



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

Faculté de Technologie
Département de Génie électrique

Mémoire de fin d'étude

Spécialité : Electrotechnique industrielle

Thème

*Etude de l'influence du rayon de courbure
sur la décharge couronne dans la
configuration nappe de fil-pla*

Présenté par :

BOUDRIOUA Ahmed El Mehdi

BOUCHETAOUI Billal

Encadreur :

RAHMANI Allaoua

CHIBANE Ouarda

Soutenu le 21/06/2023 devant le jury composé de :

Président	<i>KASDI Ahmed</i>	MAA	U.A.M.Bejaia
Encadreur	<i>RAHMANI Allaoua</i>	MCA	U.A.M.Bejaia
Encadreur	<i>CHIBANE Ouarda</i>	MCA	U.A.M.Bejaia
Examineur	<i>YAHIAOUI Belkacem</i>	MAA	U.A.M.Bejaia

Année Universitaire : 2022-2023

Remerciements

Nous remercions Dieu pour nous avoir donné le courage et la volonté de réaliser ce présent travail.

*Nous remercions chaleureusement notre promoteur **Mr RAHMANI Allaoua** et **M^{me} CHIBANE Ouarda** pour l'aide qu'ils nous ont apporté et pour tous leurs encouragements continuels, et disponibilité à réaliser ce modeste travail.*

Nos remerciements vont également à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation universitaire

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont soutenu et prêté main pour la réalisation de ce modeste travail de près ou de loin.



- B.El Mehdi & B.Billal -

Dédicace

Je dédie cet ouvrage

A ma maman qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études. Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mon très cher père Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.

Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

A mes frères, mes grands-parents et Ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail. Ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

A tous ceux que j'aime.

Merci !



B.El Mehdi -

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents, ma grand-mère et mes tantes

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consentis pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance.

*À mes chers amis : Abdou, Riad, Omar, Aïmad, Amine,
Fatima*

qui m'ont toujours soutenu et encouragé durant toutes les années passées ensemble.

*À toi mon binôme el Mehdi ensemble nous avons pu mener
ce travail*

à terme.



B. Billaal -

Sommaire

Introduction Générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I

Généralités sur la décharge couronne

I.1. Introduction	4
I.2. Généralités sur la décharge couronne.....	4
I.2.1. Définition de la décharge couronne	4
I.2.2. Condition d'apparition	5
I.2.3. Phénomènes de multiplications électroniques.....	5
I.2.3.1. Phénomènes de collision	5
I.2.3.1.1. Choc élastique	5
I.2.3.1.2. Choc inélastique	6
I.3. Décharge de Townsend	7
I.4. Loi de Paschen	9
I.4.1. Description de la loi de Paschen	9
I.4.2. Le minimum de Paschen	10
I.5. Mécanisme des streamers.....	11
I.6. Seuil d'apparition de la décharge couronne.....	12
I.7. Domaine d'existence de la décharge couronne	12
I.8. Types de décharge couronne	14
I.8.1. Décharge positive.....	14
I.8.2. Décharge négative	15
I.8.3. Décharge en tension alternatif.....	16
I.9. Les facteurs influençant la décharge couronne	16
I.9.1. Facteurs géométriques.....	16
I.9.1.1. Rayon de la courbure	16
I.9.1.2. Distance inter-électrodes	16
I.9.2. Les facteurs physico-chimiques	16
I.9.2.1. Effet de l'humidité	16
I.9.2.2. Effet de la température	17
I.9.2.3. Effet de la pression.....	17
I.10. Applications de la décharge couronne	17
I.10.1. Séparation électrostatique	17
I.10.2. Filtrage électrostatique	18

Sommaire

I.10.3. Traitement des surfaces	18
I.11. Effets indésirables de la décharge couronne	19
I.12. Conclusion.....	19

Chapitre II

Techniques expérimentales

II.1. Introduction.....	21
II.2. Description du dispositif expérimental	21
II.2.1. Système d'électrode trois fils-plan.....	21
II.2.2. Système d'électrode triode.....	23
II.2.2.1. Grille métallique	24
II.2.3. Source de haute tension	25
II.3. Méthodes de mesure	27
II.3.1. Mesure de tensions.....	27
II.3.1.1. Tension appliquée aux électrodes actives	27
II.3.1.2. Mesure de la tension de claquage	28
II.3.2. Mesure du courant	28
II.3.2.1. Caractéristique Courant-Tension	28
II.3.2.2. Densité de courant J	28
II.3.2.2.1. Les dimensions de la sonde	29
II.3.3. Mesure des paramètres de l'air	29
II.4. Conclusion	30

Chapitre III

Résultats et Interprétation

III.1. Introduction	32
III.2. Système d'électrode trois fils-plan	32
III.2.1. Caractéristiques Courant-Tension I(V)	33
III.2.1.1. Influence du nombre de fils	33
III.2.1.2. Influence de la hauteur fils-plan	34
III.2.1.3. Influence du rayon de courbure (diamètre des fils).....	34
III.2.2. La densité de courant J	36
III.2.2.1. Influence de la tension appliquée	36
III.2.2.2. Influence de la hauteur fils-plan	38
III.2.2.3. Influence du rayon de courbure du fil	39
III.2.2.4. Courant de décharge fixe.....	41

Sommaire

III.2.2.4.1. Influence de la hauteur	41
III.2.2.4.2. Influence du rayon de courbure	42
III.3. Système triode trois fils-grille plan	44
III.3.1. Caractéristiques Courant-Tension	45
III.3.1.1. Influence de la variation de la résistance de la grille.....	45
III.3.1.2. Influence de la position de la grille	47
III.3.1.2.1. Variation de la hauteur grille- plan avec la hauteur fils-grille constante.....	47
III.3.1.2.2. Variation de la hauteur fils-grille avec la hauteur grille-plan constante.....	48
III.3.1.2.3. Variation de la hauteur fils-grille avec la hauteur fils-plan constante.....	49
III.3.2. Densité de courant J.....	50
III.3.2.1. L'influence de la présence de la grille.....	50
III.3.2.2. Influence de la position de la grille	51
III.3.2.2.1. Variation de la position de la grille avec la hauteur fils-plan constante.....	51
III.3.2.2.2. Variation de la hauteur grille-plan avec la hauteur fils-grille constante.....	51
III.3.2.2.3. Variation de la hauteur fils-grille avec la hauteur grille-plan constante.....	52
III.4. Conclusion	52
Conclusion Générale	53
Références bibliographiques.....	55

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Le facteur de l'effet sheilding entre les fils en fonction de la tension appliquée..... 38

Tableau III.2 : Le facteur de l'effet sheilding entre les fils en fonction de la hauteur fils-plan. 39

Tableau III.3 : Le facteur de l'effet sheilding entre les fils en fonction des diamètres des fils U=25kV. 40

Tableau III.4 : Le facteur de l'effet sheilding entre les fils en fonction des diamètres des fils U=33kV. 40

Tableau III.5 : Le facteur de l'effet sheilding entre les fils en fonction de la hauteur fils-plan. Ip=100μA. 42

Tableau III.6 : Le facteur de l'effet sheilding entre les fils en fonction de la hauteur fils-plan Ip=150μA. 42

Tableau III.7 : le facteur de l'effet sheilding entre les fils en fonction des diamètres des fils Ip=100μA 44

Tableau III.8 : Le facteur de l'effet sheilding entre les fils en fonction des diamètres des fils Ip=150μA 44

Liste des figures

Figure I.1 : Configuration d'électrodes pour la génération de la décharge couronne.....	5
Figure I.2: Réalisation d'une décharge de Townsend à courant continu.	7
Figure I.3 : Courant de décharge en fonction de la distance inter-électrodes.	8
Figure I.4 : Tension d'amorçage dans l'air en champ uniforme en fonction du produit pd.	10
Figure I.5 : Transition entre une avalanche électronique et un streamer jusqu'à franchir la distance inter-électrodes.	11
Figure I.6 : Caractéristique courant-tension d'une décharge couronne dans l'air.	13
Figure I.7 : Schéma représentatif de la décharge couronne continue positive en géométrie fil-plan	14
Figure I.8 : Schéma représentatif de la décharge couronne continue négative en géométrie fil-plan.	15
Figure I.9: Séparateur électrostatique conducteur-isolant en simulation de fonctionnement.	18
Figure II.1 : Constitution du dispositif expérimental.	22
Figure II.2 : Vue de profil du dispositif expérimental.	23
Figure II. 3 : Dispositif de système triode trois.	24
Figure II.4 : Grille métallique.	24
Figure II.5: Installation haute tension utilisée du laboratoire de Bejaia.	25
Figure II.6 : Schéma en bloc de la source de haute tension utilisée	26
Figure II.7 : Equipements de l'installation haute tension utilisée.....	27
Figure II.8: Sonde circulaire.	29
Figure II.9 : Baromètre.	30
Figure II.10 : (A) : Thermomètre. (B) : Hygromètre.	30
Figure III.1 : Dispositif expérimentale du système trois fils-plan.	32
Figure III.2 : caractéristique courant-tension pour les deux systèmes d'électrodes fil-plan et trois fils-plan (hfp=4cm, a= 3cm, T=22 °C, P=101,03hPa, H=54,5%, D=0,5mm).	33
Figure III.3 : caractéristique courant-tension pour différentes valeurs de la distance inter électrodes hfp, (a= 3cm, 19 °C <T<22 °C, P=100,65 hPa, 54%<H<65%, D=0,3 mm).....	34
Figure III.4 : caractéristique courant-tension pour le système d'électrode un fil-plan pour différents diamètres des fils (hfp=4cm 20 °C <T<25 °C, P=101,3 hPa, 50%<H<65%).....	35

Liste des figures

Figure III.5 : Caractéristique courant-tension pour le système d'électrode trois fils-plan pour différents diamètres des fils ($h_{fp}=4\text{cm}$ $20\text{ }^\circ\text{C} < T < 24\text{ }^\circ\text{C}$, $P=101,59\text{ hPa}$, $54\% < H < 66\%$).	35
Figure III.6 : Densité du courant J d'un système d'électrode un fil-plan pour différentes valeurs de tension appliquée ($a=3\text{cm}$, $h_{fp}=3\text{cm}$, $T=22\text{ }^\circ\text{C}$, $P=100,08\text{ hPa}$, $H=63\%$, $D=0,2\text{ mm}$).	36
Figure III.7 : Densité du courant d'un système d'électrode trois fils-plan, pour différentes valeurs de tension appliquée ($a=3\text{cm}$, $20\text{ }^\circ\text{C} < T < 22\text{ }^\circ\text{C}$, $P=100,87\text{ hPa}$, $50\% < H < 63\%$, $D=0,3\text{ mm}$).	37
Figure III.8 : Densité du courant pour différentes valeurs de la hauteur fils-plan ($a=3\text{cm}$, $20\text{ }^\circ\text{C} < T < 23\text{ }^\circ\text{C}$, $P=100,87\text{ hPa}$, $53\% < H < 65\%$, $D=0,3\text{ mm}$).	38
Figure III.9 : Densité du courant J tension pour le système d'électrode trois fils-plan pour différents diamètres des fils ($20\text{ }^\circ\text{C} < T < 22\text{ }^\circ\text{C}$, $100,66\text{ hPa} < P < 100,87\text{ hPa}$, $53\% < H < 65\%$, $h_{fp}=4\text{cm}$, $U=25\text{kV}$).	39
Figure III.10 : Densité de courante tension pour le système d'électrode trois fils-plan pour différents diamètres des fils ($20\text{ }^\circ\text{C} < T < 22\text{ }^\circ\text{C}$, $100,66\text{ hPa} < P < 100,87\text{ hPa}$, $53\% < H < 65\%$, $h=4\text{cm}$, $U=33\text{kV}$).	40
Figure III.11 : Densité du courant J pour différentes valeurs de la hauteur fils-plan ($D=0,3\text{mm}$ $20\text{ }^\circ\text{C} < T < 24\text{ }^\circ\text{C}$, $100,65\text{ hPa} < P < 100,75\text{ hPa}$, $53\% < H < 65\%$, $I_p=100\mu\text{A}$).	41
Figure III.12 : Densité du courant J pour différentes valeurs de la hauteur fils-plan, ($D=0,3\text{mm}$ $20\text{ }^\circ\text{C} < T < 24\text{ }^\circ\text{C}$, $100,65\text{ hPa} < P < 100,75\text{ hPa}$, $53\% < H < 65\%$, $I_p=150\mu\text{A}$).	41
Figure III.13 : Densité du courant J tension pour le système d'électrode trois fils-plan pour différents diamètres des fils ($20\text{ }^\circ\text{C} < T < 24\text{ }^\circ\text{C}$, $100,66\text{ hPa} < P < 100,87\text{ hPa}$, $54\% < H < 65\%$, $I_p=100\mu\text{A}$).	43
Figure III.14 : Densité du courant J tension pour le système d'électrode trois fils-plan pour différents diamètres des fils ($20\text{ }^\circ\text{C} < T < 24\text{ }^\circ\text{C}$, $100,66\text{ hPa} < P < 100,87\text{ hPa}$, $54\% < H < 65\%$, $I_p=150\mu\text{A}$).	43
Figure III.15 : Dispositif expérimentale du système triode.	44
Figure III.16 : Caractéristique courant-tension pour le système triode trois fils -grille-plan et le système trois fils- plan sans grille ($a=3\text{cm}$, $20\text{ }^\circ\text{C} < T < 21\text{ }^\circ\text{C}$, $P=100,65\text{ hPa}$, $54\% < H < 58\%$).	45
Figure III.17 : Caractéristique courant-tension pour différentes de la résistance R_g ($T=21\text{ }^\circ\text{C}$, $P=100,62\text{ hPa}$, $H=54\%$, $h_{fg}=2\text{cm}$, $h_{fp}=4\text{cm}$).	46

