

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Université A. MIRA

Bejaïa

Faculté de technologie  
Département de Génie Electrique



# *Mémoire de Fin d'étude*

En vue de l'obtention du Diplôme Master en Électrotechnique

**Option :** Electrotechnique Industrielle et réseau électrique

## *Thème :*

*Etude expérimentale de la décharge couronne dans la configuration Duale (Fil-Cylindre) en présence de la Grille*

**Présenté par :**

**Mr: BOUHIRED Aissa**

**Mr: BOURENNANE Sofiane**

**Encadré par :**

**Mr: KASDI Ahmed**

**Mlle: CHOUALI Sabrina**

*Année Universitaire*  
*2023/2024*

# Remerciements

---

*Qu'il nous soit d'abord permis de remercier et d'exprimer notre gratitude envers ALLAH, qui nous a donné la patience et le courage pour que nous puissions continuer ce travail.*

*Nos remerciements s'adressent à notre encadreur : **Mr KASDI Ahmed** pour la confiance qu'il nous a fait en nous proposant ce sujet. Qu'il soit remercié pour avoir dirigé nos travaux, pour la documentation qu'il a mis à notre disposition et ses expériences qui nous ont permis de mener à bien ce projet de fin d'études.*

*Nous remercions également :*

- ❖ Nos familles pour leurs encouragements et leurs soutien moral.*
- ❖ **Melle CHOUALI Sabrina**, notre Co-promotrice, qui nous a donné une grande confiance et nous a guidé dans la bonne direction pour développer ce projet.*
- ❖ Messieurs les membres de jury pour avoir accepté d'examiner notre travail.*
- ❖ Tous les enseignants qui nous ont orientés le long des cinq années de la graduation.*
- ❖ Tous les personnels administratifs du département Génie électrique de l'université de Bejaia.*
- ❖ Toute la promotion électrotechnique 2024.*
- ❖ Sans oublier, tous nos collègues de l'université de Béjaïa pour leurs soutiens et encouragements pendant toute la durée de notre préparation.*

# *Dédicace*

---



*Merci Allah de m'avoir donné la capacité  
d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire,  
la patience d'aller jusqu'au bout du rêve*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Ma très chère mère « Yamina » et mon  
très cher père « Rachid » pour leurs  
soutiens,*

*Leurs patiences et leurs confiances.*

*Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude pour  
Tout ce qu'ils font pour moi « que dieu vous garde et vous bénisse »*

*Mon très cher frère « Zoubir » et sa femme « Louiza »,*

*Mes sœurs « Salima, Nadia, Aida »,*

*À ma chère copine « Ouarda »*

*A mon binôme « sofiane »*

*Toute ma grande famille,*

*A tous mes amis (es)*



*Aissa*

# Dédicace

---



*Merci Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve.*



*À mes chers parents,*

*Aucun mot, aucune dédicace ne peut exprimer mon respect, ma considération et l'amour éternel pour les sacrifices que vous avez consentis pour mon instruction et mon bien être, votre générosité et votre bonté ont toujours été un exemple pour nous tous.*

*Trouvez en ce travail le fruit de votre dévouement, de votre patience et l'expression de ma gratitude et mon profond amour.*

*A mon seul frère et mes sœurs,*

*Saad, Hanane et Dihia qu'Allah soit à vos côtés et vous procure la réussite et le bonheur dans votre vie, merci pour votre soutien et votre encouragement tout au long de mon travail.*

*À ma chère Sabrina,*

*Le bon exemple par son soutien, ses encouragements, sa patience, ses sacrifices et aides de mes premiers pas de préparation de ce travail jusqu'à ce jour. Je te souhaite plein de succès, de joie et de bonheur. Que dieu te garde et illumine ton chemin.*

*A mon binôme « Aissa »*

*Toute ma grande famille,*

*A tous mes amis (es)*

*Sofiane*

*Remerciements*

*Dédicaces*

*Sommaire*

*Liste des symboles*

*Liste des figures*

Introduction Générale..... 1

**Chapitre I : Généralités de la décharge couronne**

**I.1. Introduction..... 2**

**I.2. Historique ..... 2**

**I.3. Décharges électriques à pression atmosphérique ..... 3**

**I.4. Généralités sur les décharges couronnes ..... 3**

**I.4.1. Définition de la décharge couronne ..... 3**

**I.4.2. Domaine d'existence de la décharge couronne ..... 4**

**I.4.3. Différents régimes de la décharge couronne (caractéristique courant-tension) 7**

**I.5. Mécanisme de développement de la décharge couronne..... 9**

**I.6. Loi de PASCHEN ..... 11**

**I.7. Types de décharges couronnes ..... 13**

**I.7.1. Décharge couronne positive..... 13**

**I.7.2. Décharge couronne négative..... 14**

**I.8. Paramètres influençant la décharge couronne..... 14**

**I.8.1. Facteurs géométriques ..... 15**

**I.7.1.1. Rayon de la courbure ..... 15**

**I.7.1.2. Distance inter-électrodes..... 15**

**I.7.1.3. La nature des électrodes ..... 15**

**I.7.1.4. État de surface ..... 16**

**I.8.2. Les facteurs physico-chimiques ..... 17**

**I.8.2.1. La densité de l'air ..... 17**

I.8.2.2. L'humidité.....	17
I.8.2.3. La température .....	17
I.8.2.4. La pression .....	18
I.8.3. Facteurs électriques .....	18
I.9. Applications de la décharge couronne .....	18
I.10. Problèmes liés à la décharge couronnes.....	19
I.12. Conclusion .....	19

## *Chapitre II : Etude expérimentale de la décharge*

II.1. Introduction .....	20
II.2. Description des installations expérimentales .....	20
II.2.1. Les alimentations électriques.....	20
II.2.2. Les systèmes de mesure .....	23
II.2.2.1. Mesure de la tension appliquée.....	23
II.2.2.2. Mesure du courant de décharge .....	23
II.2.2.3. Mesure de la densité de courant .....	24
II.2.2.4. Mesure des paramètres physiques de l'air .....	26
II.2.3. Les systèmes d'électrodes de décharge couronne utilisée .....	27
II.2.3.1. Système de la décharge couronne Fil-Cylindre (Duale) .....	27
II.2.3.2 Système de la décharge couronne en configuration triode .....	29
II.2.3.2.1. Grille métallique .....	31
II.3. Conclusion.....	32

## *Chapitre III : Interprétations des résultats*

III.1. Introduction .....	33
III.2. Caractéristique courant tension de la décharge couronne. ....	33
III.2.1. Effet de la polarité de la tension appliquée.....	35
III.2.2. Effet de distance de la grille (dg) .....	35

<b>III.2.3. Effet de la distance inter-électrode (<math>H</math>)</b> .....	37
<b>III.2.4. Effet de l'espacement des fils de la grille</b> .....	38
<b>III.2.5. Influence de la résistance de la grille <math>R_g</math></b> .....	39
<b>III.3. Densité de courant (<math>J</math>)</b> .....	40
<b>III.3.1. L'influence de la tension appliqué (<math>V_{app}</math>) sur la densité de courant</b> .....	41
<b>III.3.2. L'influence de la distance de la grille (<math>d_g</math>) sur la densité de courant</b> .....	42
<b>III.3.3. L'influence de la hauteur (fil-plan) sur la densité de courant</b> .....	43
<b>III.3.4. L'influence de la résistance de la grille (<math>R_g</math>) sur la densité de courant</b> .....	44
<b>III.3.5. L'influence de l'espacement des fils de la grille (<math>e_s</math>) sur la densité de courant.</b>	44
<b>III.3.6. L'influence de la tension de la grille (<math>V_g</math>) sur la densité de courant</b> .....	45
<b>III.4. Conclusion</b> .....	46
<b>Conclusion générale</b> .....	47
<b>References Bibliographiques</b> .....	48
<b>Résumé :</b> .....	51

## *Liste des symboles*

---

<b><math>D</math></b>	<b>Distance entre fil-cylindre</b>	<b>(mm)</b>
<b><math>D_c</math></b>	<b>Diamètre du cylindre</b>	<b>(mm)</b>
<b><math>d_g</math></b>	<b>Distance entre la grille et le plan</b>	<b>(mm)</b>
<b><math>E_s</math></b>	<b>Le champ de surface d'anode</b>	<b>(kV/m)</b>
<b><math>e_s</math></b>	<b>Espacement entre fils de la grille</b>	<b>(mm)</b>
<b><math>H</math></b>	<b>Hauteur fil-plan</b>	<b>(mm)</b>
<b><math>H_u</math></b>	<b>Humidité relative</b>	<b>(%)</b>
<b><math>I</math></b>	<b>Courant de décharge</b>	<b>(<math>\mu</math>A)</b>
<b><math>I_g</math></b>	<b>Courant de la grille</b>	<b>(<math>\mu</math>A)</b>
<b><math>I_p</math></b>	<b>Courant du plan</b>	<b>(<math>\mu</math>A)</b>
<b><math>I_s</math></b>	<b>Courant collecté par la sonde</b>	<b>(nA)</b>
<b><math>J</math></b>	<b>Densité de courant</b>	<b>(A/m<sup>2</sup>)</b>
<b><math>J_n</math></b>	<b>Composante normale de la densité de courant</b>	
<b><math>K</math></b>	<b>Constante dépendant de la géométrie de électrodes</b>	
<b><math>L_f</math></b>	<b>Longueur de fil</b>	<b>(mm)</b>
<b><math>\varnothing_{fil}</math></b>	<b>Diamètre de fil</b>	<b>(mm)</b>
<b><math>P</math></b>	<b>Pression atmosphérique</b>	<b>(hPa)</b>
<b><math>R_e</math></b>	<b>Résistance d'entrée</b>	<b>(m<math>\Omega</math>)</b>
<b><math>R_f</math></b>	<b>Rayon de fil</b>	<b>(m<math>\Omega</math>)</b>
<b><math>R_g</math></b>	<b>Résistance de la grille</b>	<b>(k<math>\Omega</math>)</b>
<b><math>R_u</math></b>	<b>Résistance basse tension</b>	<b>(m<math>\Omega</math>)</b>
<b><math>S_m</math></b>	<b>Surface moyenne de la sonde</b>	<b>(mm<sup>2</sup>)</b>



$S_s$	<b>Surface de la sonde</b>	<b>(mm<sup>2</sup>)</b>
$T$	<b>Température atmosphérique</b>	<b>(C°)</b>
$V_a$	<b>Tension appliquée</b>	<b>(kV)</b>
$V_b$	<b>Tension de polarisation</b>	<b>(kV)</b>
$V_g$	<b>Tension de la grille</b>	<b>(kV)</b>
$V_s$	<b>Tension de seuil</b>	<b>(kV)</b>
$\alpha$	<b>Premier coefficient de Townsend</b>	
$\gamma$	<b>Second coefficient de Townsend</b>	

## *Liste des figures*

---

### *Chapitre I*

<b>Figure I. 1 :</b> Effet couronne lumineux.....	2
<b>Figure I. 2 :</b> Configurations d'électrodes en décharge.....	4
<b>Figure I. 3 :</b> Amorçage de la décharge.....	6
<b>Figure I. 4 :</b> Multiplication électronique (phénomène d'avalanche électronique).....	6
<b>Figure I. 5 :</b> Maintien de la décharge.....	7
<b>Figure I. 6 :</b> Caractéristique « courant-tension » des décharges à pression atmosphérique .....	8
<b>Figure I. 7 :</b> Réalisation d'une décharge de Townsend à courant continu.....	10
<b>Figure I. 8 :</b> Courbe de Paschen pour différents gaz .....	12
<b>Figure I. 9 :</b> Schématisation d'une décharge couronne continue positive .....	13
<b>Figure I. 10 :</b> Schématisation d'une décharge couronne continue négative .....	14
<b>Figure I. 11 :</b> Influence de la distance inter-électrodes sur le courant de la décharge couronne. .....	15
<b>Figure I. 12 :</b> Caractéristique courant-tension selon la nature des électrodes .....	16
<b>Figure I. 13 :</b> Distribution du champ dans un système pointe plan .....	16
<b>Figure I. 14 :</b> Distribution du champ dans un système plan-plan .....	17

## Chapitre II

<b>Figure II. 1:</b> Schéma de l'installation haute tension .	21
<b>Figure II. 2:</b> Schéma électrique de la source de haute tension utilisée.	21
<b>Figure II. 3:</b> Installation haute tension utilisée du laboratoire de Bejaia.	22
<b>Figure II. 4:</b> Equipements de l'installation haute tension utilisée.	22
<b>Figure II. 5:</b> Photo du voltmètre de crête MU11.	23
<b>Figure II. 6 :</b> Microampèremètre à aiguille utilisé dans la mesure du courant de décharge. .	24
<b>Figure II. 7:</b> Vue de dessus de la sonde circulaire.	25
<b>Figure II. 8:</b> Pico-ampèremètre à aiguille utilisé dans la mesure du courant de la sonde.	25
<b>Figure II. 9:</b> Baromètre à mercure utilisé pour mesurer la pression.	26
<b>Figure II. 10:</b> Un thermomètre à cheveux utilisés pour mesurer la température et un gromètre à cheveux utilisé pour mesurer l'humidité.	26
<b>Figure II. 11:</b> Constitution du dispositif expérimental.	27
<b>Figure II. 12:</b> Dispositif expérimental configuration Duale (fil-cylindre).	28
<b>Figure II. 13:</b> Schéma du principe d'un système de décharge en configuration dual.	29
<b>Figure II. 14:</b> Vue longitudinale du dispositif d'électrodes de la configuration Duale-Plan.	29
<b>Figure II. 15:</b> Schéma du principe d'un système de décharge en configuration triode.	30
<b>Figure II. 16:</b> Décharge couronne dans le système triode.	30
<b>Figure II. 17:</b> Vue de côté de la configuration triode.	31
<b>Figure II. 18:</b> Résistances électrique.	31
<b>Figure II. 19:</b> Photos des grilles métalliques.	32

## Chapitre III

<b>Figure III. 1:</b> Schéma du principe de mesure de la configuration triode .....	34
<b>Figure III. 2:</b> Caractéristique $I(V)$ à différentes polarités pour $H=60\text{mm}$ , $D_c=40\text{mm}$ , $R_f=0.15$ mm et $D=40\text{mm}$ , $e_s=10\text{mm}$ . .....	35
<b>Figure III. 3:</b> Caractéristique $I(V)$ avec la variation de la distance grille-plan pour le courant du Plan $I_p$ , $H=60\text{mm}$ , $R_g=97\text{M}\Omega$ . .....	36
<b>Figure III. 4:</b> Caractéristique $I(V)$ avec la variation de la distance grille-plan, pour le courant de la grille $I_g$ , $H=60\text{mm}$ , $R_g=97\text{M}\Omega$ . .....	36
<b>Figure III. 5:</b> Caractéristique $I(V)$ de la décharge couronne en géométrie triode (duale-grille) à différentes hauteurs pour le courant du plan $I_p$ , $H$ avec $R_g=95\text{M}\Omega$ et $d_g=30\text{mm}$ . .....	37
<b>Figure III. 6:</b> Caractéristique $I(V)$ de la décharge couronne en géométrie triode (duale-grille) à différentes hauteurs pour le courant de la grille $I_g$ , $H$ avec $R_g=95\text{M}\Omega$ et $d_g=30\text{mm}$ . .....	37
<b>Figure III. 7:</b> Caractéristique $I(V)$ avec la variation de la distance entre les fils pour le courant du plan $I_p$ , avec $H= 60\text{mm}$ et $R_g=97\text{M}\Omega$ , $e_s= (10\text{mm et } 5\text{mm})$ . .....	38
<b>Figure III. 8:</b> Caractéristique $I(V)$ avec la variation de la distance entre les fils pour le courant de la grille $I_p$ , avec $H= 60\text{mm}$ et $R_g=97\text{M}\Omega$ , $e_s= (10\text{mm et } 5\text{mm})$ . .....	38
<b>Figure III. 9:</b> Effet de variation de la résistance de la grille $R_g$ sur le courant de la grille $I_g$ . ..	39
<b>Figure III. 10:</b> Effet de variation de la résistance de la grille $R_g$ sur le courant de plan $I_p$ .....	40
<b>Figure III. 11:</b> Effet de variation de la tension appliqué sur la densité de courant $J$ , $d_g=20\text{mm}$ .....	41
<b>Figure III. 12:</b> Effet de variation de la tension appliqué sur la densité de courant .....	41
<b>Figure III. 13:</b> Effet de variation de la distance grille-plan sur la densité de courant pour $V_{\text{app}}=24\text{kV}$ .....	42
<b>Figure III. 14:</b> Effet de variation de la distance grille-plan sur la densité de courant pour $V_{\text{app}}=20\text{kV}$ .....	42

<b>Figure III. 15:</b> Effet de variation de la hauteur $H$ sur la densité de courant $J$ pour $V_{app}=22kV$ .....	43
<b>Figure III. 16:</b> Effet de variation de la hauteur $H$ sur la densité de courant $J$ pour $V_{app}=20kV$ .....	43
<b>Figure III. 17:</b> Effet de variation de la résistance de la grille sur la densité de courant $J$ pour $V_{app}=20kV$ .....	44
<b>Figure III. 18:</b> Effet de l'espacement des fils de la grille ( $e_s$ ) sur la densité de courant $J$ pour $V_{app}=20kV$ .....	45
<b>Figure III. 19:</b> Effet de la tension de la grille ( $V_g$ ) sur la densité de courant $J$ pour $V_{app}=20kV$ .....	45
<b>Figure III. 20:</b> Effet de la tension de la grille ( $V_g$ ) sur la densité de courant $J$ pour $V_{app}=22kV$ .....	46

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

## **Introduction Générale**

La décharge couronne est un phénomène complexe qui a fait l'objet de nombreuses études depuis les années 1920, notamment pour comprendre les mécanismes de formation, de développement et de propagation de la décharge. Elle trouve de nombreuses applications dans des domaines tels que le traitement des gaz, le chargement des diélectriques ou encore le transport d'énergie électrique à haute tension [3].

La décharge couronne se produit lorsqu'un courant, continu ou alternatif, se crée entre deux électrodes portées à un haut potentiel et séparées par un milieu gazeux, généralement l'air à pression atmosphérique.

La décharge couronne a été largement explorée du point de vue fondamental en tant que méthode de charge des matériaux. Ce phénomène se produit lorsque des champs électriques non uniformes dépassent le seuil d'ionisation du milieu, généralement en appliquant une tension élevée à une électrode de faible rayon de courbure située à une distance spécifique par rapport à un plan de masse. Dans notre étude, l'électrode active est représentée par un fil très fin. Le champ électrique entre les électrodes est inégalement réparti, avec une intensité élevée près de l'électrode active, provoquant ainsi l'ionisation de l'air [4].

L'objectif de ce projet est d'effectuer une analyse théorique et expérimentale de la décharge couronne. Nous avons réalisé une étude expérimentale au Laboratoire de Génie Electrique de l'Université de Bejaïa (L.G.E.B) permettant de mesurer le courant de décharge et la densité de courant ( $J$ ) à l'aide de la sonde circulaire dans la configuration triode (fil-cylindre-grille).

Pour ce faire, notre travail est divisé en trois chapitres distincts :

Le premier chapitre abordera l'étude des généralités de la décharge couronne, incluant le processus de décharge, le seuil d'amorçage, les différents types de décharge couronne et les facteurs influençant ce phénomène et les concepts fondamentaux de la décharge couronne, sa définition, domaine d'existence de la décharge couronne, ainsi que les mécanismes qui enclenchent ce phénomène.

Le deuxième chapitre présentera l'installation haute tension située au laboratoire de haute tension de l'université A. Mira de Bejaia. Nous exposerons ensuite la configuration géométrique de l'électrode triode (fil-cylindre-grille), ainsi que les méthodes de mesure des paramètres de la décharge couronne. La tension, le courant de décharge et la densité de courant seront mesurés avec précision à l'aide de la sonde circulaire.

Le troisième chapitre se concentrera sur la présentation, l'interprétation et la discussion des résultats des essais réalisés sur la configuration étudiée.

Enfin on termine avec une conclusion générale et nous clôturerons notre travail par une synthèse générale des résultats obtenus.

# CHAPITRE I



## I.1. Introduction

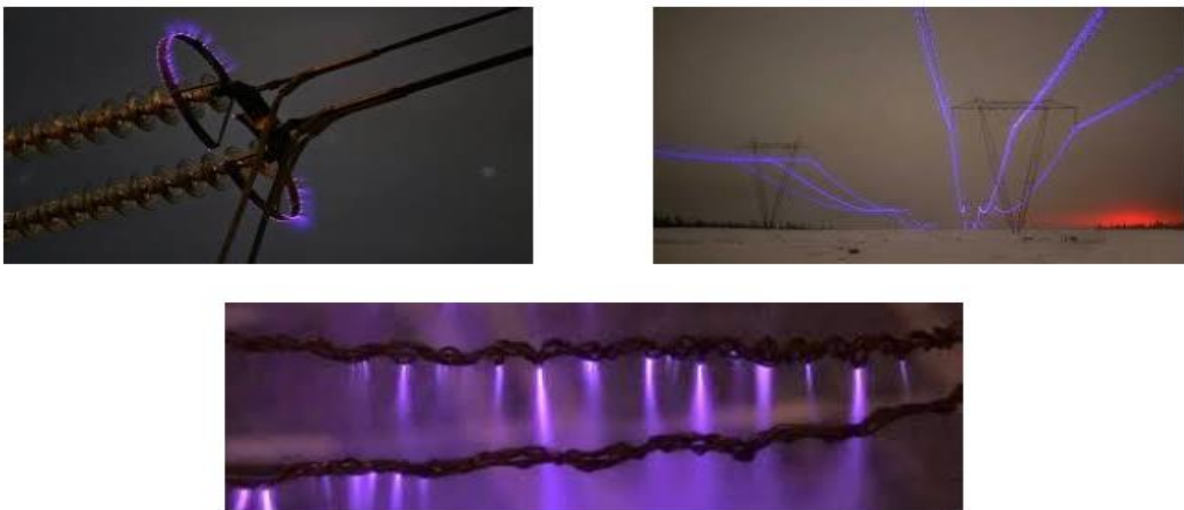
En théorie, les gaz sont des isolants électriques idéaux. En effet, ils ne contiennent pas de particules libres chargées, mais uniquement des atomes ou des molécules neutres. En pratique, un gaz contient toujours un certain nombre de charges électriques libres en raison de l'influence de certains agents ionisants externes permanents, tels que le rayonnement cosmique, la radioactivité de la Terre ou des substances présentes dans l'atmosphère. L'application d'un champ électrique suffisamment intense à un gaz le rend plus ou moins conducteur, et les phénomènes complexes qui se produisent sont appelés décharges gazeuses [1], dont il existe plusieurs types, notamment la décharge couronne.

La décharge couronne, également connue sous le nom de l'effet couronne, est un phénomène de décharge électrique partielle qui se produit lors de l'ionisation du milieu entourant un conducteur. Cette décharge se produit lorsque le champ électrique dépasse un seuil critique sans former d'arc. En général, une décharge couronne se produit entre deux électrodes portées à haute tension et séparées par un gaz neutre, souvent de l'air. Lorsque le champ électrique est suffisamment élevé, le gaz s'ionise, créant un plasma dans lequel les charges électriques se propagent par interaction avec les molécules neutres du gaz environnant [2].

