{mm}$ et $R_g=148\text{Mohm}$ .	44

## Notations et symbole

<b>Symbole</b>	<b>Définition</b>
<b><math>E_c</math></b>	Champ critique
<b><math>\sigma</math></b>	Densité relative de l'aire
<b>P</b>	Pression atmosphérique
<b>T</b>	Température atmosphérique
<b>Hu</b>	Humidité relative
<b><math>\alpha</math></b>	Premier coefficient de Townsend
<b><math>\gamma</math></b>	Second coefficient de Townsend
<b><math>\eta</math></b>	Coefficient d'attachement
<b>Vb</b>	Tension de polarisation
<b><math>\Pi</math></b>	3.14
<b>K</b>	Constant
<b>HT</b>	Haute tension
<b>Re</b>	Résistance d'entrée
<b>Ru</b>	Résistance basse tension
<b>Rf</b>	Rayon de fil
<b>Dc</b>	Diamètre de cylindre
<b>D</b>	Distance entre fil-cylindre
<b>H</b>	Hauteur fil-plan
<b>Dgp</b>	Hauteur grille-plan
<b>Va</b>	Tension appliquée

<b>Ip</b>	Courant du plan
<b>Vs</b>	Tension de seuil
<b>Es</b>	Champ de Peek
<b>Vg</b>	Tension de la grille
<b>Rg</b>	Résistance de la grille
<b>Ig</b>	Courant de la grille
<b><math>\Delta v</math></b>	Différence de potentielle

# Introduction Générale

## Introduction générale

La "décharge couronne" fait référence à un phénomène électrique qui se produit lorsque l'électricité est appliquée à un objet pointu. Voici une explication de ce phénomène :

Lorsqu'une haute tension est appliquée à un objet pointu de nature conducteur, un champ électrique intense se forme à proximité de la pointe. Ce champ électrique est suffisamment fort pour ioniser l'air environnant, c'est-à-dire qu'il arrache des électrons des atomes d'air, créant ainsi des ions positifs et des électrons libres.

Les électrons libres se déplacent vers les régions de plus forte charge positive, tandis que les ions positifs se déplacent vers les régions de plus forte charge négative. Ce déplacement des charges forme une charge d'espace monopolaire et s'accompagne par une lueur faible et bleutée autour de l'objet pointu ou de la surface conductrice.

La décharge couronne est souvent observée dans des situations telles que les câbles haute tension, les pointes des paratonnerres, les électrodes des générateurs à haute tension, ou les surfaces métalliques soumises à une forte charge électrique. Elle peut également se produire naturellement dans certains phénomènes atmosphériques, comme les éclairs ou les aurores polaires.

L'effet couronne est généralement considéré comme un phénomène indésirable dans la plupart des applications électriques, car elle peut entraîner des pertes d'énergie, des problèmes d'isolation et des interférences électromagnétiques. Cependant, avec l'avancée technologique et la recherche scientifique, les chercheurs ont su tirer profit par son application dans de nombreux domaines, parmi eux le domaine industriel, où on trouve les applications suivantes : les précipitateurs électrostatiques, génération d'ozones, mesure de haute tension, traitement de surface et chargement de matériaux diélectriques...

Parmi les applications citées, pour notre problématique on s'est intéressé au chargement de matériaux diélectriques comme les films en polypropylènes ou encore les médias fibreux non tissés utilisés dans les filtres électriques.

Le processus de chargement est obtenu grâce à la charge d'espace découlant de l'ionisation de l'air au voisinage d'une électrode à faible rayon de courbure à un potentiel suffisamment élevé pour créer la décharge couronne.

Toutefois, ce processus de dépôt de charge nécessite une optimisation et amélioration de ses paramètres intervenant, qui sont : composition de l'air, pression atmosphérique, distance entre les conducteurs, tension appliquée et la géométrie des conducteurs.

Pour appuyer notre étude, nous nous sommes basés sur un de ses paramètres qui est la configuration de la géométrie de l'électrode.

Le présent travail a pour objectif de présenter une étude expérimentale de la décharge couronne en géométrie duale et triode.

Afin d'atteindre l'objectif de notre étude, nous avons organisé le mémoire comme suit :

### **Chapitre 1 : Généralités de la décharge couronne.**

Dans ce chapitre, nous présentons la définition de la décharge couronne, types de décharge, domaine d'existence de la décharge couronne, condition d'apparition, processus de formation de la décharge couronne, et caractéristique courant/tension.

### **Chapitre 2 : Description de l'étude expérimentale**

Ce chapitre est consacré à la description de l'installation expérimentale.

### **Chapitre 3 : Résultats et interprétation**

Ce chapitre présente les résultats obtenus de l'étude expérimentale et l'interprétation de ces dernières.

# CHAPITRE I

### I Chapitre I : Généralités de la décharge couronne.

#### I.1 Introduction

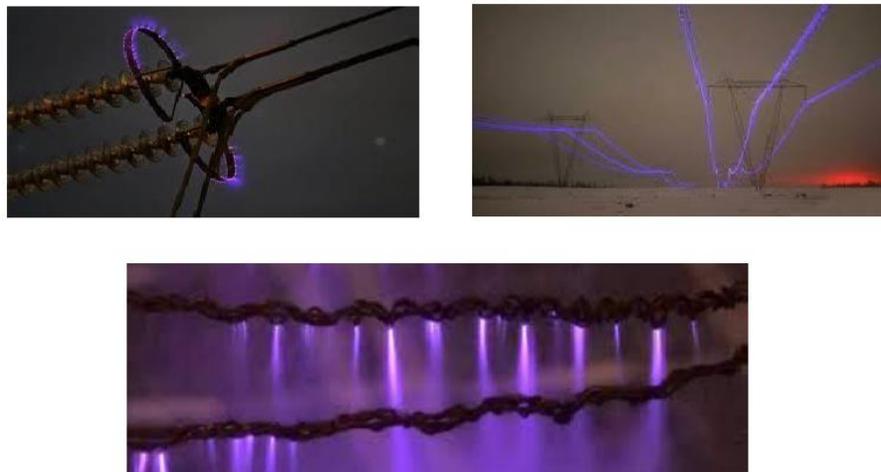
Depuis plusieurs décennies, des études théoriques et expérimentales ont été menées sur les phénomènes naturels, dont les décharges électriques dans l'air.

Dans le domaine de l'électrotechnique, la décharge couronne est un phénomène électrique d'une grande importance. Elle se produit généralement autour des conducteurs électriques lorsque la tension appliquée est élevée. Ce phénomène est étudié tant pour ses applications pratiques que pour ses implications théoriques

De ce fait, nous présentons dans ce chapitre les généralités sur la décharge couronne y compris sa définition, ses caractéristiques principales, et nous montrons tous les procédés industriels où elle est utilisée.

#### I.2 Historique

Plusieurs études sur les chocs électriques ont été menées depuis plus d'un siècle [1-2]. Les premières études décrivant leurs mécanismes de formation remontent au début du XXe siècle [3]. La première publication sur l'effet corona remonte à 1911 avec les travaux de F.W. Peek [4]. Depuis lors, plusieurs études ont été menées et publiées sur les effets corona sur les lignes électriques. L'une des conséquences du transport de l'énergie électrique à des niveaux de tension élevés est l'effet corona autour des lignes électriques [5]. Les premières expériences avec des fils minces sous une tension suffisamment élevée ont montré qu'une gaine bleu-violet brillant se formait autour de lui, dont l'épaisseur augmentait avec la tension (Fig. I.1). C'est cette lueur qui a conduit au terme populaire de "décharge corona" ou "effet corona" [6]. Depuis, plusieurs études ont été réalisées pour expliquer les différents mécanismes impliqués dans la formation, le développement et la propagation de cette décharge [6].



**Figure I.11** effet couronne lumineux

Un pionnier dans l'étude scientifique de l'effet corona fut le chercheur américain F.W. Peek, qui vers 1920 établit une règle empirique décrivant le seuil d'apparition des décharges corona associées aux champs électriques de surface. Cette fameuse loi s'applique encore aujourd'hui. En conséquence, de nombreuses théories ont été développées pour expliquer les causes des pertes coronales. Entre autres, on peut citer les travaux de Ryan et Henlein (1924), Hesselmeyer et Costco (1925) et Holm (1927). Les premiers essais en laboratoire remontent à 1932 [7]. Le développement des systèmes à haute tension a donné une grande impulsion à l'étude de la décharge corona dans divers entrefers. Vers les années 1940, Loeb, Meek et Razor ont proposé un nouveau modèle de propagation des avalanches d'électrons lors des décharges corona [8]. Dans les années 1950, les très hautes tensions utilisées pour transporter l'énergie électrique conduisent les concepteurs à envisager un phénomène différent. En effet, des vibrations mécaniques provoquées par l'effet corona des conducteurs reliés à des hautes tensions sont observées sous la pluie, le brouillard ou la neige [9].

Les phénomènes de décharge électrique font l'objet de recherches actives par les scientifiques. Certains peuvent s'interroger sur cette situation, mais il est aisé de comprendre que cela se produit car le phénomène et les mécanismes qui le composent sont très complexes. Cependant, au cours des dernières décennies, de grands progrès ont été réalisés dans l'amélioration des moyens de diagnostic des premiers instants de décharge et donc dans l'étude du mécanisme déclenchant. Cela a augmenté notre connaissance du phénomène et a stimulé des applications plus larges [10]. La forme ponctuelle de la décharge montre la production de grandes quantités de radicaux hydrogène dans la phase liquide en utilisant la spectroscopie d'émission [9,11].

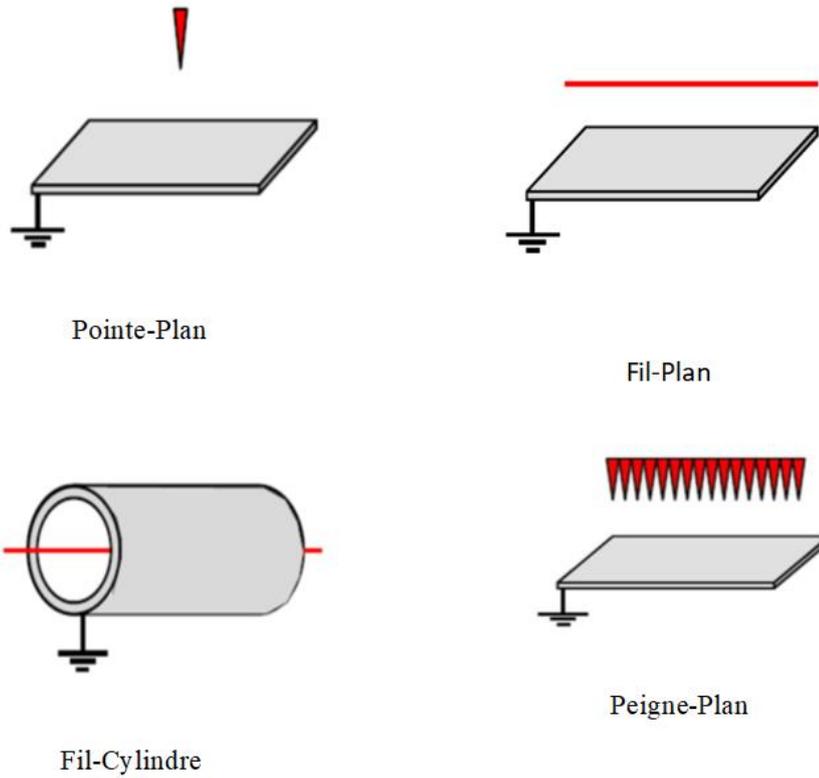
### I.3 GENERALITES SUR LA DECHARGE COURONNE

#### I.3.1 Description de la décharge couronne

Toutes les prés décharges qui apparaissent sous forme de lueurs diverses à proximité d'une électrode à faible rayon de courbure ou dans un champ électrique non uniformes sont appelés décharges couronne [12]. La décharge couronne est liée à l'apparition d'avalanches d'électrons générées dans la section de gaz entre deux électrodes asymétriques exposées à un champ électrique non homogène avec une pression de Quelques torr pour quelques atmosphères. La décharge couronne apparaît sous conditions naturelles lorsque la valeur maximale du champ électrique est atteinte.

#### I.3.2 Définition de la décharge couronne

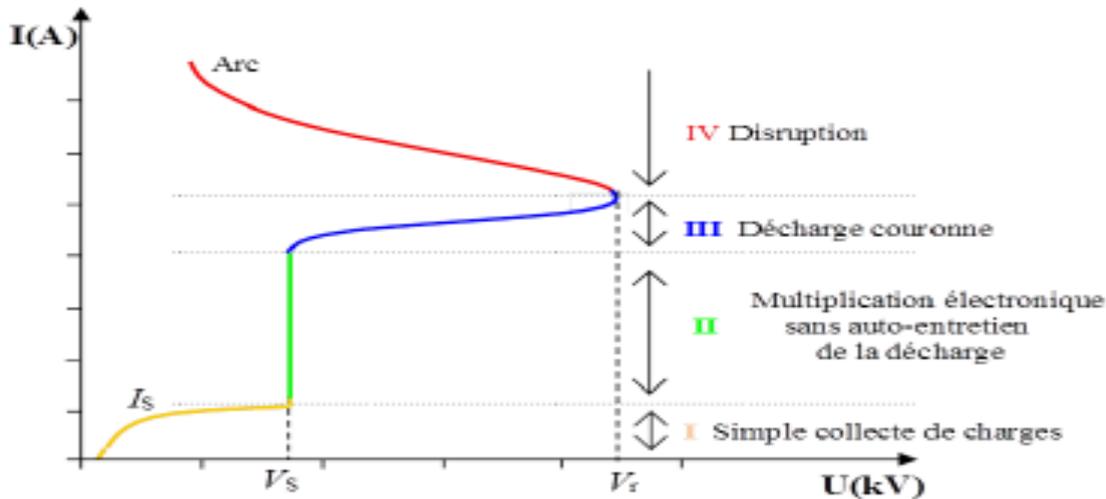
La décharge corona est dans le troisième mode de la caractéristique courant-tension et est caractérisée par une asymétrie des électrodes [13]. Lorsqu'une haute tension est appliquée à un conducteur de faible diamètre, de nombreux phénomènes se produisent à proximité des électrodes. Ceci est appelé décharge corona et est lié à la conductivité électrique qui se produit dans le gaz entre l'électrode et un autre point. L'électrode avec le plus petit rayon de courbure est considérée comme l'électrode active et détermine si la décharge corona est positive ou négative [14]. Les configurations d'électrodes les plus couramment utilisées comprennent les systèmes à face de pointe, à face de fil, à cylindre de fil et à face de peigne [15]. (Figure I.2).



**Figure I.2** Configurations d'électrodes en décharge couronne [16].

### I.3.3 Domaine d'existence de la décharge couronne

La figure I-3 représente le domaine d'existence de la décharge couronne, qui se compose de 4 parties, au commencement une simple collecte de charges (partie I) ensuite une multiplication électronique sera effectuée (partie II) pour atteindre une troisième phase qui correspond au domaine d'existence de la décharge couronne (partie III), En effet, pour certains hauts potentiels, Le champ sera d'envergure pour ioniser le gaz qui est au voisinage. A ce niveau, la décharge est auto-entretenu où peuvent apparaitre des dards où ce qu'on appelle les streamers. Ces derniers font l'objet de la composante impulsionnelle du courant et de sa transition vers l'arc électrique (partie IV).



**Figure I.3** Caractéristique courant-tension des décharges dans l'air à pression atmosphérique [15].

Dans un énorme champ électrique, l'excitation de certaines particules dans le gaz ambiant peut devenir suffisamment élevée pour ioniser le même gaz dans une zone donnée. Les électrons libres accélérés par de forts champs électriques sont à la base de ce processus. Les collisions entre les électrons libres et les molécules de gaz provoquent l'ionisation de ces dernières lorsque leur énergie dépasse l'énergie d'ionisation des molécules de gaz. De nouveaux électrons sont alors créés et soumis au même champ. Lors de l'ionisation, des photons de haute énergie sont également produits, ce qui peut provoquer une réaction en chaîne connue sous le nom d'avalanche de Townsend. Le développement d'une avalanche continue produit une décharge couronne. Les ions et électrons résultants se déplacent en fonction de leur polarité, qui à leur tour affecte le champ électrique. Ces groupes de charges mobiles sont appelés "charges d'espace" [12].

### I.3.4 Processus de formation de la décharge couronne

Au niveau microscopique, le processus de ce phénomène ne diffère pas entre les types Décharge (positive ou négative). On peut compter trois étapes pour l'expliquer.

#### I.3.4.1 Amorçage de la décharge

Des photons ou d'autres événements externes sont nécessaires pour ioniser certaines molécules Gaz entourant l'électrode active. Un ion positif avec un électron en est émis (Fig (I.4)):

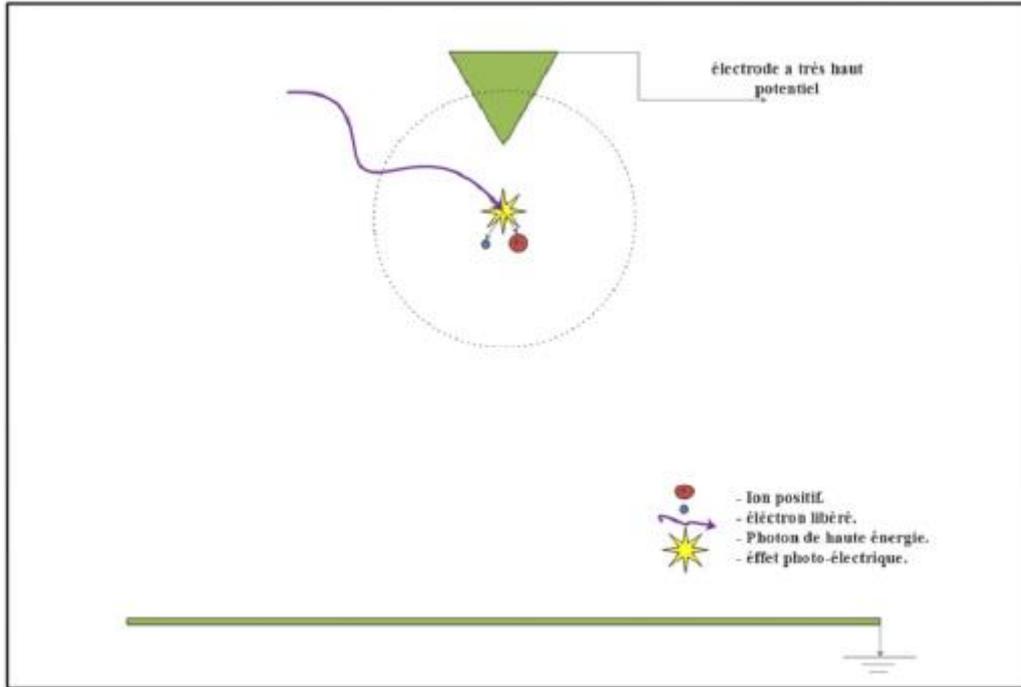


Figure I.4 Amorce de la décharge.