Liste des figures

Figure III.18 : Courant de grille en fonction de la tension appliquée pour différentes de la résistance R_g , ($T=21\text{ }^\circ\text{C}$, $P=100,62\text{ hPa}$, $H=54\%$, $h_{fg}=2\text{cm}$, $h_{fp}=4\text{cm}$).	46
Figure III.19 : Caractéristique courant-tension pour différentes valeurs de la hauteur grille-plan ($21\text{ }^\circ\text{C} < T < 24\text{ }^\circ\text{C}$, $100,65\text{ hPa} < P < 100,75\text{hPa}$, $53\% < H < 57\%$, $h_{fg}=2\text{cm}$).	47
Figure III.20 : Courant de grille en fonction de la tension appliquée pour différentes valeurs de la hauteur grille-plan, ($21\text{ }^\circ\text{C} < T < 24\text{ }^\circ\text{C}$, $100,65\text{ hPa} < P < 100,75\text{hPa}$, $53\% < H < 57\%$, $h_{fg}=2\text{cm}$).	47
Figure III.21 : Caractéristique courant-tension pour différentes valeurs de la hauteur fils-grille, ($21\text{ }^\circ\text{C} < T < 24\text{ }^\circ\text{C}$, $100,65\text{ hPa} < P < 100,75\text{hPa}$, $53\% < H < 57\%$, $h_{gp}=2\text{cm}$).	48
Figure III.22 Courant de grille en fonction de la tension appliquée pour différentes valeurs de la hauteur fils-grille ($21\text{ }^\circ\text{C} < T < 24\text{ }^\circ\text{C}$, $100,65\text{ hPa} < P < 100,75\text{hPa}$, $53\% < H < 57\%$, $h_{gp}=2\text{cm}$).	48
Figure III.23 : Caractéristique courant-tension pour différentes valeurs de la hauteur fils-grille ($T=21\text{ }^\circ\text{C}$ $P=100,62\text{ hPa}$, $H=54\%$ $h_{fp}=4\text{cm}$).	49
Figure III.24 : Courant de grille en fonction de la tension appliquée pour différentes valeurs de la hauteur fils-grille ($T=21\text{ }^\circ\text{C}$, $P=100,62\text{ hPa}$, $H=54\%$ $h_{fp}=4\text{cm}$).	49
Figure III.25 : Densité du courant J tension pour le système triode trois fils -grille-plan et le système trois fils- plan sans grille ($20\text{ }^\circ\text{C} < T < 24\text{ }^\circ\text{C}$, $100,66\text{ hPa} < P < 100,87\text{ hPa}$, $57\% < H < 63\%$, $h=5\text{cm}$, $h_{gp}=3\text{cm}$, $U=30\text{kV}$).	50
Figure III.26 : Densité du courant J pour différentes valeurs de la hauteur fils-grille ($20\text{ }^\circ\text{C} < T < 24\text{ }^\circ\text{C}$, $100,66\text{hPa} < P < 100,87\text{ hPa}$, $57\% < H < 63\%$, $h_{fp}=5\text{cm}$ $U=22\text{kV}$).	51
Figure III.27 : Densité du courant J pour différentes valeurs de la hauteur grille-plan ($21\text{ }^\circ\text{C} < T < 24\text{ }^\circ\text{C}$, $100,75\text{hPa} < P < 100,87\text{ hPa}$, $53\% < H < 56\%$, $h_{fp}=2\text{cm}$, $U=22\text{kV}$).	51
Figure III.28 : Densité du courant J pour différentes valeurs de la hauteur fils-grille ($21,5\text{ }^\circ\text{C} < T < 24,5\text{ }^\circ\text{C}$, $100,75\text{hPa} < P < 100,87\text{ hPa}$, $53\% < H < 56\%$, $h_{gp}=2\text{cm}$, $U=25\text{kV}$).	52

Introducción General

Introduction générale

L'histoire des décharges électriques remonte à l'Antiquité, où les Grecs et les Romains observaient les éclairs pendant les orages. Cependant, la compréhension scientifique de ces phénomènes n'a commencé à se développer que plus tard. Les premières études décrivant leurs évolutions et proposant des mécanismes datent du début de XX^{ème} siècle. L'une des formes de décharge électrique observées est la décharge couronne. Les premières expériences sur les fils conducteurs minces, portés à des tensions suffisamment élevées, ont montré qu'il se forme autour d'eux une gaine lumineuse, de couleur bleu-violet, c'est la présence de cette lueur qui a donné naissance à l'expression universellement employée de « décharge couronne » ou « corona effect » [1].

Aujourd'hui, la décharge couronne continue d'être étudiée et appliquée dans de nombreux domaines, notamment dans les secteurs industriels, tels que la séparation utilisée pour séparer des matériaux solides en fonction de leurs propriétés électriques, traitement des surfaces, générateur d'ozone, il convient de noter que la décharge couronne présente également des défis et des inconvénients potentiels. Elle peut générer des perturbations électromagnétiques, interférences radio-télévision, et les pertes de puissance au niveau des lignes de transport d'énergie à haute tension. En raison de ses propriétés uniques et de ses applications pratiques invoque l'intérêt de plusieurs études théorique et paramétriques très approfondies dont figure cette présente étude.

Le travail présenté dans ce mémoire vise à effectuer une étude théorique et expérimentale sur la décharge couronne générées par trois configurations différentes : la géométrie fil-plan, trois fils-plan, et la géométrie triode (trois fils grille-plan) dans l'air ambiant, dans le but de déterminer les paramètres électriques (les caractéristiques courant-tension et densité de courant) de cette décharge.

Afin de bien mener cette étude, le présent manuscrit est composé de trois chapitres, le premier chapitre sera consacré à l'étude théorique de la décharge couronne, tel que le processus de développement de la décharge couronne, le seuil d'apparition et les différents types de la décharge couronne ainsi que les facteurs influençant cette décharge. Le deuxième

Introduction Générale

chapitre est dédié à la présentation de l'installation haute tension au laboratoire de haute tension de l'université A. Mira de Bejaia, les dispositifs et les techniques de mesure utilisées pendant la réalisation de nos essais, le troisième chapitre est consacré à la présentation, la discussion et l'interprétation des résultats des essais effectués sur les deux configurations d'électrodes étudiées.

Chapitre I
Généralités sur la décharge
couronne

Chapitre I

Généralités sur la décharge couronne

I.1. Introduction

La décharge couronne est une décharge électrique prés-disruptive apparaissant dans l'intervalle gazeux entre deux électrode fortement asymétrique, observé sous forme d'une lueur de lumière bleuâtre ou violette autour de la surface d'un conducteur.

La décharge couronne présente des aspects utiles ou elle est utilisée dans les applications industrielles telle que la filtration et séparation électrostatique, traitement des surfaces, générateur d'ozone...etc. Et des aspects nuisibles comme les pertes dans les lignes de hautes tension, pollution de l'aire et la perturbation de ce certaine fréquences radio et télévisuelles.

Dans ce chapitre, nous évoquerons la définition de la décharge couronne, les processus de la formation et le développement de la décharge couronne, ainsi que les différents régimes et types de cette décharge.

I.2. Généralités sur la décharge couronne

I.2.1. Définition de la décharge couronne

La décharge couronne désigne l'ensemble des phénomènes liés à l'apparition d'une conductivité dans un gaz au voisinage d'un conducteur de faible rayon de courbure, porté à une tension élevée dont le champ électrique environnant est intense mais non disruptif.

Cette conductivité est due aux phénomènes d'ionisation, ce type de décharge ne nécessite aucune source externe d'ionisation pour se développer, on dit que c'est une décharge auto-entretenu (autonome), cependant, la présence d'un électron initial pour amorcer la décharge est nécessaire [2].

La décharge couronne existe sous différentes formes et dépend de la configuration géométrique des électrodes. Les configurations les plus courantes sont le fil-plan, pointe-plan, couteau/cylindre et fil/cylindre (Figure I.1), cette décharge a lieu généralement à des pressions de quelques torrs à quelques atmosphères [3].

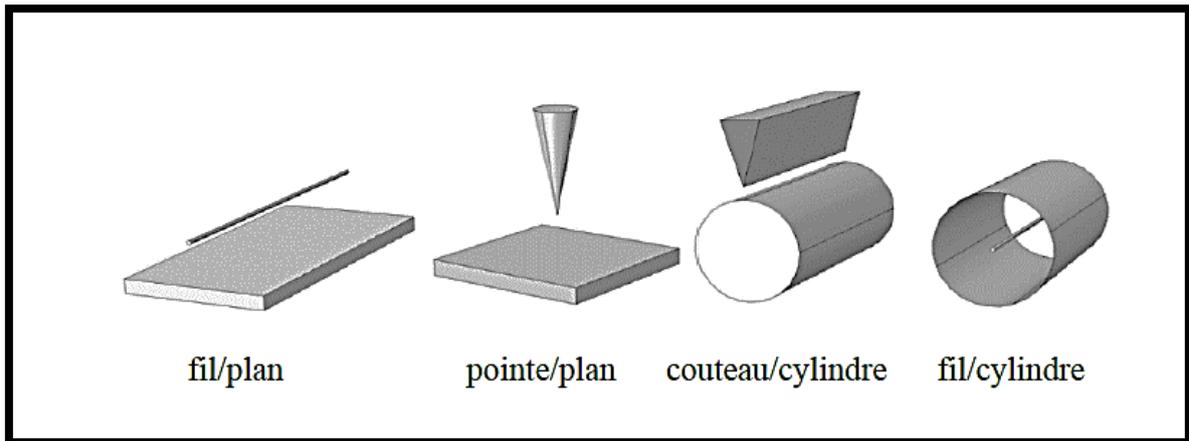


Figure I.1 : Configuration d'électrodes pour la génération de la décharge couronne [3].

I.2.2. Condition d'apparition

Le phénomène fondamental d'apparition d'une décharge est souvent lié à la dissociation des atomes ou molécules de gaz en électrons et ions positive, les électrons libres accélérés par un champ électrique intense sont à la base de ce processus, lorsque leur énergie dépasse l'énergie d'ionisation des molécules de gaz. Les collisions entre les électrons libres et les molécules de gaz provoquent l'ionisation de ces dernières. De nouveaux électrons sont créés et soumis au même champ. Au cours du processus d'ionisation, des photons de haute énergie sont également produits. Ils peuvent également contribuer à une réaction en chaîne connue sous le nom d'avalanche de Townsend. Le développement des avalanches successives produit une décharge de couronne. Les ions et électrons générés lors de la décharge se déplacent selon leur polarité, affectant ainsi le champ électrique. Ces groupes de charges en mouvement sont appelés « charges d'espace » [4].

L'existence d'une décharge électrique dépend de la possibilité de créer des particules chargées à partir des atomes ou molécules neutres constituant un gaz, les processus d'excitation et d'ionisation tendent à faire croître la décharge.

I.2.3. Phénomènes de multiplications électroniques

I.2.3.1. Phénomènes de collision

L'application d'un champ électrique suffisamment intense conduit à l'ionisation du gaz. Cette dernière se fait par le transfert de l'énergie cinétique des électrons aux molécules neutres du gaz, et dans ce cadre il existe deux types de collisions entre ces éléments.

I.2.3.1.1. Choc élastique

Dans ce cas les atomes conservent la même structure interne, seule leur vitesse est accrue. L'énergie du système reste inchangée.

I.2.3.1.2. Choc inélastique

Dans ce cas l'énergie interne des particules change. Les chocs vont alors modifier les propriétés macroscopiques du gaz [5].

A. Excitation atomique

Un atome neutre peut être excité par collision avec un électron ou bien par absorption d'un photon.

- Excitation par absorption d'un photon



Avec :

h : Constante de Planck « $h = 6,62 \times 10^{-34}$ J. s »,

ν : Fréquence du photon « Hz »,

$h\nu$: Énergie du photon « J »,

Lorsque l'atome excité revient à son état initial, un photon est émis, et c'est ce processus qui interfère avec l'effet corona et conduit à l'effet de lueur

B. Ionisation par choc**C. Photoionisations****D. Recombinaison et attachement**

A tout processus d'excitation ou d'ionisation est associé un processus inverse tendant à ramener les particules à leur état fondamental ou à réduire la concentration des particules ionisées. Les processus conduisant à la diminution du nombre d'électrons libres dans un gaz ionisé peuvent être de deux types, attachement ou recombinaison [6].

L'attachement électronique :**La recombinaison (électron – ion positif) :**

Pour expliquer le développement d'une décharge les recherches antérieures ont abouti à classer les phénomènes en deux catégories, la décharge de Townsend et la décharge par streamers.

I.3. Décharge de Townsend

Si on considère un gaz contenu entre deux électrodes, il peut exister dans ce gaz en l'absence de tout champ électrique appliqué, un certain nombre de particule chargées créées par des mécanismes naturels, tels que rayonnement ultraviolet ou radioactivité, soit par des mécanismes artificiels, par exemple un bombardement électronique, rayonnement ultraviolet. Si un champ électrique est appliqué, les électrons sont suffisamment accélérés par le champ pour produire d'autres électrons par les collisions, qui à leur tour acquièrent par le champ électrique assez d'énergie pour ioniser d'autres atomes, et ainsi de suite, le processus prend une allure d'avalanche, dite avalanche de Townsend [7].