Ce chapitre explorera les concepts fondamentaux de la décharge couronne, sa définition, les différents régimes qu'elle peut adopter, domaine d'existence de la décharge couronne, les applications de la décharge couronne, ainsi que les mécanismes qui enclenchent ce phénomène.

## I.2. Historique

Les décharges électriques ont fait l'objet de plusieurs études et cela depuis plus d'un Siècle. Les premières études décrivant leurs évolutions et proposant des mécanismes datent du début du XX<sup>ème</sup> siècle, En effet, les premières publications sur la décharge couronne datent de 1920 [3]. C'est ainsi que les premières expériences sur les fils conducteurs fins, portés à des tensions suffisamment élevées, ont montré qu'il se forme autour d'eux une gaine lumineuse, de couleur bleu-violet, dont l'épaisseur augmente avec la tension (Figure.I.1). C'est cette brillance qui a conduit au terme couramment utilisé de « décharge couronne » [4].



*Figure I. 1 : Effet couronne lumineux.*

Depuis, plusieurs études ont été menées pour expliquer les différents mécanismes impliqués dans la formation, le développement et la propagation de cette décharge.

Le chercheur américain R.W. Peek est l'un des pionniers qui a étudié l'effet couronne, vers 1920, il établit une loi empirique exprimant le seuil d'apparition de la décharge couronne, en termes de champ électrique superficiel, cette célèbre loi est toujours d'usage aujourd'hui.

Par la suite, on trouve de nombreuses autres lois qui ont été développées pour expliquer la formation des pertes couronne. Parmi ces travaux on peut citer les études de Ryan et Henline (1924), Hesselmeyer et Kostko (1925), ainsi que celles de Holm (1927). Les premiers essais au laboratoire remontent à 1932 [5], Le développement des systèmes à haute tension a donné une grande impulsion à l'étude de la décharge couronne dans diverses électrodes. Vers les années 1940, Loeb, Meek et Razor ont proposé un nouveau modèle de propagation des avalanches d'électrons lors des décharges couronne [6].

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 couronne des conducteurs reliés à des hautes tensions sont observées sous la pluie, le brouillard ou la neige.

### **I.3. Décharges électriques à pression atmosphérique**

La recherche scientifique sur les décharges électriques a débuté au 18ème siècle avec des observations expérimentales d'étincelles produites par des générateurs électrostatiques et des orages. Michael Faraday a exploré les décharges luminescentes entre 1831 et 1835, étudiant des tubes contenant du gaz sous pression à 1000 volts. Plus tard, vers 1900, J. Townsend a réalisé la première modélisation d'une décharge luminescente dans un champ uniforme [7].

Les décharges électriques sont généralement établies à basse pression (tube néon par exemple) car elles sont faciles à obtenir et sont stables. Au contraire, les décharges à pression atmosphérique sont plus difficiles à maîtriser. Cependant, celles-ci possèdent tout de même de nombreuses applications (soudure à arc, torche à plasma...) [8].

Selon la configuration des électrodes, les décharges électriques à la pression atmosphérique peuvent être de type couronne ou DBD. La décharge couronne se produit lorsque l'électrode portée à haute tension a une structure incurvée, tandis que la DBD (décharge à barrière diélectrique) se produit lorsqu'une ou les deux électrodes sont recouvertes d'un diélectrique [9].

### **I.4. Généralités sur les décharges couronnes**

#### **I.4.1. Définition de la décharge couronne**

La décharge couronne, également connues sous le nom de l'effet couronne, se produisent généralement à pression atmosphérique [7]. Une décharge couronne est une décharge électrique non destructive et auto-entretenu dans un gaz, qui peut apparaître entre deux électrodes asymétriques. L'une de ces électrodes à un petit rayon de courbure est mise

sous une haute tension, appelée « électrode active », tandis que l'autre électrode, généralement plate et mise à la terre, est appelée « électrode passive ».

Les décharges couronne se produisent en général autour d'une électrode de faible rayon de courbure (centaines de micromètres) située à une certaine distance (plusieurs centimètres) par rapport à un plan de masse (un défaut du conducteur formant une pointe par exemple) tel que le champ électrique à ses environs soit suffisamment important pour permettre la formation d'une couche d'air ionisé, et une autre de rayon de courbure faible (une plaque métallique ou la terre). Cette asymétrie des électrodes crée un champ électrique inhomogène dans l'espace entre les deux, comprenant une zone active (zone d'ionisation) et une zone de dérive [10].

La décharge couronne existe sous différentes formes et dépend de la configuration géométrique des électrodes. Les configurations les plus courantes pour obtenir la décharge couronne sont « fil-plan », « pointe-plan », « couteau/cylindre » et « fil/cylindre » (Figure I.2).

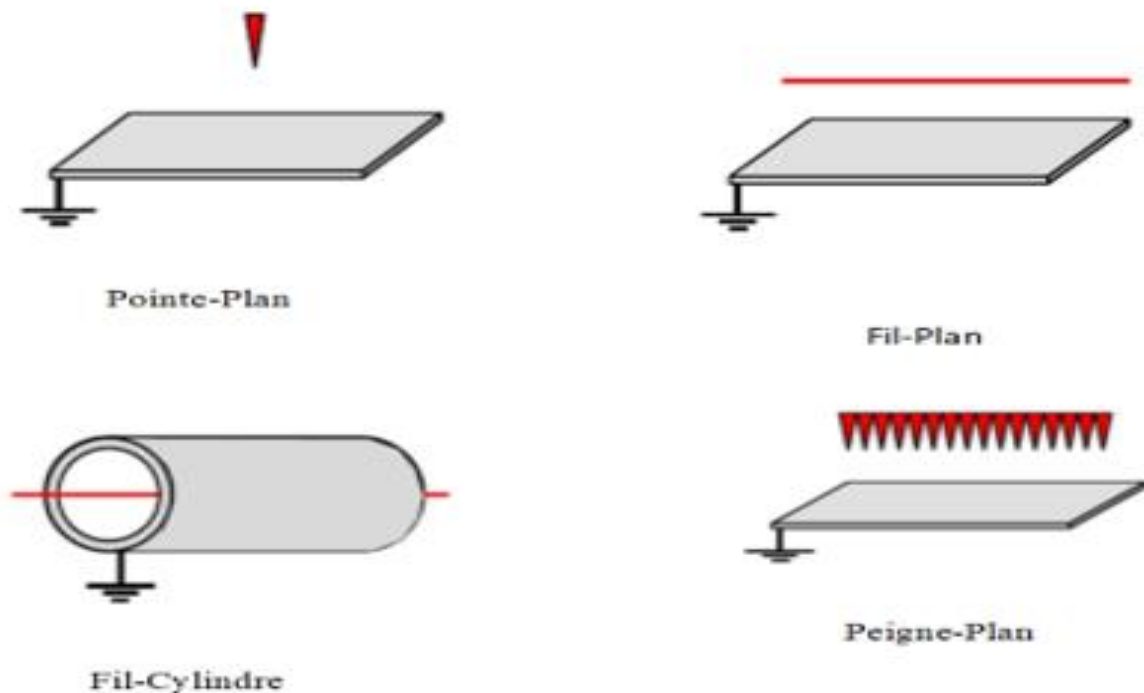


Figure I. 2 : Configurations d'électrodes en décharge.

#### I.4.2. Domaine d'existence de la décharge couronne

La décharge couronne se produit généralement entre une électrode avec un petit rayon de courbure, comme une pointe, dont le champ électrique est suffisamment puissant pour former un plasma, et une électrode avec un plus grand rayon de courbure, comme une plaque métallique ou la terre. Si la forme du conducteur et l'intensité du champ électrique provoquent une expansion de la zone d'ionisation plutôt que de se stabiliser, le courant peut se diriger vers l'électrode opposée, provoquant la formation d'étincelles ou d'arcs électriques.

### **I.4.2.1. Condition d'apparition**

La condition d'apparition de la décharge couronne est liée au dépassement d'une valeur critique du champ électrique et à la présence de particules chargées, appelées électrons germes, dans le gaz et à l'application d'une tension.

Dans des champs électriques puissants, l'excitation de certaines particules du gaz environnant 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. Lorsque leur énergie dépasse l'énergie d'ionisation des molécules de gaz, des collisions entre elles, les électrons libres et les molécules de gaz provoquent l'ionisation de ces dernières. De nouveaux électrons sont alors créés et soumis au même champ. Au cours du processus d'ionisation, des photons de haute énergie sont également produits, ce qui peut provoquer une réaction en chaîne appelée avalanche de Townsend. Le développement d'avalanches successives produit des décharges de couronne. Les ions et électrons résultants se déplacent selon leur polarité, affectant le champ électrique. Ces groupes de charges mobiles sont appelés « charges d'espace » [14].

### **I.4.2.2. Processus de formation de la décharge couronne**

Il existe toujours dans l'air un certain nombre d'électrons libres, créés par rayonnements cosmiques ou dus à l'ionisation naturelle par les substances radioactives dans la terre. Lorsque ces électrons sont soumis à un champ électrique élevé, ils sont accélérés, et si le champ est assez intense, l'énergie qu'ils acquièrent devient suffisante pour provoquer l'ionisation des molécules neutres qu'ils heurtent. Il crée alors de nouveaux électrons libres, lesquels soumis au même champ vont également ioniser des molécules et ainsi de suite, le processus prend une allure d'avalanche dite de Townsend.

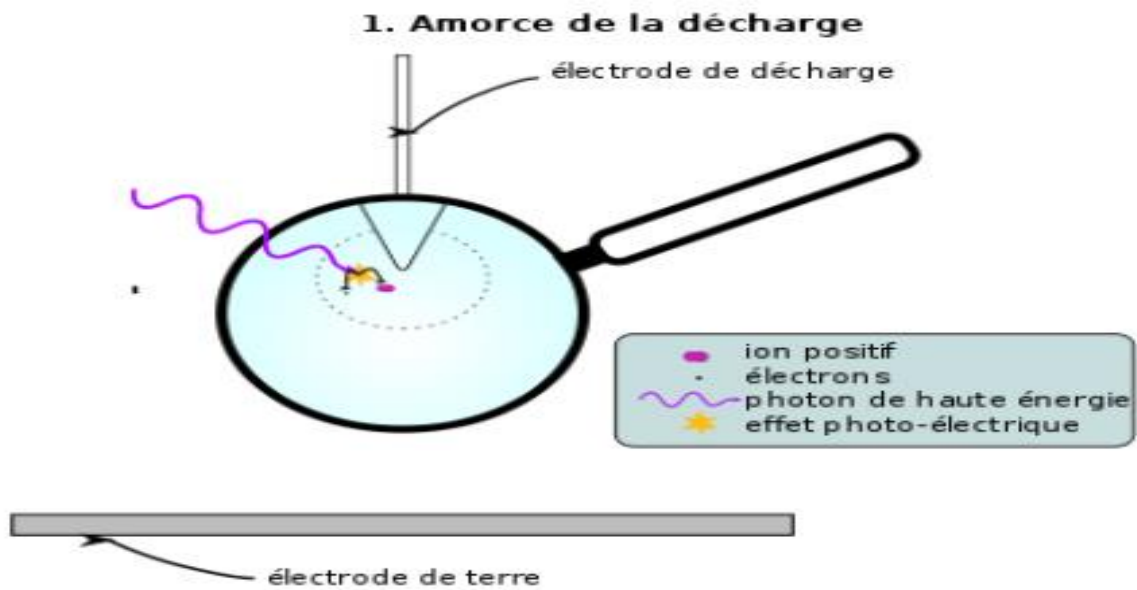
#### **I.4.2.2.1. Mécanisme au niveau macroscopique**

Une décharge couronne se produit lorsqu'un courant, continu ou alternatif, circule entre deux électrodes portées à un potentiel élevé et séparées par un fluide neutre, généralement de l'air. Lorsque le champ électrique devient suffisamment élevé, le fluide s'ionise et crée un plasma permettant aux charges électriques de se propager. Cette ionisation entraîne la conductivité du fluide, favorisant la dissipation des particules chargées.

La décharge couronne se forme généralement autour des régions où le champ électrique est plus fort, comme les pointes, et ont tendance à se stabiliser d'elles-mêmes. Cependant, si la zone ionisée s'étend, des étincelles ou un arc électrique peuvent se former et trouver un chemin vers l'électrode opposée.

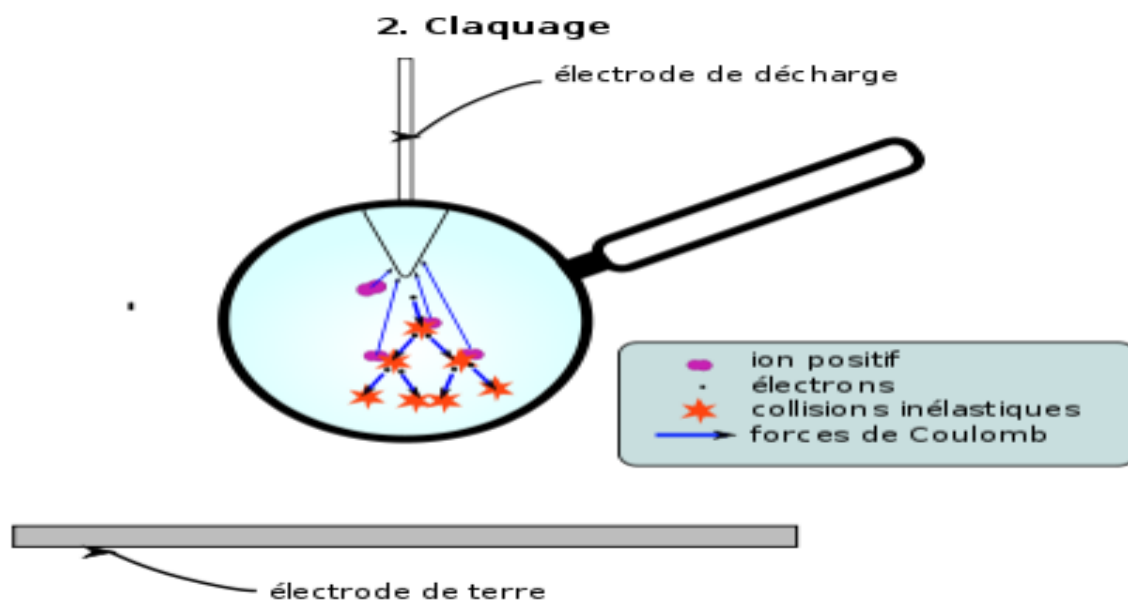
#### **I.4.2.2.2. Mécanisme au niveau microscopique**

L'ionisation est le processus par lequel un atome ou une molécule neutre acquiert une charge électrique en perdant ou en gagnant des électrons, devenant ainsi un ion chargé. Cela peut se produire suite à divers événements extérieurs tels que l'interaction avec un photon. Lors de ce processus, un ion positif et un électron sont libérés (Figure I.3).



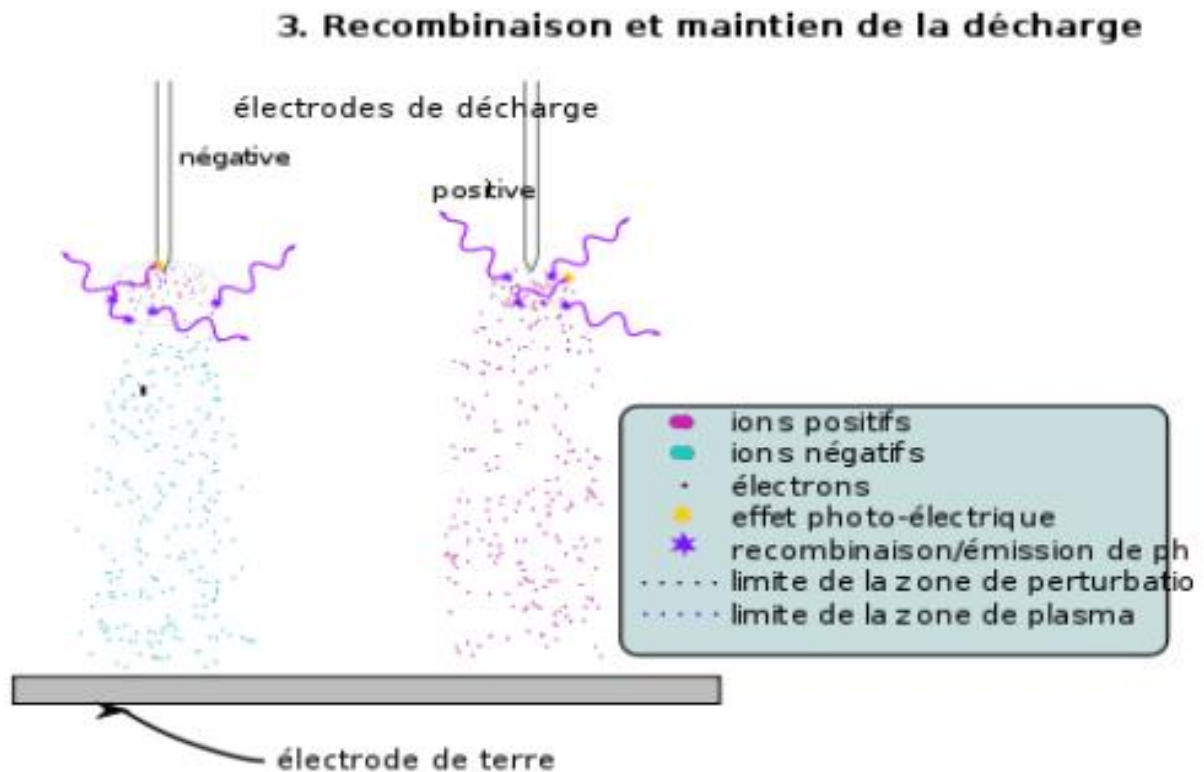
*Figure I. 3 : Amorçage de la décharge [30].*

Ces deux particules étant de charges inverses, le champ électrique crée sur chacune d'elles une force électrique égale en norme mais de sens opposé et les sépare, empêchant leur recombinaison et leur apportant une énergie cinétique importante. Ceci initie le phénomène de claquage. L'électron étant de masse beaucoup plus faible que l'ion, il est fortement accéléré, et entre en collision inélastique avec des atomes neutres, ce qui tend à créer de nouvelles paires électrons/ions positifs, qui suivront le même processus. On parle d'effet d'avalanche (Figure I.4) [31].



*Figure I. 4 : Multiplication électronique (phénomène d'avalanche électronique) [30].*

Des ions ainsi créés sont attirés par la seconde électrode et permettent ainsi l'établissement d'un courant (Figure I.5) [31] .



*Figure I. 5 : Maintien de la décharge [30].*

Pour expliquer le mécanisme du développement de la décharge couronne, les recherches ont abouti à considérer deux théories complémentaires.

- La première est la théorie de Townsend qui tient compte de tout l'intervalle inter électrodes.
- La seconde, dite théorie Streamer élaborée pour palier certains inconvénients apparaissant sur le plan théorique.

#### **I.4.3. Différents régimes de la décharge couronne (caractéristique courant-tension)**

Les différents régimes de décharge couronne, sont caractérisés par la relation courant-tension, impliquent des comportements distincts en fonction de la tension appliquée et des conditions de décharge. Ces régimes sont définis par des plages de courant et de tension spécifiques, reflétant la nature du phénomène de décharge couronne. La caractéristique de la relation courant-tension pour différents régimes de décharge corona permettent de mieux comprendre le comportement de la décharge dans des conditions variables, telles que la pression, les propriétés des matériaux et la configuration des électrodes.

La « figure I.6 » décrit le comportement du courant en fonction de la valeur de la tension appliquée, la courbe permet de distinguer quatre régimes régissant la décharge couronne :

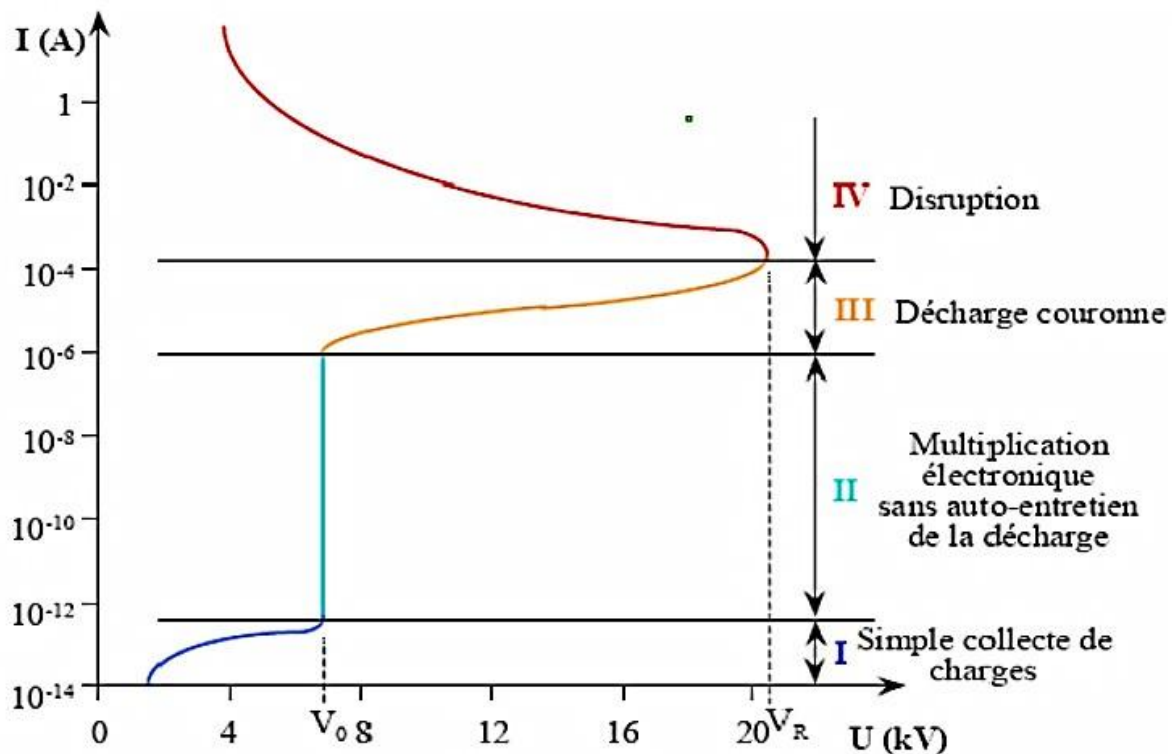


Figure I. 6 : Caractéristique « courant-tension » des décharges à pression atmosphérique [11]

- **Régime I** : Collecte de charge

Elle consiste à la collecte des espèces chargées présentes naturellement dans le milieu, ces espèces sont produites par l'impact des rayons cosmiques ou de particules issues de la désintégration spontanée de certains atomes (radioactivité naturelle) sur le gaz présent dans l'espace inter-électrode [12].

Le courant et la tension sont très faibles (moins de  $10^{-12}$  A/cm<sup>2</sup>, quelques 10V), dû à la présence d'ions issus de la radioactivité naturelle ou rayonnement cosmique. Dans ce cas, le champ électrique est trop faible pour assurer l'avalanche électronique.

- **Régime II** : Régime impulsif ou de décharge de Trichel non auto-entretenu

Lorsque le potentiel extérieur appliqué atteint une valeur de seuil  $V_s$ , le champ électrique est suffisamment important pour générer des avalanches électroniques. Le courant électrique mesuré augmente très fortement pour une très faible variation de la tension appliquée.

La décharge a besoin d'une source externe complémentaire : on parle de régime de Townsend non entretenu. Le courant reste faible ( $\approx 10^{-9}$  A/cm<sup>2</sup>) [13].