**I.3.4.2 Multiplication et avalanche :**

Un champ électrique très puissant est généré près de l'électrode active qui a été créé par des particules émises dont les charges n'ont pas la même polarité, force électrique. Cela crée un mouvement dans la direction opposée. (fig.(I.5))

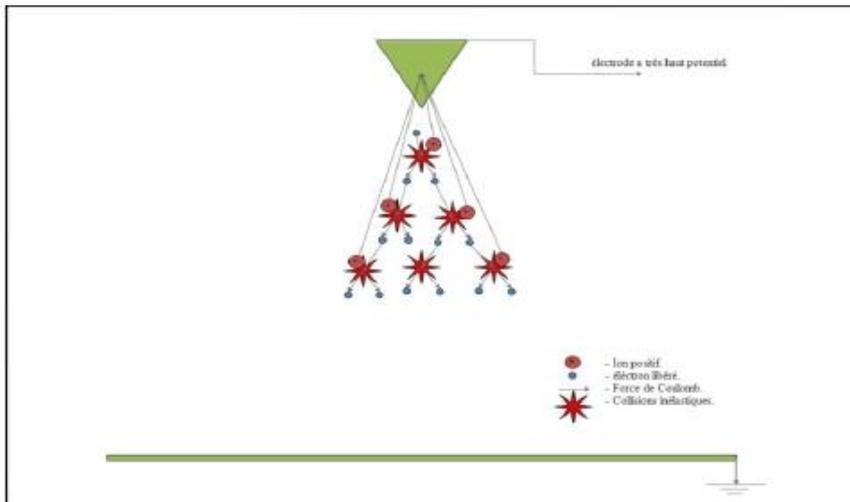


Figure I.5 Avalanche électronique.

Cela empêche la recombinaison de ces particules et provoque le phénomène d'effondrement. Les électrons émis se déplacent plus rapidement (en raison du poids léger de cet électron en comparaison avec le poids ionique) conduit à des collisions Inélastique entre lui et un

atome neutre, provoquant la formation ultérieure d'un grand nombre de paires ion/électron émises suivant le même processus. Ce dernier provoque un phénomène d'avalanche d'électrons.

### I.3.4.3 Phase de la recombinaison et maintien de la décharge :

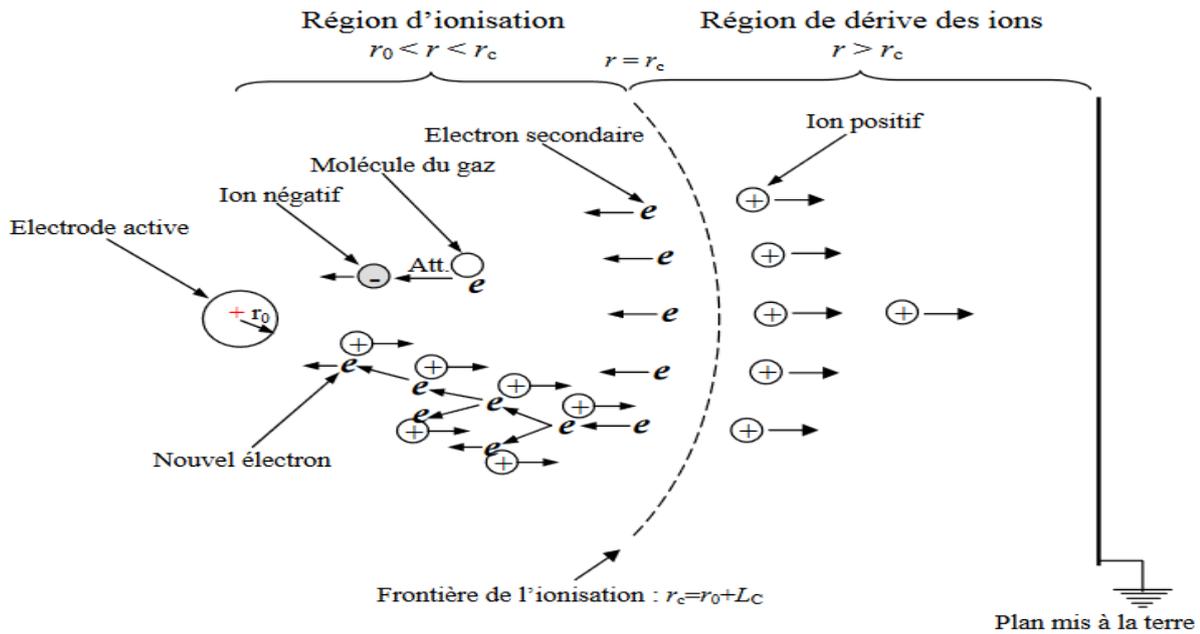
Dans la phase de la recombinaison, un courant électrique s'établit dans la géométrie inter-électrode suite au mouvement d'attraction des ions créés vers la seconde électrode non active

### I.3.5 Polarité de la décharge couronne

Deux types de décharges sont répertoriés. Étant donné que le signe de polarité est appliqué à au niveau de l'électrode active, on peut distinguer deux modèles : « unipolaire et bipolaire ». Et si nous disons bipolaire, c'est parce que nous parlons de décharges dites positives et négatives sur une certaine fréquence ou période. Si la polarité est positive, la décharge sera donc positive. Dans le cas inverse, elle sera négative.

#### I.3.5.1 Décharge couronne positive

La figure (I.6) montre un système d'électrodes fil-plan. Un fil (anode) suspendu au-dessus d'une certaine hauteur  $H$  est activement porté à un potentiel élevé, et un plan (cathode) qui forme une électrode passive car il est mis à la terre. En alimentant positivement l'électrode active, on ose provoquer une décharge continue positive. Comme on sait que le champ électrique est fort autour de l'anode, Les électrons sont générés et accélérés par photo-ionisation et attirés par le fil et son environnement. Cela évolue ensuite vers une région de forte ionisation (zone pointillée). Les ions positifs ainsi créés seront repoussés par l'anode, sous l'effet des forces de Coulomb, jusqu'à une distance du fil (inférieur au millimètre) au-delà de laquelle le champ électrique est trop faible ( $< 30 \text{ kV/cm}$  dans l'air à pression atmosphérique) et empêche la formation d'ions positifs.

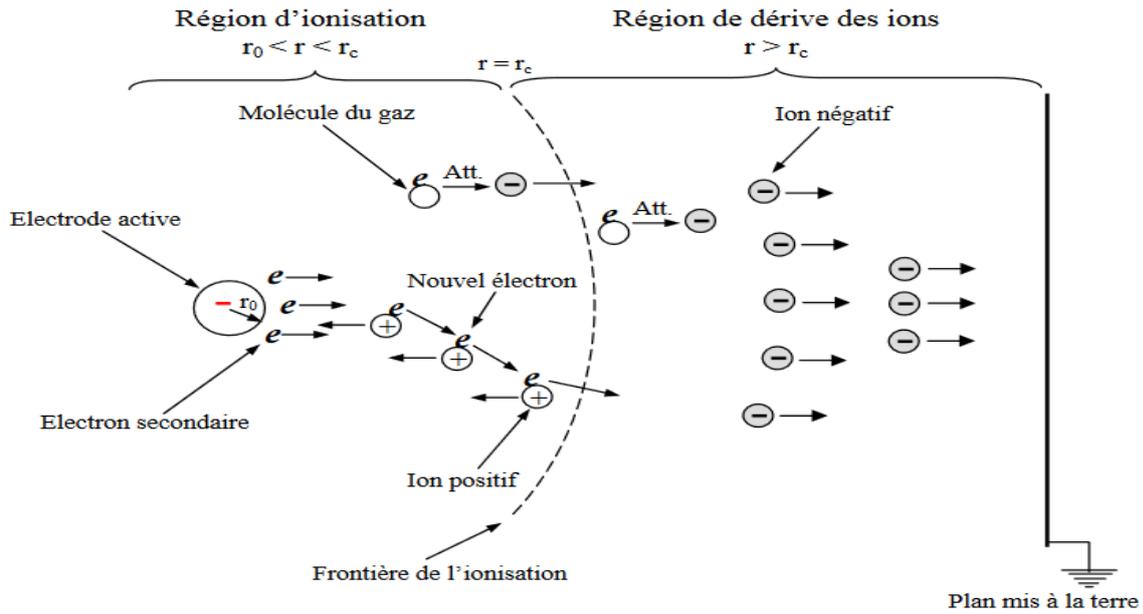


**Figure I.6** Schéma représentatif de la décharge couronne continue positive en géométrie fil-plan.

Par conséquent, Les ions positifs se déplacent vers la cathode (plan). Cette région monopolaire, est appelée la région de "dérive" car seuls les ions positifs sont présents. Pour cette décharge, Il y a une évolution des streamers qui se propage comme une extension de l'anode. Selon le modèle de LOISEAU et al. [12] la décharge est composée d'une phase de propagation du streamer (durée de la propagation de 50 ns à la vitesse de 210 m/s) et d'une phase de restauration pendant laquelle les ions dérivent. Ces deux phases forment un cycle de fréquence de 10 kHz. Ainsi, le courant de décharge n'est pas continu, mais Correspond à une série de phénomènes de transitoires [12].

### I.3.5.2 Décharge couronne négative

Par photo ionisation et apparition d'une zone d'ionisation autour du fil des électrons sont générés chaque fois que le fil est porté à un potentiel négatif. Goldman et Sigmond 1982 [8] expliquent que les ions positifs produits retournent immédiatement à la cathode (fig. (I.7)). Seuls les ions négatifs créent par attachement dans une zone où le champ est plus faible peuvent migrer vers le plan. De plus, lorsque la tension appliquée dépasse un seuil, il y a une transition à l'arc. Le courant de cette décharge est dû à des impulsions de Trichel ou la fréquence qui dépendent 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. Lorsque ces ions migrés vers l'anode, Une nouvelle avalanche se produit. L'intervalle entre deux pics de courant, impulsions de Trichel, dépend donc du temps nécessaire aux ions négatifs à atteindre l'anode.



**Figure I.7** Schéma représentatif de la décharge couronne continue négative en géométrie fil-plan.

### I.3.6 Caractéristique courant/tension de la décharge couronne

Trois types de systèmes d'électrodes sont couramment utilisés en laboratoire pour étudier la décharge corona : pointe-plan, fil-cylindre et fil-plan. Le champ électrique est très intense près de l'électrode active cela pour les trois configurations. Ensuite il décroît hyperboliquement et prend sa valeur minimale au niveau de l'électrode passive. Le système pointe-plan est facile à réaliser, il a été le premier à faire l'objet d'une étude par Warburg [9].

Townsend [12] a ensuite adopté le système cylindrique coaxial étant donné la symétrie radiale et la simplicité du calcul théorique qu'il présente. La configuration fil-plan a été employée utilisée par Deutsch [12] pour son importance pratique dans la transmission d'énergie électrique. Malgré les différences qu'ils présentent lors de la décharge corona, ces systèmes partagent une importante caractéristique commune courant-tension I-V :

$$I = K.V. (V - V_s) \quad (I-1)$$

Où I est le courant de la décharge, V, la tension appliquée,  $V_s$ , la tension seuil de l'effet couronne et K, une constante dépendante de la mobilité moyenne des ions et de la géométrie du système d'électrodes. Comme nous pouvons le constater, le courant est nul pour  $V = V_s$  et croît paraboliquement avec V.

Dans le cas de la géométrie fil-plan, ne présentant pas de symétrie de révolution comme pour le cas du système cylindrique, le calcul est basé sur la loi générale courant-tension de nature complexe. Toutefois, aux faibles courants, elle est donnée [12] sous la forme suivante :

$$I = \frac{3.12 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \mu}{d^2 \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot d}{R}\right)} V \cdot (V - V_s) \quad (I-2)$$

## I.4 DECHARGE DE TOWNSEND

### I.4.1 Phénoménologie de la décharge

Considérons un système d'électrodes plan-plan immergées dans un gaz à basse pression, figure I.8. En l'absence de champ électrique, certaines particules chargées peuvent exister dans l'espace entre les électrodes. Ces particules sont créées par mécanisme artificiel (bombardant la cathode avec une source de rayonnement pour extraction d'électrons), ou par des mécanismes naturels (rayonnement, rayonnement univers, etc... ..). Dans ce cas, un équilibre entre production et disparition d'électrons existe, cet équilibre sera rompu par l'application d'un champ électrique. Soumis à ce champ, les électrons sont alors accélérés, et si le champ est suffisamment fort, l'énergie qu'ils gagnent devient suffisante pour provoquer l'ionisation des molécules neutres qu'ils attaquent (effet d'ionisation). Cela conduit à de nombreux électrons libres, soumis au même champ, ionisera aussi des molécules, etc. le processus par lequel une avalanche se produit, connu sous le nom d'avalanche de Townsend.

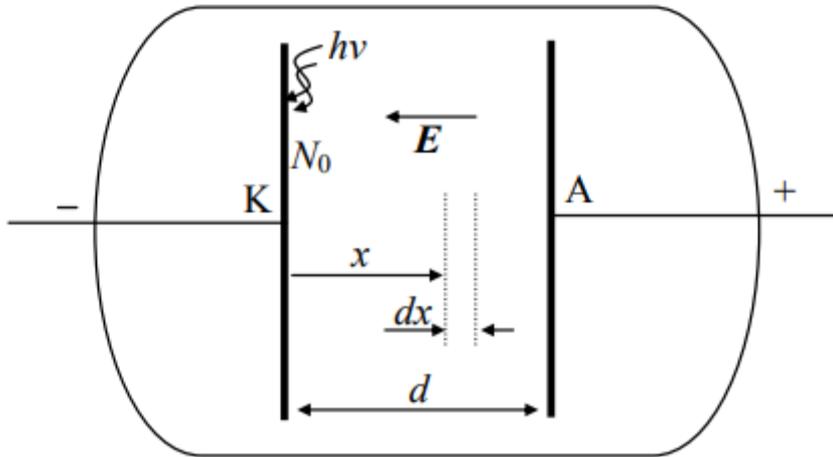


Figure I.8 Réalisation d'une décharge de Townsend à courant continu.

A: anode, K : cathode, d : distance anode-cathode, hv: source de rayonnement

Soit  $N_x$  le nombre d'électrons formés à une distance  $x$  de la cathode, alors ils vont produire  $dN_x$  électrons sur une distance  $dx$  :

$$dN_x = N_x \cdot \alpha \cdot dx \quad (I-3)$$

$\alpha$  est appelé premier coefficient de Townsend, il exprime le nombre d'ionisations par centimètre de parcours d'un électron soumis au champ électrique  $\vec{E}$ . Townsend a développé une expression empirique pour ce coefficient dans l'air en fonction du champ électrique et de la pression du gaz, il est donné alors par la relation [12] :

## Chapitre I : Généralités de la décharge couronne

$$\frac{\alpha}{p} = A \cdot e^{-B/\left(\frac{E}{p}\right)} \quad (\text{I-4})$$

Où A et B sont des constantes.

La valeur de  $\alpha$  étant constante (champ homogène), pour un nombre  $N_0$  d'électrons primaires produits par extraction de la cathode, l'intégration de l'équation d'Einstein donne :

$$N_x = N_0 \cdot e^{\alpha x} \quad (\text{I-5})$$

Tel que : Equation de Einstein :  $\frac{D_i}{\mu} = \frac{kT}{e} \quad (\text{I-6})$

Le nombre d'électrons atteignant l'anode est donné par la relation :

$$N_d = N_0 \cdot e^{\alpha d} \quad (\text{I-7})$$

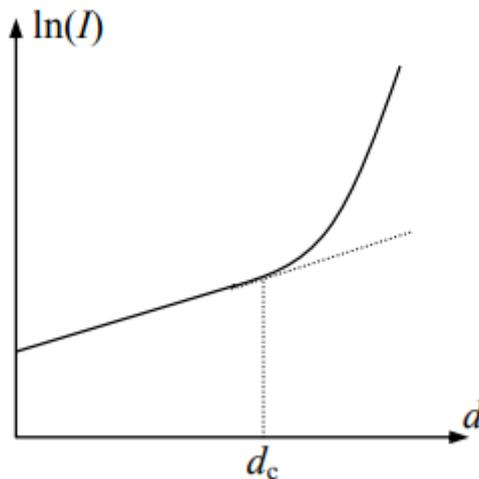
Le terme  $e^{\alpha d}$  représente le nombre d'électrons engendrés par un électron en parcourant la distance inter-électrodes. La charge collectée à l'anode vaut alors :

$$e \cdot N_d = e \cdot N_0 \cdot e^{\alpha d} \quad (\text{I-8})$$

Le courant à l'anode ou dans le circuit extérieur est donné par la relation :

$$I = I_0 \cdot e^{\alpha d} \quad (\text{I-9})$$

Si dans un dispositif tel que celui de la figure I.8, on fait varier  $d$  en laissant le rapport  $E/p$  constant, l'étude expérimentale effectuée par Townsend montre, qu'au-delà d'une certaine valeur de  $d$ , le courant se met à croître plus vite que prévu par la relation (I.10), fig. I.9.



**Figure I.9** Courant de décharge en fonction de la distance inter-électrodes.

Le nouveau mécanisme d'ionisation responsable de cette augmentation du courant est l'émission secondaire due aux ions positifs, principalement celle résultant du bombardement de la cathode. En effet, sous l'effet du champ électrique, les ions positifs formés lors de la première avalanche sont accélérés et peuvent acquérir une énergie cinétique suffisante pour arracher des électrons supplémentaires de la surface de la cathode.