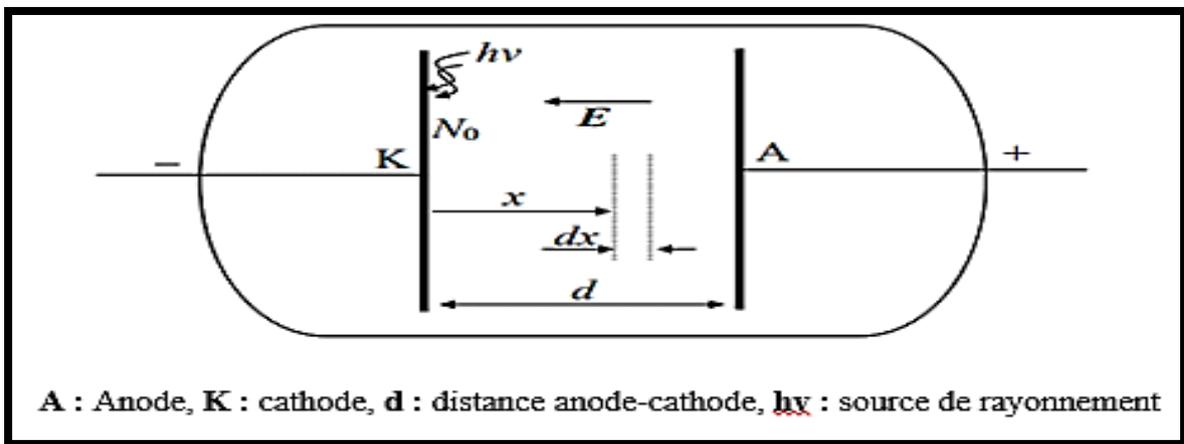


Figure I.2: Réalisation d'une décharge de Townsend à courant continu [6].

Townsend a proposé en 1914 l'introduction d'un coefficient d'ionisation « α » appelé premier coefficient de Townsend, il exprime le nombre d'ionisations par centimètre de parcours d'un électron soumis au champ électrique \vec{E} , N_x le nombre d'électrons formés à une distance x de la cathode, alors ils vont produire dN_x électrons sur une distance dx .

$$dN_x = N_x \cdot \alpha \cdot dx \quad (I.6)$$

Townsend a développé une expression empirique pour ce coefficient dans l'air en fonction du champ électrique et de la pression du gaz, elle est donnée par la relation :

$$\frac{\alpha}{P} = A \cdot e^{-B/(E/P)} \quad (I.7)$$

où A et B sont des constantes.

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

$$N_x = N_0 \cdot e^{\alpha x} \quad (I.8)$$

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

$$N_d = N_0 \cdot e^{\alpha d} \quad (I.9)$$

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

$$e \cdot N_d = e \cdot N_0 e^{\alpha d} \quad (I.10)$$

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

$$I = I_0 \cdot e^{\alpha d} \quad (I.11)$$

Si dans un dispositif tel que celui de la figure I.2, on fait varier « d » en laissant le rapport E/p constant, l'étude expérimentale effectuée par Townsend montre, qu'au-delà d'une certaine valeur de d, le courant se met à croître plus vite que prévu par la relation (I.11), figure.I.3.

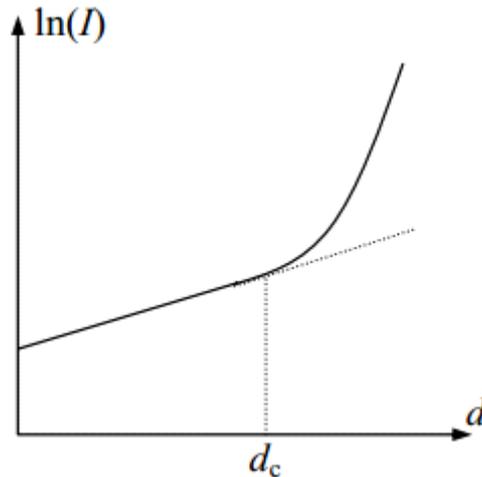


Figure I.3 : Courant de décharge en fonction de la distance inter-électrodes [6].

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

On caractérise alors cette émission par une grandeur macroscopique γ dite deuxième coefficient de Townsend. Il est défini comme étant le rapport du nombre d'électrons émis par la cathode au nombre d'ions positifs qui y sont collectés et dépend de la nature du gaz

inter-électrodes et particulièrement du matériau constituant la cathode. Les N_0 électrons issus de la cathode créent, sur la distance d , $N_0(e^{\alpha d} - 1)$ paires d'ions-électrons. Ces ions positifs vont libérer $\gamma \cdot N_0(e^{\alpha d} - 1)$ nouveaux électrons initiaux. Donc pour N_0 électrons primaires à la cathode, le nombre d'électrons parvenant à l'anode devient [6] :

$$N_d = \frac{N_0 \cdot e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)} \quad (I.12)$$

D'où le courant collecté à l'anode :

$$I = \frac{I_0 \cdot e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)} \quad (I.13)$$

Lorsque la tension continue à augmenter, elle atteint une valeur dit « tension disruptive » qui engendre une augmentation rapide du courant. On arrive à une situation telle que l'expression $\gamma(e^{\alpha d} - 1)$ tend vers 1. En effet pour chaque électron primaire en recueille $(e^{\alpha d} - 1)$ ions qui à leur tour donnent par bombardement de la cathode $\gamma(e^{\alpha d} - 1)$ électrons. Ainsi la décharge s'entretient d'elle-même par émission secondaire d'où le nom d'une décharge autonome.

I.4. Loi de Paschen

I.4.1. Description de la loi de Paschen

Dans le cas d'un champ électrique uniforme ($E=V/d$), on peut déduire des équations précédentes une relation qui lie la valeur de la tension de claquage à la pression du gaz et à la distance inter électrodes pour obtenir la relation connue et dite « la loi de Paschen ». Cette loi indique que la tension d'apparition d'un arc électrique dans un gaz est une fonction non linéaire du produit pression (p) x distance (d).

$$V_{claq} = \frac{C \cdot p \cdot d}{\ln \left(\frac{A \cdot p \cdot d}{\ln \left(1 + \frac{1}{\gamma} \right)} \right)} \quad (I.14)$$

Dans cette équation, A et C sont des constantes propres à chaque gaz et γ est le coefficient d'émission électronique secondaire [8].

I.4.2. Le minimum de Paschen

On peut voir d'après la courbe de Paschen qu'il y a une valeur de tension U_{min} . Quand la tension est inférieure à cette valeur, l'intervalle gazeux de n'importe quelle longueur et sous n'importe quelle pression ne peut être claqué.

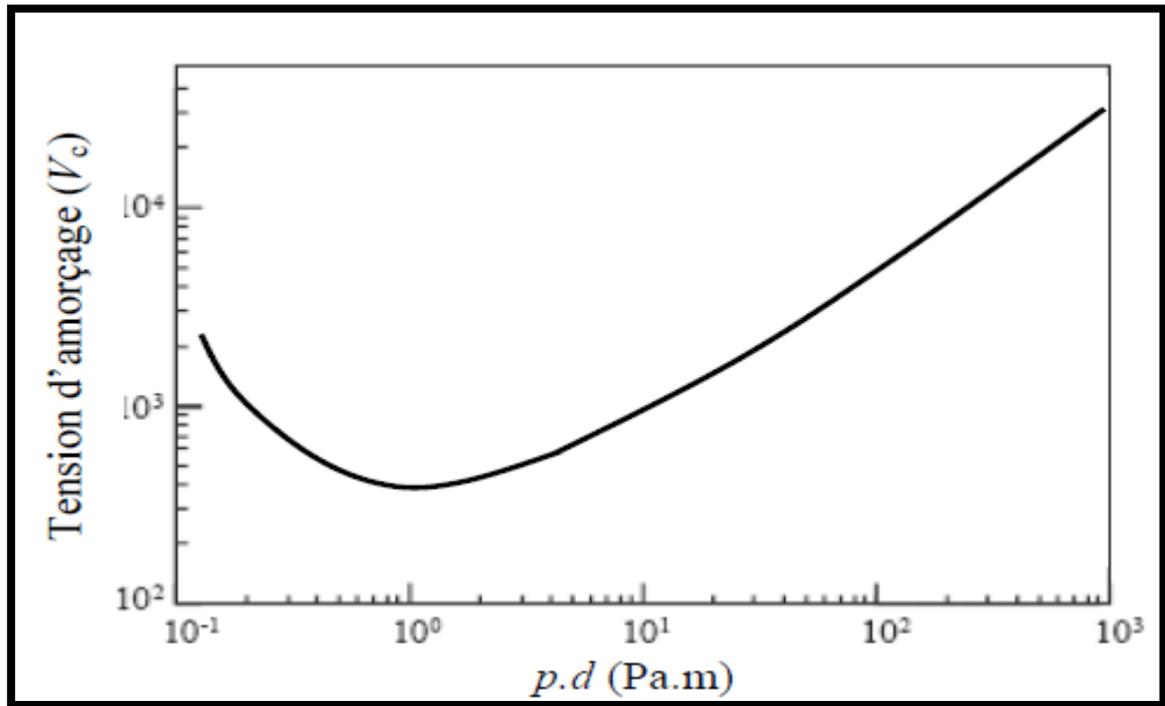


Figure I.4 : Tension d'amorçage dans l'air en champ uniforme en fonction du produit pd [6].

L'existence d'un minimum sur la courbe s'explique intuitivement en partant de la constatation que le produit pd est proportionnel au nombre d'atomes ou de molécules se trouvant entre les électrodes. Ainsi, à très basse pression, étant donné le nombre limité de particules présentes, l'avalanche ionisante est limitée, ce qui entraîne une tension disruptive élevée. Pour les pressions élevées, la forte densité moléculaire fait que le libre parcours moyen des particules ionisantes n'est plus suffisant pour déclencher facilement le phénomène d'avalanche [9].

Dans le cas où on a de grandes distances et des tensions très élevées, le mécanisme de propagation de la décharge est très différent. En effet, le mécanisme de Townsend fait intervenir tout l'intervalle Inter-électrode, elle prévoit des temps de transition des charges beaucoup plus grande que le temps de la formation de la décharge. Ceci permet d'écarter le processus secondaire car les ions positifs sont freinés et leur énergie cinétique n'est plus suffisante pour extraire des électrons supplémentaires de la surface cathodique.

I.5. Mécanisme des streamers

Le mécanisme des streamers a été introduit par Loeb et Meek. Il permet de décrire l'influence de la charge d'espace dans le développement des décharges. Lorsqu'une avalanche électronique est présente dans l'intervalle inter électrodes, des paires électron-ions sont formées. Cependant la vitesse des électrons est environ 100 fois supérieure à celle des ions. Les électrons se déplacent donc plus rapidement vers l'anode, pendant que les ions dérivent lentement vers la cathode, formant la queue de l'avalanche. Quand la densité d'électrons est suffisamment grande, le champ électrique est localement suffisamment élevé pour entraîner l'ionisation.

Cette ionisation permet l'émission de rayonnements lumineux, surtout ultraviolets, les photons produits peuvent alors initier de nouvelles avalanches par photo-ionisations, des avalanches secondaires sont créées, entraînant à leur tour la formation d'une charge d'espace.

Quand le champ électrique généré par la charge d'espace devient aussi important que celui qui est établi entre les électrodes, la décharge devient autonome. A partir de ce moment-là, la cathode ne joue plus le rôle principal dans le mécanisme d'ionisation. La décharge prend alors la forme d'un canal de plasma dans la direction de l'axe des électrodes. Ce stade de la décharge est appelé streamer.

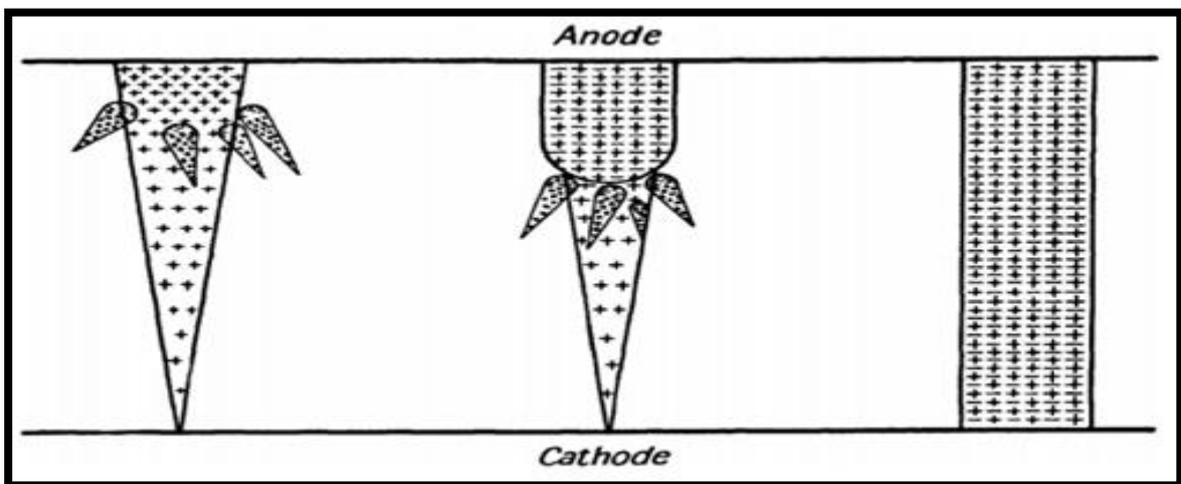


Figure I.5 : Transition entre une avalanche électronique et un streamer jusqu'à franchir la distance inter-électrodes [10].

Cela entraîne une rapide augmentation de la densité de porteurs de charge, ce qui a de multiples effets. On observe notamment une augmentation locale de la température et de la pression, suffisante pour entraîner une forte ionisation. Ces phénomènes se renforcent mutuellement jusqu'à obtenir un canal conducteur entre les deux électrodes qui permet

l'apparition d'une étincelle. Si la source peut fournir la puissance nécessaire, un arc électrique se forme [10].

I.6. Seuil d'apparition de la décharge couronne

Pour toute configuration d'électrode donnée, un certain niveau de tension appliqué à l'électrode active est nécessaire avant que l'effet couronne ne commence à émerger. Ce niveau de tension minimum correspond à l'apparition du premier streamer et est appelé tension de seuil au-dessus de cette tension, un faible courant circule entre les électrodes. L'apparition de la décharge couronne correspond à un champ électrique, proche de la surface de l'électrode active, suffisamment élevé pour initier l'ionisation du gaz [2].