- **Régime III** : Régime de décharge couronne

C'est un régime stable de fonctionnement avec l'installation du critère d'auto-entretien. La charge d'espace apparaît et crée un champ local antagoniste au champ appliqué. Ceci tend, dans un premier temps, à diminuer le courant lorsqu'on augmente la tension appliquée. Cette zone représente le régime de décharge luminescente dont le courant varie de  $10^{-4}$  A à  $10^{-1}$  A

C'est le régime de la décharge couronne, ou apparaissent les streamers, qui est responsable de la composante impulsionnelle du courant [13].

- **Régime IV** : Régime disruptif ou Régime d'arc

Lorsque la tension est supérieure à la tension de rupture  $V_r$ , un canal conducteur (arc électrique) s'établit entre les électrodes et les valeurs de courant de décharge sont très élevées. C'est ce qu'on appelle un régime de décharge disruptive. Le champ réduit  $E/p$  est alors suffisamment important pour que les phénomènes d'ionisations deviennent majoritaires par rapport à l'attachement électrique [13].

Le régime d'arc est atteint, le milieu passe de l'état de plasma hors équilibre à l'état de plasma athermique.

## I.5. Mécanisme de développement de la décharge couronne

Les recherches expliquent le mécanisme de développement de la décharge couronne, ce dernier se fait complémentirement par deux modèles :

- Le premier concerne les décharges à long rayon d'action faisant intervenir l'intervalle de décharge tout entière et notamment les effets secondaires à la cathode : c'est la décharge de Townsend.
- Le deuxième modèle mis au point pour expliquer la rapidité des phénomènes concernant les décharges à court rayon d'action, faisant intervenir la situation locale : c'est la décharge par streamers [14].

### I.5.1. Théorie de Townsend (Basse Pression)

L'électricité peut créer une ionisation dans le gaz, la théorie de Townsend est basée sur un champ électrique constant sur toute la surface pouvant amener un ou plusieurs électrons à obtenir suffisamment d'énergie pour ioniser les molécules avec lesquelles ils entrent en contact lorsqu'ils se déplacent vers l'extrémité positive du champ (voir Figure I.7). Chaque fois qu'une molécule est ionisée, un ion positif et un autre électron sont créés. L'électron créé ; à son tour ; est accéléré par le champ extérieur et en rentrant en collision avec une nouvelle molécule. Ce mécanisme d'ionisation successif est connu sous le nom « d'avalanche électronique » ou « décharge de Townsend ». La taille de l'avalanche est de  $N$  électrons [15].



$A$  : anode  
 $K$  : cathode  
 $D$  : distance anode-cathode  
 $h\nu$  : source de rayonnement

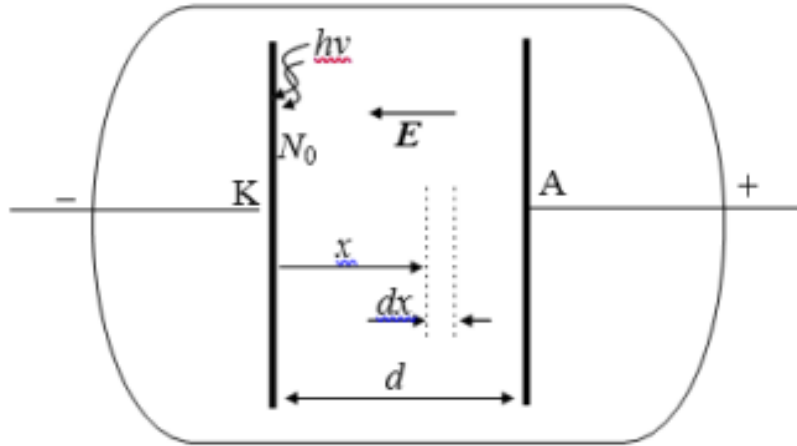


Figure I. 7 : Réalisation d'une décharge de Townsend à courant continu.

Considérons  $N_0$  le nombre électrons par unité de temps émis par l'irradiation cathodique. Désignons par  $\alpha$ , le coefficient d'ionisation primaire de Townsend, le nombre moyen de paires électron-ion ainsi créés par un électron et par unité de longueur de parcours, dans la direction du champ électrique  $E$ . La valeur de  $\alpha$ , pour un gaz donné, dépend de la valeur du champ réduit  $E/P$ . Dans le cas d'un champ homogène  $\alpha$  reste constant.

Supposons donc qu'il se soit formé  $N(x)$  électrons à une distance  $x$  de la cathode, alors ils vont produire  $\partial N(x)$  électrons sur une distance  $dx$  :

$$\partial N(x) = \int \alpha \cdot N(x) \cdot dx \quad (\text{I.1})$$

En intégrant cette équation, nous obtenons le nombre d'électrons atteignant l'anode :

$$N(d) = N_0 \cdot e^{\alpha \cdot d} \quad (\text{I.2})$$

L'anode reçoit un courant :

$$I = I_0 \cdot e^{\alpha \cdot d} \quad (\text{I.3})$$

Où :  $I_0 = e \cdot N_0$ , tel que ;  $e$  est la charge de l'électron

L'étude expérimentale du courant  $I$ , effectuée par Townsend en fonction de la distance  $d$ , a montré que ce courant augmente plus rapidement que ce qui est prévu par la relation (I.3) ceci est dû au phénomène d'ionisation secondaire se produisant près de la cathode. En effet, si l'on considère les ions positifs créés lors des collisions ionisantes électrons-molécules, leur impact sur la cathode peut provoquer l'émission d'électrons secondaire. On caractérise cette émission par un facteur  $\gamma$ , dit coefficient d'ionisation secondaire de Townsend, qui représente le nombre d'électrons émis à la cathode par ion incident [5,15,16].

### I.5.2. Théorie de streamers (haute Pression)

La théorie de streamer explique par des données expérimentales la grande vitesse de développement de l'étincelle, une première avalanche de TOWNSEND faiblement lumineuse prend naissance. Sous l'effet de la photo ionisation due aux rayonnements émis par cette avalanche, de nouvelles avalanches prennent naissance et donnent naissance à leur tour à d'autres avalanches dans le volume du gaz. Au cours de leur développement, les diverses avalanches se rattrapent les unes, les autres et se confondent en donnant un canal bon conducteur du streamer. La grande vitesse à laquelle se produit la décharge est due au fait que le streamer est conduit par plusieurs avalanches qui se développent simultanément entre les deux électrodes.

Ces avalanches secondaires vont se développer vers la charge d'espace positive en formant un canal d'étincelles. Ce phénomène de streamer est caractérisé par un temps de développement d'environ 10<sup>-8</sup> secondes. Des critères ont été proposés par Meek et Raether pour estimer le champ électrique permettant la transformation d'une avalanche en streamer. Raether a établi un critère simple qui exprime que l'avalanche doit atteindre une taille critique  $l_c$  pour que le streamer puisse se développer. Dans le cas d'un champ non uniforme, si l'on désigne par  $E_s$  le champ à la surface de l'anode et  $E_c$  le champ critique du minimum d'ionisation correspondant à  $(\alpha - \eta = 0)$ , ce critère s'écrit : avec  $k$  c'est la constant d'ionisation

$$\int (\alpha - \eta) dx = k \quad (I.4)$$

L'expression ci-dessus est obtenue du critère de claquage de Townsend et du critère de Meek. Ce dernier critère exprime que le champ de la charge d'espace  $E_p$  est du même ordre de grandeur que le champ  $E_s$  à la surface de l'anode [4].

### I.6. Loi de PASCHEN

La loi de Paschen est une loi empirique qui décrit la tension critique nécessaire pour induire une décharge entre deux électrodes dans un gaz. La tension disruptive d'un gaz qui représente la tension à partir de laquelle une décharge est observée, entre deux électrodes parallèles dépend de la valeur du produit de la pression du gaz avec la distance inter-électrodes.

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 :

$$\gamma(e^{\alpha d} - 1) = 1 \quad (I-5)$$

Ou bien :

$$\alpha d = \ln\left(\frac{1+\gamma}{\gamma}\right) \quad (I-6)$$

Nous avons vu précédemment que le paramètre  $\alpha/p$  est en général une fonction du champ réduit  $E/p$ , on peut alors écrire [16] :

$$\frac{\alpha}{p} = f\left(\frac{E}{p}\right) \quad (I-7)$$

$$\alpha d = \left(\frac{\alpha}{P}\right) (Pd) = \ln\left(\frac{1+\gamma}{\gamma}\right) \tag{I-8}$$

$$\frac{E}{P} = \frac{V}{Pd} = g\left(\frac{\alpha}{P}\right) = g\left(\frac{1}{Pd} \ln\left(\frac{1+\gamma}{\gamma}\right)\right) \tag{I-9}$$

D’où:

$$V_c = F(Pd) \tag{I-10}$$

- $V_c$  : tension de claquage.
- $P$  : pression du gaz
- $d$  : distance inter-électrode

$f, g$  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  $V_c = f(Pd)$  [17] (figure I.8).

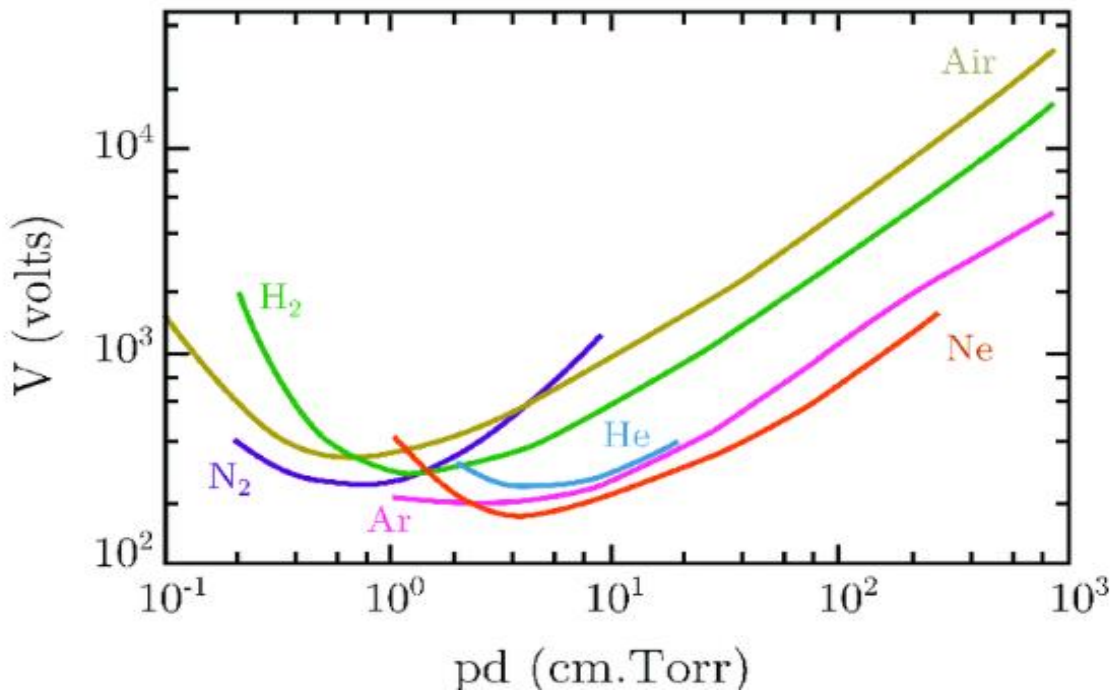


Figure I. 8 : Courbe de Paschen pour différents gaz [16].

D’après la figure, on constate que pour un gaz à pression atmosphérique ( $p=1,013.105$  Pa), les courbes passent par un minimum pour une distance inter-électrode d’environ  $1\mu m$  ( $p.d=0.5$  à  $5$  environ). Cela signifie que, pour la production de décharge à pression

atmosphérique, dans des conditions d'utilisation usuelles ( $d \geq 1\text{mm}$ ) la tension de claquage est une fonction croissante de la distance inter-électrode. Elle est utilisée dans l'industrie pour la fabrication des tubes de néon, la lumière de ces néons est due à la peinture qui se trouve à la paroi du néon.

## I.7. Types de décharges couronnes

La décharge couronne peut être positive ou négative selon la polarité de l'électrode de faible rayon de courbure.

### I.7.1. Décharge couronne positive

La décharge couronne positive est celle qui se produit quand l'électrode active est portée à un potentiel positif et l'électrode passive (une plaque) à la terre. Dans ce cas, une zone à champ intense et de forte ionisation est créée autour de la pointe, des électrons sont produits par photo-ionisations et sont accélérés vers celle-ci (zone en pointillé sur Figure (I.9)) [19].

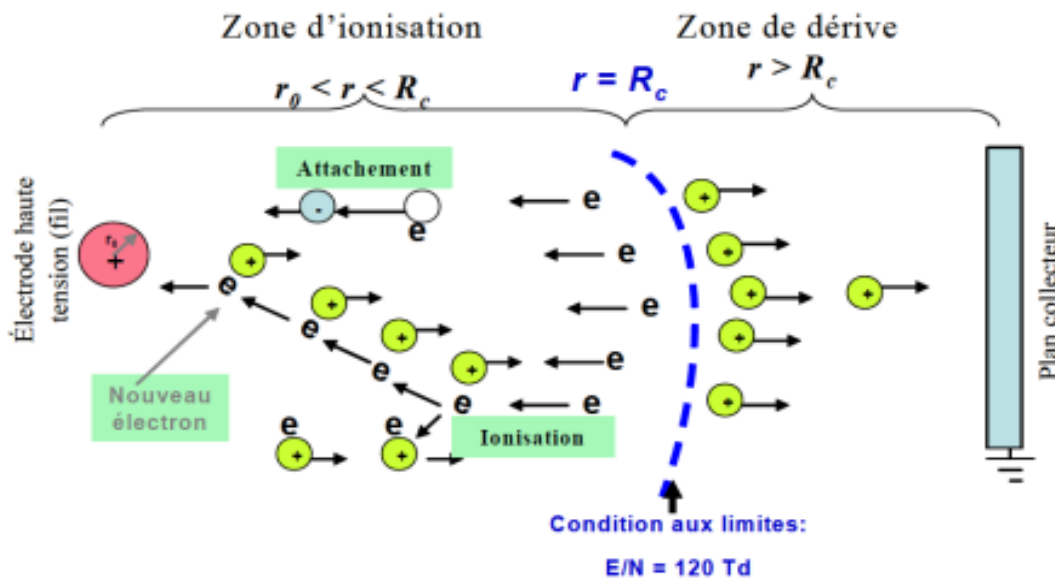


Figure I. 9 : Schématisation d'une décharge couronne continue positive [20].

Le phénomène est plus complexe dans ce cas, parce que la zone à champ électrique intense n'est pas juxtaposée à la source des électrons. Les électrons qui sont au voisinage de la pointe produisent des avalanches mais quand les électrons arrivent sur la pointe, ils ne produisent rien qui puisse entretenir le phénomène. La cathode ne joue pas le rôle de pourvoyeuse des électrons car cette cathode est située loin de la zone où le champ électrique est intense.

Si le champ est assez fort, les électrons germes produits sous l'action du rayonnement ultraviolet émis par une avalanche créent de nouvelles avalanches. Le champ est renforcé par l'avalanche, mais la formation d'une chaîne entre électrodes est peu probable, le champ devenant trop faible au voisinage de la cathode [19].

### I.7.2. Décharge couronne négative

Dans le cas où l'électrode active est portée à un potentiel négatif, (Figure I.10), il y a toujours création d'électrons par photo ionisation et apparition de la zone d'ionisation autour de l'électrode HT. Goldman et Sigmund (1982) expliquent que les ions positifs alors créés reviennent rapidement à la cathode [19].

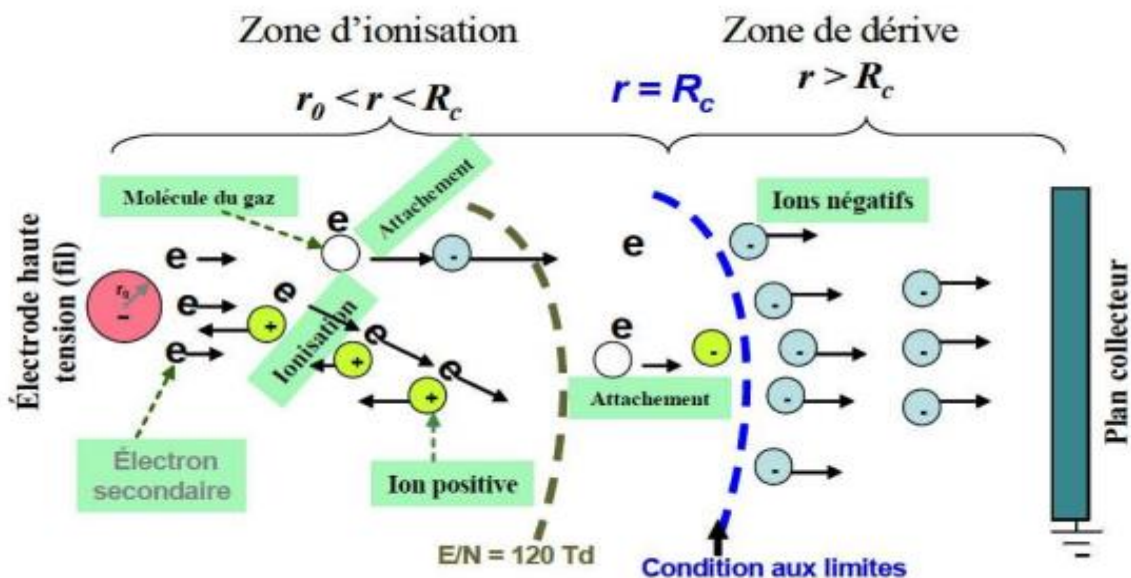


Figure I. 10 : Schématisation d'une décharge couronne continue négative [19].

Seuls les ions négatifs créés par attachement dans une zone où le champ est plus faible peuvent migrer vers l'électrode plane mise à la terre. De plus, lorsque la haute tension dépasse un seuil, il y a passage à l'arc. Le courant de cette décharge est dû à des impulsions de Trichel à une fréquence qui dépend de la tension appliquée. Ces impulsions sont régulières et sont dues au champ électrique qui s'affaiblit au voisinage de la cathode. Les ions négatifs empêchent en effet la multiplication des avalanches électroniques.

Une fois ces ions migrés vers l'anode, de nouvelles avalanches apparaissent. L'intervalle entre deux pics de courant, impulsions de Trichel, dépend donc du temps nécessaire aux ions négatifs à atteindre l'anode. Les mécanismes physico-chimiques au sein des décharges couronnes sont assez complexes et sont actuellement étudiés par les physiciens des plasmas, car ils ne sont pas encore totalement connus [20].

### I.8. Paramètres influençant la décharge couronne

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

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

## I.8.1. Facteurs géométriques

### I.7.1.1. Rayon de la courbure

Le rayon de courbure d'un conducteur augmente, la tension nécessaire pour déclencher l'effet couronne augmente également. C'est parce qu'un rayon plus grand diminue l'intensité du champ électrique à la surface du conducteur, ce qui réduit la possibilité d'ionisation.

### I.7.1.2. Distance inter-électrodes

L'impact de la distance entre les électrodes sur les paramètres de décharge est illustré dans la (Figure I.11).

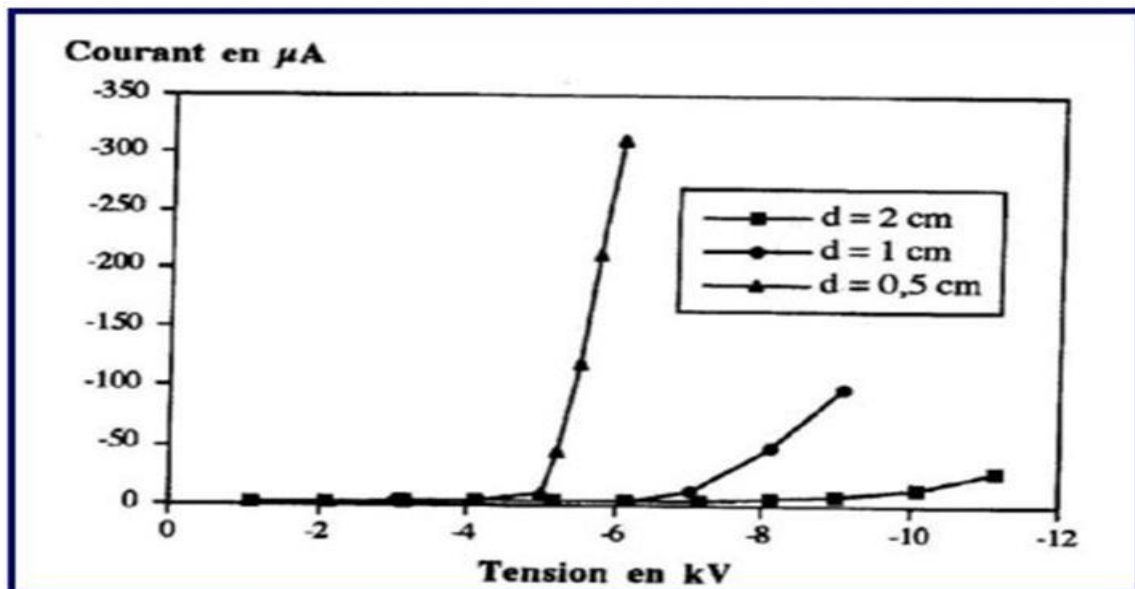


Figure I. 11 : Influence de la distance inter-électrodes sur le courant de la décharge couronne [20].

Il est clairement observé que le courant est plus élevé et augmente plus rapidement avec la tension appliquée lorsque la distance entre les électrodes est faible. De plus, les seuils de décharge coronale sont atteints pour des tensions plus basses dans le cas des faibles distances entre les électrodes. [20]

### I.7.1.3. La nature des électrodes

La caractéristique courant-tension est représentée en fonction de la nature des électrodes (cuivre, aluminium, et acier) dans la (figure I.12).

Cela indique que le graphique montre comment le courant qui circule à travers les électrodes varie avec la tension appliquée, et que cette relation est affectée par le matériau des électrodes.

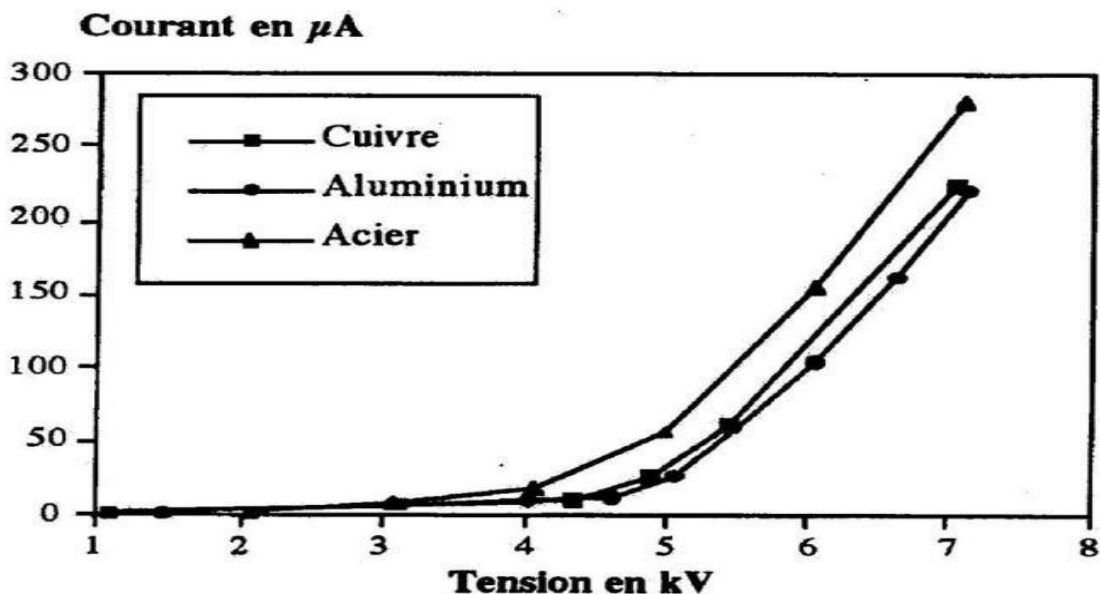


Figure I. 12 : Caractéristique courant-tension selon la nature des électrodes [20].