On caractérise alors cette émission par une grandeur macroscopique,  $\gamma$ , dite deuxième coefficient de Townsend. Il est défini comme étant le rapport du nombre d'électrons émis par la cathode au nombre d'ions positifs qui y sont collectés et dépend de la nature du gaz inter électrodes et particulièrement du matériau constituant la cathode. Les  $N_0$  électrons issus de la cathode créent, sur la distance  $d$ ,  $N_0(e^{\alpha d} - 1)$  paires d'ions-électrons. Ces ions positifs vont libérer  $\gamma \cdot N_0(e^{\alpha d} - 1)$  nouveaux électrons initiaux. Donc pour  $N_0$  électrons primaires à la cathode, le nombre d'électrons parvenant à l'anode devient :

$$N_d = \frac{N_0 \cdot e^{\alpha d}}{1 - \gamma \cdot (e^{\alpha d} - 1)} \quad (\text{I-10})$$

D'où le courant collecté à l'anode :

$$I_d = \frac{I_0 \cdot e^{\alpha d}}{1 - \gamma \cdot (e^{\alpha d} - 1)} \quad (\text{I-11})$$

### I.4.2 Critère de claquage de Townsend

Dans l'équation précédente (éq. I.11),  $I_0$  représente le courant dû au rayonnement des rayons ultraviolets de la cathode. En l'absence de ces rayonnements, ce courant s'annule, ce qui entraîne l'annulation du courant d'anode ( $I = 0$ ). Cela signifie que si la source de lumière UV est retiré, le courant de décharge s'annule et la décharge n'est alors plus autonome [12].

Selon Townsend, ce qui est nécessaire pour qu'une décharge soit autonome est le dénominateur de l'Équation I.11 devient zéro. Cette norme, le courant  $I$  augmente jusqu'à l'infini, conduit alors à l'existence d'une distance critique  $d_c$  telle que :

$$1 - \gamma(e^{\alpha d_c} - 1) = 0 \quad (\text{I-12})$$

Comme  $e^{\alpha d_c} \gg 1$ , le critère devient :

$$e^{\alpha d_c} = 1/\gamma \quad (\text{I-13})$$

En réalité le courant  $I$  ne devient pas infini, car il est limité par le circuit extérieur. Cela signifie que lorsque la condition précédente est vérifiée, un électron primaire émis par la cathode donne  $e^{\alpha d_c} - 1$  ions qui produisent à leur tour, par bombardement,  $\gamma(e^{\alpha d_c} - 1)$  électrons secondaires, c'est-à-dire un nouvel électron. La décharge est alors auto entretenue, en ce sens qu'elle se maintient même si l'on supprime la source du courant primaire  $I_0$ .

Il y a lieu de noter que dans les régions à faible champ, l'attachement électronique ne peut plus être négligé. Ce phénomène est caractérisé par le coefficient d'attachement  $\eta$  qui s'oppose au processus  $\alpha$ . Il est prépondérant dans les gaz comportant des atomes à électronégativité accentuée tel que le SF6 ou à un degré moindre l'oxygène. Ces atomes peuvent capter un

électron. En présence de l'attachement, on définit un coefficient effectif d'ionisation  $\alpha$  qui s'écrit sous la forme suivante [12] :

$$\bar{\alpha} = \alpha - \eta \quad (\text{I-14})$$

### I.4.3 Décharge en champs non uniformes

Lorsque le champ électrique inter électrodes est non uniforme, comme c'est le cas dans les systèmes fil-plan, pointe-plan, sphère-plan, etc., son intensité et, par conséquent, le coefficient effectif d'ionisation  $\bar{\alpha}$  varient le long du trajet de l'avalanche.

Le critère de claquage de Townsend à faibles pressions prend alors la forme [12]:

$$\left( e^{\int_0^d \alpha dx} - 1 \right) = 1/\gamma \quad (\text{I-15})$$

### I.4.4 Loi de Paschen

La tension d'alimentation minimale qui déclenche la décharge est appelée tension de claquage. Nous avons examiné les critères donnés par Townsend plus tôt et avons écrit :

$$\gamma(e^{\alpha d} - 1) = 1 \quad (\text{I-16})$$

ou bien :

$$\alpha d = \ln \left( \frac{1+\gamma}{\gamma} \right) \quad (\text{I-17})$$

Nous avons vu précédemment que le paramètre  $\alpha/p$  est en général une fonction du champ réduit  $E/p$ , on peut alors écrire [12]:

$$\frac{\alpha}{p} = f \left( \frac{E}{p} \right) \quad (\text{I-18})$$

$$\alpha d = \left( \frac{\alpha}{p} \right) (Pd) = \ln \left( \frac{1+\gamma}{\gamma} \right) \quad (\text{I-19})$$

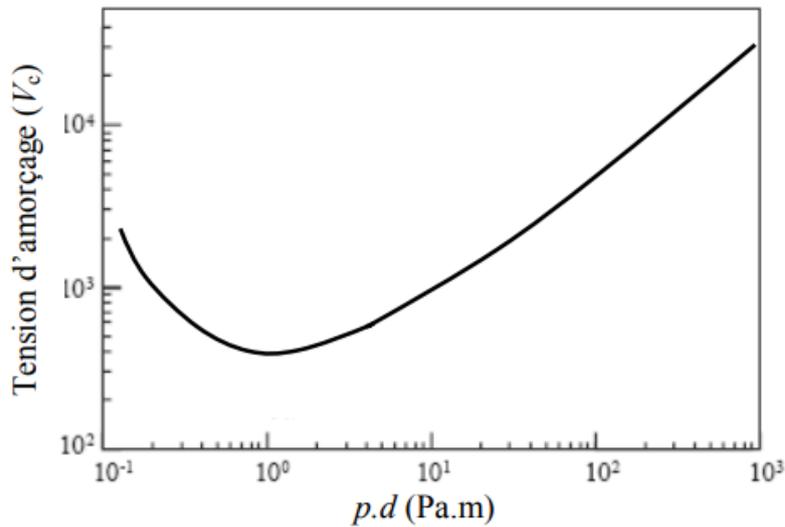
$$\frac{E}{p} = \frac{V}{Pd} = g \left( \frac{\alpha}{p} \right) = g \left( \frac{1}{Pd} \ln \left( \frac{1+\gamma}{\gamma} \right) \right) \quad (\text{I-20})$$

d'où:

$$V = F(Pd)$$

$f, g$  et  $F$  sont des fonctions quelconques.

C'est-à-dire que la tension d'amorçage est une fonction du produit  $Pd$  et du matériau de la cathode. Cette relation, appelée *loi de Paschen*, est habituellement représentée par la courbe caractéristique  $V_c = f(Pd)$ [12], figure I.10.



**Figure I.10** Tension d’amorçage dans l’air en champ uniforme en fonction du produit  $pd$ .

Nous remarquons que la tension d’amorçage passe par un minimum unique ( $V_{c\ min}$ ) pour une valeur particulière de  $Pd(Pd_{min})$ . A pression atmosphérique ( $p= 101325\ Pa$ ), le minimum correspond à une distance inter électrodes d’environ  $10\ \mu m$ . Cela signifie que, pour la production de décharges à pression atmosphérique dans des conditions d’utilisation usuelles ( $d \geq 1\ mm$ ), la tension de claquage est une fonction croissante de la distance inter électrode.

Si  $Pd < Pd_{min}$ , le nombre de collisions va diminuer, ce qui nécessite l’augmentation de la tension d’amorçage. De même, l’augmentation du produit  $Pd$ , accroît la probabilité de collision des électrons avec les molécules, mais l’énergie moyenne acquise entre deux collisions sera plus faible, ce qui diminue la probabilité de collisions ionisantes, à moins d’augmenter la tension. Remarquons que dans ce dernier cas ( $Pd > Pd_{min}$ ), la tension  $V_c$  croît presque linéairement en fonction du produit  $Pd$ , ce qui revient à dire que le gradient d’amorçage dépend seulement de la pression. On peut ainsi déterminer le champ d’amorçage pour un intervalle d’air de  $1\ cm$  à pression atmosphérique qui correspond à  $Pd = 1013,25\ Pa.m$ , qui est proche de  $26\ kV/cm$  [12].

La loi précédente suppose que le produit  $Pd$  n’est pas très élevé. Dans le cas où on a de grandes distances et des tensions très élevées, le mécanisme de propagation de la décharge est très différent. En effet, le mécanisme d’avalanche décrit par Townsend et faisant intervenir tout l’espace inter électrodes, prévoit, pour de grandes valeurs du produit  $Pd$ , des temps de transition des charges beaucoup plus grands que le temps de formation de la décharge. Ceci écarte le processus secondaire  $\gamma$  en raison de la faible mobilité des ions. Pour des pressions élevées, les ions positifs sont freinés, ce qui rend difficile leur transit vers la cathode. De plus leur énergie cinétique n’est plus suffisante pour extraire des électrons de la surface cathodique. Les travaux effectués par Fletcher ont confirmé la non validité de la théorie de Townsend pour des pressions élevées du gaz. Cependant, cette théorie conserve sa validité pour des valeurs du produit  $pd < 200\ Torr.cm$  [12].

Il est clair que, dans le cas des fortes pressions, les processus mis en jeu ne sont plus ceux de la décharge de Townsend. Des études utilisant des techniques de photographie ultra rapide ont conduit à invoquer un nouveau mécanisme de claquage lié à l'existence de dards lumineux ou streamers.

### I.5 Seuil d'apparition de la décharge couronne

Le champ électrique doit être suffisamment fort pour que ce phénomène se produise ( $E > E_{\text{Peek}}$ ). La tension appliquée détermine le champ électrique et peut ioniser certaines particules d'air dans une petite région de gaz. Les électrons libres générés par un fort champ électrique forment la base de ce processus. Lorsqu'un électron libre entre en collision avec une molécule de gaz, l'énergie de l'électron est supérieure à l'énergie d'ionisation de la molécule de gaz. Ceux-ci sont ionisés et de nouveaux électrons se forment. Les électrons nouvellement formés sont exposés au même champ électrique qui a provoqué leur formation. Au cours du processus d'ionisation, une avalanche de Townsend peut se produire en raison de la production de photons à haute énergie. Une décharge corona se produit lorsque plusieurs avalanches se produisent. Les électrons et les ions générés se déplacent selon leur polarité de charge, créant une charge d'espace [24].

Selon F.W. Peek , pour une configuration cylindrique, l'apparition de l'effet de couronne est fonction du champ superficiel, du rayon du conducteur, et de la densité de l'air expliquée par l'équation suivante :

$$E_c = E_s \times \delta \times \left(1 + \frac{K}{\sqrt{\delta \times r}}\right) \quad (\text{I-21})$$

Avec :

- $E_c$  Le Champ critique, en kV/cm.
  - $E_s$  : Le Champ superficiel,  $E_s = 31$  kV/cm.
  - $K$  : Le Coefficient,  $K = 0.308$ .
  - $r$  : Le Rayon du conducteur, en cm.
  - $\delta$  : La Densité relative de l'air =  $3.92P / (273 + T)$ , ( $\delta = 1$  pour  $P=76$  cm Hg et  $T = 25^\circ$ ),  $T$  est la température, en  $^\circ\text{C}$ .
  - $P$  : est la pression de l'air, en cm Hg.
- Le terme ( $\sqrt{\delta \times r}$ ) : est appelé correction de Peek, il tient compte du fait que plus le rayon du conducteur est petit plus il est difficile d'ioniser loin de ce conducteur.
  - L'équation précédente ne se vérifie que pour des surfaces parfaitement polies.

### I.6 Les facteurs influençant la décharge couronne

Parmi ces paramètres, plusieurs facteurs peuvent affecter les propriétés du rejet. Ces facteurs se répartissent en trois catégories : physico-chimiques, géométriques et électriques [25].

#### I.6.1 Facteurs physico-chimiques

##### a. La température

L'augmentation de la température augmente le libre parcours moyen. Cela réduit la rigidité diélectrique et favorise l'effet couronne. Des études expérimentales ont montré que l'augmentation de la température abaisse le seuil de l'effet corona et augmente la décharge [26].

##### b. L'humidité

La rigidité diélectrique de l'air est fortement affectée par l'humidité. Ce fait est très important à considérer lorsque le champ électrique est irrégulier. En raison de la forte affinité électronique de la vapeur d'eau dans l'air, les électrons libres adhèrent plus fortement à l'air lorsque l'humidité est élevée. De plus, les photons sont plus fortement absorbés en début de streamer (zone d'avalanche de photo-ionisation secondaire) du fait de la forte conductivité de l'air. Le seuil de décharge couronne se produit toujours à une tension inférieure à 90 % d'humidité relative qu'à 5 % d'humidité relative. La chute de tension peut être attribuée à l'augmentation de la conductivité de l'air avec l'augmentation de l'humidité relative dans la cellule de décharge [9,6,18].

##### c. La pression atmosphérique

Selon la loi de Paschen, à mesure que la pression autour des électrodes augmente, le nombre de particules dans l'espace entre les électrodes augmente. À mesure que le nombre de particules chargées augmente, la distance moyenne avant d'entrer en collision avec quelque chose d'autre diminue. Lorsque la quantité d'ionisation de l'air diminue, le seuil de décharge corona augmente et la mobilité des porteurs de charge diminue [6, 27].

#### I.6.2 Facteurs électriques

Le niveau et le type de tension appliqués aux électrodes influencent les caractéristiques de la décharge couronne. La plupart des investigations ont été faites avec du courant continu [28]. Pour les tensions alternatives, nous observons les mêmes modes d'éjection de charge que ceux décrits pour les tensions continues. La seule différence est que pour la tension alternative, la concentration d'émission de charge est au sommet de la sinusoïde de tension appliquée, alors que pour la tension continue, l'émission de charge est permanente [9].

##### a. En tension continue

Si le champ électrique n'est pas assez fort pour que le streamer traverse tout l'espace entre les électrodes, le courant en excès qui a causé le court-circuit traversera plutôt la partie extérieure du circuit. Un courant plus faible arrête toute ionisation et réduit le champ électrique dans la

région d'électrode tout en produisant un niveau de tension minimum indiquant qu'une flûte s'est produite. À la pointe de l'étincelle, l'environnement est nettoyé par des processus de dérive et de diffusion, de recombinaison et d'augmentation du champ électrique. Cela crée une série de petites décharges d'étincelles à intervalles réguliers, en fonction du niveau de tension. Les décharges par étincelles sont également appelées « stubs » [29].

### **b. En tension alternative**

Le bruit émis par les lignes haute tension (HT) s'explique par le développement de streamers autour du câble HT. Il s'agit d'une décharge couronne [29].

### **I.6.3 Facteurs géométriques**

#### **a. Le Rayon de courbure**

Le rayon de courbure affecte la tension de seuil de décharge, et le seuil d'apparition de l'effet couronne augmente avec le rayon de courbure de l'électrode active [30]. Dans les mêmes conditions atmosphériques, le courant de décharge diminue fortement avec l'augmentation du rayon de courbure.

#### **b. La distance inter-électrodes**

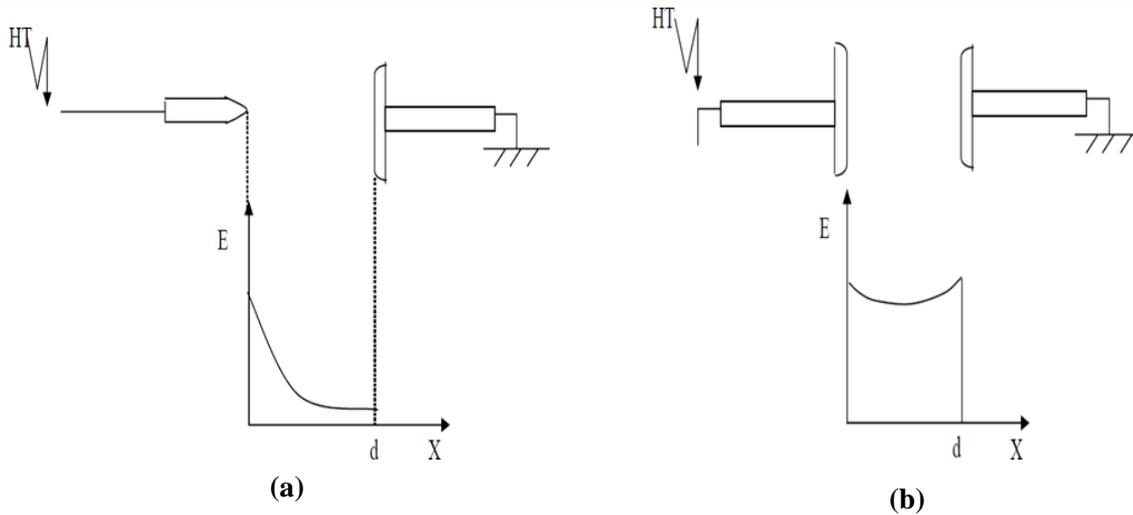
Il a été observé expérimentalement que lorsque l'écart inter-électrode est faible, le courant de décharge augmente et augmente rapidement lorsque la tension appliquée augmente. De plus, un seuil de décharge corona de faible valeur de tension se produit à de courtes distances d'électrode [30].

#### **c. La nature des électrodes**

Pour étudier l'effet du type d'électrode sur la décharge couronne, des tests ont été effectués sur des matériaux d'électrode en utilisant différents types d'électrodes pour les mêmes paramètres de test (diamètre et distance entre les électrodes). À cette fin, une étude des caractéristiques courant-tension de trois types d'électrodes (cuivre, aluminium et acier) a été réalisée [31]. Les valeurs de courant de décharge pour l'acier s'avèrent supérieures à celles de l'aluminium et du cuivre qui sont très proches. À l'inverse, l'acier a une tension de seuil inférieure à celle de l'aluminium et du cuivre.

#### **d. La forme d'électrodes**

La géométrie des électrodes joue un rôle important dans la répartition du champ électrique dans la zone inter-électrodes. Dans la Figure I.11(a), la décharge couronne forme une zone stable car le champ électrique n'est pas uniforme (asymétrie des électrodes). Une décharge couronne se forme lorsque la tension atteint une certaine tension de seuil, puis s'arc à un certain niveau, la tension dite de claquage. La Figure I.11(b) montre un champ électrique uniforme (géométrie plan à plan) qui se transforme rapidement en un arc dès que la décharge commence. Cela signifie qu'il n'y a pas de décharge corona [18].



**Figure I.11** Distribution du champ dans un système pointe-plan(a) et dans un système plan-plan(b) [18].

### e. L'état de surface

La finition de surface des électrodes actives (telles que les fils) est importante. En effet, la perte augmente et le champ d'interférence devient plus fort à mesure qu'il se dégrade. De manière générale, la pollution de l'air autour des conducteurs des lignes électriques est un facteur de dégradation important. L'eau de pluie peut rendre les fils rugueux et augmenter l'effet corona [18].