Selon le chercheur américain FW Peek, pour les configurations cylindriques, l'effet couronne se produit en fonction du champ de surface, du rayon du conducteur et de la densité de l'air selon la relation [11] :

$$E_c = E_p \cdot \delta \left(1 + \frac{K}{\sqrt{\delta \cdot R}} \right) \quad (I.15)$$

E_c : le champ critique, en [kV/cm].

E_p : le champ superficiel, $E_p = 30$ kV/cm.

K : un coefficient, $K=0.308$.

R : le rayon du conducteur, en cm.

δ : la densité relative de l'air $= 3.92P / (273+T)$, ($\delta=1$ pour $P=76$ cm Hg et $T=25$ C°).

T : la température, en C°.

P : la pression de l'air, en cm Hg.

I.7. Domaine d'existence de la décharge couronne

Sous l'effet du champ électrique appliqué, on augmente la tension de 0 à la tension de claquage, les particules ainsi créées vont se déplacer dans l'espace inter-électrodes et générer un courant électrique, appelé également courant de décharge. La Figure I.6 décrit le comportement du courant en fonction de la valeur de la tension appliquée [12].

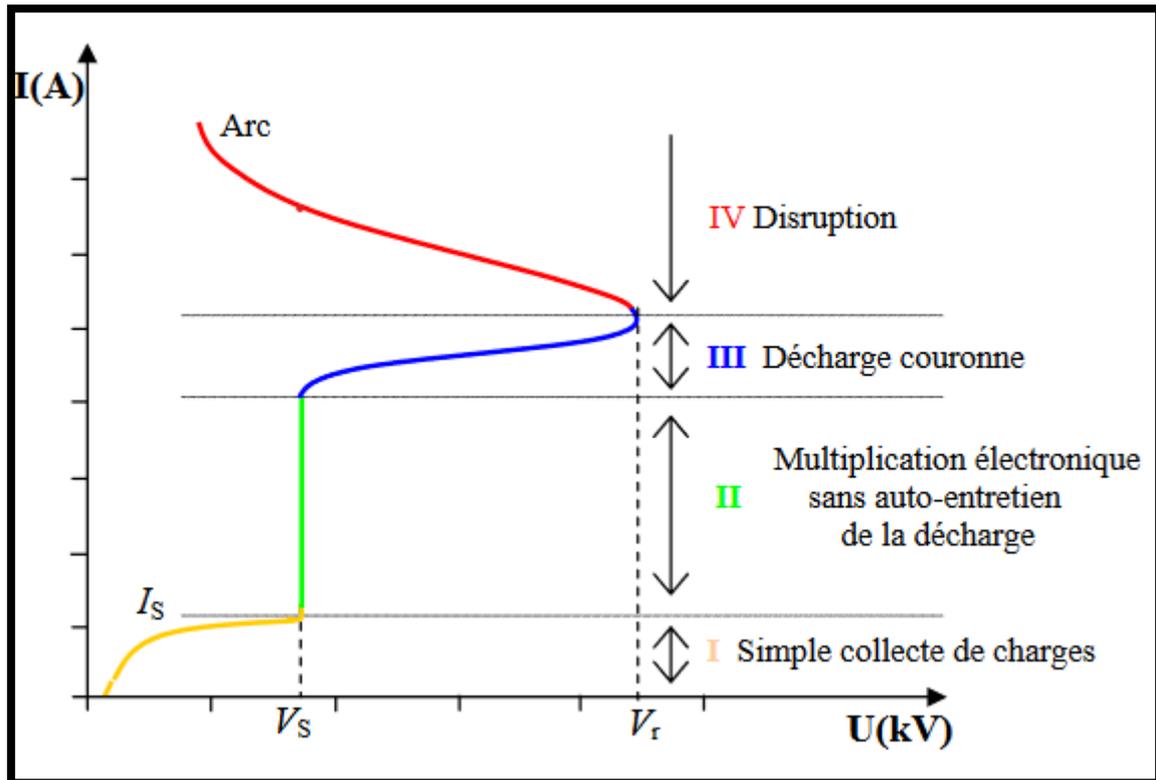


Figure I.6 : Caractéristique courant-tension d'une décharge couronne dans l'air [15].

La courbe permet de distinguer quatre zones :

- **Zone I :** le courant est très faible de l'ordre de 10^{-13} à 10^{-14} A, du a la collecte des ions chargées présent naturellement dans le milieu. Ces ions sont produits par l'impact de rayons cosmiques ou de particules issues de la désintégration spontanée de certains atomes (radioactivité Naturelle) sur le gaz présent dans l'espace inter-électrode. Dans ce cas, le champ électrique est trop faible pour assurer l'avalanche électronique. Est le courant se stabilise à la valeur I_s qui correspond au courant de saturation. [6].
- **Zone II :** quand la tension atteint une valeur seuil V_s le champ est assez intense pour qu'un électron puisse ioniser une particule qui l'entoure le processus d'avalanche débute, sans que le critère d'auto-entretien soient satisfait. La décharge a besoin d'une source externe complémentaire : on parle de régime de Townsend non entretenu. Le courant reste faible [12].
- **Zone III :** ici la décharge ne s'éteint plus car la condition d'auto-entretien est atteinte. La composante continue (représentative de la charge d'espace) augmente avec la tension.
- **Zone IV :** au-delà d'une tension appliquée « V_r », la température du canal augmente fortement, ce qui provoque la dilatation brutale du gaz. Le champ réduit « E/N » est alors suffisamment important pour que les phénomènes d'ionisation deviennent majoritaires

par rapport à l'attachement électronique. On observe la transition du régime couronne au régime d'arc, le milieu passe à l'état de plasma thermique [13].

I.8. Types de décharge couronne

La décharge couronne peut-être positive ou négative ou alternatif selon la polarité de l'électrode de faible rayon de courbure, la physique de ces types de décharge couronne sont différente [14].

I.8.1. Décharge positive

La figure (I.7) représente un système d'électrode fil-plan, où l'électrode active est connecté à une tension positive et séparée d'une hauteur h du plan qui constitue l'électrode passive (cathode) mise à la terre. Sachant que le champ électrique est plus intense sur la périphérie de l'anode, des électrons seront produits par photo ionisations et seront accélérés, et attirés vers le fil. Autour de celui-ci, se développe alors une région de forte ionisation, zone en pointillé de la figure (I.7). Les ions positifs ainsi créés seront repoussés par l'anode, sous l'effet des forces de Coulomb, jusqu'à une distance du fil (inférieur au millimètre) au-delà de laquelle le champ électrique est trop faible (< 30 kV/cm dans l'air à pression atmosphérique) et ne permet plus la création d'ions positifs.

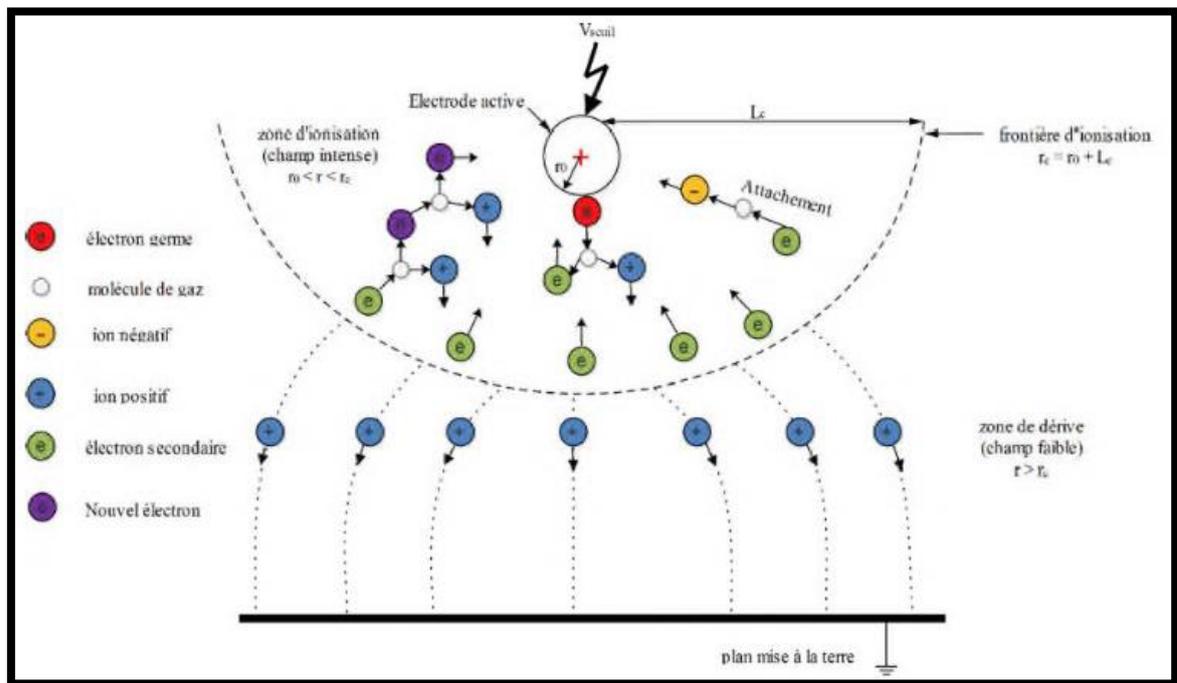


Figure I.7 : Schéma représentatif de la décharge couronne continue positive en géométrie fil-plan [15].

Les ions positifs migrent vers la cathode (le plan). Cette zone unipolaire, est appelée région de « dérive », on raison de présence que des ions positifs Pour cette décharge, il y'a

avancement des streamers qui se propagent en quelque sorte comme une extension de l'anode. D'après les modélisations de LOISEAU et al [16], la décharge est composée d'une phase de propagation du streamer (durée de la propagation de 50 ns à la vitesse de 210 m/s) et d'une phase de restauration pendant laquelle les ions dérivent. Ces deux phases forment un cycle de fréquence de 10 kHz. Le courant de décharge n'est donc pas continu, mais correspond à une succession de phénomènes transitoires [15].

I.8.2. Décharge négative

Dans le cas où le fil est soumis à une tension négative, la décharge est appelée négative des électrons sont créés par photo ionisation est une zone d'ionisation autour du fil apparaît. Goldman et Sigmond en 1982 expliquent que les ions positifs alors créés reviennent rapidement à la cathode, fig. (I.8). Seuls les ions négatifs créés par attachement dans une zone où le champ est plus faible peuvent migrer vers le plan. De plus, lorsque la tension appliquée dépasse un seuil, il y a une transition à l'arc. Le courant de cette décharge est dû à des impulsions de Trichel dont la 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 [15]

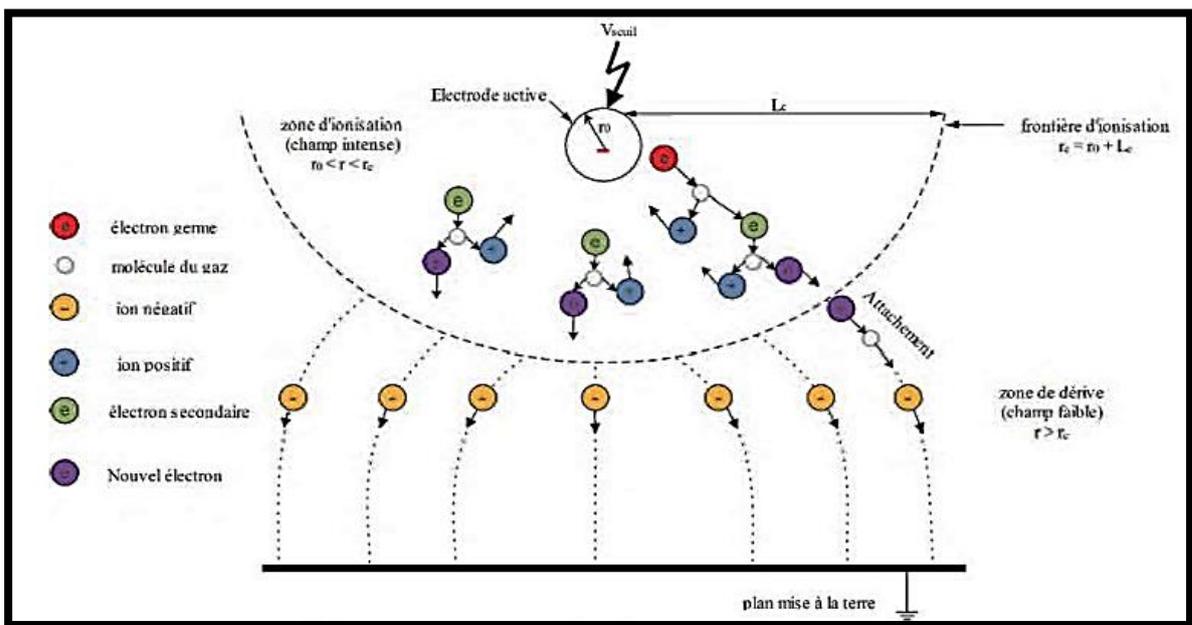


Figure I.8 : Schéma représentatif de la décharge couronne continue négative en géométrie fil-plan [15].

I.8.3. Décharge en tension alternatif

Par application d'un champ alternatif au gaz, la conduite du système dépendra de la fréquence de la tension d'alimentation et de la distance inter électrodes. Si on augmente la fréquence du signal électrique, les ions n'ont pas le temps d'être évacués avant le changement de polarité de la tension appliquée et une charge d'espace résiduelle persistera dans l'espace inter électrodes, ceux-ci réduisent le champ électrique et l'intensité des décharges pendant l'alternance suivante. Donc, pour une même tension, les décharges sont moins intenses en tension alternative qu'en tension continue.

Dans le cas où le temps de parcours de l'intervalle par les particules chargées du gaz est inférieur au temps d'inversion de la polarité, alors les charges d'espace créées par une décharge auront quitté l'espace inter électrodes avant l'apparition de la décharge suivante. Le comportement élémentaire du système consistera donc en une alternance de décharges positives puis négatives indépendantes [17].