#### I.7.1.4. État de surface

Dans le système d'électrodes utilisé, la répartition du champ électrique dans l'espace entre les électrodes avant le début de la décharge dépend de la géométrie des électrodes.

Dans des champs non uniformes, comme c'est le cas avec les géométries du plan de pointe (Figure I.13), le débit de couronne présente une zone stable. Ce type de décharge est caractérisé par la tension de seuil  $U_S$  à laquelle elle se produit et la tension  $U_d$  à laquelle elle se transforme en arc.

Par contre, dans le champ uniforme de la (figure I.14), dès que la décharge se produit, elle est rapidement transférée dans le sens de l'arc. Autrement dit, la décharge corona n'existe pas et les tensions  $U_S$  et  $U_d$  sont combinées. [20]

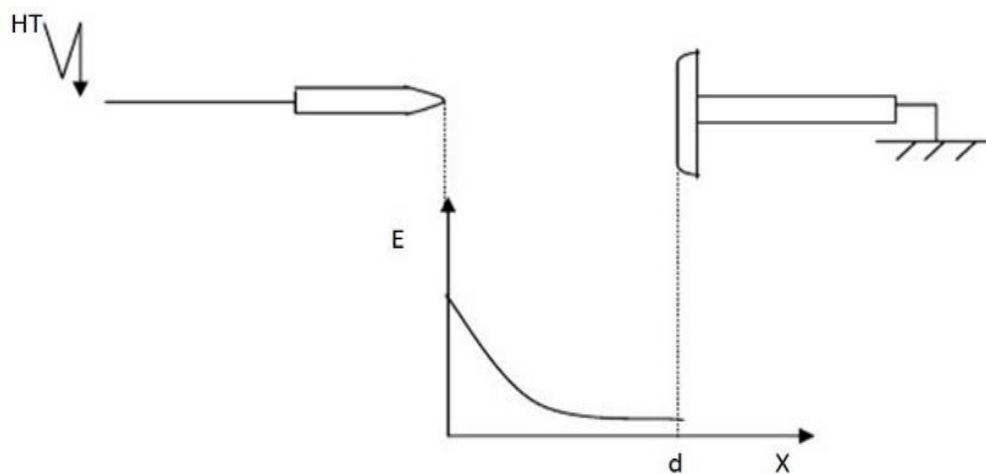


Figure I. 13 : Distribution du champ dans un système pointe plan [21].

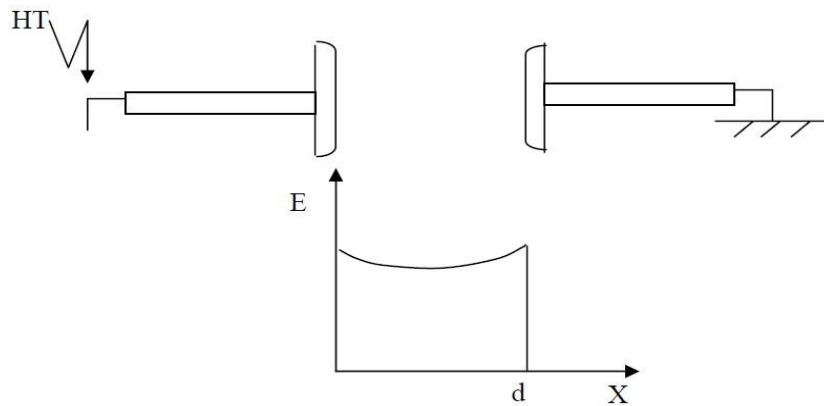


Figure I. 14 : Distribution du champ dans un système plan-plan [21].

## I.8.2. Les facteurs physico-chimiques

### I.8.2.1. La densité de l'air

La tension de claquage est influencée par des paramètres climatiques, notamment la densité de l'air. Il est important de noter que la tension est directement proportionnelle à la densité de l'air :

$$U_{dn} = U_d \frac{K_h}{\delta} \quad (\text{I-11})$$

Avec :

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

$K_h/\delta$  : Correction à apporter pour avoir les conditions normales.

### I.8.2.2. L'humidité

La rigidité diélectrique de l'air est fortement influencée par l'humidité, surtout lorsque le champ électrique n'est pas uniforme [23]. Deux phénomènes expliquent cet effet :

- La présence de vapeur d'eau dans l'air augmente l'électronégativité, ce qui favorise l'adhésion des électrons libres
- L'absorption des photons par la tête du streamer est plus importante dans les zones où la photo-ionisation crée des avalanches secondaires.

Le seuil de décharge couronne est plus bas à 90% d'humidité relative qu'à 5% d'humidité relative. Cette différence peut s'expliquer par l'augmentation de la conductivité de l'air lorsque l'humidité relative de la cellule de décharge augmente [20].

### I.8.2.3. La température

L'augmentation de la température à pression atmosphérique normale diminue la rigidité diélectrique de l'air, facilitant ainsi la formation de décharges électriques. C'est un phénomène important à prendre en compte dans de nombreuses applications techniques [21].



#### **I.8.2.4. La pression**

La pression atmosphérique, quant à elle, varie directement avec la tension d'allumage et inversement avec le courant.

Selon la loi de Paschen, à mesure que la pression augmente, le nombre de particules dans l'espace inter-électrodes augmente tandis que les libres parcours moyens des particules chargées diminuent. Par conséquent, l'ionisation de l'air diminue. Avec une augmentation de la pression, le seuil d'apparition de la décharge couronne augmente également tandis que la mobilité des porteurs de charge diminue [8].

#### **I.8.3. Facteurs électriques**

La décharge couronne est influencée par les paramètres électriques de la tension appliquée au système d'électrodes, à savoir [25] :

- Forme d'onde (onde continue/sinusoïdale/onde triangulaire/carrée)
- Amplitude
- Fréquence
- Largeur d'impulsion

La décharge couronne dépend du fait qu'une tension continue ou alternative soit appliquée au système d'électrodes. Les différents types d'émission de charges décrits avec les tensions alternatives sont également observés avec les tensions continues. La seule différence est que l'effet couronne à la tension alternative signifie que la concentration d'émission de charge correspond au pic de la sinusoïde de courant. La décharge de charge est permanente alors qu'elle est continue [24].

### **I.9. Applications de la décharge couronne**

Il existe de nombreuses applications commerciales et industrielles qui utilisent la décharge couronne pour créer des charges électriques, y compris :

- Dépollution par décharge couronne
- Production de l'ozone
- Les précipitateur électrostatiques
- Fabrication des électrets
- Filtrage électrostatique
- Séparation électrostatique
- Neutralisation et charge des matériaux
- Paratonnerre
- Générateur d'ozone
- Photocopieur
- Refroidir les composants électroniques (le mouvement des particules ionisées produit un flux d'air).

**I.10. Problèmes liés à la décharge couronnes**

Dans le domaine de la transmission d'énergie électrique, l'effet couronne provoque divers problèmes tels que des pertes de puissance, des interférences radio et télévision, des bruits audibles, des modifications de la surface des équipements et des vibrations mécaniques. En outre, les effets secondaires de l'effet corona sur les matériaux isolants de certains équipements tels que les disjoncteurs (utilisant du SF6) et les transformateurs (contenant de l'huile) entraînent une diminution de leur pureté et de leur capacité d'isolation. La minimisation de l'effet corona reste un défi majeur dans la conception des composants haute tension. Les décharges électriques dans l'air produisent également de l'ozone, un gaz irritant [24].

**I.12. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur les décharges électriques, plus particulièrement la décharge couronne.

Ensuite, nous avons discutés sur les phénomènes de multiplication électrique et les différents régimes de la décharge « caractéristique : courant-tension ».

Ainsi, nous avons brièvement décrit ces différents mécanismes de développement de la décharge et cité les différents types de cette décharge.

Enfin, nous avons donné quelques applications et les problèmes liés à la décharge couronne.

# CHAPITRE II

## **II.1. Introduction**

Dans ce chapitre, nous allons présenter une étude expérimentale de la décharge couronne en géométrie triode (fil-cylindre-grille). Cette étude a été menée au laboratoire de haute tension de l'université A. Mira de Bejaia.

Notre travail se concentre sur l'impact de l'insertion d'une grille métallique entre l'électrode dual « fil-cylindre » et le plan de masse sur le comportement de la décharge couronne. Lors de la réalisation de nos expériences, nous avons évalué les paramètres de la décharge Couronne comme la tension de seuil, la densité de courant, la tension appliquée et le courant de décharge.

## **II.2. Description des installations expérimentales**

L'électrode active est connectée à une source haute tension continue pour les deux polarités négative et positive et l'électrode passive (le plan de mesure) est mise à la terre.

Les éléments installés dans cette expérience peuvent être classés en trois blocs :

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

### **II.2.1. Les alimentations électriques**

Pour mesurer les paramètres de la décharge couronne en configuration triode (fil-cylindre-grille), nous avons besoin d'une source de tension continue de polarité positive. Pour cela, nous avons utilisé une installation haute tension présente au laboratoire de haute tension de l'université de Béjaïa. Elle est capable de fournir des tensions continues ou alternatives variant de 0 à 140 kV dans les deux polarités, avec un courant maximal de 80 mA.

Les figures suivantes (II.1 – II.4) montrent les éléments de cette installation, qui se compose :

- D'une source basse tension SG1.
- D'un transformateur haute tension T100, alimenté par la source basse tension SG1.
- D'une diode haute tension G270.
- D'un condensateur de lissage C10.

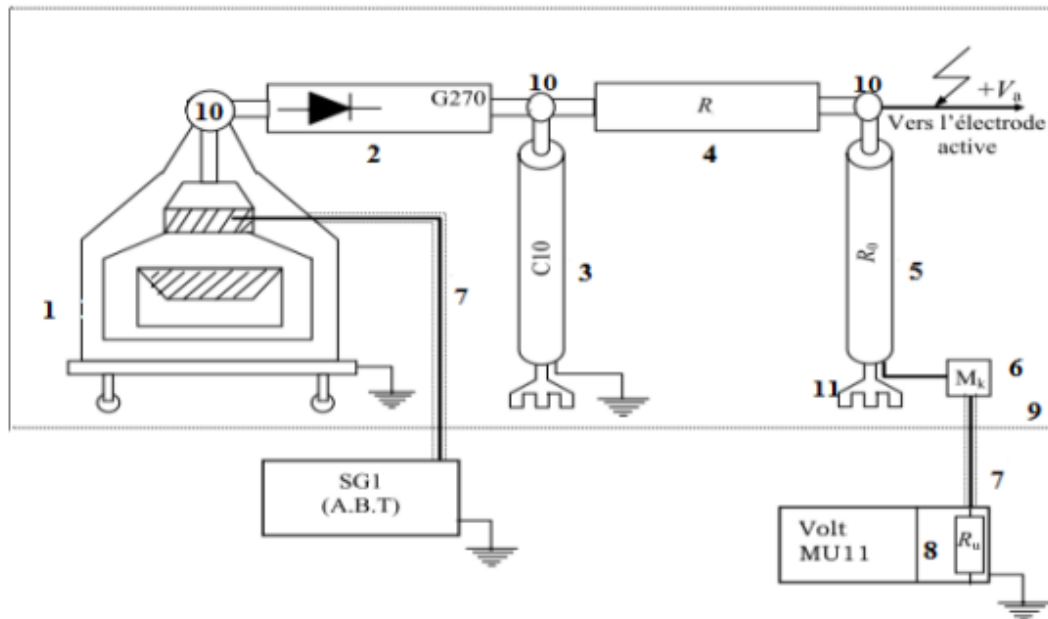


Figure II. 1: Schéma de l'installation haute tension [17].

- |  |  |
|--|--|
| <b>SG1.</b> Alimentation basse tension.        | <b>7.</b> Câble coaxial                      |
| <b>1.</b> Transformateur haute tension (T100). | <b>8.</b> Résistance basse tension ( $R_u$ ) |
| <b>2.</b> Diode haute tension (G270).          | <b>MU11.</b> Voltmètre de crête              |
| <b>3.</b> Condensateur de lissage (C10)        | <b>9.</b> Grille de protection               |
| <b>4.</b> Résistance d'amortissement ( $R_a$ ) | <b>10.</b> Nœuds de liaison                  |
| <b>5.</b> Résistance haute tension ( $R_0$ )   | <b>11.</b> Support                           |
| <b>6.</b> Boite de connexion                   |  |

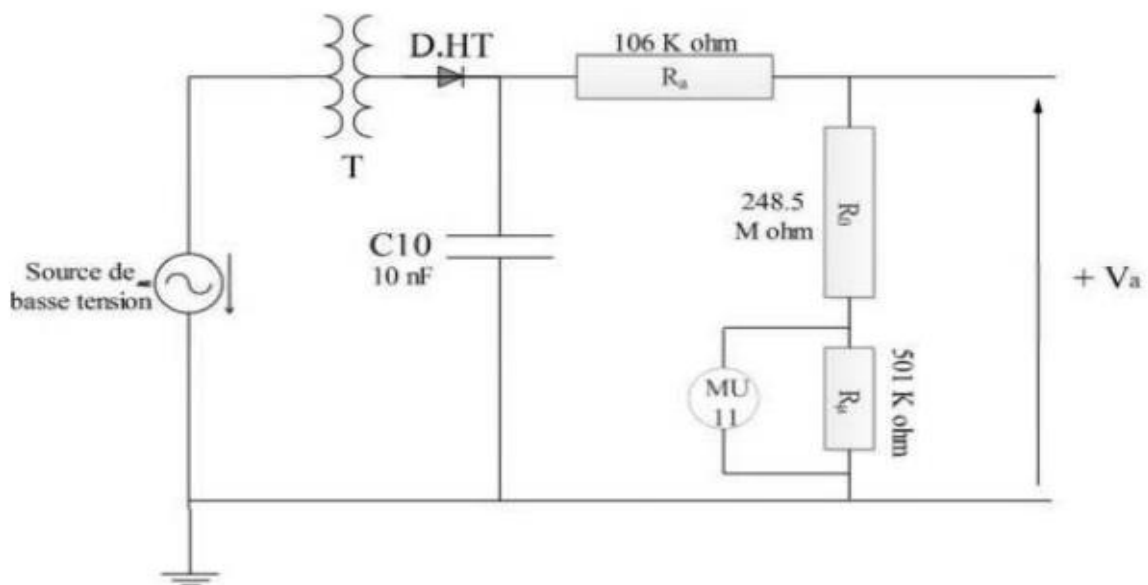
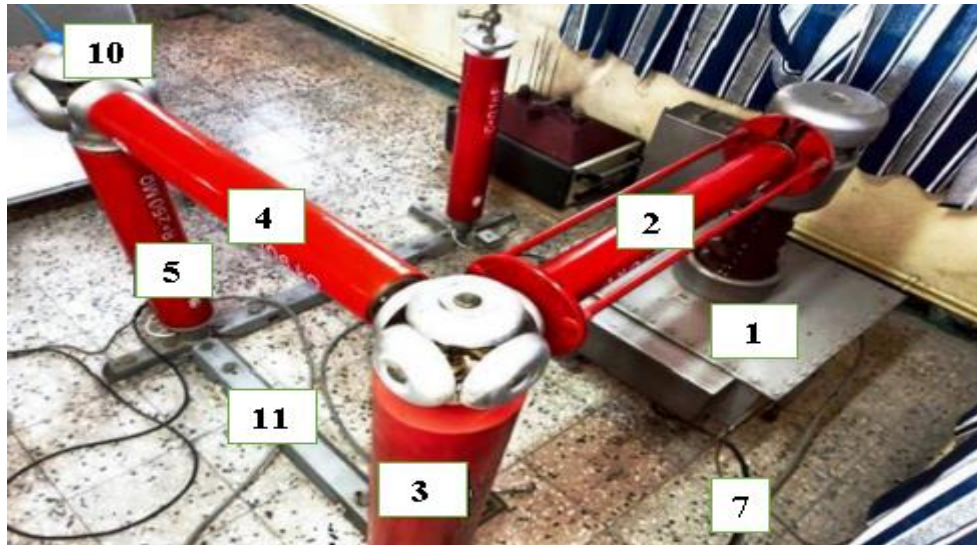


Figure II. 2: Schéma électrique de la source de haute tension utilisée.



*Figure II. 3: Installation haute tension utilisée du laboratoire de Bejaia.*



*Figure II. 4: Equipements de l'installation haute tension utilisée*

L'enroulement primaire du transformateur élévateur T100 (1), utilisé dans cette configuration et présentant un faible pas de variation d'environ 100 V, est alimenté par une source basse tension variable (SG1) via un câble. Un redresseurs mono-alternance ont été connectés au transformateur afin de produire une tension continue élevée. Chacun de ces deux redresseurs est composé d'une diode haute tension (2) à base de Silicium, ainsi que d'une capacité C10 de 10nF (3). Une résistance  $R_a$  (4) d'une valeur de 106 k $\Omega$  relie le condensateur au système d'électrodes.

Pour mesurer la haute tension continue  $V_a$ , nous disposons d'un diviseur de tension résistif composé d'une résistance haute tension  $R_0$  (5) de 248,5 M $\Omega$  et d'une résistance basse

tension  $R_u$  (8) de 501 k $\Omega$  incorporée dans le voltmètre de crête MU11. Ces deux résistances sont reliées par un câble blindé connecté à un port coaxial (7).

## II.2.2. Les systèmes de mesure

### II.2.2.1. Mesure de la tension appliquée

La mesure de la tension continue  $V_a$  qui est appliquée à l'électrode active se réalise à l'aide du 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 MU11 (Voir Figure II.5) mesure la tension  $u$  aux bornes de la résistance basse tension et affiche numériquement la valeur de la tension appliquée tel que :

$$V_a = k \cdot u \quad (\text{II.1})$$

$$k = \frac{R_0 + (R_e // R_u)}{(R_e // R_u)} = \frac{R_e \cdot R_0 + R_u \cdot R_0 + R_e \cdot R_u}{R_e \cdot R_u} = 666 \quad (\text{II.2})$$

La valeur théorique de  $k$  est de 666. Ce dernier change avec le vieillissement de l'installation. Par conséquent, un étalonnage de l'installation doit se faire pratiquement chaque année. Pour réajuster la valeur du coefficient  $k$  sur le voltmètre de crête, un voltmètre électrostatique est utilisé.



Figure II. 5: Photo du voltmètre de crête MU11.

### II.2.2.2. Mesure du courant de décharge

Les courants de charges par effet couronne sont des valeurs très faibles. Nous avons utilisé un microampèremètre analogique (figure II.6) pour les mesurer.

Cet appareil est relié au plan de mesure par un câble coaxial, en respectant la polarité de la tension appliquée. La masse du câble coaxial est reliée à la terre.



Figure II. 6 : Microampèremètre à aiguille utilisé dans la mesure du courant de décharge.

### II.2.2.3. Mesure de la densité de courant

La densité de courant est définie comme le courant électrique par unité de surface. Mathématiquement on peut écrire :

$$I = \iint J(x, y) ds \quad (\text{II.3})$$

Avec :

- $I$  : est le courant électrique en (A).
- $J(x, y)$  : densité de courant au point de coordonnées  $(x, y)$  en  $(\text{A}/\text{m}^2)$ .
- $S$  : est la surface en  $(\text{m}^2)$ .

La mesure du courant collecté par la sonde rectangulaire non polarisée, nous permet de déterminer la composante normale de la densité de courant de décharge  $J^{\vec{n}}$ , tel que :

$$J_n = \frac{I_0}{s_s} \quad (\text{II.4})$$

Avec :

- $J_n$  Composante normale de la densité de courant  $(\text{A}/\text{m}^2)$ .
- $I_0$  est le courant mesuré.
- $s_s$  est la surface de la sonde (figure II.7)



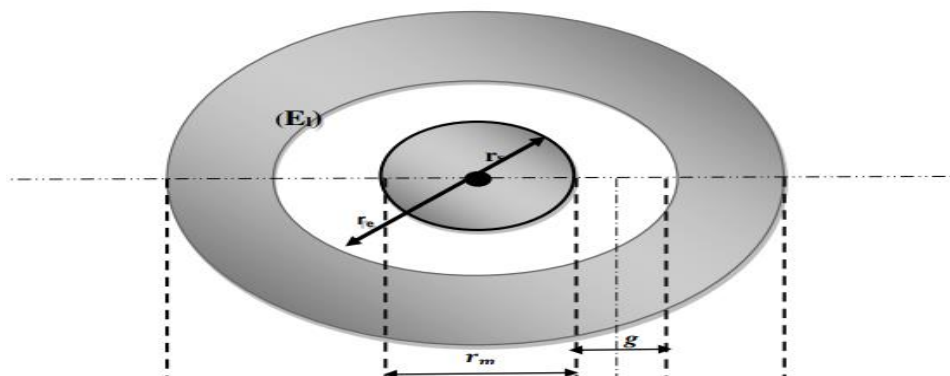


Figure II. 7: Vue de dessus de la sonde circulaire.

Les Dimensions de la sonde circulaire est :

- Diamètre de la sonde :  $D_c = 4.7\text{mm}$
- Rayon de la sonde collectrice :  $r_s = \frac{4.7}{2} = 2.35\text{mm}$  (II-5)
- La surface totale de la sonde :  $S_m = \pi \times r_s^2 = 17.35\text{mm}^2$  (II-6)

Pour mesurer le courant  $I_s$  qui traverse la sonde, on utilise un pico-ampèremètre (figure II.8) qui est relié au collecteur (5) par un câble coaxial blindé. La précision des mesures dépend de la position du collecteur (5) par rapport à la plaque de polarisation (B) de la sonde et de l'influence du courant de fuite dû à l'accumulation de poussière entre les parties (5) et (B).

Il est conseillé de nettoyer la sonde et les plans de garde avant chaque test et de s'assurer que le collecteur est à la même hauteur que la plaque de polarisation (B). Avant chaque test, il est impératif de vérifier les continuités entre toutes les plaques et avec l'instrument de mesure.



Figure II. 8: Pico-ampèremètre à aiguille utilisé dans la mesure du courant de la sonde.

### II.2.2.4. Mesure des paramètres physiques de l'air

Étant donné que la décharge couronne est très influencée par les paramètres physiques de l'air. Ensuite, il est nécessaire de connaître les conditions dans lesquelles cette décharge se produit. En effet, dans le programme numérique généré, la valeur du champ seuil ( $E_s$ ) constitue la condition aux limites sous laquelle le champ calculé sur le conducteur doit converger. Par conséquent, le calcul de champ seuil ( $E_s$ ) doit tenir compte des conditions atmosphériques dans lesquelles la mesure expérimentale est effectuée, afin de mieux comparer les résultats de laboratoire avec les résultats de simulation.