## I.7 Applications utilisant la décharge couronne

Il existe de nombreux procédés industriels qui utilisent l'effet couronne pour générer des charges électriques. Cela comprend les précipitateurs électrostatiques, la destruction de la pollution (réduction des gaz), l'évaporation électrostatique, la séparation des matériaux à l'aide d'isolants chargés (plaques ou granulés) et les générateurs d'ozone utilisés pour éliminer l'électricité statique. L'électricité des copieurs et des imprimantes à jet d'encre et des neutralisants complexes [32].

### I.7.1 Filtrage électrostatique

La génération de charges électriques dans les décharges couronnes continues à pression atmosphérique est utilisée depuis plusieurs années dans le traitement des effluents gazeux contenant des poussières (précipitation électrostatique). En effet, en chargeant des particules ciblées à l'aide des charges électriques générées par l'effet de couronne, on peut recueillir des poussières nuisibles avant leur évacuation. On peut trouver les précipitateurs à la sortie des gaz des centrales thermoélectriques, des cimenteries, etc. Ils sont exploités également pour améliorer la qualité de l'air à l'intérieur d'un local [12].

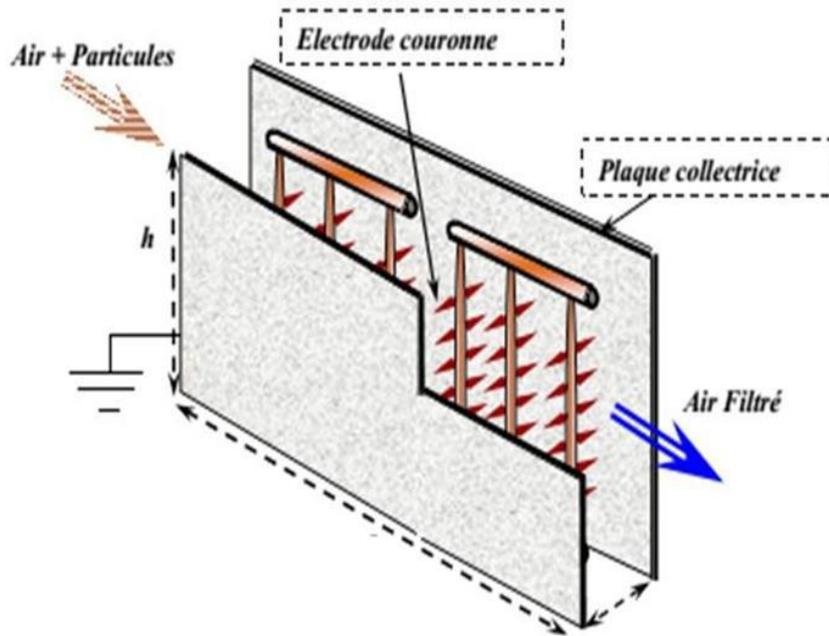


Figure I.12 Vue schématique d'un filtre électrostatique avec un réseau de pointes [33]

### I.7.2 Séparation électrostatique

Le modèle le plus couramment utilisé dans l'industrie de la séparation est le séparateur électrostatique, qui peut séparer des mélanges de métaux particulaires et d'isolants. Les séparateurs à tambour électrostatiques les plus couramment utilisés ont des niveaux de pureté très proches de 100 %. Le fonctionnement de ce type de séparateur est basé sur un champ électrique généré entre deux électrodes (1 et 2) et une autre électrode de masse (3) pivotant sur elle-même, comme illustré à la figure I.13.

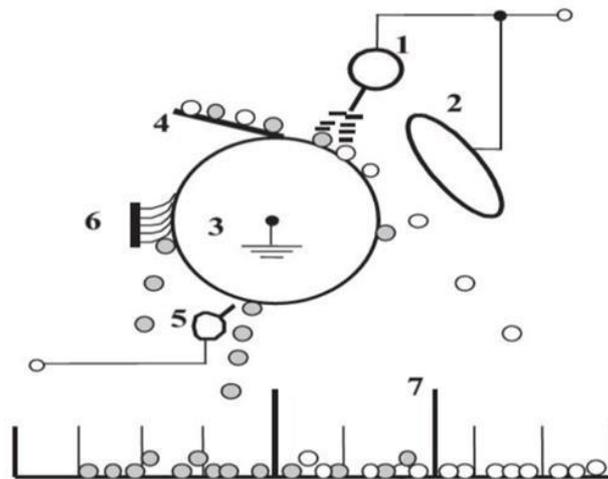
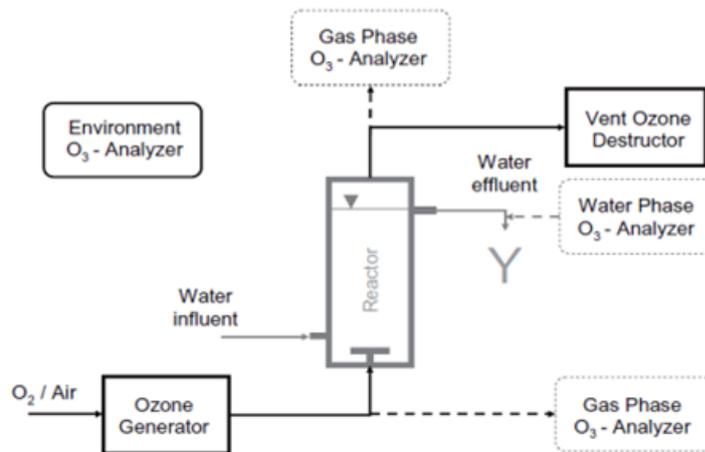


Figure I.13 Représentation schématique d'un séparateur électrostatique à tambour [34].

### I.7.3 Générateur d'ozone

L'oxydation se produit par décharge couronne. La décharge brise la molécule d'oxygène stable pour former deux ions oxygène chargés. Les ions se combinent ensuite avec d'autres molécules d'oxygène pour former de l'ozone [35]. L'ozone n'est pas seulement utilisé pour le

traitement de l'eau, mais également pour de nombreuses autres applications telles que le nettoyage et la conservation des aliments. L'ozone est un agent oxydant fort et est introduit dans le gaz à traiter. La solution n'est pas de créer un milieu trop réactif, mais d'introduire de l'ozone dans le flux gazeux. Le schéma de la Figure I.14 montre une vue d'ensemble d'un ozonateur fournissant de l'oxygène ou de l'air. Le courant électrique convertit une partie du gaz circulant en ozone [36].



**Figure I.14:** Composants de base de toute installation expérimentale d'ozonation [36]

### I.7.4 Neutralisation et charge des médias non-tissés

Les matériaux isolants ont des charges électrostatiques sur leurs surfaces qui peuvent causer de sérieux problèmes statiques. Les charges peuvent coller les matériaux ensemble, et même les charges peuvent faire adhérer les matériaux aux surfaces métalliques. De nombreuses applications telles que les feuilles de papier, la manipulation de textiles ou les films polymères ne peuvent pas être utilisées si le matériau est exposé à ces forces électriques [37].

Les décharges électriques d'objets chargés peuvent être dangereuses et doivent être manipulées avec précaution lors de la fabrication d'équipements électroniques. Le contrôle de la charge électrique du matériau avec lequel on travaille est essentiel et se fait à l'aide d'un ensemble de trois électrodes (triodes). Cet ensemble d'électrodes est utilisé pour générer une décharge corona qui neutralise la charge sur le matériau. Le même jeu d'électrodes peut également être utilisé pour charger des tissus non tissés et des films isolants. Plusieurs laboratoires et entreprises de fabrication ont mené des études sur l'efficacité des filtres à air non tissés après exposition à une décharge corona. Cette classe d'applications pour les systèmes d'électrodes « triodes » a fait l'objet de nombreuses recherches (Fig. I.15) [37].

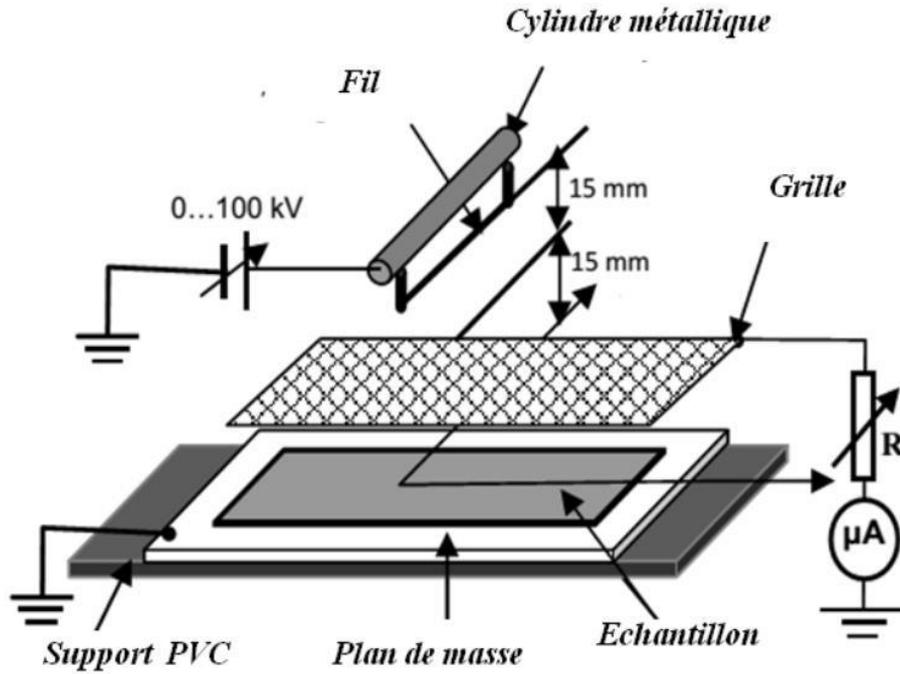


Figure I.15 Système de neutralisation et de charge des médias de type triode [37]

### I.7.5 Paratonnerre

Un paratonnerre est un dispositif utilisé pour protéger les bâtiments des coups de foudre directs. Le conducteur est relié à la terre par plusieurs fils et une pointe métallique est placée au-dessus du bâtiment. L'effet corona augmente la conductivité de la pointe, qui attire la foudre. Les nuages ont une charge négative et la terre a une charge positive. Lorsque la foudre frappe, elle se déplace le long de l'échelle (choisissant en fait le chemin le plus facile), reliant la charge positive de la terre à la charge négative du nuage [6, 36].

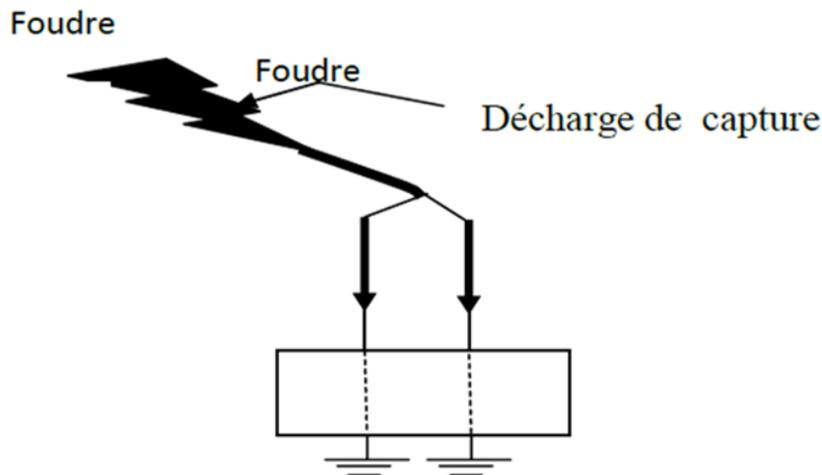


Figure I.16 : Utilisation de la décharge couronne pour le paratonnerre [9]

### I.7.6 Autres applications

Outre les applications citées précédemment, l'effet couronne est aussi utilisé dans l'élimination de l'électricité statique, dans les photocopieurs ou les imprimantes à jet d'encre [12].

## I.8 Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre l'étude bibliographique de la décharge couronne. En premier lieu, nous avons fourni un bref aperçu historique de la décharge couronne et le processus de sa formation et nous avons ensuite vu les différents mécanismes de décharge couronne et les différents types de décharge, ainsi que des paramètres qui influencent sur ce type de décharge. Enfin, nous avons présenté les applications industrielles de la décharge couronne. Dans le chapitre qui suit, nous aborderons l'étude expérimentale effectuée pour la génération de la décharge couronne en géométrie duode et triode ainsi que nous dériverons le dispositif expérimental et la méthode de mesure utilisée.

# CHAPITRE II

# II Chapitre II : Description de l'étude expérimentale

## II.1 Introduction

Comprendre les mécanismes fondamentaux de la décharge couronne est crucial pour optimiser ces applications et garantir leur bon fonctionnement. Dans ce chapitre, nous nous concentrerons sur l'étude expérimentale de la décharge couronne en utilisant une géométrie duale et triode. Cette approche expérimentale nous permettra de mieux appréhender les caractéristiques de la décharge couronne dans des conditions spécifiques et de recueillir des données précieuses pour une analyse approfondie.

Les travaux présentés dans ce chapitre ont été réalisés au Laboratoire Haute Tension, Université A. Mira, Bejaïa, sous la direction de M. KASDI et Mlle CHOUALI.

La première partie est consacrée à l'étude des paramètres caractérisant la décharge couronne (seuil d'initiation de la décharge, courant de décharge et les paramètres influençant) avec la configuration duale (fil cylindre).

La seconde partie est dédiée à la décharge couronne en géométrie triode, composée de la configuration duale en présence d'une grille métallique dans l'espace inter électrode.

## II.2 Description des installations expérimentales

Les installations expérimentales de la décharge couronne peuvent varier en taille et en configuration en fonction des objectifs spécifiques de la recherche. Cependant, voici une description générale des composants typiques d'une telle installation :

- Les alimentations électriques
- Les systèmes d'électrodes de décharge couronne
- Les systèmes de mesures électriques

### II.2.1 Les alimentations électriques :

Une alimentation en courant continu a été utilisée pour alimenter les électrodes actives de la décharge corona. L'équipement électrique est situé dans le Laboratoire Haute Tension de l'Université de Bejaïa et fournit des tensions continues ou alternatives allant de 0 à 140 kV dans les deux polarités. La figure suivante (II.1) montre les composants de cette installation. Les composants sont :

- Une source de basse tension SG1.
- Un transformateur de haute tension alimenté par la source basse tension.
- Deux diodes hautes tensions C270.
- Deux condensateurs de lissage C10.

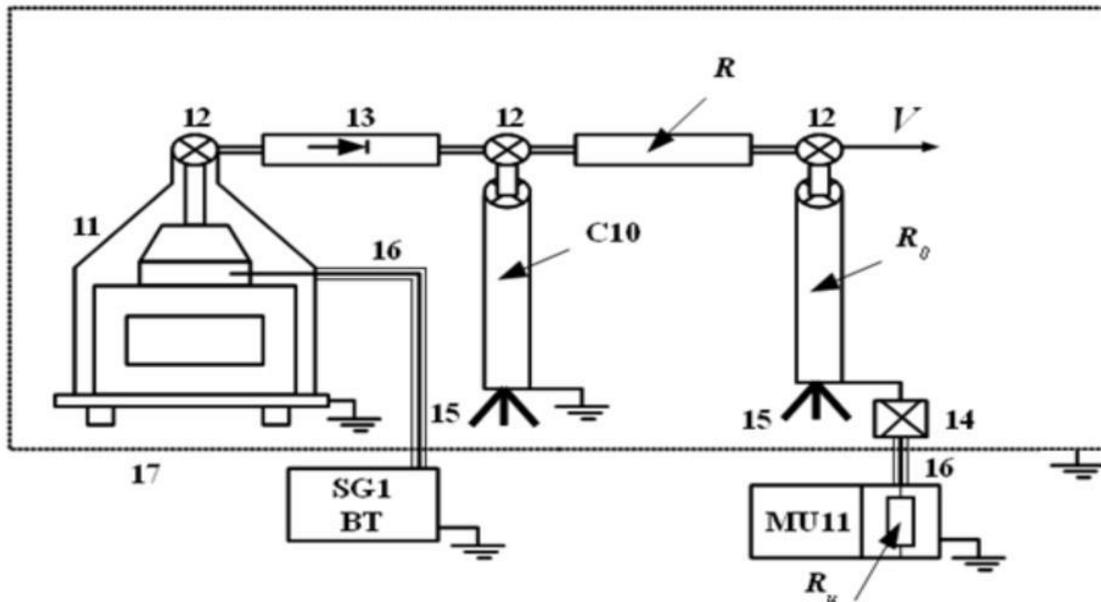


Figure II.1 Schéma en bloc de la source de haute tension utilisée [48].

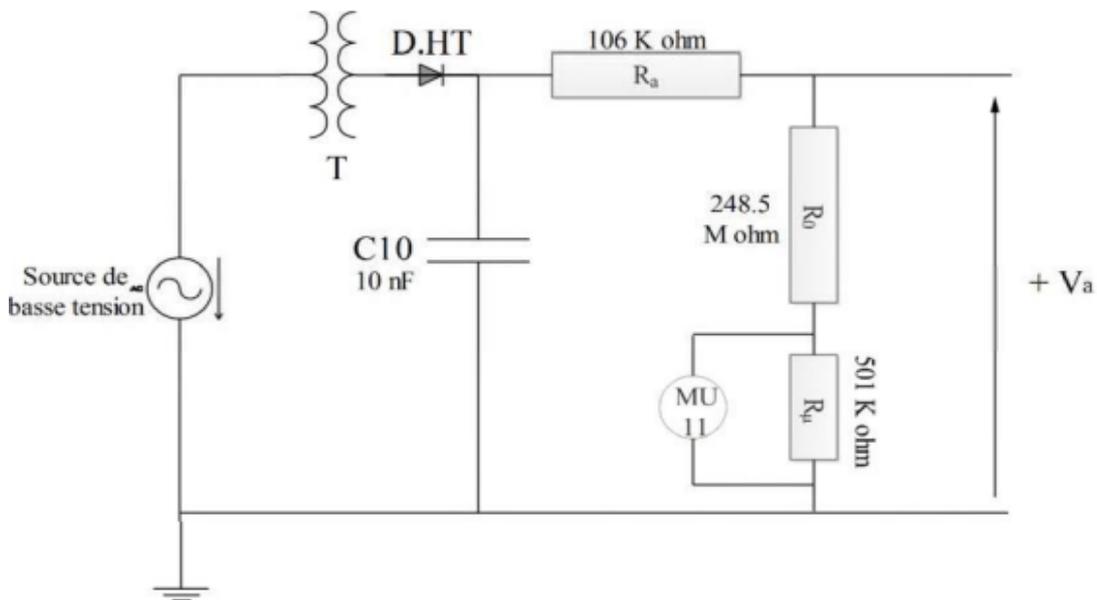


Figure II.2 Schéma électrique de la source de haute tension utilisée (uniquement pour la Tension positive).