I.9. Les facteurs influençant la décharge couronne

Le seuil et la caractéristique de la décharge couronne peuvent être influencée par plusieurs facteurs, on distingue deux facteurs essentiels :

- Facteurs géométriques.
- Facteurs physico-chimiques.

I.9.1. Facteurs géométriques**I.9.1.1. Rayon de la courbure**

La tension seuil d'apparition de l'effet couronne accroît, avec l'augmentation du rayon de courbure.

I.9.1.2. Distance inter-électrodes

Dans le cas de faibles distances inter-électrodes, le courant est plus important et augmente plus rapidement avec la tension appliquée. De plus les seuils de décharge couronne apparaissent pour des valeurs de tensions inférieures [12].

I.9.2. Les facteurs physico-chimiques**I.9.2.1. Effet de l'humidité**

Le seuil d'apparition de la décharge couronne apparaît à des tensions plus basses Pour des taux d'humidités élevés, de plus le courant moyen de la décharge couronne diminue. Cela est dû à l'accroissement de l'attachement des électrons libres, du fait de la présence de vapeur d'eau dans l'air et d'autre part à la grande absorption des photons en tête des

streamers, dans la région où se produisent les avalanches secondaires par photo ionisation[17].

I.9.2.2. Effet de la température

Avec l'augmentation de la température, la rigidité diélectrique de l'air diminue, ce qui favorise la décharge couronne. Ceci est dû au fait que le libre parcours moyen des électrons augmente. Il a été démontré que l'augmentation de la température entraîne une diminution de la tension de seuil et de la tension de rupture du gaz. Ce qui implique, d'après une proportionnalité entre le courant de couronne total et la température du gaz environnant[17].

I.9.2.3. Effet de la pression

D'après la loi de Paschen, plus la pression augmente, plus le nombre de particules dans l'espace inter-électrodes Baisse et les particules chargées diminuent. Par conséquent, l'ionisation de l'air est réduite. Le seuil d'apparition de la décharge couronne augmente avec la pression, par contre la mobilité des porteurs de charges diminue [12].

I.10. Applications de la décharge couronne

I.10.1. Séparation électrostatique

La séparation électrostatique représente de nos jours une technologie moderne de recyclage des matériaux usagés issus des déchets industriels, elle est considérée comme la meilleure possibilité utilisée pour la séparation d'un mélange de granules isolant-métal [18].

Un champ électrique est créé entre deux électrodes (3 et 4) connectées à la source haute tension et l'électrode tournante (2) reliée à la terre. Deux mécanismes de charge sont simultanément employés « bombardement ionique » et « induction électrostatique ». Le premier est destiné aux particules isolantes, le deuxième implique seulement les particules conductrices. Chargées par bombardement ionique dans la zone de décharge couronne, les granules isolants se rallient à la surface du tambour grâce à la force d'image électrique, ils chutent dans la partie du collecteur (7) qui leur est réservée lorsque la résultante des forces de pesanteur et centrifuge l'emportent sur la force d'image électrique. Pour assurer la chute de ces particules, certains séparateurs électrostatiques industriels sont équipés par une autre électrode couronne appeler l'électrode de neutralisation (5), pour éliminer la charge acquise. Les particules qui restent collée sont séparées de la surface du tambour par une brosse (6)[19].

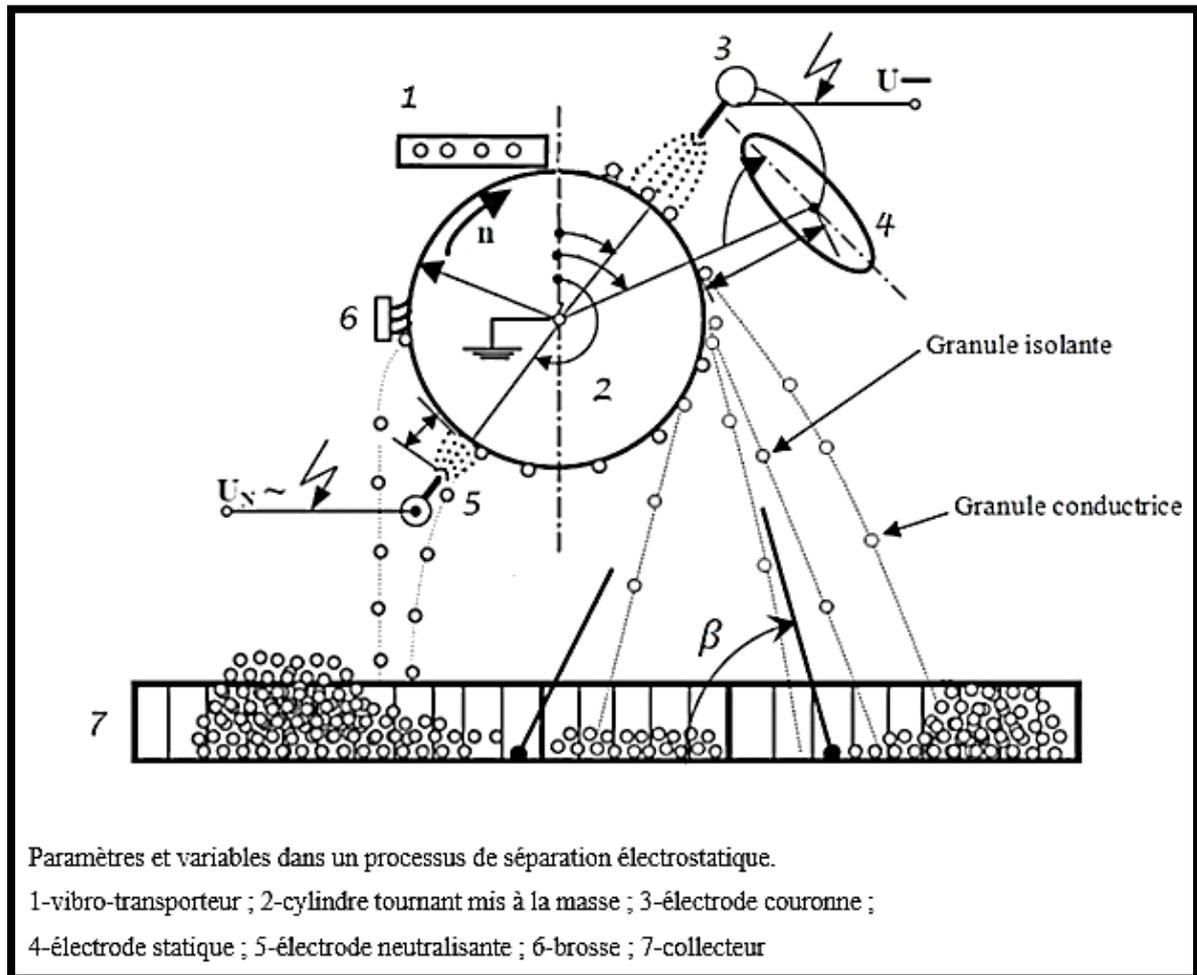


Figure I.9: Séparateur électrostatique conducteur-isolant en simulation de fonctionnement [20].

I.10.2. Filtrage électrostatique

Le principe du fonctionnement des filtres électrostatiques (appelés également dépoussiéreurs électrostatiques), est basé sur l'action du champ électrique sur les charges ou les particules chargées. La force électrique agit directement sur les particules chargées à retenir donc ces forces sont des forces séparatrices, Les électrofiltres traitent des fumées de charbon, l'air pollué, des brouillards d'huile, des fumées de soudage, des gaz évacués par les moteurs diesel [21].

I.10.3. Traitement des surfaces

La micro-électronique est le premier secteur à avoir utilisé le traitement des surfaces pour la fabrication des circuits intégrés et des circuits imprimés. En raison de leurs caractéristiques et de leurs qualités intrinsèques, ils se diffusent dans d'autres secteurs comme la métallurgie et la mécanique (durcissement superficiel et protection anti-corrosion des pièces et outillages), la plasturgie (nettoyage et dégraissage, élaboration de fonctions

sélectives sur membranes, modification du coefficient de frottement, création d'un effet barrière, notamment pour les emballages alimentaires...), le textile (anti-mouillabilité, anti-glisse), ou encore l'optique et l'optoélectronique [22].

Le phénomène d'effet couronne est utilisé dans plusieurs procédés industriels intéressants tels que les destructions des polluants, la vaporisation électrostatique, la dépollution des gaz, génération d'ozone, comme elle est utilisée dans l'élimination de l'électricité statique dans les photocopieuses ou les imprimantes à jet d'encre, et dans les neutraliseurs [23].

I.11. Effets indésirables de la décharge couronne

Lorsque les lignes de transmission à haute tension sont prises en considération pour le transport de l'énergie électrique, les effets de la décharge couronne jouent un rôle très important, et peuvent apparaître de façon indésirable où il représente une source des pertes électriques, d'interférences radio-télévision, de bruits audibles (crépitements et de sifflements), dégagement d'odeur due à la formation de l'ozone, et de la détérioration de l'état de surface des composants et de vibrations mécaniques des conducteurs [22, 24].

I.12. Conclusion

Ce premier chapitre a fait l'objet d'une étude bibliographique sur les généralités et les procédés de développements de la décharge couronne, ensuite nous avons évoqué les différents types de décharges (positif, négatif, alternatif) et les deux modèles de décharges Townsend et streamer.

Enfin, nous avons cité les facteurs influençant la décharge couronne et quelques domaines d'applications de cette décharge dans le secteur de l'industrie.

Chapitre II
Techniques expérimentales

Chapitre II

Techniques expérimentales

II.1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est de faire une présentation de l'ensemble du matériel expérimentale utilisé, au sein du laboratoire de haute tension de l'université A. Mira de Bejaia. Nous allons présenter les dispositifs et les techniques de mesure utilisée pendant la réalisation de nos expériences. Pour déterminer les paramètres de la décharge couronne, nous avons relevé les caractéristiques courant-tension, la densité de courant, la tension seuil et la tension de claquage, générée par les configurations un fil-plan, trois fils-plan et trois fils-grille-plan.

II.2. Description du dispositif expérimental

II.2.1. Système d'électrode trois fils-plan

L'ensemble du dispositif expérimental pour la géométrie trois fils-plan réalisé est représenté sur la figure (II.1). Le système d'électrodes et les éléments mis sous haute tension sont isolés par une grille séparatrice (cage de protection (3)) du manipulateur et des autres appareils de mesure basse tension. L'électrode active est composée d'un fil ou de trois fils en Constantan (1) de diamètre variable ($D=0 ; 2 ; 0,3 ; 0,5$ et $0,8$ mm). Les fils, séparés d'une distance $a=3$ cm, sont tendus par des supports isolants en plexiglas (2) à une hauteur h_{fp} variable ($h_{fp}=3 ; 4 ; 5$ et 6 cm) du plan de masse. L'électrode active est reliée à l'installation haute tension continue, délivrant des tensions (V_{app}) variable.

Cette installation haute tension est composée principalement d'un générateur de basse tension, puis à l'aide d'un transformateur élévateur et d'un circuit redresseur, on génère une haute tension continue qui sera de l'ordre de kilovolts (4). Pour mesurer le courant de la décharge, un pico ampèremètre (5) est connecté à la sonde circulaire de mesure (A).

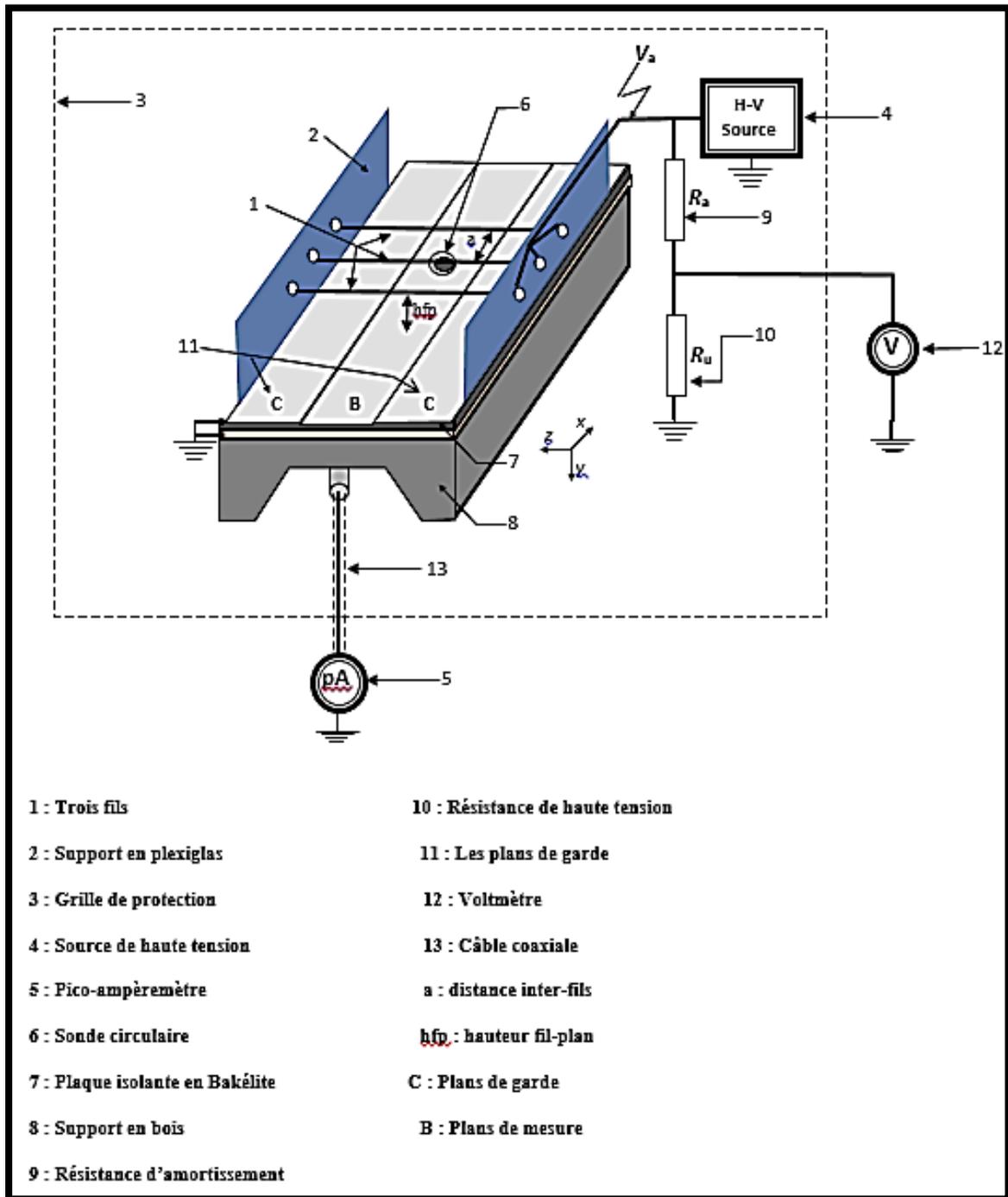


Figure II.1 : Constitution du dispositif expérimental.