Au cours de l'étude expérimentale, nous avons utilisé :

- Un baromètre à mercure (16), pour mesurer la pression (figureII.9).
- Un thermomètre à aiguille (17), pour mesurer la température (figureII.10).
- Un hygromètre à cheveux (18), pour mesurer l'humidité (figureII.10).



Figure II. 9: baromètre à mercure utilisé pour mesurer la pression.



Figure II. 10: un thermomètre à aiguille utilisé pour mesurer la température et un hygromètre à cheveux utilisé pour mesurer l'humidité.

### II.2.3. Les systèmes d'électrodes de décharge couronne utilisée

#### II.2.3.1. Système de la décharge couronne Fil-Cylindre (Duale)

Dans les laboratoires de recherche, la configuration duale « fil-cylindre » est l'une des configurations utilisées pour générer la décharge couronne.

L'ensemble du dispositif expérimental pour la géométrie Fil-Cylindre est représenté sur la figure (II.11). Le système d'électrodes et les éléments mis sous haute tension sont isolés par une grille séparatrice (cage de Faraday (6)) du manipulateur et des autres appareils de mesure basse tension. L'électrode active (1) placée parallèlement à un cylindre (2), tendue à une hauteur  $H$  par des plaques isolantes (3) est reliée à l'installation haute tension continue  $V_a$ . Cette installation haute tension est composée principalement d'un générateur de basse tension (12), puis à l'aide d'un transformateur élévateur et d'un circuit redresseur, on génère une haute tension continue qui est de l'ordre de kilovolts (11). Pour mesurer le courant de la décharge, un pico ampèremètre (14) est connecté à la sonde circulaire de mesure (5). La sonde circulaire (5) est en aluminium massif, elle est incorporée dans un même niveau de surface dans un plan ( $E_s$ ). Ce dernier est muni de deux plans de garde (4) de dimensions 150 x 800mm dont le rôle est d'éviter les effets de bords, et le tout repose sur un support isolant en bois (7).

La sonde circulaire (5) est fixée à l'ensemble par une plaque en plexiglas et un écran en aluminium qui permet l'évacuation à la terre des courants de fuite. Le plan de polarisation est relié à une alimentation continue basse tension (20) aux bornes desquelles est connecté un voltmètre numérique (15) pour mesurer la tension de polarisation  $V_b$  délivrée, et l'ensemble forme ainsi l'électrode collectrice.

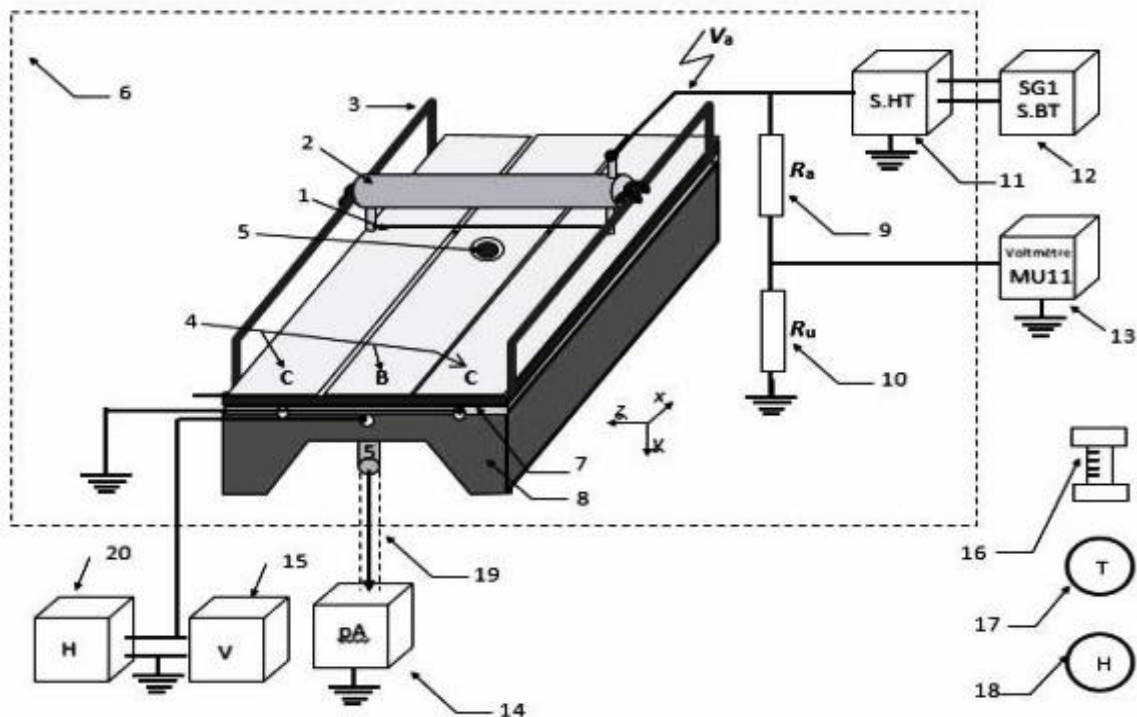


Figure II. 11: Constitution du dispositif expérimental.

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 : Electrodes planes	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

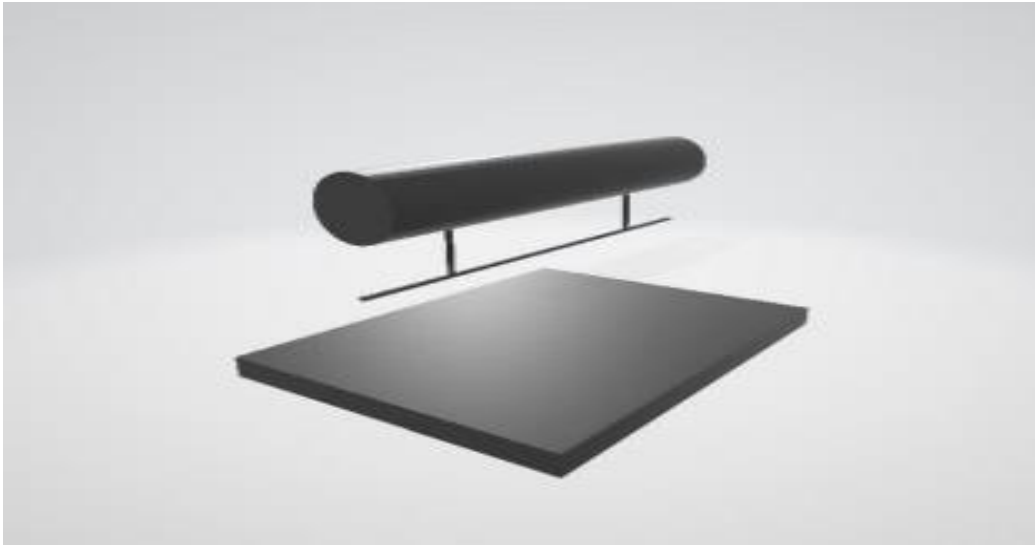
### II.2.3.1.1. Constitution de la configuration fil-cylindre

Ce système est constitué principalement d'une électrode active (fil très fin) de diamètre  $D = 0.15$  mm, de longueur  $L_f = 220$  mm et d'un cylindre de diamètre  $D_c = 40$  mm figure (II.12). Ce dernier a pour but d'orienter les lignes de champs vers le plan de masse.

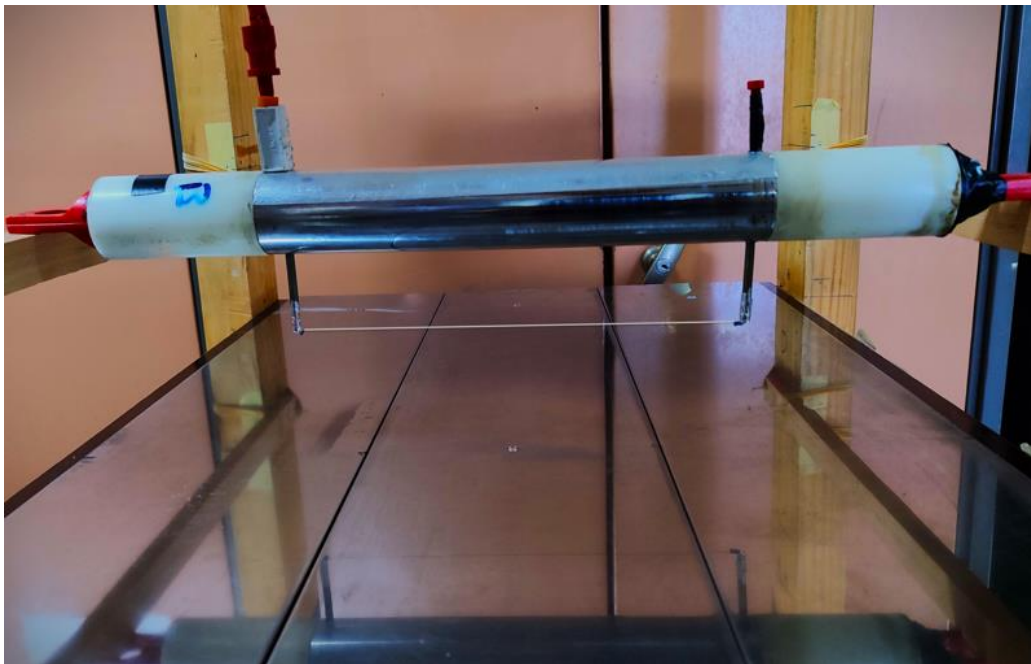


Figure II. 12: Dispositif expérimental configuration Duale (fil-cylindre).





*Figure II. 13: Schéma du principe d'un système de décharge en configuration dual.*

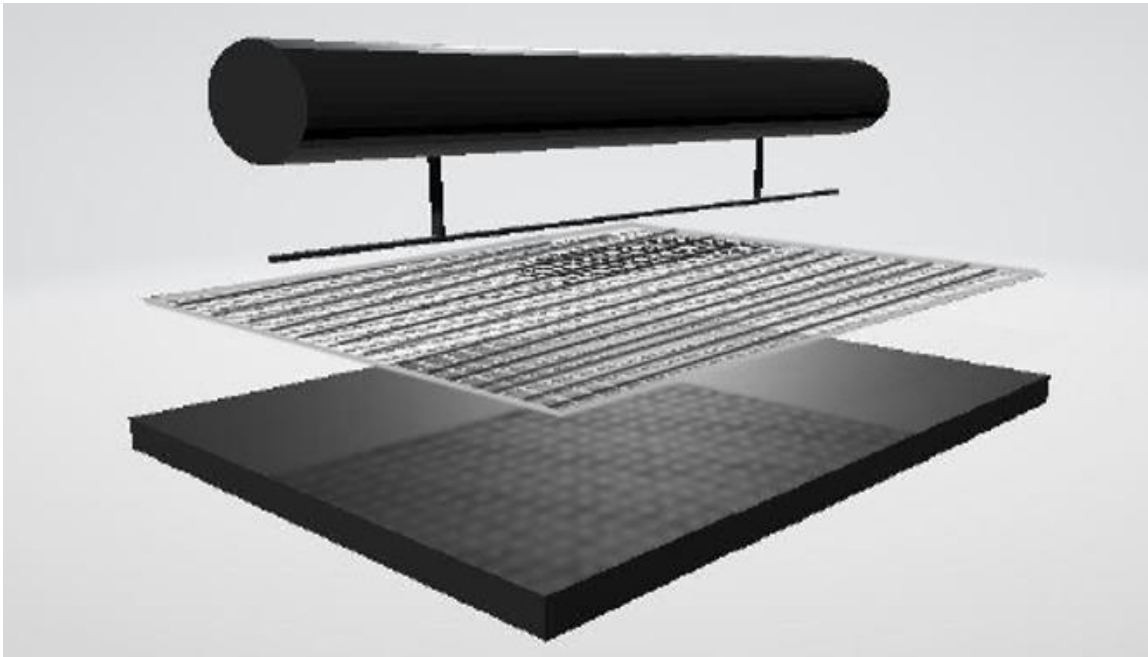


*Figure II. 14: Vue longitudinale du dispositif d'électrodes de la configuration Duale-Plan.*

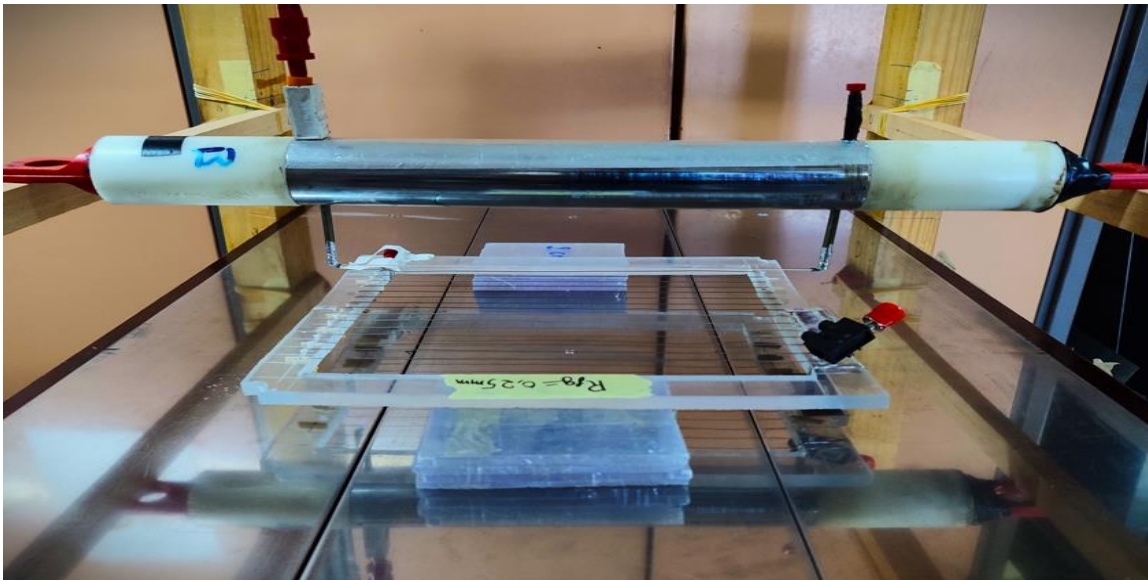
### **II.2.3.2 Système de la décharge couronne en configuration triode**

La configuration triode est une méthode efficace pour contrôler le dépôt de charges électriques lors de la décharge couronne, en utilisant une grille intermédiaire pour réguler le potentiel de surface. Cette configuration « triode » représentée dans la figure (II.15), est composée de l'électrode duale « fil-cylindre » et d'une grille métallique, placée entre le fil de l'électrode duale « fil-cylindre » et l'électrode plane reliée à la terre. La grille métallique est reliée à la terre via une résistance électrique figure (II.16) où son potentiel dépend de cette résistance et de la tension appliquée à la source.

L'électrode active (fil) génère la décharge couronne qui produit des ions positifs ou négatifs selon sa polarité. La grille portée à un potentiel plus faible que l'électrode active mais de même polarité, permet de contrôler le niveau du potentiel de surface et d'obtenir un dépôt de charge plus uniforme sur le diélectrique placé sur le plan de masse. Cette configuration est utilisée pour contrôler la valeur de potentiel et aussi pour la charge des films ou des médias non-tissés isolants. C'est pour cela que plusieurs recherches ont visé plus particulièrement cette configuration d'électrode.



*Figure II. 15: Schéma du principe d'un système de décharge en configuration triode.*



*Figure II. 16: Décharge couronne dans le système triode.*

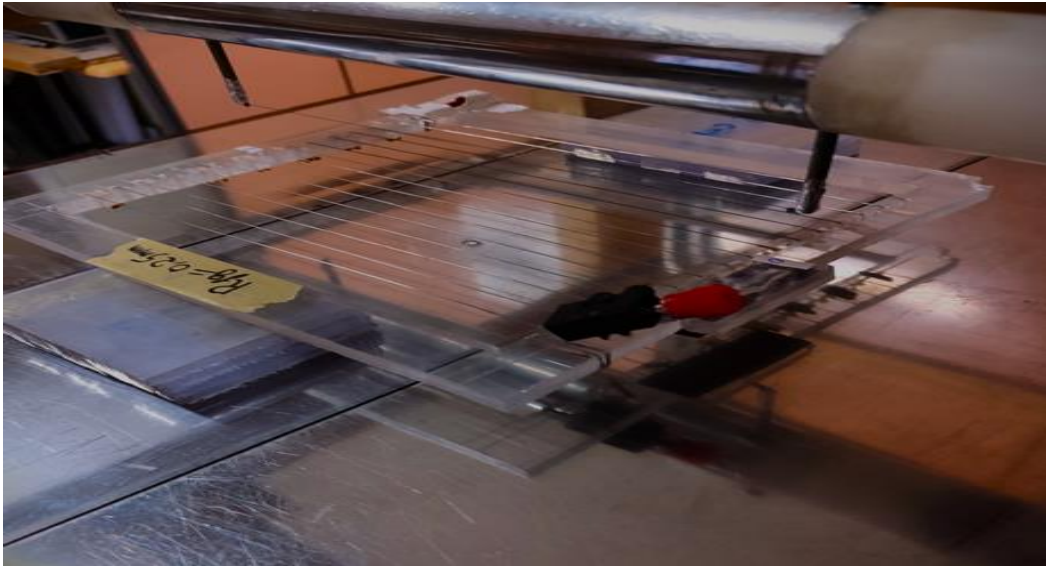


Figure II. 17: Vue de côté de la configuration triode.

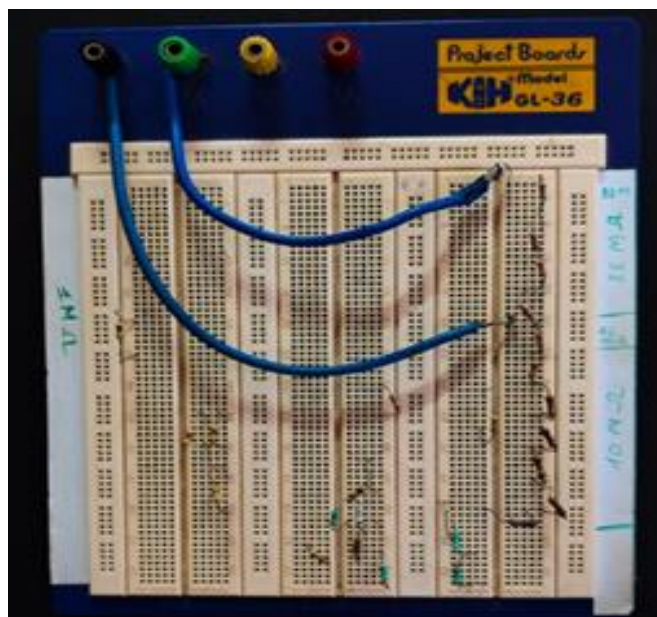
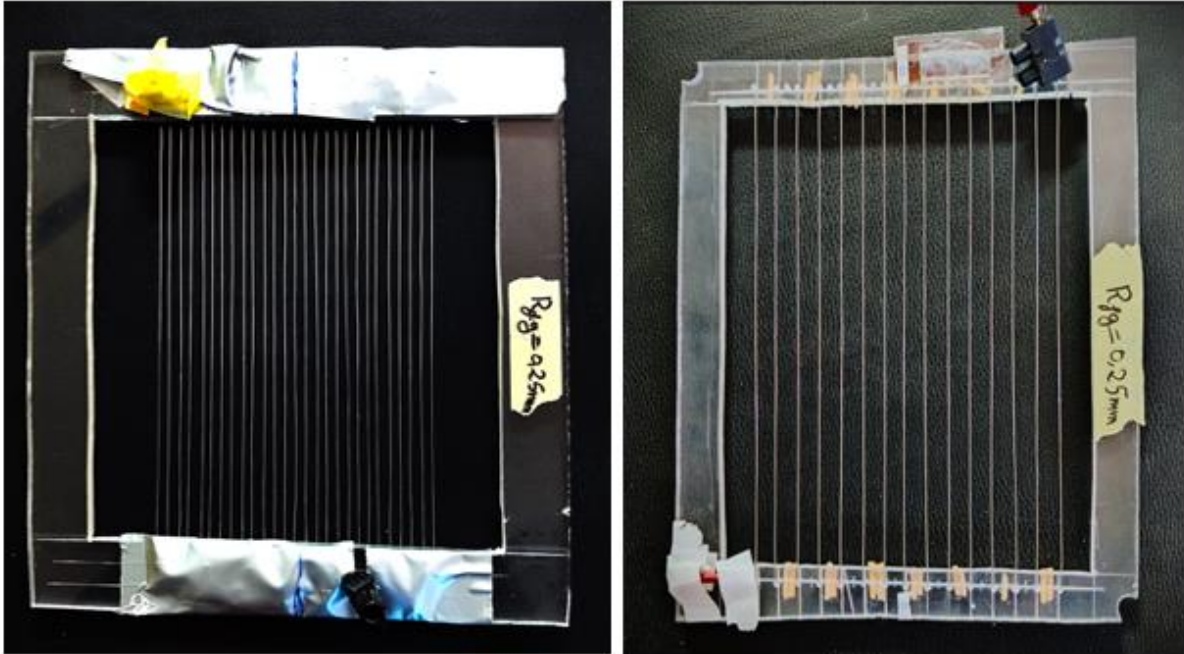


Figure II. 18: Résistances électrique.

#### II.2.3.2.1. Grille métallique

Dans notre étude expérimentale nous avons utilisé deux types de grilles métalliques. Elles se composent 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  $R_g=0.25$  mm. L'espace entre les fils est  $e_s$  (1cm et 0.5 cm), comme l'illustre sur la figure (II.19).

La grille doit être placée de manière parallèle au plan de référence et centrée sur la sonde. Il faut laisser quelques centimètres d'espace entre la grille et la sonde. Plusieurs essais ont été réalisés en faisant varier la distance entre la grille et la sonde.



*Figure II. 19: Photos des grilles métalliques.*

### II.3. Conclusion

Nous avons décrit dans ce chapitre le dispositif expérimental utilisé dans notre étude. L'objectif de cette étude est d'analyser l'influence de certains paramètres sur la décharge couronne, tels que les caractéristiques courant-tension et les densités de courant, pour les deux configurations de la décharge couronne de deux grilles avec un espacement entre les fils « 5mm et 10mm ». Les résultats de ces expériences seront présentés dans le chapitre suivant.



# CHAPITRE III

### III.1. Introduction

Dans le but d'analyser l'influence de la grille sur la décharge couronne, une étude expérimentale a été réalisée. Ce chapitre est consacré à la présentation et à l'interprétation des résultats expérimentaux obtenus au sein du laboratoire de haute tension de l'université de Bejaïa.

Nous débuterons par la présentation des résultats expérimentaux de la caractéristique courant-tension de la décharge couronne en géométrie triode (fil-cylindre-grille) où plusieurs paramètres ont été mesurés à l'aide d'un voltmètre et d'un micro-ampèremètre. Nous avons relevé la tension seuil d'apparition de la décharge couronne et fait varier la distance grille plan ( $d_g$ ), la distance inter électrode ( $H$ ), la polarité de la tension appliquée, l'espacement des fils de la grille ( $e_s$ ) et la résistance connectée à la grille ( $R_g$ ).