Figure II.3 Equipements de l'installation haute tension utilisée.

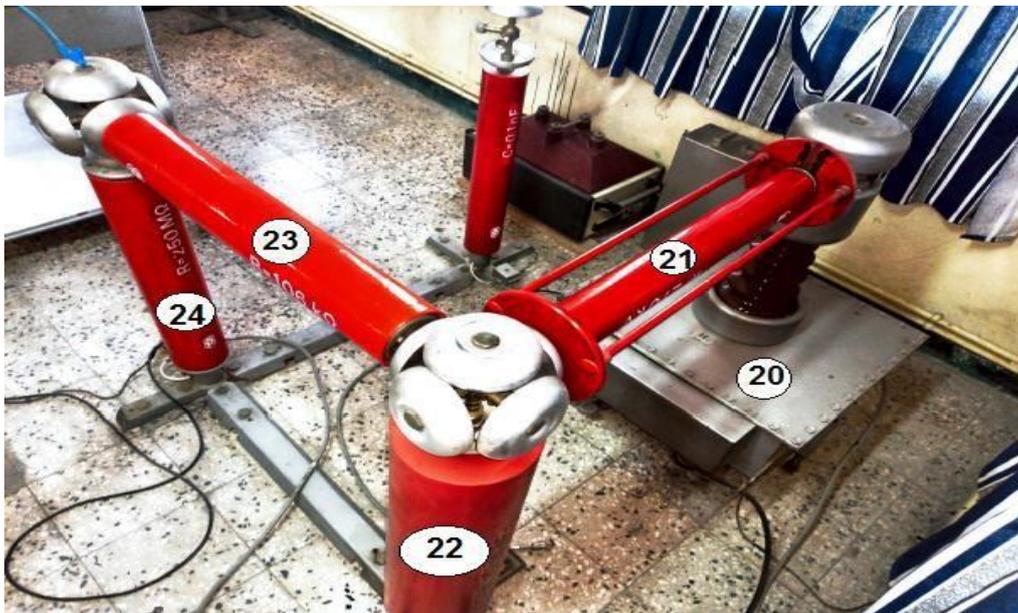


Figure II.4 Installation haute tension utilisée du laboratoire de Bejaia

*SG1 : Générateur de basse tension.*

*MU11 : Voltmètre de crête.*

*20 : Transformateur haute tension (T100).*

*21 : Diode haute tension (G270).*

22 : Condensateur de lissage (C10).

23 : Résistance d'amortissement (Ra).

24 : Résistance haute tension (R0).

28 : Grille de protection (Cage de Faraday).

L'enroulement primaire du transformateur élévateur T100 (20) utilisé dans cette installation (qui a un faible changement d'échelon d'environ 100V et fournit une haute tension) est alimenté via un câble à partir d'une source basse tension variable (SG1). Une simple alternance est affectée à ce transformateur afin d'obtenir une haute tension continue. Ce redresseur est constitué d'une diode haute tension à base de silicium (21) et d'un condensateur de lissage C10 (22) d'une capacité de 10 nF. Une résistance Ra de 106 k $\Omega$  (23) relie le condensateur au système d'électrodes. Son rôle est d'amortir le courant et de protéger la diode des surintensités.

Pour mesurer la haute tension continue Va, un voltmètre crête MU11 a été équipé d'un diviseur de tension résistif constitué d'une résistance haute tension R0 (24) de 248,5 M $\Omega$  et d'une résistance basse tension Ru de 501 k $\Omega$ . Ces deux résistances sont reliées par un câble coaxial blindé.

### II.2.2 Les systèmes d'électrodes de décharge couronne utilisée.

#### II.2.2.1 Système de la décharge couronne duale

Parmi les configurations les plus utilisées dans les laboratoires de recherche pour produire la décharge couronne est la configuration duale "fil-cylindre".

La configuration expérimentale globale pour la géométrie duale est illustrée dans la figure (II.5). Le système d'électrodes et les éléments haute tension sont séparés des manipulateurs et autres appareils de mesure basse tension par une grille de séparation (cage de Faraday (6)). L'électrode active (1), disposée parallèlement à un cylindre (2) tendu à hauteur H par une plaque isolante (3), est reliée à une installation haute tension continue Va. Ce système haute tension se compose principalement d'un générateur basse tension (12) qui utilise un transformateur élévateur et un circuit redresseur pour produire une haute tension continue de l'ordre du kilovolt (11). Pour mesurer le courant de fuite, connecter le pico ampèremètre (14) à la sonde de mesure circulaire (5). La sonde circulaire (5) est en aluminium massif et usinée à plat (E) dans le même plan de surface. Ce dernier est équipé de deux panneaux de protection (4) de 150 x 800 mm, dont le rôle est d'éviter les effets de bord, reposant entièrement sur des supports en bois isolants.

Une sonde circulaire (4) est fixée à l'ensemble avec une plaque en plexiglas et un blindage en aluminium pour permettre de dériver les courants de fuite vers la terre. Le plan de polarisation est connecté à une alimentation électrique continue basse tension (20) et un voltmètre numérique (15) est connecté pour mesurer la tension de polarisation appliquée  $V_b$ , l'ensemble formant une électrode collectrice.

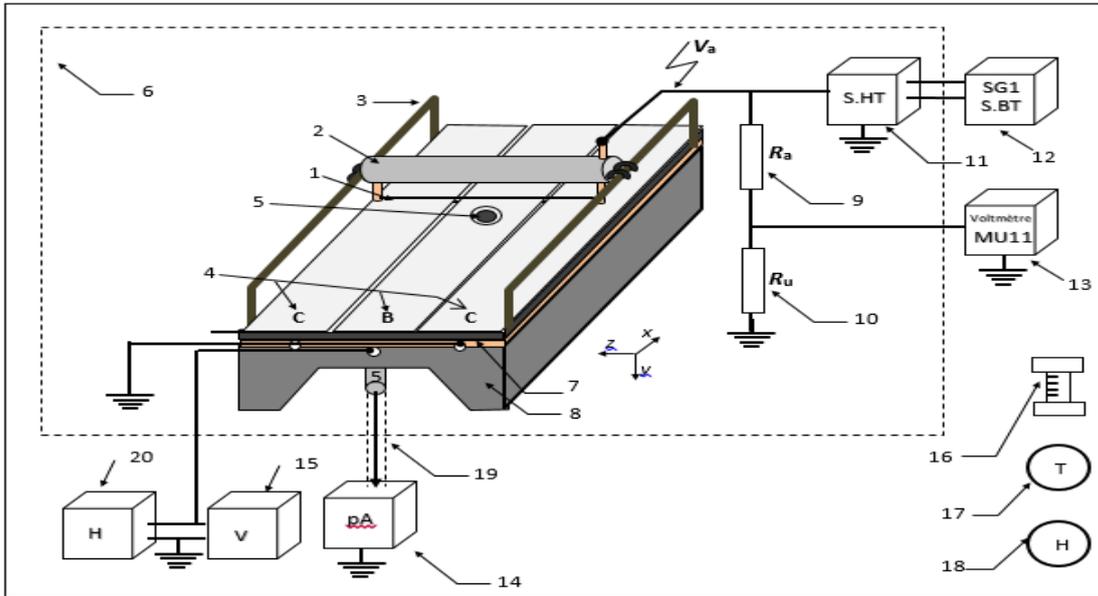


Figure II.5 Constitution du dispositif expérimental.

- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| 1 : fil très fin                    | 11 : source de haute tension              |
| 2 : cylindre                        | 12 : source de basse tension              |
| 3 : supports des électrodes actives | 13 : voltmètre de crête                   |
| 4 : les plans de gardes             | 14 : Pico-ampèremètre                     |
| 5 : sonde circulaire                | 15 : voltmètre                            |
| 6 : cage FARADAY                    | 16 : baromètre à mercure                  |
| 7 : plaque isolante en Bakélite     | 17 : Thermomètre                          |
| 8 : support en bois                 | 18 : Hygromètre à cheveux                 |
| 9 : résistance d'amortissement      | 19 : câble coaxiale                       |
| 10 : résistance de haute tension    | 20 : source de polarisation basse tension |

### II.2.2.2 Constitution de la configuration fil-cylindre

Ce système contient l'électrode active qui se compose principalement d'un fil très fin de rayon " $R_f$ " et d'un cylindre de diamètre " $D_c$ " et de longueur " $L$ ". Ce dernier a pour but d'orienter les lignes de champs vers le plan de masse (figures II.6 et II.7).

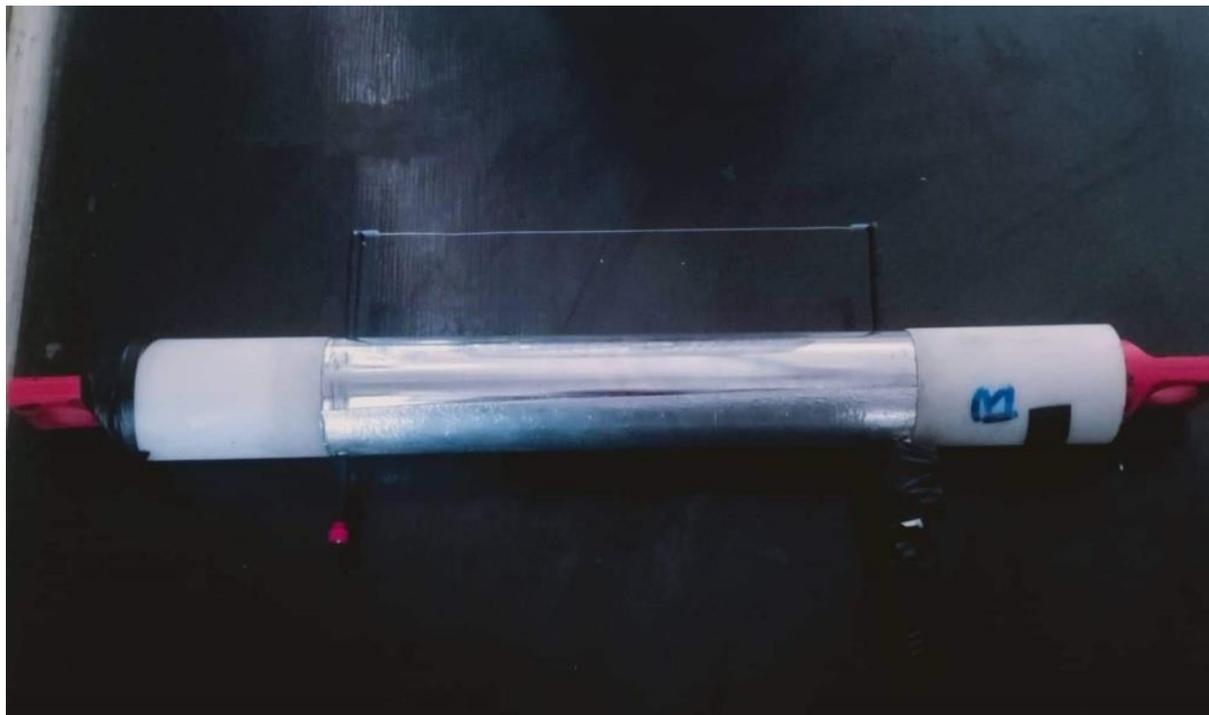


Figure II.6 Dispositif expérimental configuration Duale (fil-cylindre).

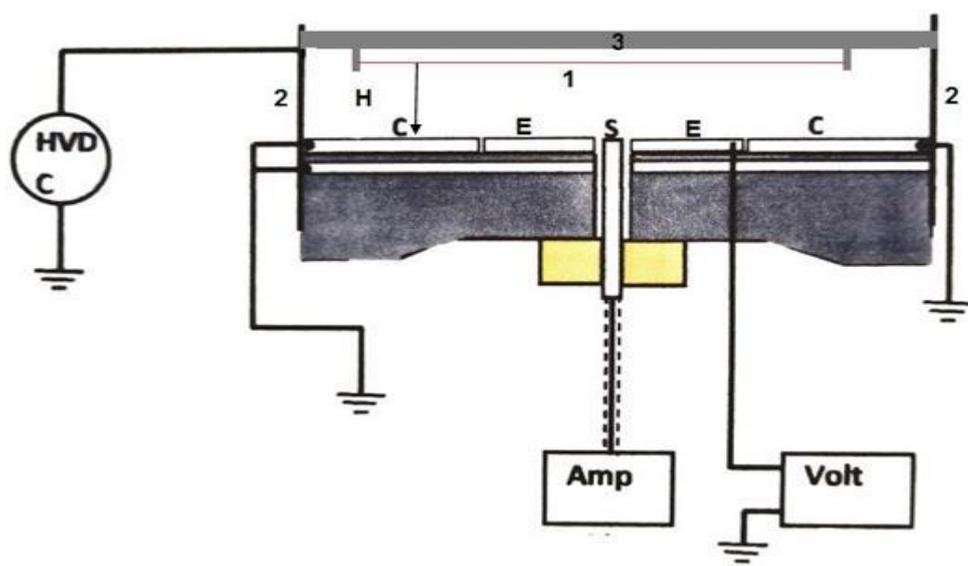


Figure II.7 Représentation longitudinale du dispositif d'électrode sous configuration Duale-Plan.



**Figure II.8** Vue longitudinale du dispositif d'électrodes de la configuration Duale-Plan.

### **II.2.2.3 Système de la décharge couronne en configuration triode**

La configuration, illustrée dans la figure (II.10), est appelée triode, elle se constitue d'une double électrode (duale) et d'une grille métallique placée entre le fil de la double électrode et une électrode plane reliée à la masse (le plan). La grille étant reliée à la masse par une résistance électrique, le potentiel de la grille dépend de cette résistance et de la tension appliquée à la source. Cette configuration est utilisée pour contrôler la valeur du potentiel et charger des films isolants et des tissus non tissés. Pour cette raison, plusieurs études se sont focalisées plus spécifiquement sur cette configuration d'électrodes.

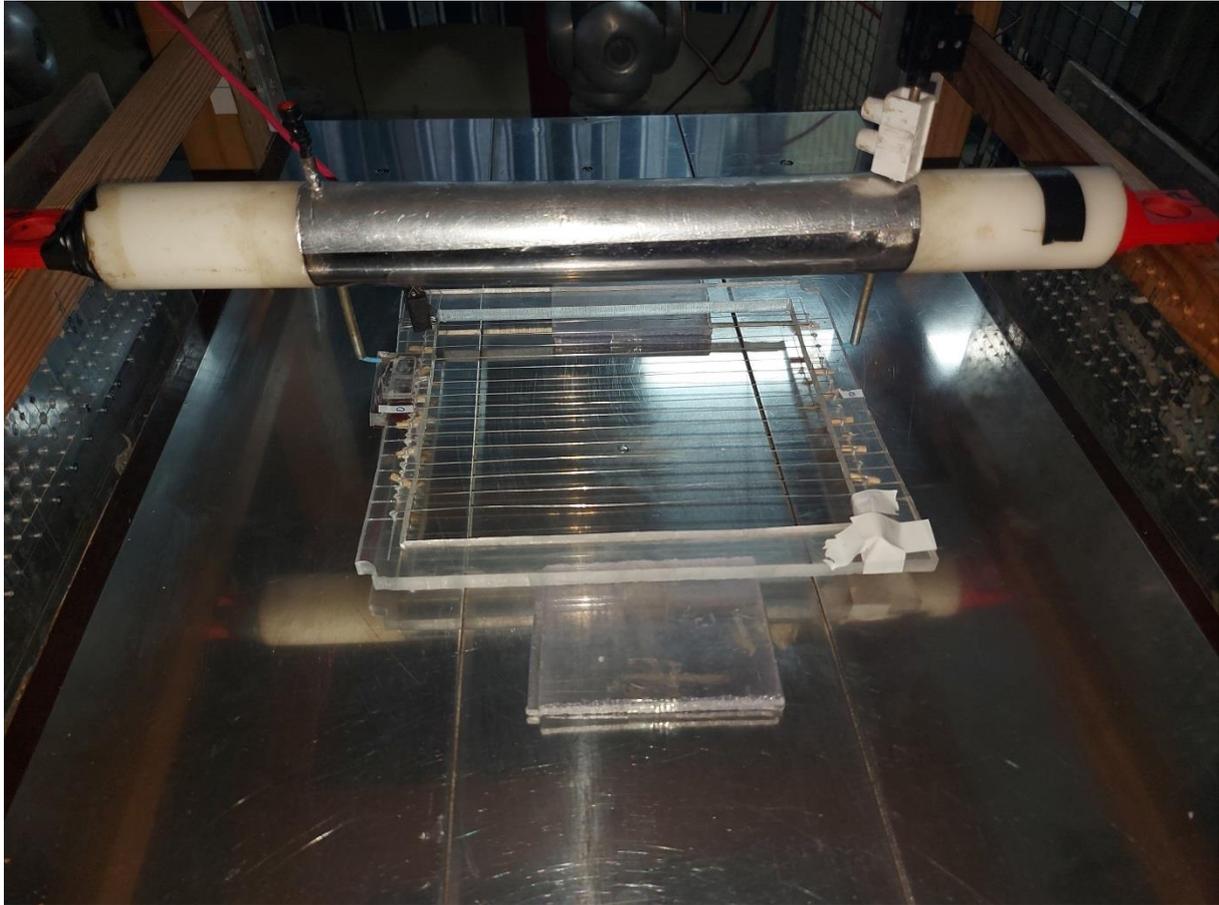


Figure II.9 Décharge couronne dans le système triode.