Figure II.2 : Vue de profil du dispositif expérimental.

II.2.2. Système d'électrode triode

La configuration représentée sur la figure (II.3), appelée triode, est composée d'une grille conductrice placée entre l'électrode active (fils) et l'électrode plan reliée à la terre. Le potentiel de la grille (V_g) dépend de la résistance (R_g) et de la tension de la source (V_{app}), cette configuration est utilisée pour un meilleur contrôle et uniformisation du dépôt de charges électriques sur les surfaces isolantes.

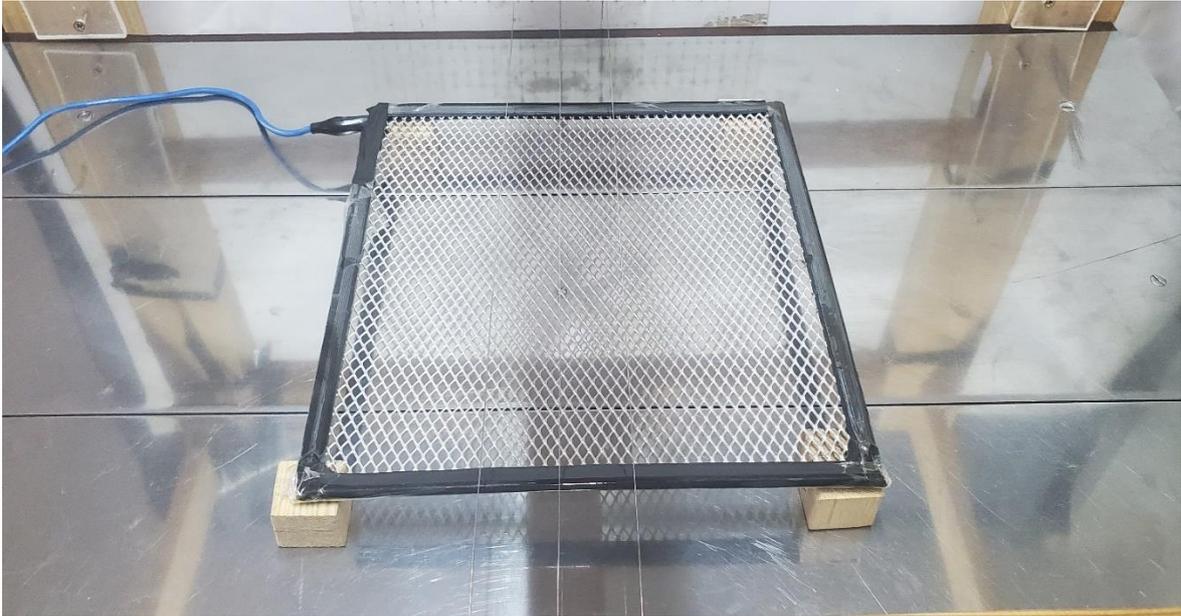


Figure II. 3 : Dispositif de système triode trois.

II.2.2.1. Grille métallique

La grille métallique utilisée dans notre système expérimental est de forme carrée, de longueur (24cm) et d'épaisseur de 0.7mm, dont la surface est de 576 cm^2 , le potentiel de la grille (V_g) dépend de la valeur de la résistance (R_g) et du courant (I_g) capté par la grille et qui s'écoule à travers la résistance (R_g) vers la terre. Pour varier la valeur du potentiel de la grille (V_g), nous agissons sur la valeur de (R_g) figure (II. 5), la variation de la résistance (R_g) est obtenue par l'association des résistances de l'ordre de $50 \text{ M}\Omega$, $100 \text{ M}\Omega$, et $150 \text{ M}\Omega$.

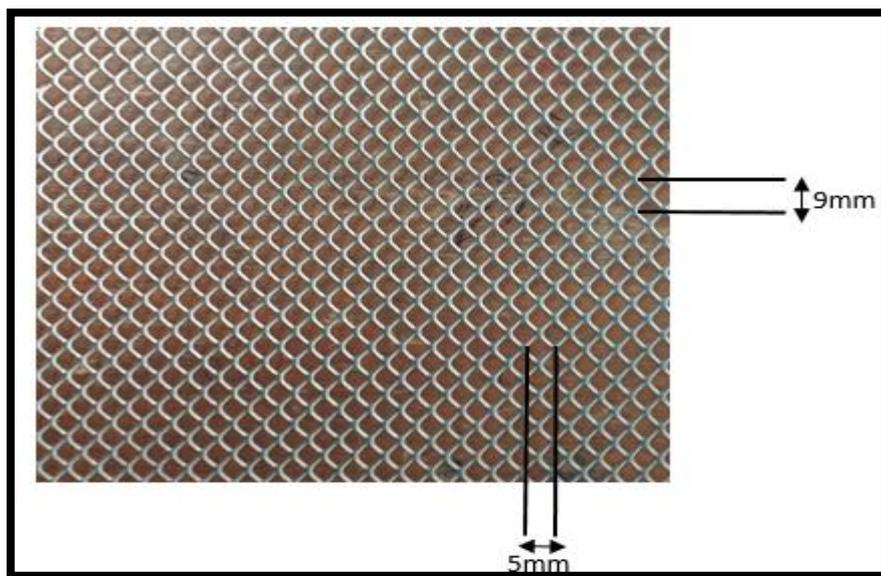


Figure II.4 : Grille métallique.

II.2.3. Source de haute tension

Afin de mesurer les paramètres de la décharge couronne, nous avons besoin d'une source de haute tension continue. Pour cela, nous avons utilisés une installation présente au laboratoire de haute tension de L'université de Bejaia, celle-ci délivre des tensions variant de 0 à ± 140 Kv et un courant de 0.08 A, continue où Alternative, de polarité positive ou négative, figure (II.6). Cette installation est composée :

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

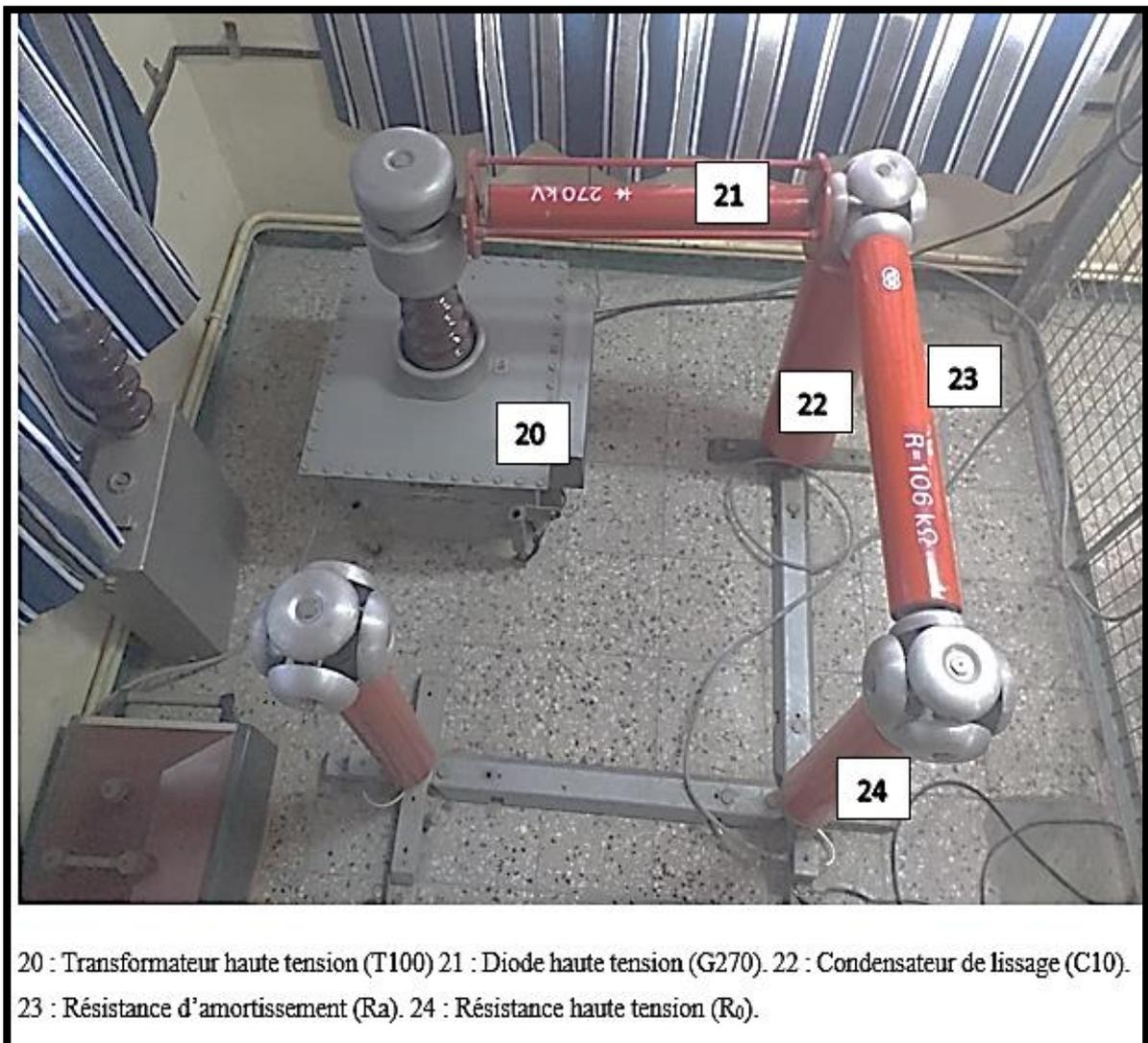


Figure II.5: Installation haute tension utilisée du laboratoire de Bejaia.

L'enroulement primaire du transformateur élévateur T100 (20) utilisé dans cette installation (ayant un faible pas de variation de 100 V environ et délivrant des hautes tensions) est alimenté par une source basse tension variable (SG1) via un câble. On a associé à ce transformateur un redresseurs mono-alternance afin d'obtenir une haute tension continue. Le redresseur est constitué d'une diode haute tension (21) à base de silicium et d'un condensateur de lissage C10 de capacité de 10nF. Une résistance R de 106 k Ω qui relie le condensateur au système d'électrodes. Son rôle est d'amortir le courant, protégeant ainsi la diode des surintensités. Pour la mesure de la haute tension continue V_a , nous disposons d'un diviseur de tension résistif composé d'une résistance haute tension R_0 (24) de 248,5 M Ω et d'une résistance basse tension R_u de 501 k Ω incorporée dans le voltmètre de crête MU11. Ces deux résistances sont reliées par un câble coaxial (16) blindé.

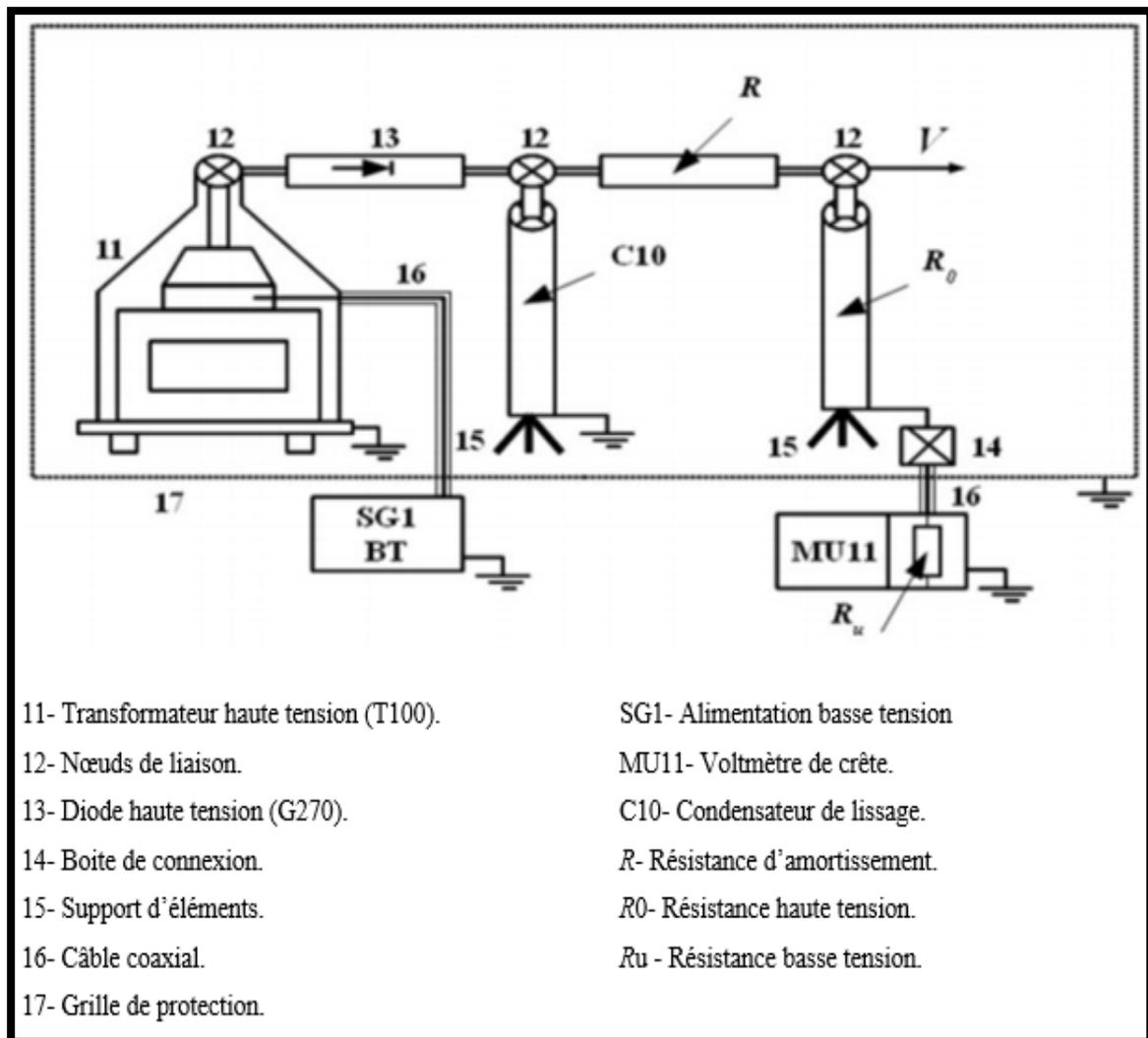


Figure II.6 : Schéma en bloc de la source de haute tension utilisée [15].