Par la suite, nous présenterons les résultats obtenus de la densité de courant mesuré grâce à la sonde circulaire de TASSICKER. Les mesures ont été effectuées pour différents paramètres : tension appliquée, la tension de la grille ( $V_g$ ), distance grille plan ( $d_g$ ), distance inter électrode ( $H$ ), espacement des fils de la grille ( $e_s$ ), la résistance de la grille ( $R_g$ ).

Les résultats obtenus nous ont permis de mieux comprendre le phénomène de la décharge couronne en géométrie triode dont la grille est en nappes de fil.

### III.2. Caractéristique courant tension de la décharge couronne.

La caractéristique courant-tension de la décharge couronne suit une relation non linéaire. Elle peut être exprimée par l'équation empirique suivante :

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

Où  $I$  est le courant de décharge,  $V$  est la tension appliquée,  $V_s$  est la tension seuil pour l'apparition de l'effet couronne, et  $K$  est une constante qui dépend de la mobilité moyenne des ions dans le gaz.

Comprendre ces caractéristiques est important pour comprendre le comportement et les propriétés de la décharge couronne.

Afin d'étudier et caractériser les différents paramètres influencent sur la décharge couronne, nous avons étudié l'aspect de la caractéristique courant tension pour la configuration triode (fil-cylindre-grille) .la figure (III.1) illustre une coupe en 2D de notre géométrie.

Avec :

$D_c = 40$  mm (le diamètre du cylindre).

$d_g = 20$ mm, 30mm et 40mm (distance entre le grille-plan).

$D = 40$  mm (la distance entre le fil et le cylindre).

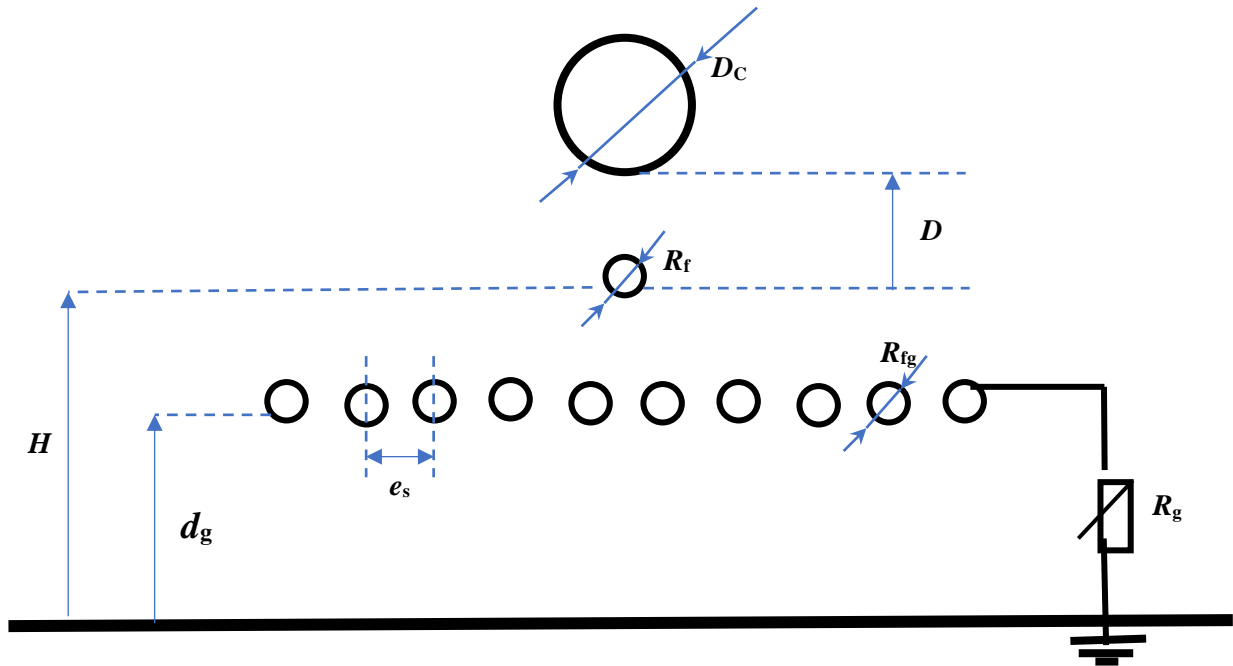
$e_s = 5$ mm et 10mm (espacements entre les fils de la grille).

$H = 70$ mm et 60mm (distance entre le cylindre-plan).

$R_f = 0.15$  mm (rayon de fil).

$R_{fg} = 0.25$ mm (rayon de fil de la grille).

$R_g$  = la résistance de la grille.



*Figure III. 1: Schéma du principe de mesure de la configuration triode.*

Dans cette configuration, certains ions générés par l'électrode duale sont attirés vers le plan de masse à travers les pores de la grille et d'autres ions sont acheminés à la terre via la résistance de grille, appelée  $R_g$ . Le produit de cette résistance et du courant  $I_g$  circulant dans la grille impose le potentiel de la grille  $V_g$  [26].

### III.2.1. Effet de la polarité de la tension appliquée

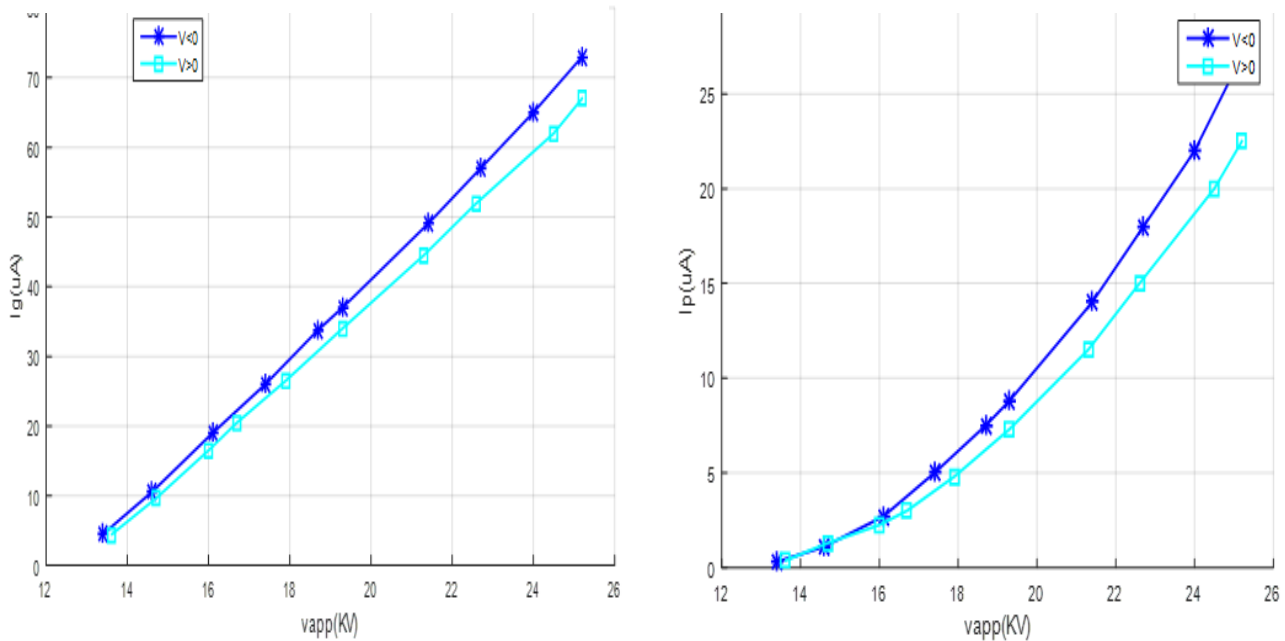


Figure III. 2: Caractéristique I(V) à différentes polarités pour  $H=60\text{mm}$ ,  $D_c=40\text{mm}$ ,  $R_f=0.15\text{ mm}$  et  $D=40\text{mm}$ ,  $e_s=10\text{mm}$ .

La figure (III.2) montre l’allure de la caractéristique courant-tension de la configuration triode « fil-cylindre-grille », pour les deux polarités (positive et négative). On a utilisé les paramètres suivant de l’électrode triode :  $D_c=40\text{mm}$ ,  $D=40\text{mm}$ ,  $H=60\text{mm}$  et  $R_f=0.15\text{mm}$ , et de la grille métallique :  $R_{fg}=0.25\text{mm}$ ,  $e_s= (10\text{mm et } 5\text{mm})$ ,  $R_g=95\text{Mohm}$  et  $d_g=30\text{mm}$ .

On remarque que la tension d’apparition (seuil) de la décharge couronne négative est plus faible comparée à la décharge positive ( $V_{s-} < V_{s+}$ ). De plus, le courant  $I_p$  et  $I_g$  de polarité Négative est supérieure à celui généré en polarité positive. Cela est dû à une mobilité des porteurs de charge plus importante en polarité négative ( $\mu^- > \mu^+$ ).

Toutefois, la plupart des caractéristiques (I-V) présentées dans ce chapitre ont été réalisées en polarité positive, avec laquelle la décharge couronne est plus stable (leur continue), facilitant ainsi les mesures des courants de couronne à l’aide d’un simple microampèremètre. La difficulté rencontrée en polarité négative, est que le courant produit par la décharge couronne est sous forme d’impulsions « Trichel » fortement variables [29].

### III.2.2. Effet de distance de la grille (d<sub>g</sub>)

Les figures (III. 3) et (III.4) illustrent l’effet de la hauteur Grille-Plan ( $d_g$ ) sur les caractéristiques I(V) des courants de la décharge récoltés au plan et sur la grille respectivement. L’étude a été faite pour :  $d_g=20, 30\text{mm}$  et  $40\text{mm}$ , une résistance de grille fixe  $R_g=97\text{ M}\Omega$ ,

$D_c=40\text{mm}$ ,  $D=40\text{mm}$ ,  $H=60\text{mm}$  et  $R_f=0.15\text{mm}$ . La grille métallique est caractérisée par :  $R_{fg}=0.25\text{mm}$  et  $e_s=10\text{mm}$ .

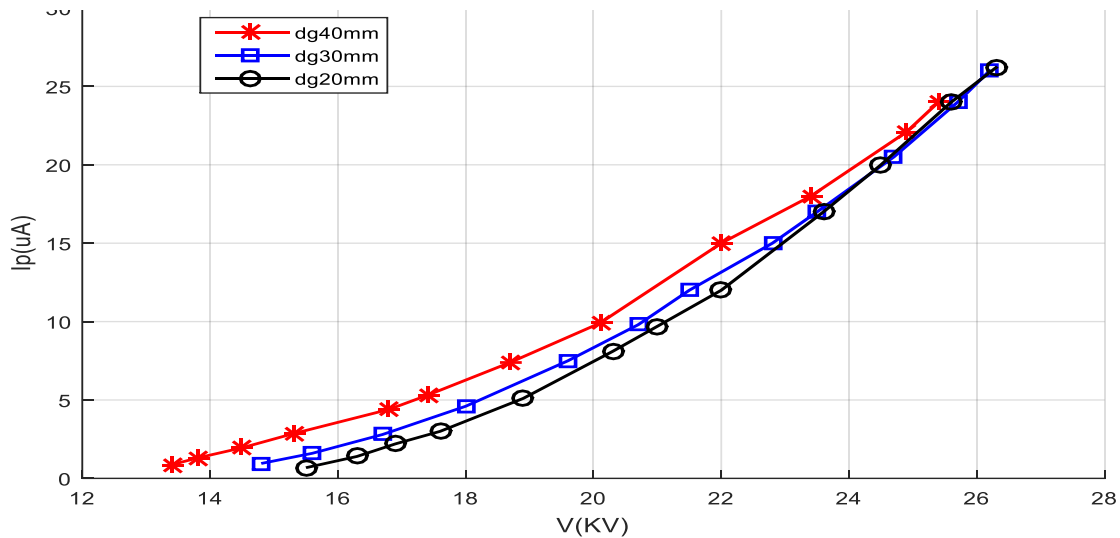


Figure III. 4: caractéristique  $I(V)$  avec la variation de la distance grille-plan pour le courant du Plan  $I_p$ .  $H=60\text{mm}$ ,  $R_g=97\text{M}\Omega$ .

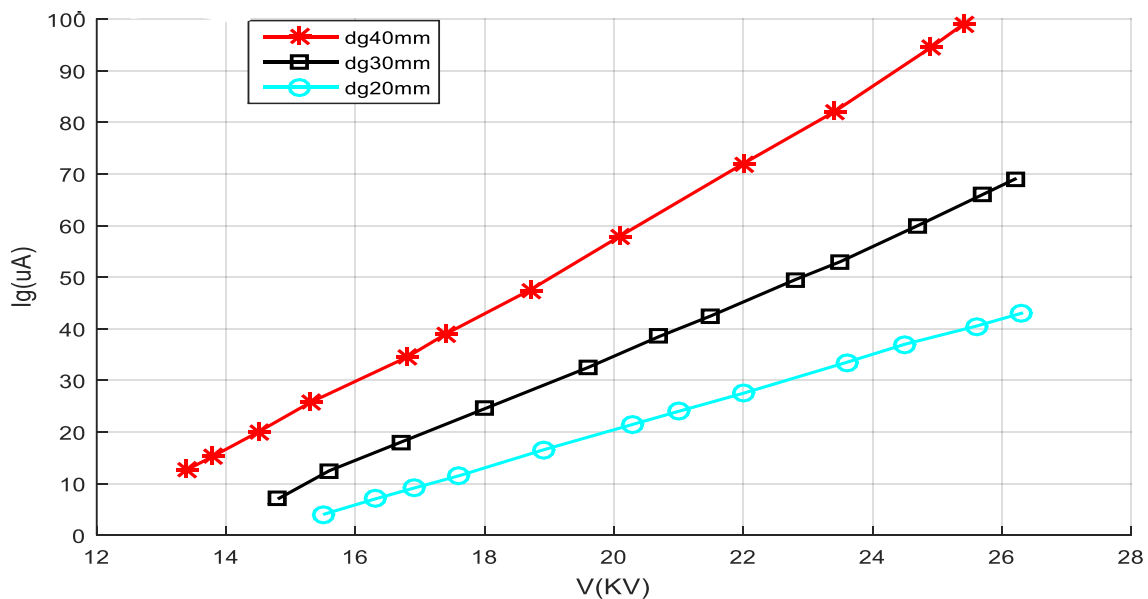


Figure III. 3: caractéristique  $I(V)$  avec la variation de la distance grille-plan, pour le courant de la grille  $I_g$ ,  $H=60\text{mm}$ ,  $R_g=97\text{M}\Omega$ .

En observant les résultats de cette expérience, il apparaît clairement que le courant au plan de mesure est plus important pour les grandes hauteurs Grille-Plan (figure III.3). En effet, lorsque la grille est proche du fil actif, le potentiel de celle-ci ( $V_g$ ) augmente, donnant un courant plus élevé au plan. Cela est dû à une seconde ionisation au niveau de la grille.

On remarque aussi que pour des tensions élevées (à partir de  $25\text{kV}$ )  $d_g$  n'affluence plus sur le courant de charge au niveau du plan.

La figure (III.4) montre que plus la distance  $d_g$  augmente plus le courant au niveau de la grille accroît. En effet, en augmentant la distance  $d_g$ , la grille devient plus proche du fil actif de l'électrode duale donc il capte plus de charges d'espaces.

### III.2.3. Effet de la distance inter-électrode ( $H$ )

Les figures (III.5) et (III.6) illustrent la comparaison, pour deux distances inter-électrodes, de la caractéristique courant tension en géométrie triode où avons utilisé les paramètres suivants :  $D_c=40\text{mm}$ ,  $D=40\text{mm}$  et  $R_f=0.15\text{mm}$ ,  $R_{fg}=0.25\text{mm}$ ,  $e_s=10\text{mm}$ ,  $R_g=95\text{M}\Omega$  et  $d_g=30\text{mm}$ .

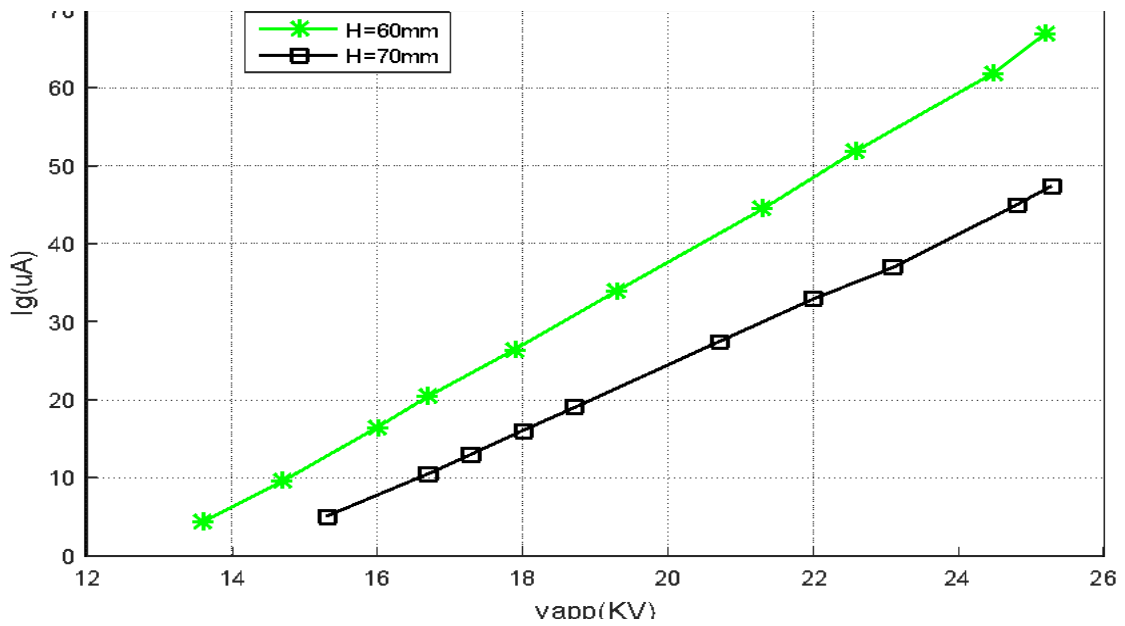


Figure III. 5: caractéristique  $I(V)$  de la décharge couronne en géométrie triode (duale-grille) à différentes hauteurs  $H$  pour le courant de la grille  $I_g$ , ( $R_g=95\text{M}\Omega$  et  $d_g=30\text{mm}$ ).

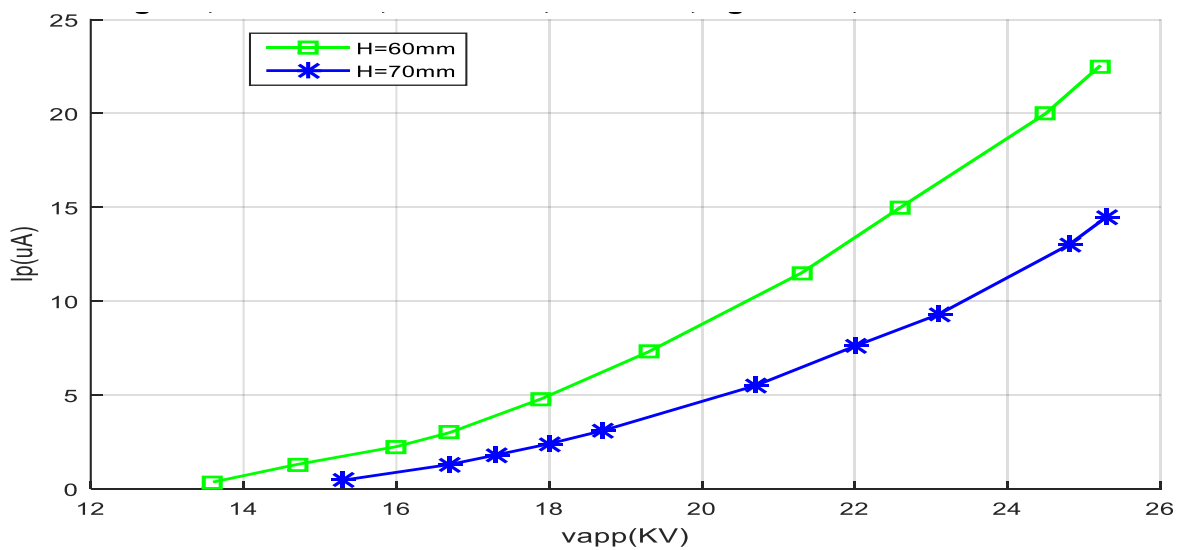


Figure III. 6: caractéristique  $I(v)$  de la décharge couronne en géométrie triode (duale-grille) à différentes hauteurs  $H$  pour le courant du plan  $I_p$  ( $R_g=95\text{M}\Omega$  et  $d_g=30\text{mm}$ ).

On remarque que pour une valeur donnée de  $V_{app}$ , le courant est plus élevé pour la faible hauteur de  $H$  (60mm) et la tension seuil d'apparition de la décharge couronne est plus faible aussi, car plus  $H$  augmente plus le champ  $E$  diminue.

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

### III.2.4. Effet de l'espacement des fils de la grille

Les figures (III.7) et (III.8) représentent la comparaison entre les caractéristiques courant tension en géométrie triode pour deux espacements des fils de la grille ;  $e_s = 10\text{mm}$  et  $5\text{mm}$ . On a utilisé les paramètres suivants :  $D_c=40\text{mm}$ ,  $D=40\text{mm}$  et  $R_f=0.15\text{mm}$ ,  $R_{fg}=0.25\text{mm}$ ,  $R_g=95\text{M}\Omega$  et  $d_g=30\text{mm}$ .

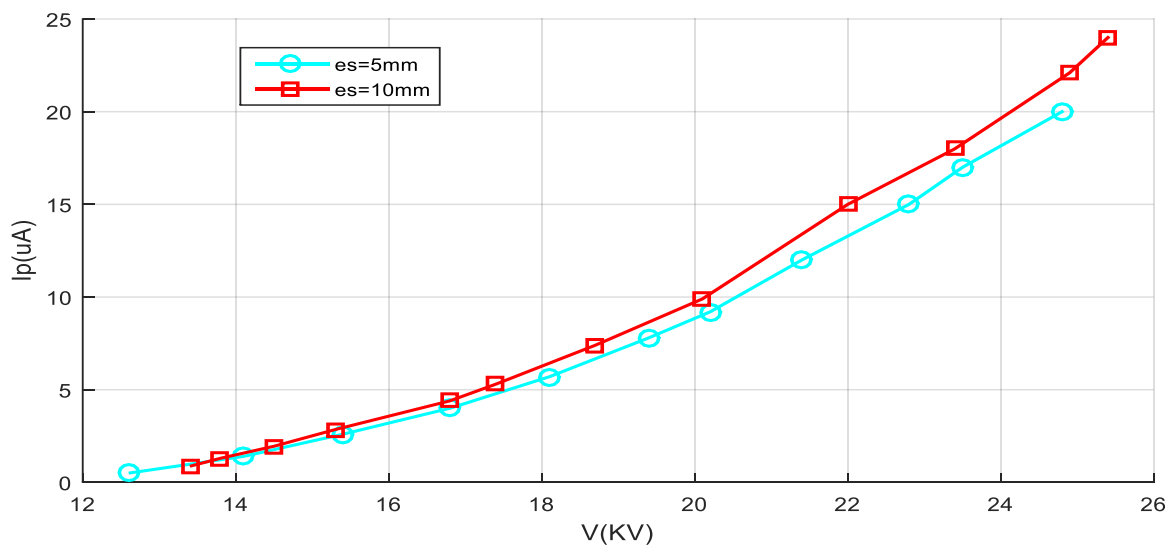


Figure III. 7: Caractéristique  $I(V)$  du courant du plan  $I_p$ , en fonction de la variation de la distance entre les fils de la grille ( $e_s=10\text{mm}$  et  $5\text{mm}$ ) ;  $H= 60\text{mm}$  et  $R_g=97\text{M}\Omega$ .