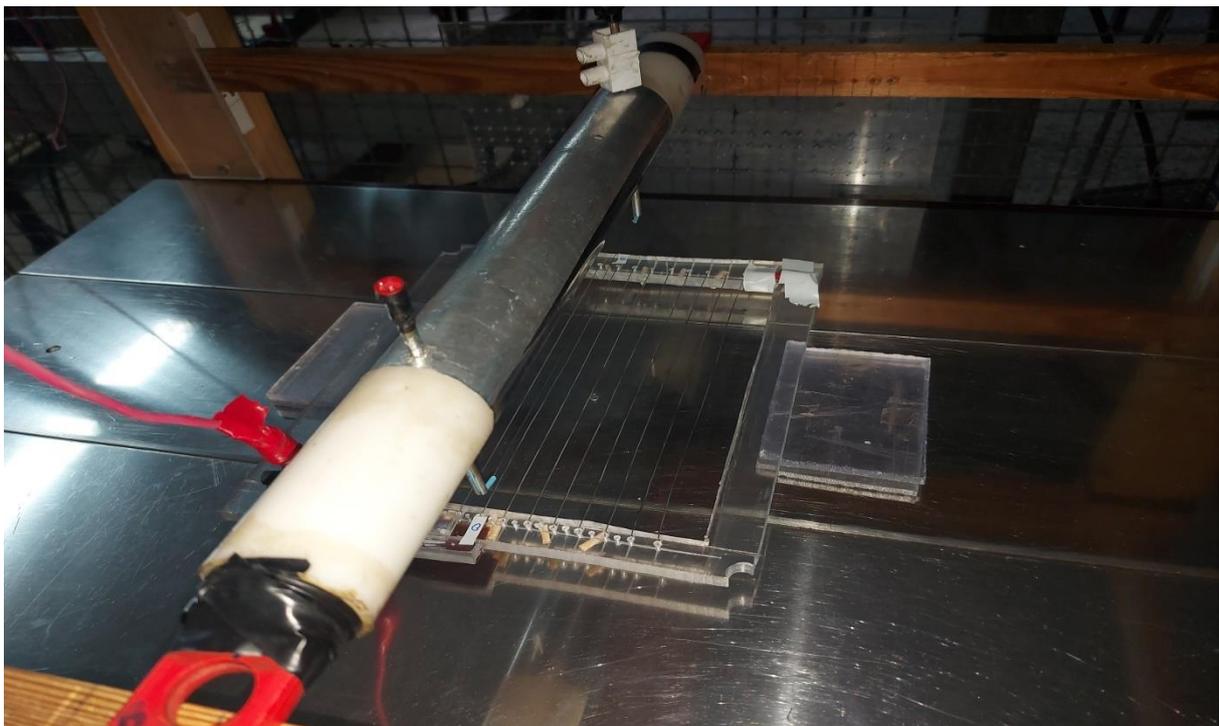


Figure II.10 Vue de côté de la configuration triode.

### II.2.2.4 Grille métallique

La grille métallique utilisée pour notre étude expérimentale est intercalée entre l'électrode couronne fil-cylindre et une plaque métallique reliée à la terre, se compose essentiellement d'un cadre de forme carrée en plexiglas (25x20 cm<sup>2</sup>), d'une épaisseur de 8 mm<sup>2</sup>, et d'un grillage en nappe de fils de rayon de 'Rg', avec un espacement de 'es'. Comme l'illustre la figure II.12.

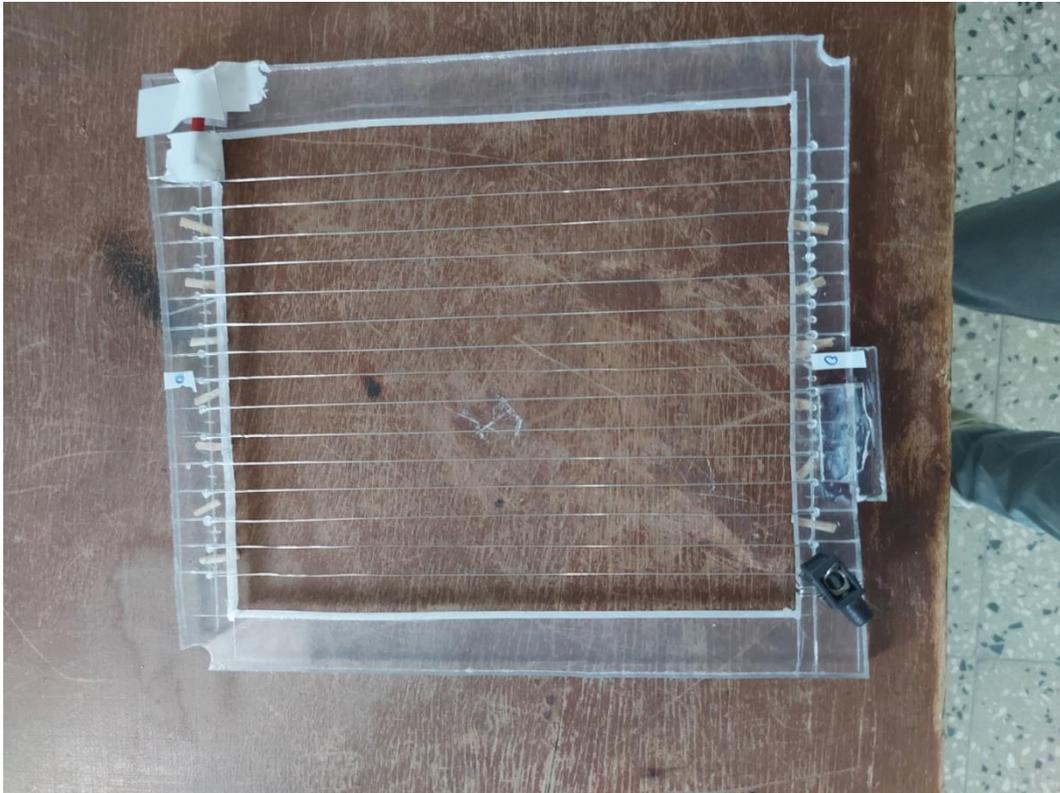


Figure II.11 Grille métallique.

### II.2.3 Systèmes de mesure

#### II.2.3.1 Mesure des tensions :

##### II.2.3.1.1 Tension appliquée aux électrodes actives :

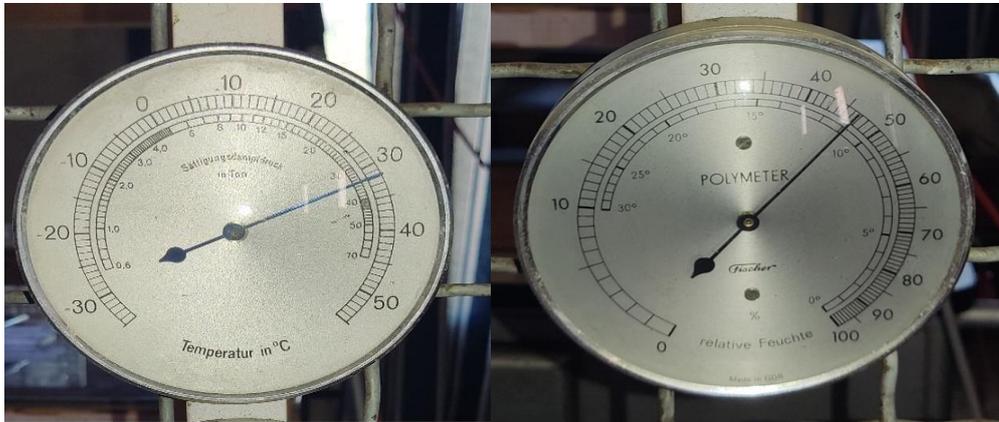
La tension continue  $U$  est mesurée grâce à un voltmètre de crête (MU11) via un diviseur résistif composé d'une résistance haute tension  $R_0$  et d'une résistance basse tension  $R_u$ , de plus le (MU11) présente une résistance d'entrée  $R_e$  de  $4.24M\Omega$ . Le voltmètre de crête mesure la tension  $u$  aux bornes de la résistance basse tension et affiche numériquement la valeur de la tension appliquée  $U = K \cdot u$  (figure II.3), avec ;

$$K = \frac{R_0 + (R_e // R_u)}{(R_e // R_u)} = \frac{R_e R_0 + R_u R_0 + R_e R_u}{R_e R_u} = 675 \quad (\text{II.1})$$



### II.2.3.3 Mesure des paramètres de l'air :

La décharge corona étant fortement influencée par les paramètres physiques de l'air [48,49], il est nécessaire de savoir dans quelles conditions cette décharge se produit. Dans nos études expérimentales, nous avons mesuré la pression avec un baromètre à mercure (16) (Fig. II.5), la température avec un thermomètre à mercure (17) et l'humidité avec un hygromètre à cheveux (18).



**Figure II.14** Le thermomètre à aiguille et l'hygromètre à cheveux disponibles au laboratoire haute tension.



**Figure II.15** Photo du baromètre à mercure utilisé dans la mesure de pression.

### II.3 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a présenté les installations expérimentales de la décharge couronne duale, une technique utilisée dans le domaine de la physique des plasmas. Ces installations offrent un environnement contrôlé pour étudier les propriétés de la décharge couronne.

Nous avons décrit les composants typiques d'une installation de décharge couronne en géométrie duale, notamment les alimentations électriques, les systèmes d'électrode de décharge et les systèmes de mesures électriques.

En fin ce chapitre nous a permis de connaître le procédé expérimental effectué afin de comprendre les résultats obtenus dans le prochain chapitre.

# CHAPITRE III

## III CHAPITRE III : Résultats et interprétations

### III.1 INTRODUCTION

La décharge couronne duale est une technique expérimentale utilisée dans le domaine de la physique des plasmas. Elle implique la création d'une décharge électrique dans un espace confiné, généralement entre deux électrodes, en utilisant deux couronnes de décharge distinctes. Chaque couronne de décharge est alimentée par une source d'alimentation électrique indépendante, permettant ainsi de contrôler les paramètres de décharge de manière séparée.

Après avoir vu les différentes installations expérimentales pour générer la décharge couronne en géométries duale et triode, nous allons présenter dans ce chapitre les résultats obtenus par la mesure de la caractérisation courant-tension et de déterminer la tension seuil d'apparition de l'effet couronne.

Comme dernière partie de notre travail expérimental, nous avons inséré une grille métallique entre les électrodes et étudié son influence sur la distribution de la densité de courant au plan.

### III.2 CARACTERISTIQUES COURANT-TENSION I(V)

Les caractéristiques courant-tension I(V) des différentes configurations d'électrodes couronnes ne se limitent pas à la composition du gaz, la température, la pression du gaz, la géométrie du système d'électrode, la polarité de la tension d'alimentation, les particules sur les électrodes et en suspensions dans le gaz, mais sont aussi en fonction de plusieurs variables liées entre elles [26-42].

Trois types de systèmes d'électrodes sont fréquemment utilisés au laboratoire pour étudier la décharge couronne : pointe-plan, fil-cylindre et fil-plan. Dans les trois configurations, le champ électrique est très intense près de l'électrode active, décroît hyperboliquement et prend sa valeur minimale au niveau de l'électrode passive. Le système pointe-plan est facile à réaliser, il a été le premier à faire l'objet d'une étude par Warburg [9-24].

Ensuite, Townsend [10] a préféré le système cylindrique coaxial étant donné la symétrie radiale et la simplicité du calcul théorique qu'il présente. La configuration fil-plan a été employée par Deutsch [11] pour son importance pratique dans la transmission d'énergie électrique. En dépit des différences qu'ils présentent, lors de la décharge couronne, ces systèmes montrent une importante caractéristique courant-tension, I-V, commune :

$$I = K.V.(V - V_s) \quad (\text{III. 1})$$

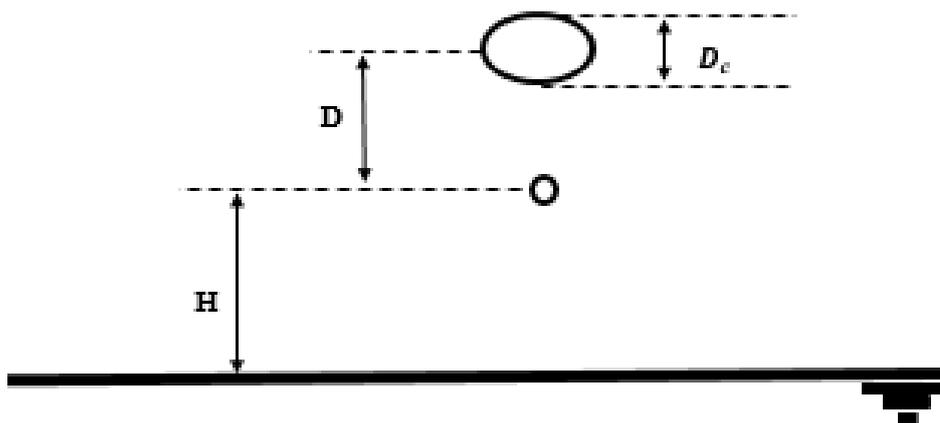
Où I est le courant de la décharge, V, la tension appliquée,  $V_s$ , la tension seuil de l'effet couronne et K, une constante dépendante de la mobilité moyenne des ions et de la géométrie du système d'électrodes. Comme nous pouvons le constater, le courant est nul pour  $V=V_s$  et croît paraboliquement avec V.

### III.3 Décharge couronne en configuration duale (fil-cylindre)

Afin de comprendre le fonctionnement de la décharge couronne en géométrie duale, nous avons réalisé plusieurs essais laboratoire, pour mettre en évidence l'influence de certains paramètres géométriques électriques (distance entre électrodes active et plane "H", diamètre du cylindre du duale " $D_c$ ", distance fil-cylindre "D", la polarité).

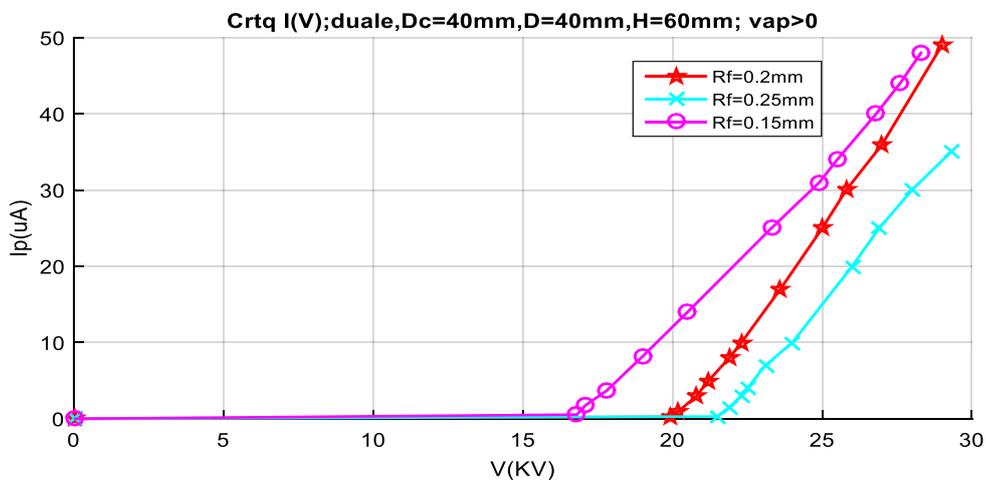
**Avec :**  $R_f$  : rayon du fil,  $D_c$  : le diamètre du cylindre,  $H$  : distance fil plan et  $D$  : la distance entre le fil et le cylindre.

Le schéma principal de mesure est représenté sur **la figure (III.1)**.



**Figure III.1** Schéma principal de mesure pour la configuration duale.

#### III.3.1 Influence du rayon du fil ( $R_f$ ) de l'électrode active du duale :



**Figure III.2** Caractéristique I(V) pour des rayons de fils différents à différents rayons de fils pour  $D_c=40$ mm,  $D=40$ mm,  $H=60$ mm et  $v_{app}>0$ .

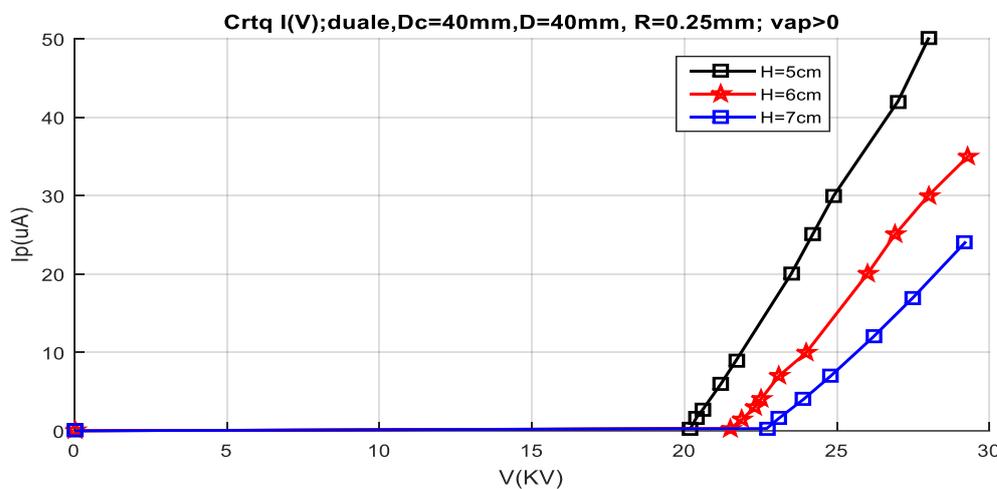
La figure III.2 illustre la caractéristique courant-tension de la décharge couronne en géométrie duale pour une hauteur  $H$  de 60mm,  $D_c=40$ mm et  $D=40$ mm et pour une tension appliquée de polarité positive.

Pour une tension appliquée de  $v_{app}= 25$ KV, on remarque que le courant sur le plan est plus élevé pour le rayon  $R_f=0.15$ mm, on distingue aussi que la tension de seuil d'apparition de la décharge couronne est plus petite pour le même rayon de fil  $R_f=0.15$ mm.

Les résultats montrent que le rayon du fil de l'électrode duale influe sur la caractéristique  $I(v)$ , tel que plus le rayon du fil est faible plus l'intensité de courant est forte, et aussi la tension de seuil d'apparition de la décharge couronne est plus faible pour des rayons plus faibles.

Cela conclu que pour générer une décharge couronne forte avec des tensions appliqué faible il faut affiner le rayon du fil.