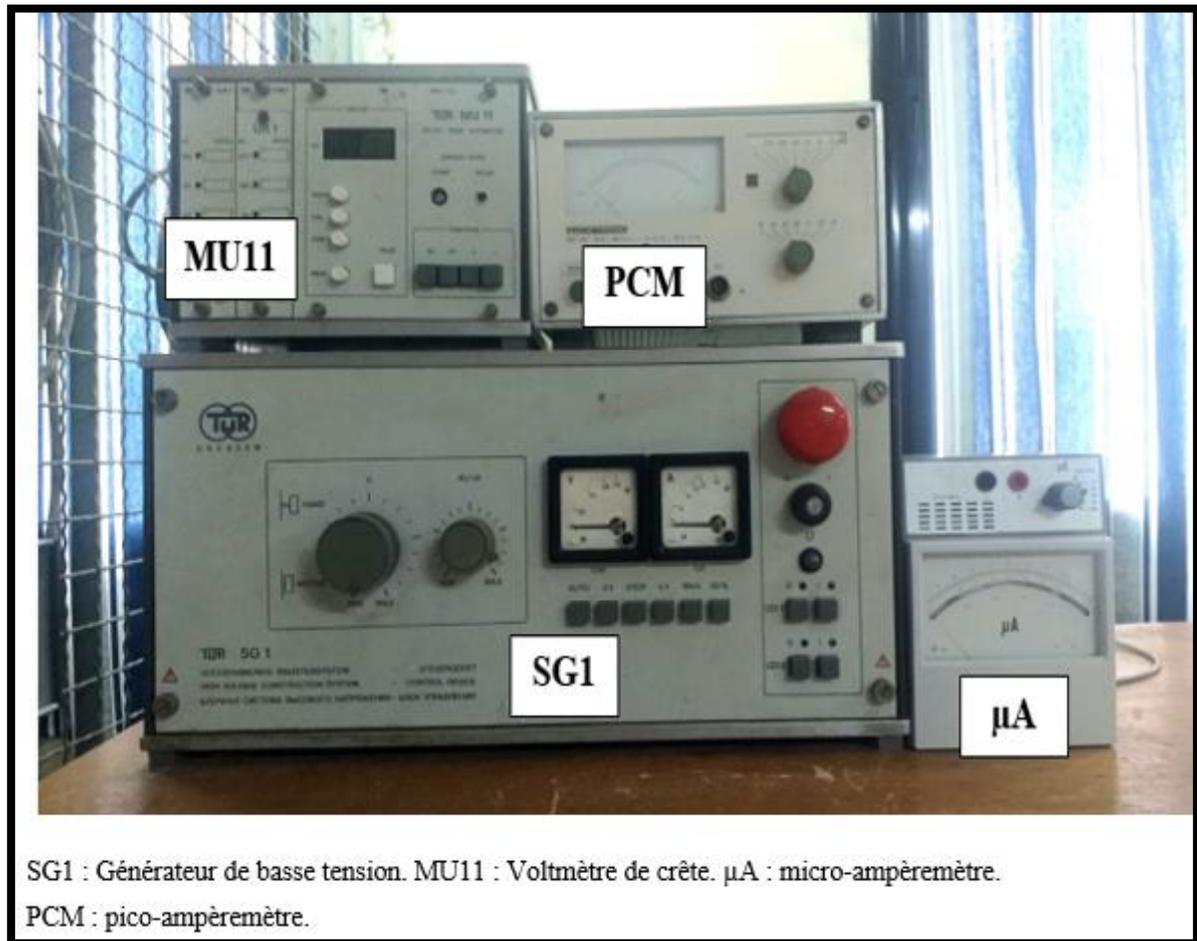


Figure II.7 : Equipements de l'installation haute tension utilisée.

II.3. Méthodes de mesure

II.3.1. Mesure de tensions

II.3.1.1. Tension appliquée aux électrodes actives

La mesure de la tension V_{app} aux électrodes actives s'effectue à l'aide du diviseur résistif décrit précédemment et du voltmètre de crête MU11. Ce dernier mesure la tension U aux bornes de la résistance basse tension R_u et affiche numériquement la valeur de la tension appliquée $V_{app} = K.U$ où K est le rapport du diviseur. De plus, le voltmètre présente une résistance d'entrée R_e de $4,24 \text{ M}\Omega$ dont nous tenons compte dans l'évaluation du rapport k [6].

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

II.3.1.2. Mesure de la tension de claquage

Chaque fois qu'on varie un paramètre, on détermine la tension de claquage, pour ne pas endommager le matériel. Les plans de garde (A), le plan de mesure(B), et la sonde sont mis à la terre, l'électrode active est reliée la source de haute tension. On augmente la tension en mode progression automatique jusqu'à avoir la valeur de la tension de claquage affichée par le voltmètre de crête (MU11).

II.3.2. Mesure du courant

II.3.2.1. Caractéristique Courant-Tension

Le relevé de la caractéristique courant-tension $I(V)$ de la décharge couronne se fait par la mise en liaison de plan collecteur (B) à un microampèremètre a aiguille figure (II.8) qui nous permet de relever la valeur de courant collecté par le plan.

L'électrode active est alimentée par une source haute tension, dont la valeur est affichée par le voltmètre de crête. On relève les valeurs du courant en variant la tension appliquée, cette mesure nous permet de déterminer la tension d'apparition de l'effet couronne V_s est en veiller à ne pas atteindre la tension de claquage d'une une marge de 8 KV à 10 KV.

II.3.2.2. Densité de courant J

Le courant I_s traversant la sonde est mesuré à l'aide d'un pico ampèremètre figure (II.1) relié à la sonde par l'intermédiaire d'un câble coaxial blindé. La précision des mesures dépend, d'une part, de la position de la sonde par rapport aux plans de mesures(B), et d'autre part, du courant de fuite causé par l'accumulation de poussière environnante entre les deux parties sonde et le plan de mesure (B). Il est alors recommandé de nettoyer régulièrement la sonde et les plans de garde avant chaque essai et de vérifier que la sonde est au même niveau de surface que les plans de mesures (B).

II.3.2.2.1. Les dimensions de la sonde

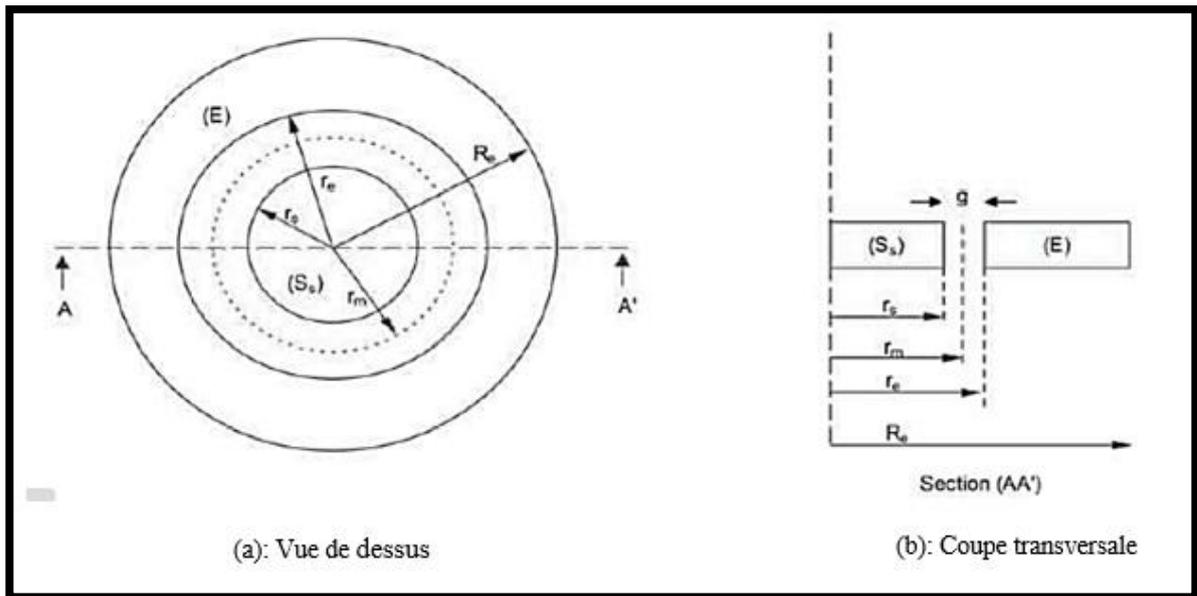


Figure II.8: Sonde circulaire.

Rayon de collecteur (Sonde) : $r_s = \frac{4,7}{2} = 2,35 \text{ mm}$

Rayon de trou : $r_e = 2,5 \text{ g} = r_e - r_s = 0,15 \text{ mm}$

Le rayon moyen : $r_m = r_s + \frac{g}{2} = 2,425 \text{ mm}$

La surface totale de la sonde : $s_s = \pi * r_m^2 = 18,474 \text{ mm}^2$

II.3.3. Mesure des paramètres de l'air

Etant donné que les paramètres physiques de l'air influencent considérablement la décharge couronne [25, 26], donc il est nécessaire de relever les conditions dans lesquelles cette décharge a lieu. On mesure la pression grâce à un baromètre à mercure, un thermomètre à mercure pour la température, et un hygromètre à cheveux pour l'humidité. Figure (II.9) et Figure (II.10).



Figure II.9 : Baromètre.

Figure II.10 : (A) : Thermomètre. (B) : Hygromètre.

II.4. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons décrit la démarche expérimentale entreprise, le matériel que nous avons utilisé durant les essais, et les techniques de mesures des paramètres électrique de la décharge couronne.

Dans le chapitre qui suit, nous procéderons à l'interprétation des résultats de nos expériences sur la décharge couronne en géométrie un fils-plan, trois fils-plan et système triode (trois fils-grille-plan).

Chapitre III

Résultats et Interprétation

Chapitre III

Résultats et Interprétation

III.1. Introduction

Ce troisième chapitre présente l'analyse et l'interprétation des résultats expérimentaux obtenus. En effet, il constitue le noyau de notre travail de mémoire, est considéré comme une suite des travaux de recherche déjà entamé pour la caractérisation expérimentale de l'électrode nappe de fils-plan.

Nous allons présenter l'influence de la hauteur fils-plan et le diamètres des fils sur la décharge couronne générée par les configurations un fil-plan et trois fils-plan, pour cela on a relevé les caractéristiques courant-tension ($I=f(V)$) mesurée à l'aide d'un voltmètre de crête et d'un micro-ampèremètre, ensuite on a mesuré la densité de courant J récolté par la sonde circulaire à l'aide d'un pico-ampèremètre.

Par la suite on a inséré une grille métallique entre les trois fils et le plan de masse, et on a refait les mêmes essais que précédemment.

III.2. Système d'électrode trois fils-plan

Le dispositif d'essai est représenté sur la figure (III.1), afin de pouvoir étudier les différents paramètres de la décharge couronne (La caractéristique courant tension et la densité du courant), plusieurs essais ont été réalisés, on a fixé la distance inter fils $a=3\text{cm}$ et on a varié la hauteur fils-plan (h_{fp}), diamètre du fil(D) et la tension appliquée (V_{app}).

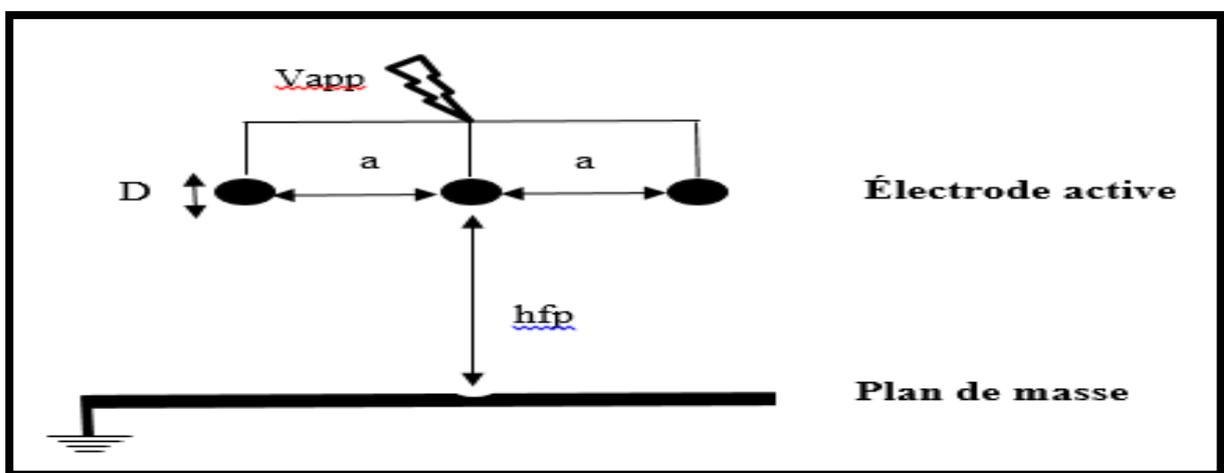


Figure III.1 : Dispositif expérimentale du système trois fils-plan.