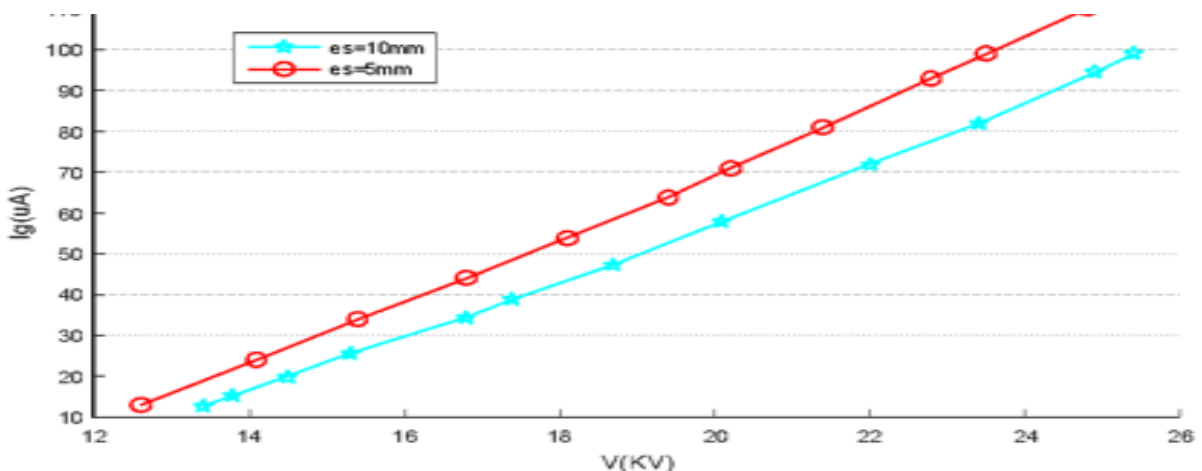


Figure III. 8: Caractéristique  $I(V)$  du courant de la grille  $I_g$ , en fonction de la variation de la distance entre les fils de la grille  $e_s= (10\text{mm}$  et  $5\text{mm})$  ;  $H= 60\text{mm}$  et  $R_g=97\text{M}\Omega$ .

On remarque dans la figure (III.7) que le courant au niveau du plan est plus élevé pour  $e_s=10\text{mm}$  que pour  $e_s=5\text{mm}$ , car les charges d'espaces dérivent en grandes quantités vers le plan. Ainsi que la tension de seuil d'apparition de la décharge couronne est plus faible pour un petit espacement des fils.

La figure (III.8) montre que plus l'espacement des fils de la grille est petit plus le courant au niveau de la grille accroit, car les charges d'espaces se piègent au niveau de la grille.

### III.2.5. Influence de la résistance de la grille $R_g$

La configuration triode est caractérisée par deux courants qui décrivent la décharge couronne :

- Le courant de grille  $I_g$ , qui est égal à  $V_g/R_g$ , où  $V_g$  est la tension appliquée à la grille et  $R_g$  est la résistance de la grille.
- Le courant  $I_p$ , qui est le courant collecté au niveau du plan relié à la terre.

Les figures (III.9) et (III.10) montrent respectivement la caractéristique  $I_g(V)$  et  $I_p(V)$  pour différentes valeurs de  $R_g$ . Les paramètres utilisés sont :  $D_c=40\text{mm}$ ,  $D=40\text{mm}$  et  $R_f=0.15\text{mm}$ ,  $R_{fg}=0.25\text{mm}$ ,  $e_s=10\text{mm}$ ,  $H=60\text{mm}$  et  $D_g=30\text{mm}$ ,  $R_{g1}=69\text{M}\Omega$ ,  $R_{g2}=137\text{M}\Omega$ ,  $R_{g3}=204\text{M}\Omega$ .

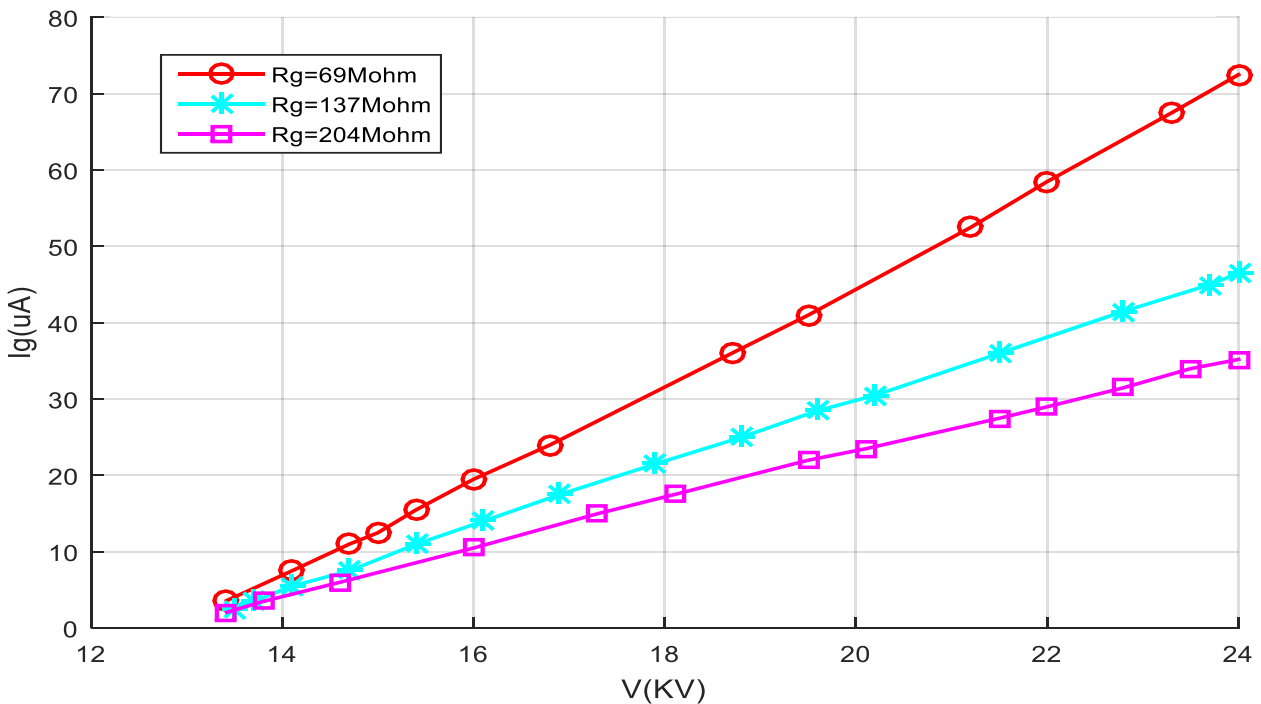


Figure III. 9: Effet de variation de la résistance de la grille  $R_g$  sur le courant de la grille  $I_g$



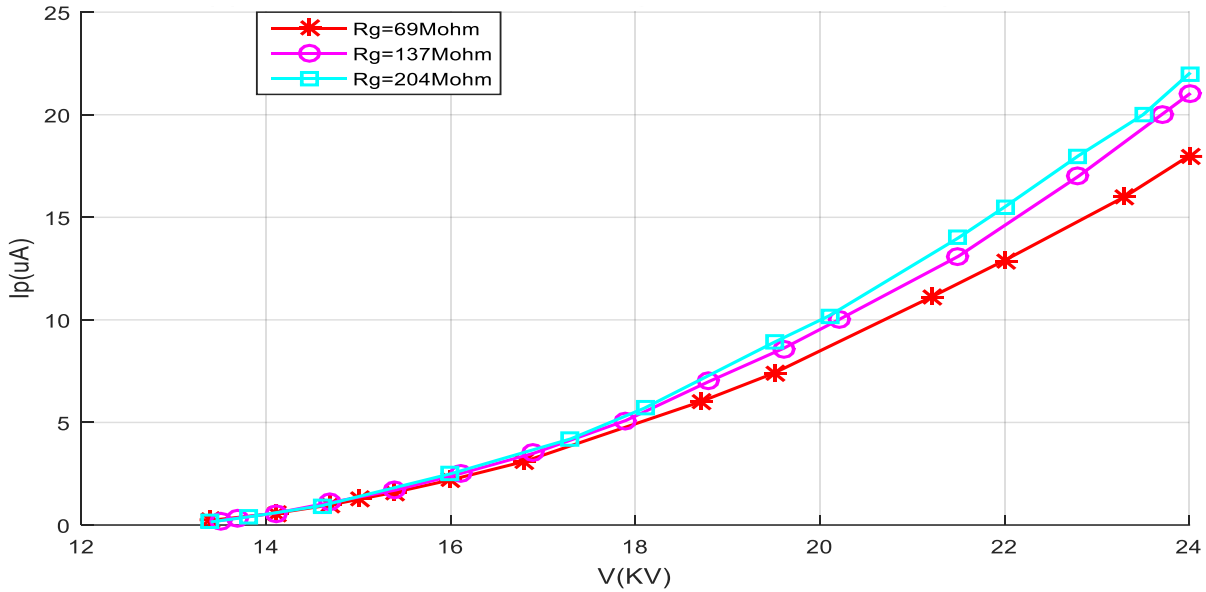


Figure III. 10: Effet de variation de la résistance de la grille  $R_g$  sur le courant de plan  $I_p$

On remarque que l'augmentation de la résistance  $R_g$  fait diminuer le courant de grille  $I_g$ , car la différence de potentiel entre le fil et la grille ( $\Delta V = V_{app} - V_g$ ) diminue en augmentant  $R_g$ .

En revanche, le courant  $I_p$  mesuré sur le plan augmente lorsque  $R_g$  augmente. En effet, l'augmentation de la résistance  $R_g$  fait augmenter la tension de la grille  $V_g$ , ce qui fait augmenter le phénomène de l'ionisation secondaire entre la grille et le plan.

### III.3. Densité de courant ( $J$ )

La valeur de la densité de courant ( $J$ ) est obtenue à partir de l'équation (III.1), qui divise le courant  $I_s$  mesuré par le pico-ampèremètre par la surface effective de la sonde ( $S_m = \pi \cdot r_m^2 = 18.4745 \text{ mm}^2$ ).

$$J = \frac{I_s}{S_m} \tag{III.2}$$

Les mesures de  $J$  sont faites le long du plan de mesure (de position (-6 cm) à la position (+6 cm)). Cela afin de montrer la symétrie de la configuration par rapport à  $x = 0$ .

III.3.1. L'influence de la tension appliqué ( $V_{app}$ ) sur la densité de courant

Les figures (III.11 et III.12) montrent la distribution de la densité de courant  $J$  ( $\text{mA}/\text{m}^2$ ) le long du plan de mesure en fonction des niveaux de tension appliqués qui sont respectivement 20 kV ,22 kV et 24kV pour deux distances  $d_g$  de la grille (20mm, 30mm).

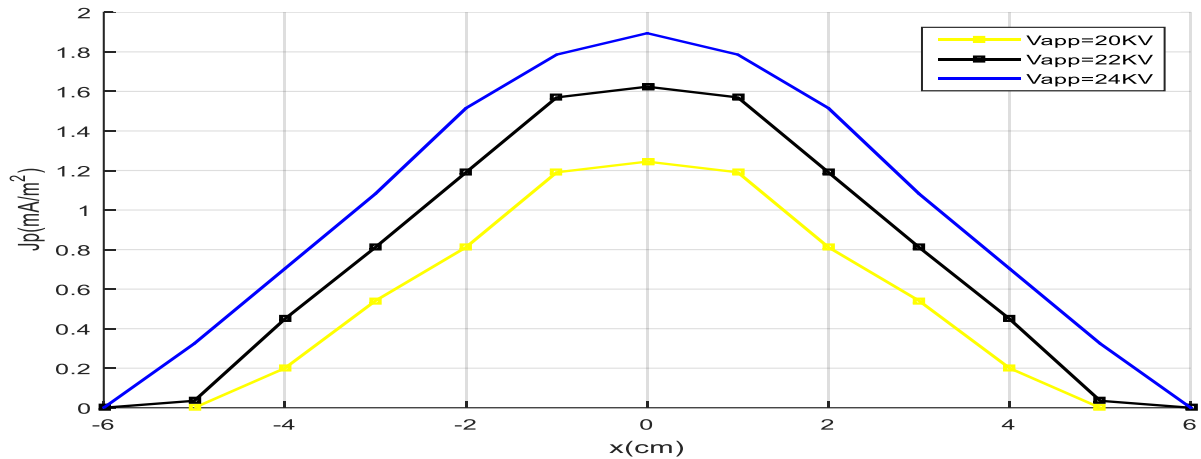


Figure III. 11: Effet de variation de la tension appliqué sur la densité de courant  $J$ ,  $d_g=20\text{mm}$

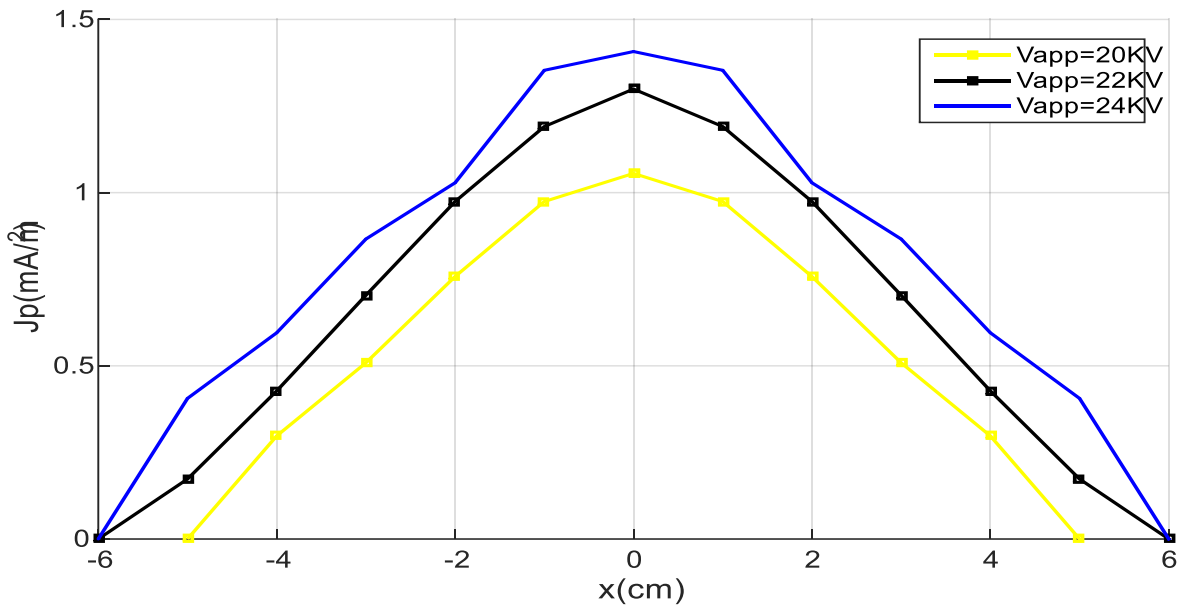


Figure III. 12: Effet de variation de la tension appliqué sur la densité de courant,  $d_g=30\text{mm}$

Les allures des densités de courant sont en forme de cloche, tel que la valeur de  $J$  est élevée au point  $x=0$  puis diminue au fur et à mesure que la distance  $x$  augmente. En outre, la courbe de  $J$  est plus élevée pour  $V_{app} = 24$  kV que pour 22 kV et 20 kV. L'explication qu'on peut apporter à cette observation est que le champ est plus élevé pour des tensions appliquées élevées.

III.3.2. L'influence de la distance de la grille ( $d_g$ ) sur la densité de courant

Les figures (III.13 et III.14) montrent la distribution de la densité de courant  $J$  (mA/m<sup>2</sup>) le long du plan de mesure en fonction de la distance grille-plan  $d_g$ .

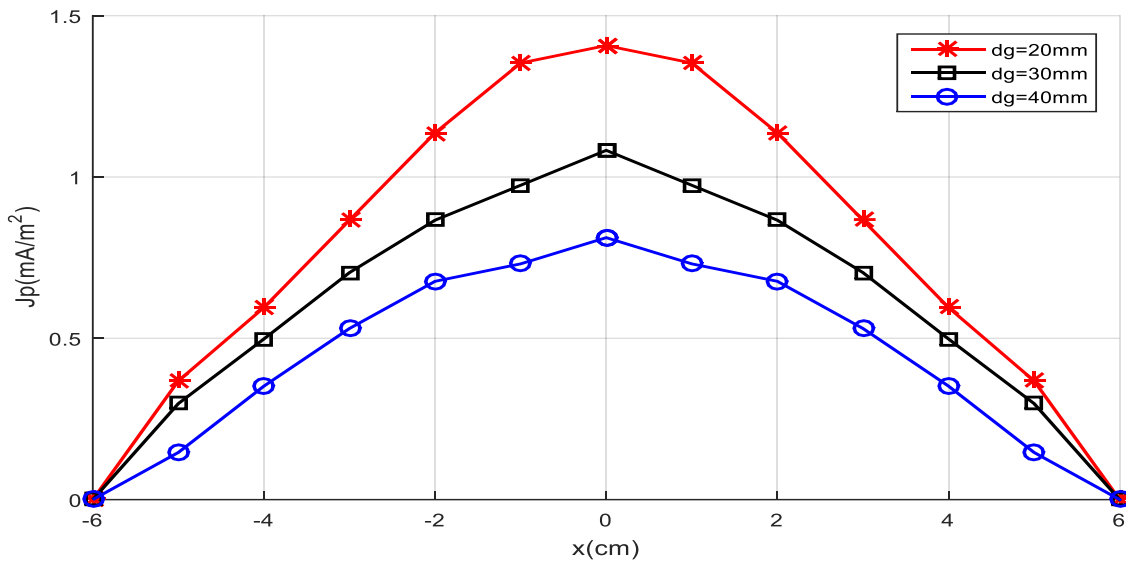


Figure III. 14: Effet de variation de la distance grille-plan sur la densité de courant pour  $V_{app}=24kV$

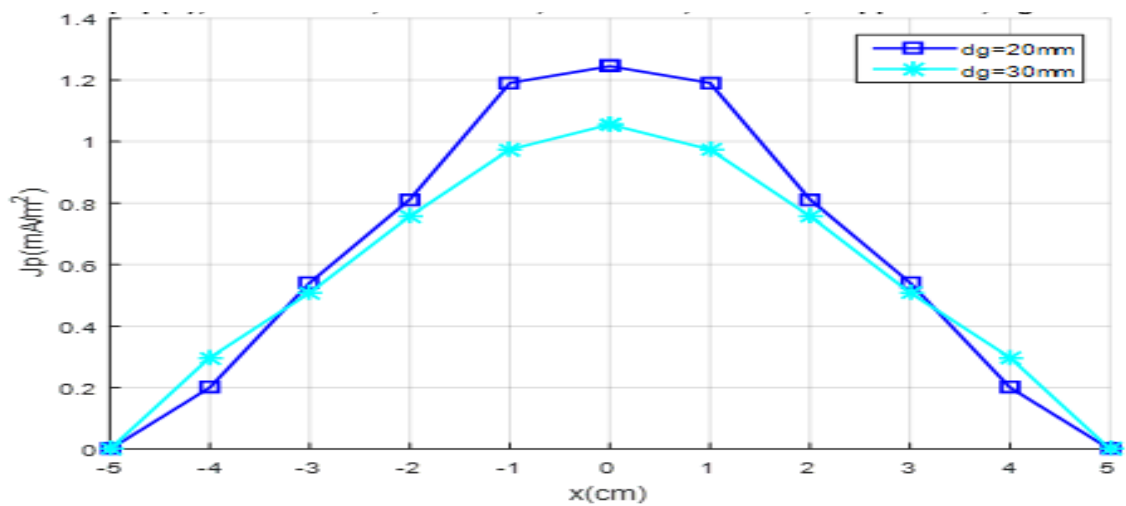


Figure III. 13: Effet de variation de la distance grille-plan sur la densité de courant pour  $V_{app}=20kV$

On remarque sur les deux figures que l'augmentation de  $d_g$  entraîne une décharge plus large mais avec une intensité réduite. Cela est due à une baisse du champ électrique moyen ( $E_{moy} = V_g/D_m$ ) [30].

### III.3.3. L'influence de la hauteur (fil-plan) sur la densité de courant

Les figures III.15 et III.16 montrent la distribution de la densité de courant  $J$  ( $\text{mA}/\text{m}^2$ ) le long du plan de mesure en fonction de la hauteur  $H$ .