### III.3.2 Influence de la distance $H$



**Fi**  
**gure**  
**III.3**  
Caractéristique  $I(v)$  à différentes hauteurs  $H$  pour  $D_c=40$  mm,  $D=40$  mm,  $R_f=0.25$

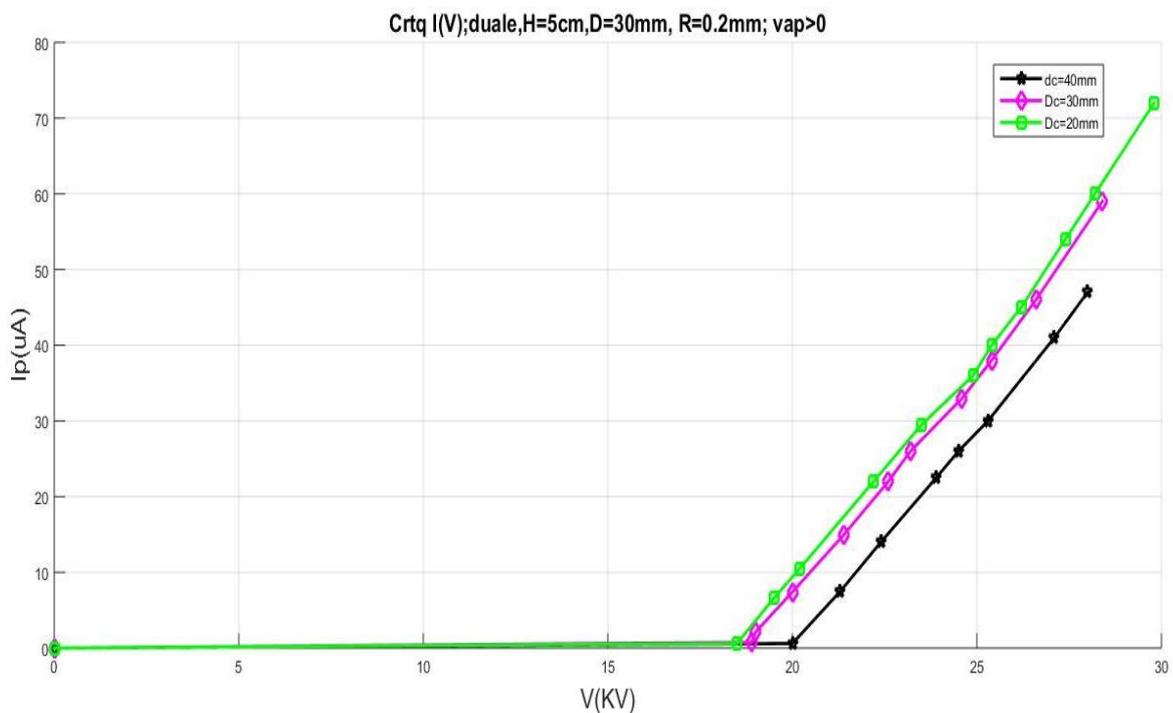
mm et  $v_{app}>0$ .

La figure III.3 montrent l'effet de la hauteur fil-plan sur la caractéristique courant-tension pour  $D_c=40$ mm,  $D=40$ mm,  $R_f=0.25$ mm et  $v_{app}>0$ . Pour de faibles tensions appliquées, aucun courant n'est détecté. Lorsque la valeur de la tension appliquée atteint la tension d'amorçage de la décharge couronne  $V_s$ , le courant commence à circuler du fil vers le plan en raison de l'ionisation de l'air entre les électrodes. Pour des valeurs élevées de la tension appliquée, le courant augmente rapidement.

Pour une tension  $V_{app}$  donnée, le courant généré par l'électrode couronne pour une hauteur  $H=50$ mm est plus élevé que celui avec  $H=60$ mm et  $H=70$ mm. On remarque aussi que la tension de seuil d'apparitions de la décharge couronne est plus faible pour des hauteurs plus faibles.

On distingue que la décharge couronne est plus puissante pour des hauteurs plus faibles, cela est dû concentration de charge entre fil et plan.

**III.3.3 Influence du diamètre du cylindre du duale Dc :**



**Figure III.4** Caractéristique I(v) à différents diamètres du cylindre pour H=50mm, D=40mm, Rf=0.2mm et vapp>0.

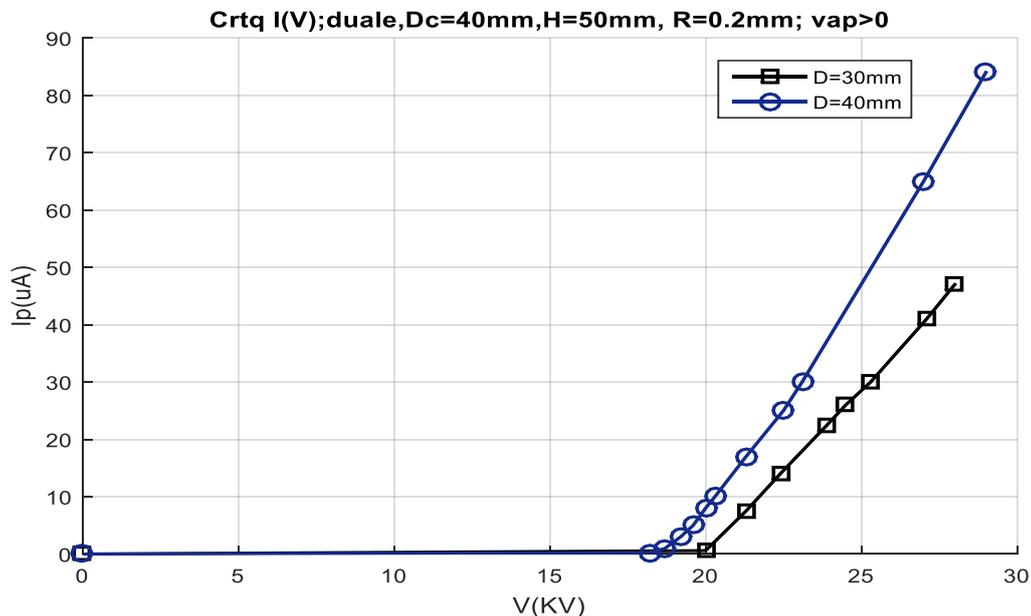
La caractéristique courant-tension illustré dans la figure III.4 pour différentes valeurs du diamètre du cylindre et pour H=50mm, D=40et rf=0.2mm, montre l’influence du diamètre du cylindre sur le courant de la décharge.

En effet comme le montre la figure suivante pour une valeur donnée de vapp, on remarque que pour dc=20mm le courant est plus fort que pour dc=30mm ou 40mm. Et aussi la tension de

seuil d'apparition de la décharge couronne est plus faible pour petites valeurs de diamètres du cylindre.

On conclue lorsque le diamètre du cylindre est faible, son effet sur le fil d'ionisation est drastiquement réduit.

### III.3.4 Influence de la distance fil-cylindre D :



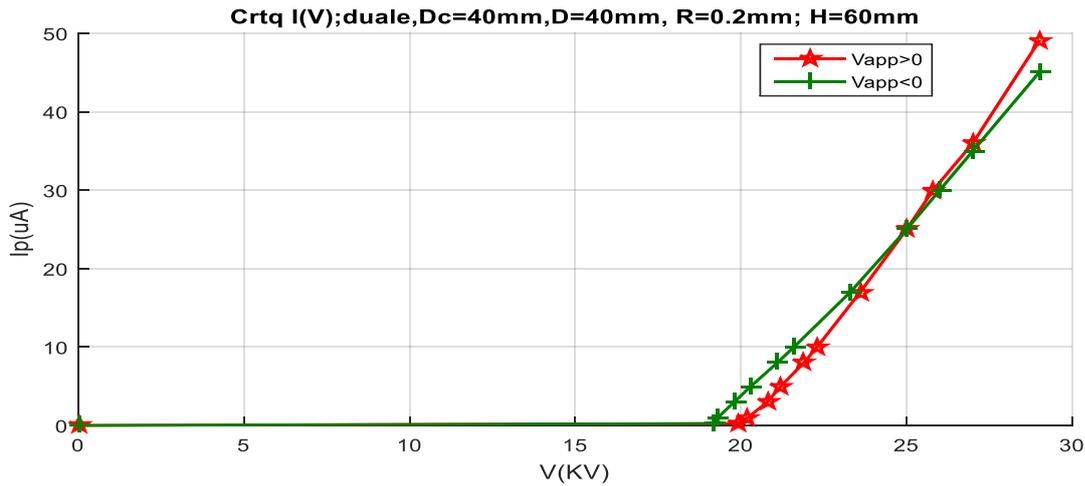
**Figure III.5** Caractéristique I(v) à différentes distance fil-cylindre pour H=50mm, Dc=40mm, Rf=0.2mm et  $V_{app}>0$ .

La figure III.5 représente la variation du courant de la décharge couronne en fonction de la tension appliquée pour des distances fil-cylindre différentes. Pour H=50mm, DC=40mm, Rf=0.2mm et pour une tension appliquée en polarité positive.

On remarque que le courant est important pour un distance D de 40mm que pour D=30mm, et la tension de seuil d'appariation de la décharge couronne est plus faible pour D=40mm que pour D=30mm.

En effet, l'augmentation de l'espacement fil-cylindre réduit l'effet de blindage entre les deux électrodes (cylindre étouffe la décharge) et à partir de cette valeur seuil la présence du cylindre n'a plus d'effet.

### III.3.5 Influence de la polarité :



**Figure III.6** Caractéristique I(v) à différentes polarités pour H=60mm, Dc=40mm, Rf=0.2mm et D=40mm.

La figure III.6 montre la caractéristique courant tension de la décharge couronne en géométrie duale avec différentes polarités pour H=60mm, Dc=40mm, R<sub>f</sub>=0.2mm et D=40mm. On remarque que pour la tension de seuil la tension avec la polarité positive elle est plus faible que celle de négative, on remarque qu'avant  $v_{app} < 25KV$   $v_{app} > 0$  est plus fort que  $v_{app} < 0$  et qu'après 25KV les deux polarités s'inversent.

### III.4 Décharge Effet de présence de la grille métallique

Dans le deuxième groupe d'expérience effectuée sur l'électrode duale, nous avons inséré une grille métallique entre cette électrode et le plan de masse. Le schéma principal de mesure et présenté sur la figure (III.7)

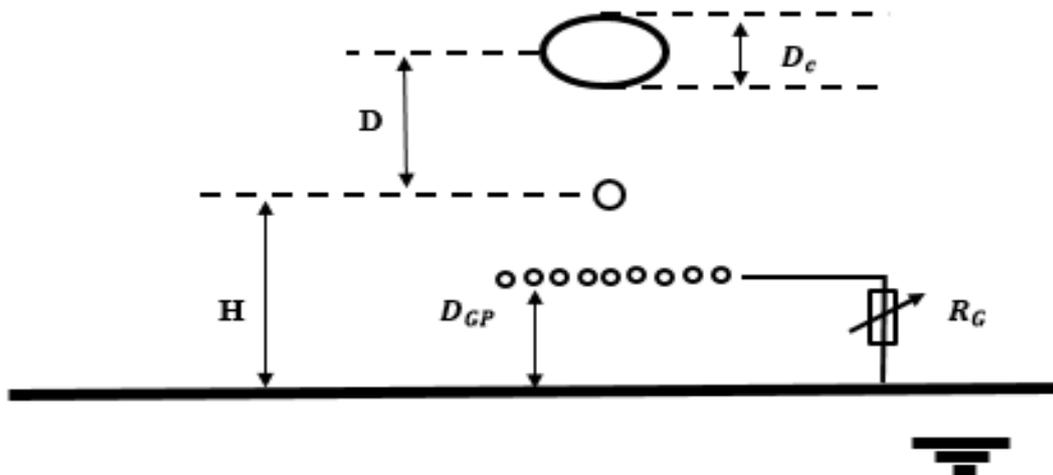


Figure III.7 Schéma principal de mesure pour la configuration triode.

Dans cette configuration, une partie des ions générés par l'électrode duale portée à la haute tension est attirée par le plan mis à la terre passant par les pores de la grille, d'autres ions rejoignant la terre par une résistance de grille nommé  $R_g$ . Le produit de cette résistance par le courant  $I_g$  qui traverse la grille impose un potentiel de grille  $V_g$  [41].

### III.4.1 Effet de la hauteur sur la caractéristique IV

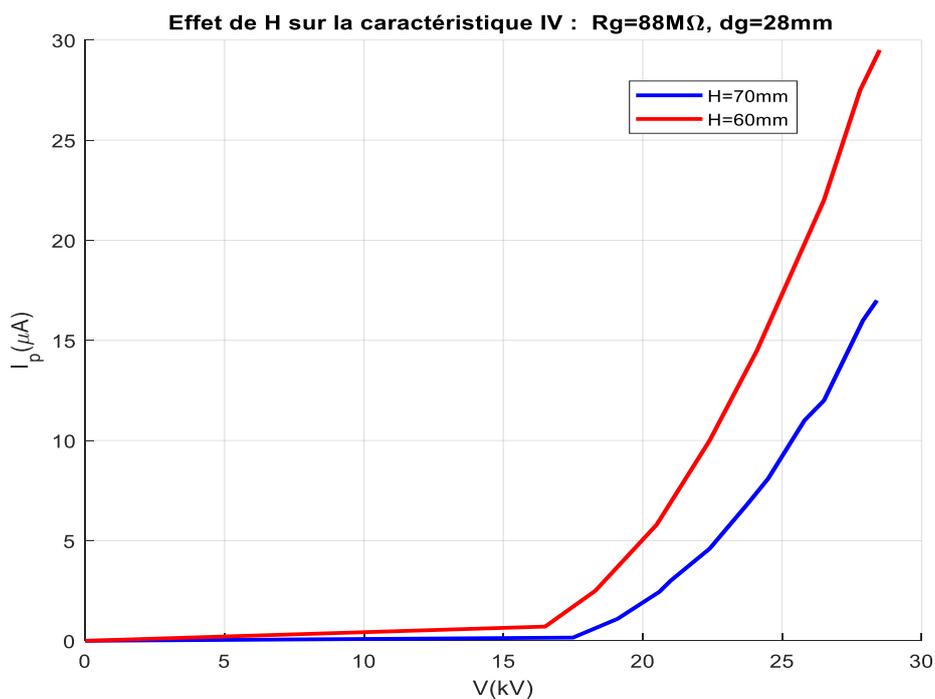


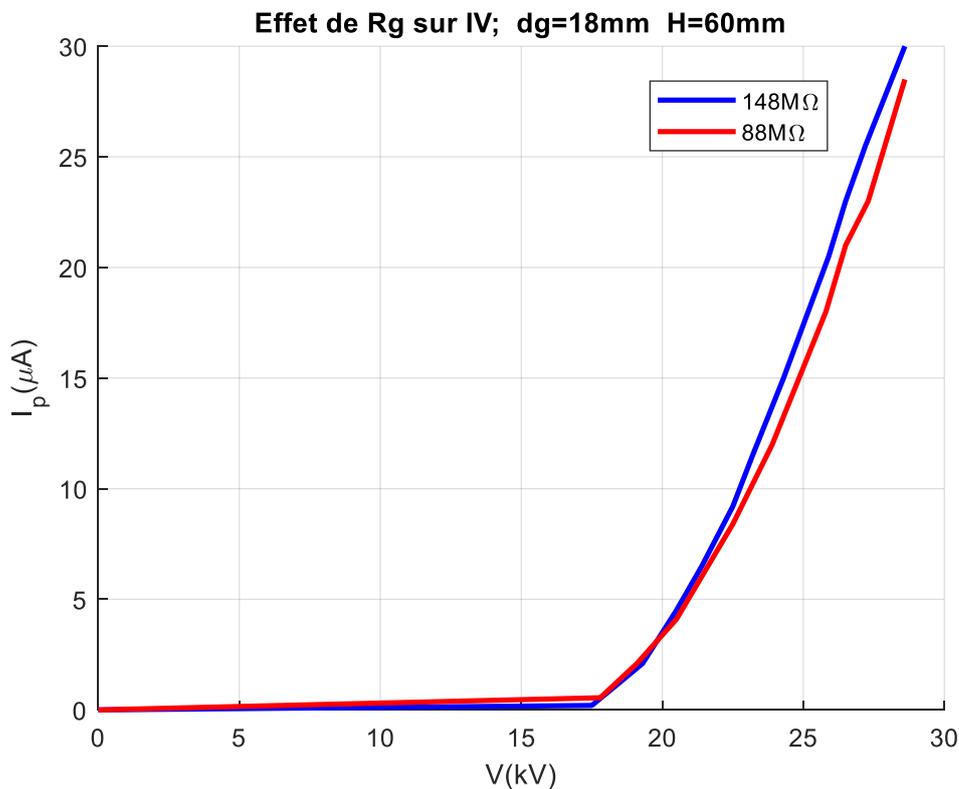
Figure III.8 caractéristique  $I(v)$  de la décharge couronne en géométrie triode (duale-grille) à différentes hauteurs  $H$  avec  $R_g=88M\Omega$  et  $d_g=28mm$ .

Pour la caractéristique courant tension illustrés dans la figure III.8 en géométrie triode on a utilisé les paramètres suivant de l'électrode duale (géométrie 1) :  $D_c=40\text{mm}$ ,  $D=40\text{mm}$  et  $R_f=0.2\text{mm}$ , ainsi que les caractéristique suivant de la grille métallique :  $R_{fg}=0.25\text{mm}$ ,  $e_s=10\text{mm}$ ,  $R_g=88\text{Mohm}$  et  $d_g=28\text{mm}$ .

La figure III.8 représente une comparaison entre les hauteurs fil plan, on remarque pour une valeur donnée de  $v_{app}$ , le courant est plus élevé pour la faible hauteur  $H=60\text{mm}$  que pour celle  $H=70\text{mm}$ , et la tension de seuil d'appariation de la décharge couronne est plus faible pour  $H=60\text{mm}$ , comme il a été observé sur la caractéristique  $I(v)$  pour le duale.

En effet, la présence de la grille n'affecte pas l'effet de la hauteur du fil-plan sur la décharge couronne. Le courant est plus important pour des petites valeurs de  $H$ .