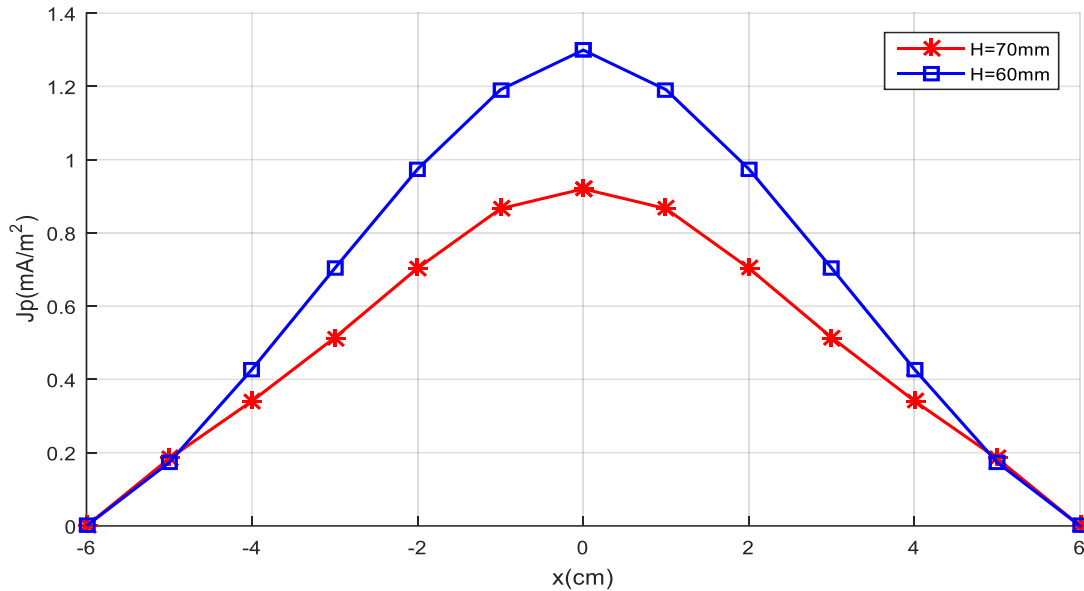


Figure III. 15: Effet de variation de la hauteur  $H$  sur la densité de courant  $J$  ;  $V_{app}=22\text{kV}$

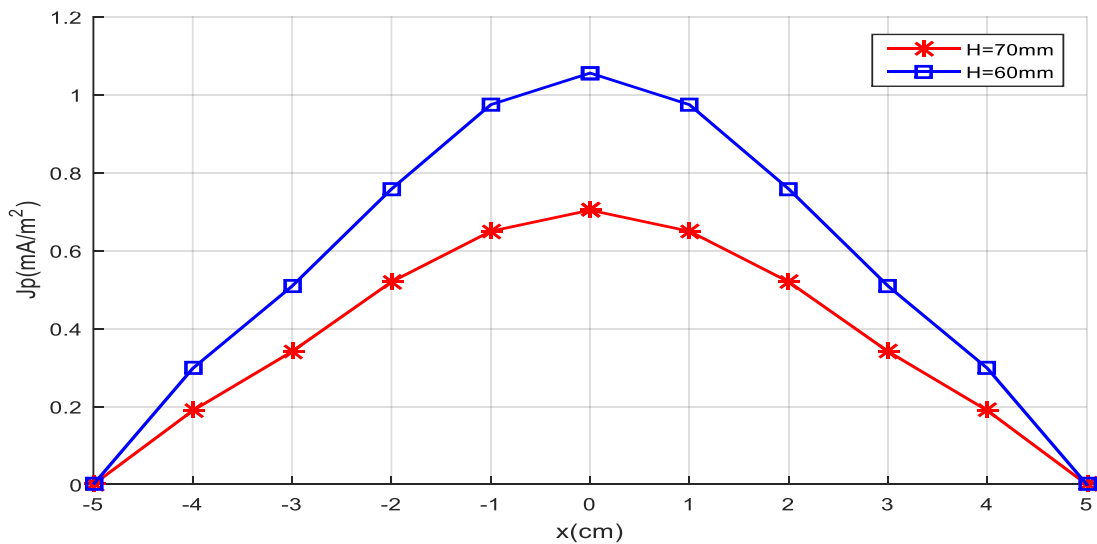
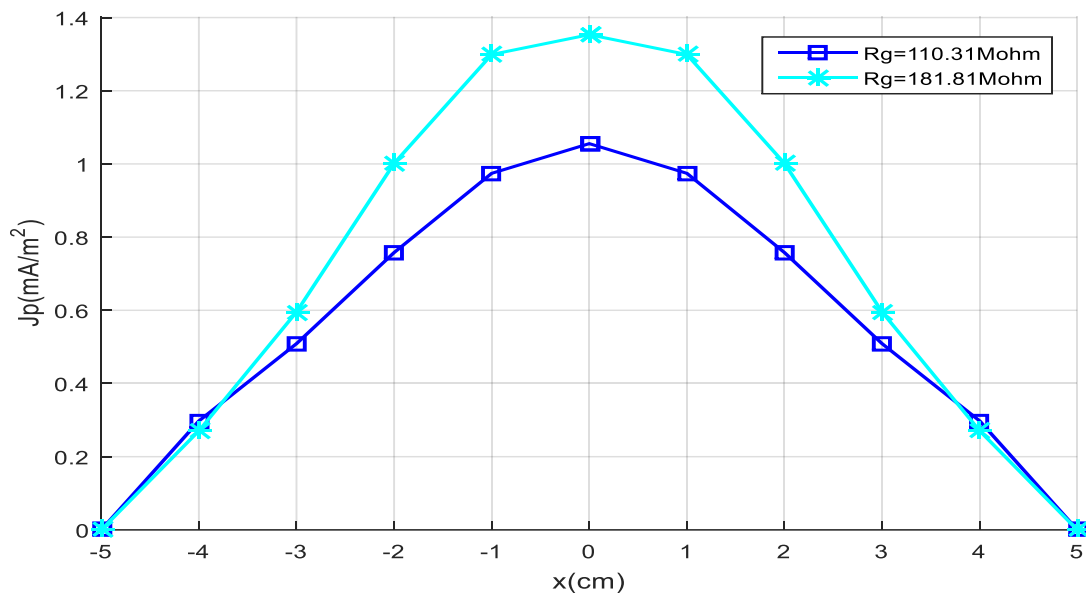


Figure III. 16: Effet de variation de la hauteur  $H$  sur la densité de courant  $J$  ;  $V_{app}=20\text{kV}$

On remarque que les valeurs de  $J$  pour  $H=60\text{mm}$  sont plus élevées que celles pour  $H=70\text{mm}$ . C'est dû aussi au fait qu'en diminuant  $H$  la grille se trouve à un potentiel plus élevé. Ce phénomène est lié à l'augmentation du champ électrique entre les électrodes avec la diminution de la hauteur  $H$  ce qui a été expliqué précédemment pour les caractéristiques  $I(V)$ .

### III.3.4. L'influence de la résistance de la grille ( $R_g$ ) sur la densité de courant

La figure (III.17) montre la distribution de la densité de courant  $J$  ( $\text{mA}/\text{m}^2$ ) le long du plan de mesure en fonction de la résistance de la grille  $R_g$  ( $110.31\text{M}\Omega$  et  $181.81\text{M}\Omega$ )



*Figure III. 17: Effet de variation de la résistance de la grille sur la densité de Courant  $J$  ( $V_{app}=20\text{kV}$ )*

On remarque dans cette figure que la résistance de la grille influe sur la densité de courant au niveau du plan. En effet, une grande résistance de la grille permet d'avoir un courant au niveau du plan plus élevé car plus la résistance augmente plus le courant de la grille diminue ce qui implique que le courant au niveau de la sonde augmente.

### III.3.5. L'influence de l'espacement des fils de la grille ( $e_s$ ) sur la densité de courant

Les figures (III.18) illustre la comparaison entre les densités de courant pour deux espacements de la grille  $e_s$  (10mm et 5mm), avec les paramètres suivants :  $D_c=40\text{mm}$ ,  $D=40\text{mm}$  et  $R_f=0.15\text{mm}$ ,  $R_{fg}=0.25\text{mm}$ ,  $R_g=181.04\text{M}\Omega$ ,  $H=60\text{mm}$ ,  $V_{app}=20\text{kV}$  et  $d_g=30\text{mm}$ .

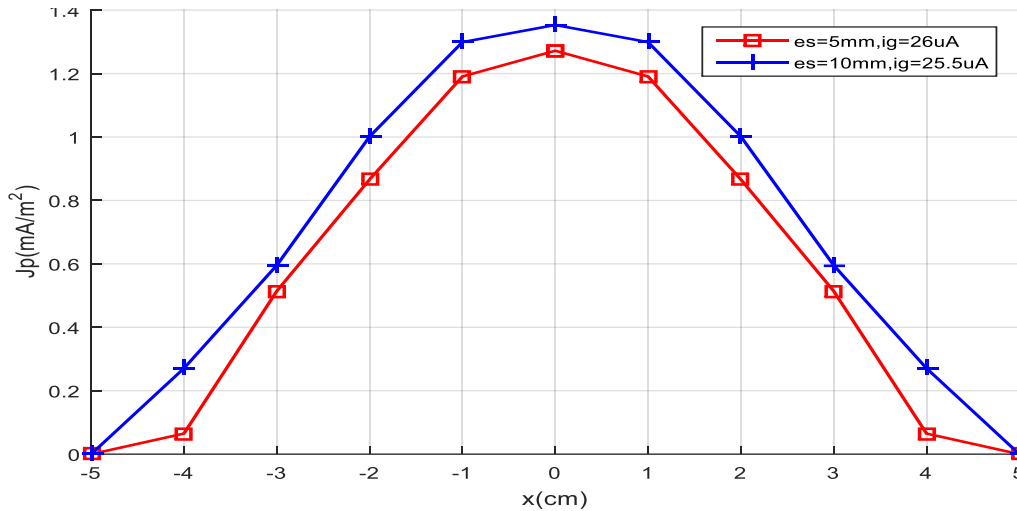


Figure III. 18: Effet de l'espacement des fils de la grille ( $e_s$ ) sur la densité de Courant  $J$  pour  $V_{app}=20kV$

On remarque dans la (figure III.18) que la densité de courant au niveau du plan est plus élevée pour un espacement de la grille  $e_s=10mm$ , donnant aussi une densité de courant plus large.

En effet l'agrandissement de l'espace entre les fils de la grille permet aux charges d'espace de circuler plus librement vers le plan sans être capturées par la grille.

### III.3.6. L'influence de la tension de la grille ( $V_g$ ) sur la densité de courant

Les figures (III.19 et III.20) montrent la distribution de la densité de courant  $J$  ( $mA/m^2$ ) au plan pour deux valeurs de la tension de la grille  $V_g$  (3.5 kV et 5 kV).

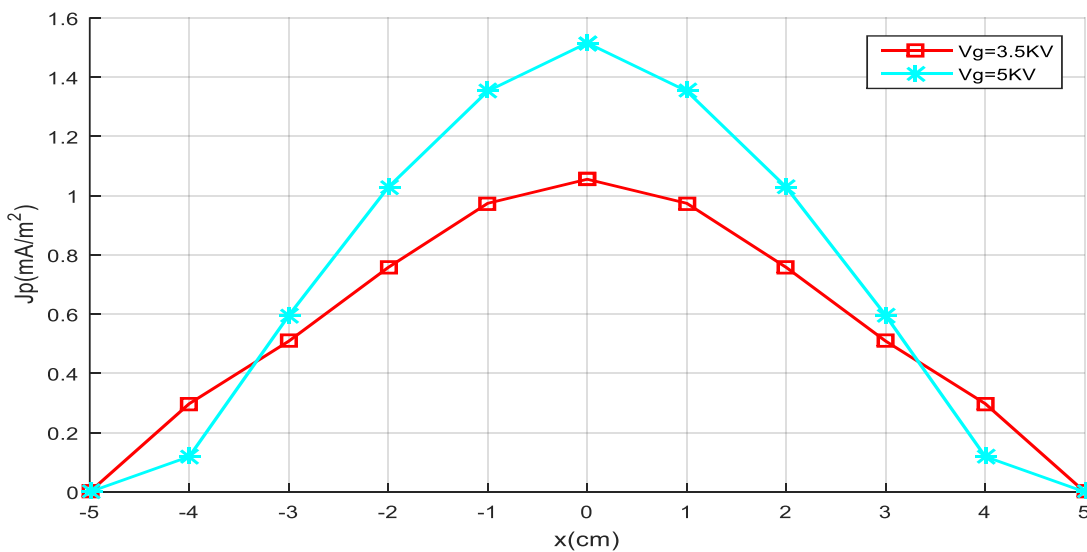
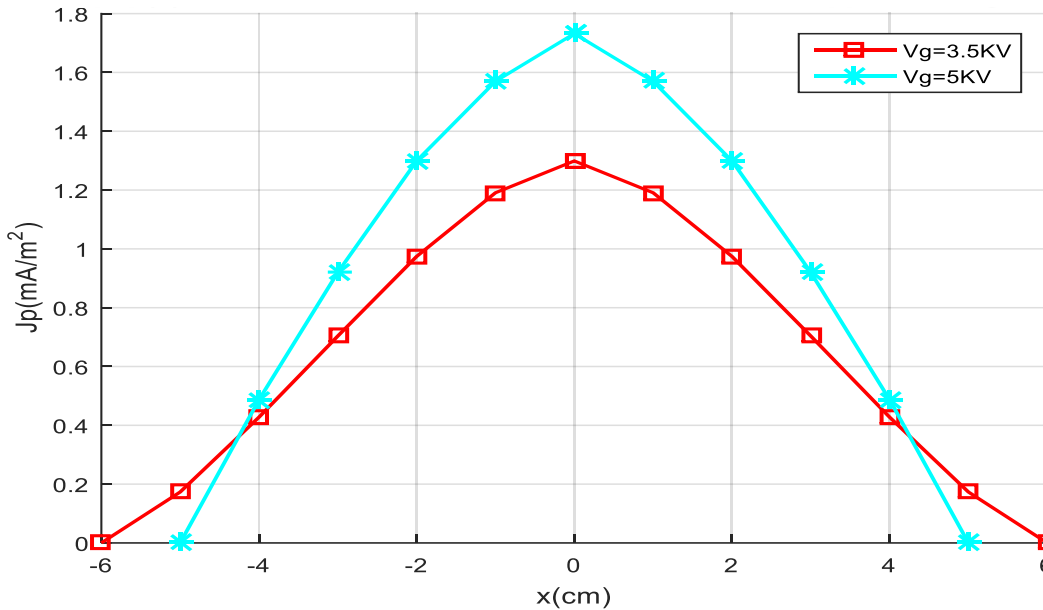


Figure III. 19: Effet de la tension de la grille ( $V_g$ ) sur la densité de courant  $J$  ;  $V_{app}=20kV$



**Figure III. 20:** Effet de la tension de la grille ( $V_g$ ) sur la densité de courant  $J$  ;  
 $V_{app} = 22\text{ kV}$

Les deux figures indiquent que la décharge couronne est plus étendue pour la tension  $V_g = 3.5\text{ kV}$ . Donc la diminution du potentiel  $V_g$  provoque une décharge couronne plus étendue [30].

Mais nous remarquons aussi que l'intensité est plus élevée pour  $V_g = 5\text{ kV}$  que pour  $V_g = 3.5\text{ kV}$  [30].

### III.4. Conclusion

Afin de caractériser l'électrode triode de la décharge couronne, puisqu'elle est utilisée dans des processus électrostatiques (séparation ou précipitation), il est nécessaire de déterminer la caractéristique courant-tension et la densité de courant.

Les résultats expérimentaux du chapitre 2 ont été décrit et interprété dans ce chapitre. Les résultats obtenus nous ont permis d'étudier les différents paramètres qui influent sur la décharge couronne en géométrie d'électrode triode.

Pour l'électrode de type triode étudié dans ce travail, le courant de couronne dépend de la distance grille plan  $d_g$ , la tension de la grille  $V_g$ , la distance inter électrode  $H$  et l'espacement entre les fils de la grille.

En tenant compte des conditions expérimentales dans lesquelles nous avons travaillé, nous pouvons dire que les résultats obtenus sont satisfaisants et en accord avec plusieurs théories.

# CONCLUSION GÉNÉRALE



## **Conclusion générale**

L'objectif principal de notre étude est l'étude expérimentale de la décharge couronne dans la configuration Triode et d'étudier les différents paramètres influant son comportement.

Les résultats de notre étude montrent que :

- ❖ La décharge couronne est plus intense pour des tensions appliquées plus élevées.
- ❖ Le courant sur le plan est plus élevé pour des rayons de fils de conducteurs plus faibles.
- ❖ La distance entre la grille et le plan influe sur le dépôt de charge.
- ❖ Espacement entre les fils de la grille n'influe pas sur la décharge couronne pour des tensions appliquées élevées.
- ❖ L'insertion de la grille entre les électrodes entraîne une nette diminution du courant collecté par le plan.
- ❖ La polarité de la tension : La décharge est plus intense avec une polarité négative.
- ❖ Le courant capté par la grille augmente avec le rapprochement de l'électrode active.
- ❖ Le courant de la grille augmente avec la tension appliquée, la loi de variation est quadratique.

Comprendre ces caractéristiques est important pour comprendre le comportement et les propriétés de la décharge couronne.

Enfin, nous espérons que ce travail soit complété à l'avenir par la mesure du champ électrique et servira de base pour d'autres études s'intéressant à la décharge couronne dans cette configuration triode.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## REFERENCES Bibliographiques

- [1] Mohamed Sofiane Bendilmi. « Expérimentale de la décharge couronne multi-pointes pour applications à la modification de surfaces des matériaux diélectriques et à la séparation électrostatique ». Energie électrique. Université de Poitiers ; Université Mentouri (Constantine, Algérie), 2022. Français.
- [2] LACHAUD. S, « Décharge pointe – plan dans les mélanges gazeux correspondant aux effluents industriels : étude électrique et physico-chimique, application à la destruction du dioxyde d'azote » Thèse de doctorat, Université de Toulouse France, 2002.
- [3] ABDALI. S & AIANE. CH, « L'effet de la température sur les paramètres de la décharge couronne », Mémoire de fin d'étude en Master, Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2017-2018.
- [4] BENAMAR. B, « la faisabilité de l'électrode-filtration d'une atmosphère chargée en poussière de bois étude expérimental et numérique », Thèse de doctorat Université, Henri Poincaré, Nancy, 2008.
- [5] HOANG. L, « Comparaison des rendements énergétiques de dégradation de trois composés organiques par plusieurs procédés d'oxydation avancés en milieu aqueux », Thèse de doctorat, Université de Poitiers, 2009.
- [6] Rémi Mathon, « Décharge à Barrières Diélectriques à pression atmosphérique pour la charge bipolaire d'aérosol », Thèse de doctorat, Université Paris Saclay, 2015.
- [7] BEDJAOUI. T & MEDJEKDOUD. N, « Caractérisation de la Décharge Couronne dans un Système à Configuration Triode », Mémoire de fin d'études en Master, Université A. Mira – BEJAIA, 2017.
- [8] Alyen ABAHAZEM. « Etudes expérimentales des décharges couronne pour la dépollution des gaz », Thèse de doctorat, université de Toulouse, Décembre 2009.
- [9] MOISSAOUI. A, « Etudes des phénomènes de charge et de neutralisation des milieux diélectriques granulaires en utilisant la décharge à barrière diélectrique ». Thèse de Doctorat Université de Guelma, Juin 2019.
- [10] JEROME Jolibois, « Etude et développement d'un actionneur plasma a décharge à barrière diélectrique –Application au contrôle d'écoulement sur profil d'aile ». Thèse de doctorat, Université de potier, décembre 2008.
- [11] HADJI. K, « Etude de la Production d'ozone par décharge électrique », Thèse de doctorat, Université d'Oran), septembre 2014.
- [12] Sigmond, R. S & Goldman. M. "Electrical Breakdown and Discharges in Gases (Part. B), NATO-ASI Series, B89b." (1983).

- [13] Claude. Gray « effet couronne sur les réseaux électriques aériens », techniques de l'ingénieur, D4
- [14] THOMAS. S, « La fragmentation moléculaire : modèle statistique et réduction par plasma de l'acétone avec identification en ligne des produits. Physique des plasmas », Thèse de doctorat, Université Paris Saclay, 2018.
- [15] BOUKADOUM. R, « Étude des décharges partielles et de leur transition à l'arc dans la connectique aéronautique du futur », Thèse de doctorat, Université Paris Saclay, 2018.
- [16] Van Veldhuizen, E. M., & Rutgers. W. R. "Corona discharges: fundamentals and diagnostics." Invited paper, Proc. Frontiers in Low Temp. Plasma Diagn. IV, Rolduc, Netherlands (2001): 40-49.
- [17] KASDI. A « Études théorique et expérimentale de la décharge couronne bipolaire », Thèse de Doctorat, Uni. A. Mira de Bejaïa, Algérie. 2007.
- [18] TIFAOUI Djilali & LADJEL Amine, « Etude de la décharge couronne en géométrie pointe plan sous tension continu », Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de TIZIOUZOU, 28/6/2016.
- [19] panaget., M « Etude en laboratoire des effets physico-chimique induites par les pertes électriques des lignes de transport à haute tension », Thèse de doctorat de l'université pierre et Marie curie 1997.
- [20] Mammeri, M., C. Laurent, & Nedjar. M. "Dynamics of voltage polarity reversal as the controlling factor in space-charge induced breakdown of insulating polymers." IEEE transactions on dielectrics and electrical insulation 4.1 (1997): 44-51.
- [21] GARY, Claude. Effet couronne sur les réseaux électriques aériens. Ed. Techniques Ingénieur, 1998.
- [22] Adelsandrov, G. N., G. M. Rigeikov, O. V. Cherbatchev. "Modélisation de la caractéristique de couronne de courant alternatif." Recueil de l'institut polytechnique de Saint Petersburg, la série de la technique de la haute tension (1958).
- [23] M. Kaci, H. Ait Said, A. Laifaoui, M. Aissou, Hamou & Nouri, Y. Zebboudj, Investigation on the corona discharge in blade-to-plane electrode configuration, Braz. J. Phys., 45 (2015) pp. 643-655.
- [24] Flavien. Koliatene, « Contribution à l'étude de l'existence des décharges dans les systèmes de l'avionique ». Thèse de doctorat de l'université de Toulouse III – Paul Sabatier, le 5 janvier 2009.
- [25] BADAREU, Eugen et POPESCU, Iovitu. Gaz ionisés : décharges électriques dans les gaz. , 1968.
- [26] 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.

[27] REGUIG Abdeljalil « Contribution à l'étude expérimentale et numérique de la décharge couronne dans différents types de configurations d'électrodes ». Thèse de doctorat de l'Université de sidi bel-Abbes, Mai 2017.

[28] Ferreira, GF Leal, et al. « Corona triode current-voltage characteristics: on effects possibly caused by the electronic component », Journal of Physics D: Applied Physics 26.4 (1993) page 628.

[29] FATIHOU, « Ali. Amélioration des performances des matériaux fibreux non-tissés chargés par décharge couronne utilisés pour la filtration de l'air ». 2016. Thèse de doctorat. Poitiers.

[30] MIHOUBI Soumia, MEDJANI Ismahen, « Mesure du champ électrique » Mémoire d'Ingénieur, université de Guelma, Juin 2002.

# RÉSUMÉ

## Résumé :

L'objectif principal de notre travail est la caractérisation expérimentale de la décharge couronne dans la configuration 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 différentes configurations d'électrodes, Notre travail porte sur l'étude de la décharge couronne en configuration triode qui se compose des éléments du dual avec l'insertion d'une grille métallique entre le fil et le plan de masse.

Plusieurs essais ont été effectués sur la configuration, 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...), ils nous permettent de suivre le comportement de la décharge couronne de cette configuration. 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, de tel plusieurs paramètres géométriques ont un rôle important pour chaque type d'application désirer obtenir.

## Abstract:

The main objective of our work is the experimental characterization of corona discharge in triode configuration. Corona discharge has a wide range of technical and industrial applications, such as separators and electrostatic filters. Several experimental and numerical studies have been devoted to the properties of corona discharge in the electrode configuration. Our work focuses on the study of corona discharge in 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 have been carried out on the configuration, namely the measurement of current-voltage characteristics, the variation of geometrical and electrical parameters (applied voltage, grid-plane height, grid resistance value...), enabling us to monitor the behavior of the corona discharge of this configuration. It has been found that corona activity is intense at high applied voltages, and electrode geometry influences corona discharge, so several geometric parameters have an important role to play for each type of application we aim to achieve.

## ملخص :

الهدف الرئيسي لعملنا هو التوصيف التجريبي لتفريغات التاج في تكوين ثلاثي الصمامات. إن تفريغات التاج لها مجموعة واسعة من التطبيقات التقنية والصناعية، مثل الفواصل والمرشحات الكهروستاتيكية. وقد خُصصت العديد من الدراسات التجريبية والرقمية لتوصيف تفريغات التاج في تكوين القطب الكهربائي. يركز عملنا على دراسة تفريغ التاج في تكوين تريود يتكون من عناصر الصمام الثنائي مع شبكة معدنية مدرجة بين السلك والمستوى الأرضي .

تم إجراء العديد من الاختبارات على التكوين، بما في ذلك قياس خصائص التيار-الجهد وتباين المعلمات الهندسية والكهربائية (الجهد المطبق، وارتفاع الشبكة-الأرض، وقيمة مقاومة الشبكة، وما إلى ذلك)، مما مكننا من مراقبة سلوك تفريغ التاج في هذا التكوين. وقد وجدنا أن نشاط تفريغ التاج يكون مكثفًا في حالة الفولتية العالية المطبقة وأن هندسة القطب الكهربائي تؤثر على تفريغ الهالة، بحيث يكون للعديد من المعلمات الهندسية دور مهم تلعبه لكل نوع من التطبيقات التي نريد تحقيقها.