#### III.4.2 Influence de la résistance de la grille sur la caractéristique IV



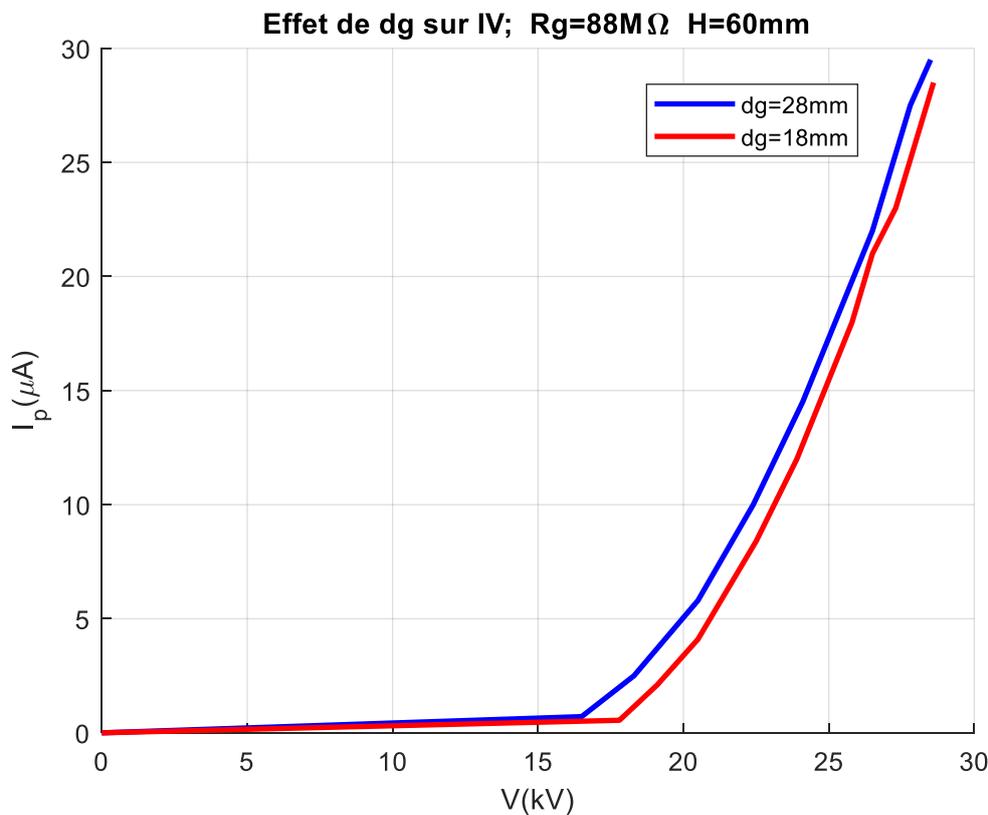
**Figure III.9** Caractéristique  $I(v)$  de la décharge couronne en géométrie triode (duale-grille) à des différentes Résistance de grille avec  $d_g=18\text{mm}$  et  $H=60\text{mm}$ .

Pour la caractéristique courant tension illustrée dans la figure III.9 en géométrie triode on a utilisé les paramètres suivant de l'électrode duale (géométrie 1) :  $D_c=40\text{mm}$ ,  $D=40\text{mm}$  et  $R_f=0.2\text{mm}$ , ainsi que les caractéristiques suivant de la grille métallique :  $R_{fg}=0.25\text{mm}$ ,  $e_s=10\text{mm}$ ,  $H=60\text{mm}$  et  $D_g=18\text{mm}$ .

Le potentiel de grille  $V_g$  a été défini comme étant le produit de la valeur de  $R_g$  par le courant de grille  $I_g$ . Ce dernier ne représente qu'une partie du courant de la source  $I_s$ . La variation de la résistance de grille  $R_g$  change les valeurs du courant  $I_s$ .

La figure III.9 montre l'allure du courant mesuré au plan en fonction de la variation de la résistance  $R_g$ , on remarque que le courant récolté au plan est plus important pour une résistance plus importante  $I$  pour  $R_g=148\text{Mohm} > I$  pour  $R_g=88\text{Mohm}$ . cela est dû à la double ionisation du champ électrique. Ainsi que la tension de seuil d'appariation de la décharge couronne est plus faible pour des résistances de grilles plus fortes.

### III.4.3 L'effet de distance de la grille sur le caractéristique IV



**Figure III.10** caractéristique  $I(v)$  avec la variation de la distance grille-plan avec  $H=60\text{mm}$  et  $R_g=88\text{Mohm}$ .

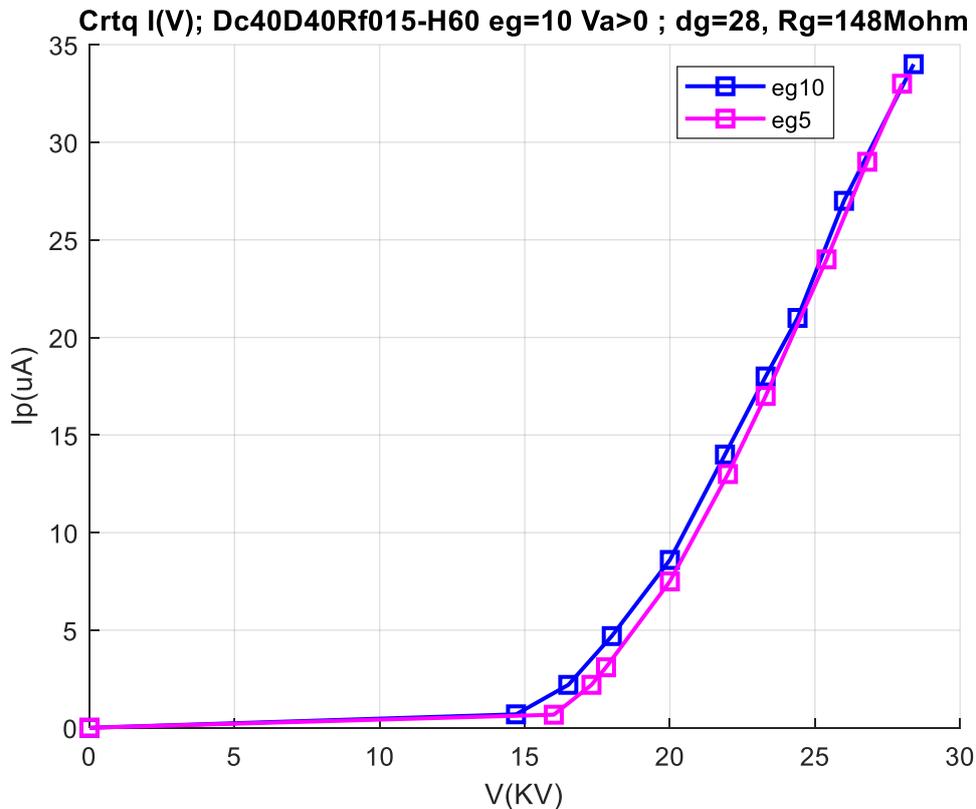
Pour la caractéristique courant tension illustrée dans la figure III.10 en géométrie triode on a utilisé les paramètres suivant de l'électrode duale (géométrie 1) :  $D_c=40\text{mm}$ ,  $D=40\text{mm}$  et  $R_f=0.2\text{mm}$ , ainsi que les caractéristiques suivant de la grille métallique :  $R_{fg}=0.25\text{mm}$ ,  $e_s=10\text{mm}$ ,  $H=60\text{mm}$  et  $R_g=88\text{Mohm}$ .

On remarque que pour une tension donnée  $v_{app}$ ,  $V_{app}=25\text{KV}$  le courant est plus important pour  $d_g=28\text{mm}$  par rapport à  $d_g=18\text{mm}$ , ainsi que la tension de seuil  $V_s$  est plus faible pour  $d_g=28\text{mm}$ .

On conclue que lorsque la distance  $D_g$  augmente  $I_{plan}$  augmente cela est dû à la diminution de la distance grille-fil ce qui provoque une double ionisation du champs donnant un courant plus élevé au plan.

### III.4.4 Effet de variation de $E_g$ sur $I(V)$

Pour la caractéristique courant tension illustrée dans la figure III.11 en géométrie triode on a utilisé les paramètres suivant de l'électrode duale (géométrie 2) :  $D_c=40\text{mm}$ ,  $D=40\text{mm}$  et  $R_f=0.15\text{mm}$ , ainsi que les caractéristiques suivant de la grille métallique :  $R_{fg}=0.25\text{mm}$ ,  $D_g=28\text{mm}$ ,  $H=60\text{mm}$  et  $R_g=148\text{Mohm}$ .



**Figure III.11** Caractéristique  $I(v)$  avec la variation de la distance entre les fils avec  $H=60\text{mm}$  et  $R_g=148\text{Mohm}$ .

On remarque dans la figure III.11 que le courant est plus élevé pour  $e_g=10\text{mm}$  que pour  $e_g=5\text{mm}$  pour des tensions à moins  $25\text{KV}$ , et que à partir de  $25\text{KV}$  les deux courant s'aligne pour avoir les mêmes valeurs. Ainsi que la tension de seuil d'apparition de la décharge couronne est plus faible pour un grand espacement de fil.

### III.5 Conclusion

En conclusion de ce chapitre, nous pouvons tirer plusieurs observations significatives. Tout d'abord, nos analyses ont révélé des résultats prometteurs et encourageants. Les données collectées et les méthodes utilisées ont permis d'obtenir des informations pertinentes et fiables concernant notre sujet d'étude.

Nos résultats ont démontré que l'électrode duale est influencée par la hauteur de fil-plan, diamètre du cylindre, rayon des fils de l'électrode ainsi que la distance fil-cylindre. Et l'insertion de la grille métallique influe sur le courant de la décharge couronne.

En conclusion, les résultats obtenus dans ce chapitre fournissent une base solide pour approfondir notre compréhension du sujet étudié.

# Conclusion Générale

### CONCLUSION

- La décharge couronne est plus intense pour des tensions appliquées plus élevés.
- En termes d'intensité, la configuration duale offre une meilleure distribution de la densité de courant par rapport à la configuration triode.
- Le courant sur le plan est plus élevé pour des rayons de fils de conducteurs plus faibles.
- Plus la distance entre le fil et le cylindre de la configuration duale est grande de plus on récolte du courant au plan.
- La distance inter électrode influe sur la décharge couronne.
- La distance entre la grille et le plan influe sur le dépôt de charge.
- Le diamètre du cylindre influe sur la décharge couronne, plus il est petit plus le courant est intense.
- L'espacement entre les fils de la grille n'influe pas sur la décharge couronne pour des tensions appliquées élevées.
- En perspective, nous proposons de faire une étude comparative entre les deux géométries, et de mesurer la densité de courant et faire une étude numérique.

# BIBLIOGRAPHIE

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] R. FATEHI, C Morel, G. CHERON, catalogue « Matières plastique & adjuvant hygiène et sécurité », institut national de recherche et de sécurité, INRS, 2006.
- [2] Mnd A.HANDALA., thèse de doctorat, « Etude de la décharge de surface sous tension alternative 50 Hz : effet sur une interface isolante air/solide », Université mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2007.
- [3] J.JARRIGE, thèse de doctorat, « étude expérimental des décharges électriques impulsionnelle. Application aux traitement des effluents gazeux et à la décontamination de surface », Université de Rouen, 2008.
- [4] S. LACHAUD, Thèse de doctorat. « Décharge pointe – plan dans les mélanges gazeux correspondant aux effluents industriels: étude électrique et physico-chimique, application à la destruction du dioxyde d'azote », Université de Toulouse France, 2002.
- [5] C. POTVIN, Mémoire de fin d'étude, « comportement et effet de la charge d'espace sur les mécanismes des vibrations induites par effet de couronne », Université de Québec, mars, 2000.
- [6] S.ABDALI & CH.AIANE, Mémoire de fin d'étude, « L'effet de la température sur les paramètres de la décharge couronne », Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2017-2018.
- [7] B.BENAMAR, thèse de doctorat « la faisabilité de l'électrode-filtration d'une atmosphère chargée en poussière de bois étude expérimental et numérique », Université, Henri Poincaré, Nancy, 2008.
- [8] L.HOANG, Thèse de doctorat, « Comparaison des rendements énergétiques de dégradation de trois composés organiques par plusieurs procédés d'oxydation avancés en milieu aqueux », Université de Poitiers, 2009.
- [9] B.MEDJDOUB & Y.AISSOU, Mémoire de fin d'étude, « Décharge couronne fil –plan en polarité positive », Université ABDERRAHMANE MIRA, Bejaia,
- [10] S.EYMERIE, Thèse de doctorat, « Etude expérimentale des décharges atmosphériques générées par impulsions nanosecondes : application aux traitements des particules de suie Diesel », Université de Rouen, 2003.
- [11] F.BITAM-MEGHERBi, Thèse de doctorat, « Etude d'une isolation combinée huile/papier isolant Approche non destructive », Université mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2007
- [12] A.KASDI. « Études théorique et expérimentale de la décharge couronne bipolaire », Thèse de Doctorat, Uni. A.Mira de Bejaïa, Algérie. 2007,
- [13] M. BOUFELDJA, Thèse de doctorat « Etude de la cinétique d'une décharge couronne pour la production de l'ozone et l'influence de la nature des parois sur la décomposition de cette molécule » Université Mohamed Boudiaf, Oran, 2015.
- [14] B.KHADDOUR, Thèse de doctorat, « modélisation du champ électrique modifié par la charge d'espace injectée », Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2006.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [15] I.NDIAYE, Thèse de doctorat « Les propriétés diélectriques de l'air 6 DIG 967 » ; Université de Chicoutimi, Québec, 2003.
- [16] A.FATIHOU, Thèse de doctorat, «Amélioration des performances des matériaux fibreux non-tissés chargés par décharge couronne utilisés pour la filtration de l'air », Université de Poitiers, 2016.
- [17] S.MIHOUBI, I.MEDJANI, mémoire fin d'études « Mesure du champ électrique », Université de Guelma, 2002.
- [18] S.MIHOUBI & H.KERDOUSSI, mémoire de fin d'études « Décharge Couronne en Configuration Coaxiale : Application à la neutralisation des charges », Université 8Mai 1945, Guelma, 2020.
- [19] T.OUNNOUGHI & A.MEGHAR, mémoire de fin d'études, « Etude de la Distribution du potentiel de surface de films en PVC chargés par décharge couronne négative », Université ABDERRAHMANE MIRA de Bejaia, 2014.
- [20] S.THOMAS, Thèse de doctorat, «La fragmentation moléculaire : modèle statistique et réduction par plasma de l'acétone avec identification en ligne des produits. Physique des plasmas », Université Paris Saclay, 2018.
- [21] R. BOUKADOUM, Thèse de doctorat « Étude des décharges partielles et de leur transition à l'arc dans la connectique aéronautique du futur » Université Paris Saclay, 2018.
- [22] S. AIT-AMAR, mémoire de fin d'études « étude de la décharge couronne positive en géométrie nappe de fil-plan », Université ABDERRAHMANE MIRA, Bejaia, 1997.
- [23] R. IKENE, mémoire de fin d'études, « influence des paramètres physique de l'air et de la distance inter-électrode sur la décharge couronne positive en géométrie fil-plan », Université ABDERRAHMANE MIRA, Bejaia, 1997.
- [24] G.ZOUAOUI, mémoire de fin d'études, « Étude de la distribution du champ électrique généré par la décharge couronne en géométrie duale-plan et fil-plan », Université ABDERRAHMANE MIRA, Bejaia, 2021.
- [25] D.TIFAOUÏ & A.LADJEL, Mémoire de Fin d'Etudes « Etude de la décharge couronne en géométrie pointe-plan sous tension continue », UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2016.
- [26] J.-P. BORRA, Mémoire de Fin d'Etudes «Etude des problèmes liés aux précipitateurs électrostatiques pour le traitement des cendres volantes», Université ABDERRAHMANE MIRA, Bejaia ,1999.
- [27] T.LACHAUX, Thèse de doctorat «Etude des effets de la haute pression sur la structure et la dynamique des flammes turbulentes de pré mélangé pauvre de méthane-air», Université d'Orléans, 2004.
- [28] T.IMBERT. « Caractérisation de la rigidité diélectrique de fluides et d'une roche en fonction de leur conductivité, de la température et de la pression», Université de Pau et des Pays de l'Adour, Français, 2019.
- [29] B.KHIR, ABD. ZIDI & H.LABBI, Mémoire de Fin d'Étude « Etude et réalisation d'un sectionneur de haute tension », Université ECHAHID HAMMA LAKHDAR d'El-Oued, 2021.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [30] H.KADI, Mémoire de Fin d'Etudes « influence de l'effet couronne sur les surtensions dans les lignes et les transformateurs de haute tension », Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2012.
- [31] F. KOLIATENE, Thèse de doctorat, « contribution à l'étude de l'existence des décharges dans les systèmes de l'avionique », Université de Toulouse III-Paul Sabatier, 2009
- [32] Z.ANANE, Thèse de doctorat, «Modèle dynamique de l'effet couronne pour l'étude de la propagation de la surtension le long des lignes de transmission HT en utilisant l'EMTP», Université FERHAT Abbas, SETIF 1, 2018.
- [33] A. GOUADJELIA & A. BOUAZIZ, mémoire de fin d'études, « Influence De L'Effet Couronne Sur La Propagation Des Surtensions Dans Les Lignes De Transmission Haute Tension », Université L'Arbi Ben M'hidi Oum El,Bouaghi, 2021.
- [34] H.AIT SAID, Thèse de doctorat « influence de l'humidité sur la décharge couronne dans un précipitateur électrostatique d'aérosols », Université ABDERRAHMANE MIRA, BEJAIA.
- [35] O.IDOUGHI & A.AMEUR, mémoire de fin d'études, « étude de l'effet couronne dans les précipitateurs électrostatique d'aérosols », Université ABDERRAHMANE MIRA, BEJAIA, 2017.
- [36] M. BENYAMINA, Thèse de doctorat « Etude de la production de l'ozone dans les décharges couronne », Université d'Oran des Sciences et de la Technologie, 2014.
- [37] N.BENCHERIF & T.DJOUADI, mémoire fin d'étude « Etude expérimentale de la décharge couronne continue en polarité positive et négative dans la configuration fils-plans », Université ABDERRAHMANE MIRA, Bejaia 2017.
- [38] P.MOUREAUX & J-L. POYARD, catalogue « Phénomènes électrostatiques » Articles de l'institut national de recherche et de sécurité (INRS) ,2019.
- [39] A.Selma & B.Hassina « Etude de la décharge couronne en configuration multipoints plan et fil cylindre ». Soutenu publiquement, le 14/07/2021
- [40] Rafael Diez Medina « Alimentation de puissance d'une lampe exciplexe à décharge à barrière diélectrique, en vue du contrôle du rayonnement ». Thèse de doctorat de l'université Toulouse, octobre 2008
- [41] Lé Vinh HOANG « Comparaison des rendements énergétiques de dégradation de trois composés organiques par plusieurs procédés d'oxydation avancés en milieu aqueux ». Thèse de doctorat de l'université de Poitiers, avril 2009.
- [42] Guilherme F Leal Ferreira, Dante L China glia José A Giacometti and Osvaldo N Oliveira Jr « Corona triode current-voltage characteristics on effects possibly caused by the electronic component »Received 8june 1992,in final form 13 October 1992.
- [42] A.BOUTEFAHA, « Etude expérimentale et numérique de la décharge couronne dans des configurations d'électrodes de type « triode »-». Thèse de doctorat de l'université DJILLALI LIABES DE SIDI BEL-ABBES,2016.