III.2.1. Caractéristiques Courant-Tension I(V)

Dans cette série d'expérience, on a enregistré le courant collecté par le plan et on a étudié les caractéristiques courant- tension I(V) en fonction des paramètres suivants :

- Nombre de fils de l'électrode active.
- Hauteur fil-plan (hfp).
- Diamètre des fils (D).

III.2.1.1. Influence du nombre de fils

Pour étudier l'influence du nombre de fils sur le courant de la décharge on a relevé les caractéristiques I(V) pour les systèmes un fil-plan et trois fils-plan. On a fixé la hauteur fils- plan $h_{fp}=4\text{cm}$, la figure (III.2) illustre les résultats obtenus.

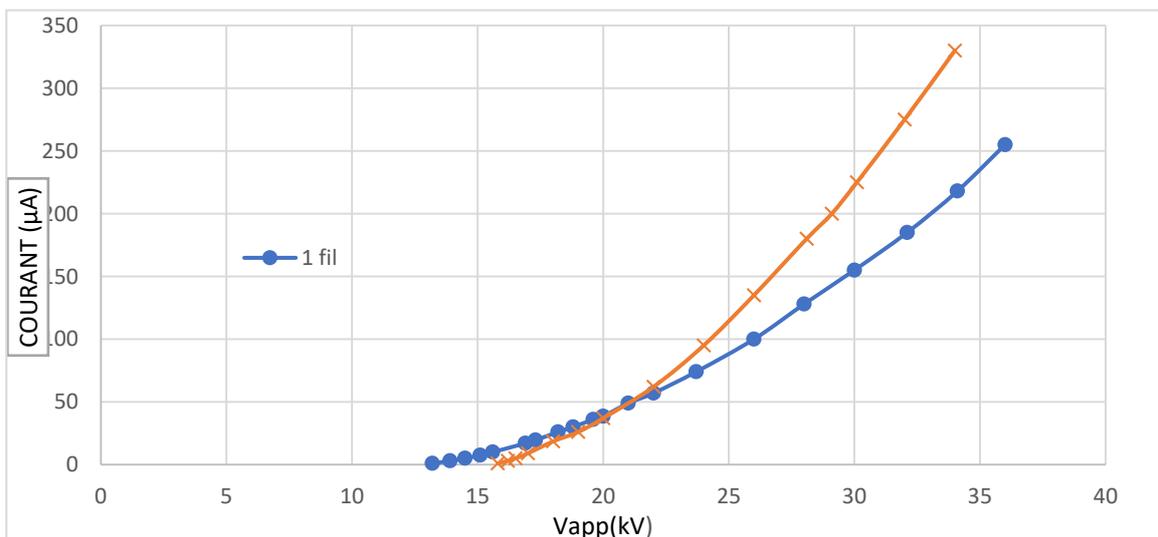


Figure III.2 : caractéristique courant-tension pour les deux systèmes d'électrodes fil-plan et trois fils-plan ($h_{fp}=4\text{cm}$, $a= 3\text{cm}$, $T=22\text{ °C}$, $P=101,03\text{hPa}$, $H=54,5\%$, $D=0,5\text{mm}$).

Les courbes montrent que le courant du plan (I_p) augmente avec l'augmentation de la tension V_{app} lorsque celle-ci dépasse une certaine valeur V_s (tension d'apparitions de l'effet couronne), et la valeur de V_s est plus importante pour le système trois fils-plan que pour le système un fil-plan parce que le champ est plus homogène. Le courant de décharge de la configuration trois fils-plan est plus important que celui de la configuration un fil-plan, ceci peut être expliqué par l'augmentation de nombre de régions ionisées autour de chaque fil.

III.2.1.2. Influence de la hauteur fils-plan

Pour étudier l'influence de la hauteur fil-plan sur le courant de décharge, on a fixé le rayon des fils $D=0,3\text{mm}$ et on a varié la hauteur fils-plan ($h_{fp}=2, 3, 4, 5, 6\text{ cm}$) pour le système d'électrode trois fils-plan.

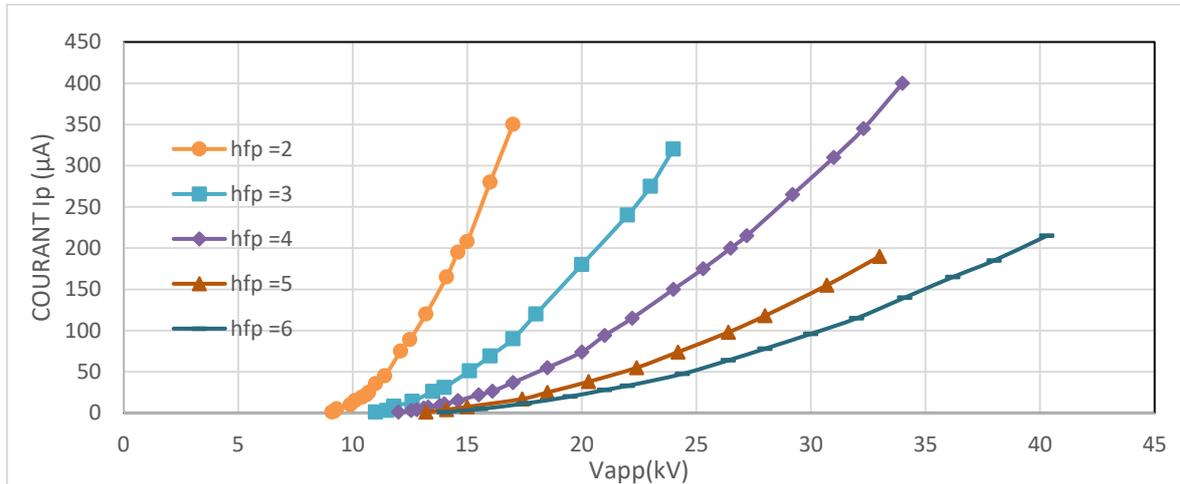


Figure III.3 : caractéristique courant-tension pour différentes valeurs de la distance inter électrodes h_{fp} , ($a=3\text{cm}$, $19\text{ °C} < T < 22\text{ °C}$, $P=100,65\text{ hPa}$, $54\% < H < 65\%$, $D=0,3\text{ mm}$).

D'après la figure (III.3) on observe que la tension seuil (V_s) augmente avec l'augmentation de la hauteur fils-plan et pour la même tension appliquée, le courant de décharge diminue, par ce que le champ électrique s'affaiblie.

III.2.1.3. Influence du rayon de courbure (diamètre des fils)

Dans le but de connaître l'influence du diamètre des fils sur la décharge couronne, on a fixé la hauteur $h=4\text{cm}$ et on a varié le diamètre des fils ($D=0,2; 0,3; 0,5; 0,8\text{mm}$). Avec une distance inter-fils $a=3\text{cm}$, les deux figures (III.4) et (III.5) représentent les résultats obtenus pour les deux systèmes d'électrodes (un fil-plan et trois fils-plan).

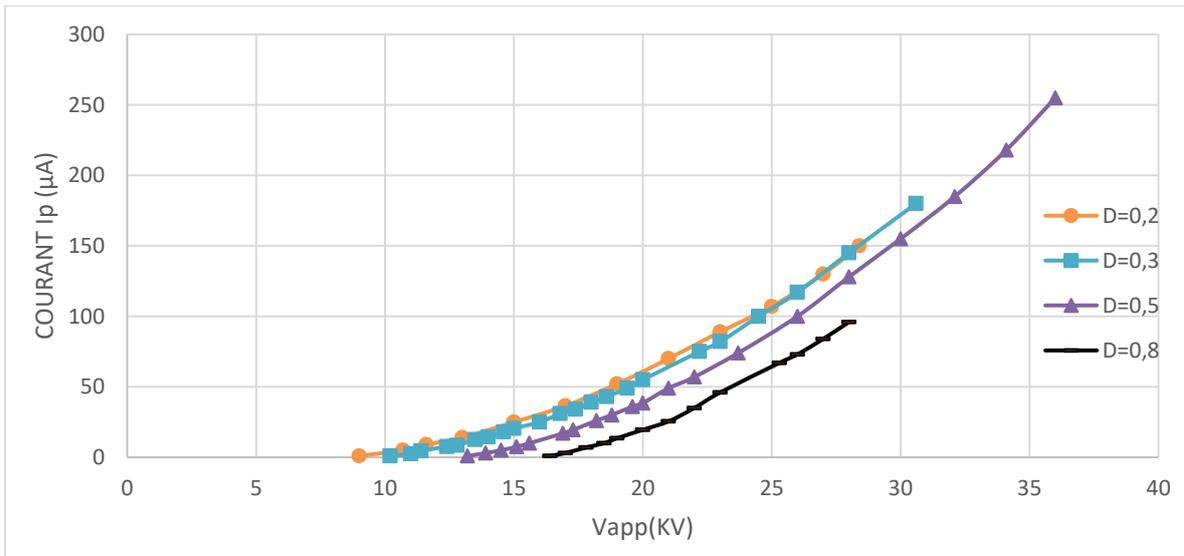


Figure III.4 : caractéristique courant-tension pour le système d'électrode un fil-plan pour différents diamètres des fils ($h_{fp}=4cm$ $20\text{ }^\circ C < T < 25\text{ }^\circ C$, $P=101,3\text{ hPa}$, $50\% < H < 65\%$).

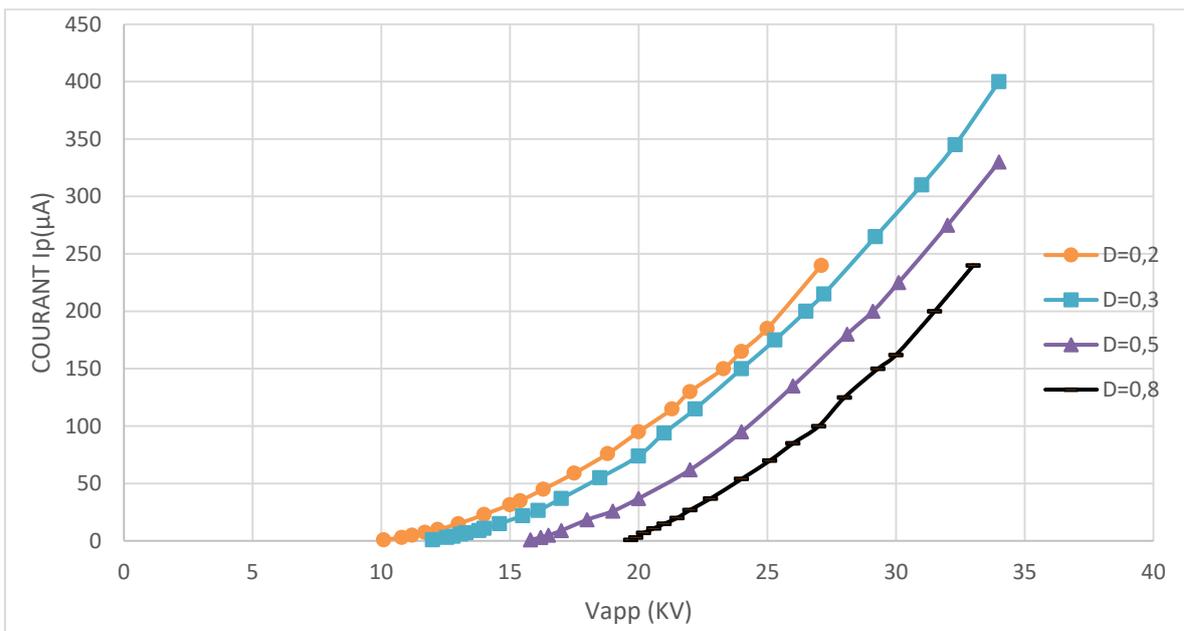


Figure III.5 : Caractéristique courant-tension pour le système d'électrode trois fils-plan pour différents diamètres des fils ($h_{fp}=4cm$ $20\text{ }^\circ C < T < 24\text{ }^\circ C$, $P=101,59\text{ hPa}$, $54\% < H < 66\%$).

On constate que pour les deux configurations un fil-plan et trois fils-plan, le rayon de courbure est un facteur important. D'après la loi de Peek, lorsque le diamètre des fils diminue, le champ électrique à la surface des fils augmente, pour cela la tension seuil diminue avec la diminution des diamètres des fils, par conséquent pour la même tension appliquée le courant de décharge est plus important pour les petits diamètres des fils.

III.2.2. La densité de courant J

Les valeurs de la distribution de la densité de courant de décharge **J** est obtenue en variant horizontalement la position des fils par rapport à l'axe de la sonde, par un pas variable jusqu' à ce que le courant s'annule.

La densité de courant J est étudiée en fonction des paramètres suivant :

- Valeur de la tension appliquée (V_{app}).
- Hauteur fils-plan (h_{fp}).
- Diamètre des fils (D).
- Courant collecter par le plan (I_p).

III.2.2.1. Influence de la tension appliquée

Pour différentes valeurs de la tension appliquée V_{app} , on a relevé les valeurs de la densité de courant J, pour les deux systèmes de configurations trois fils-plan et un fil-plan. Les résultats obtenus sont illustrés sur les figures (III.6) et (III.7).

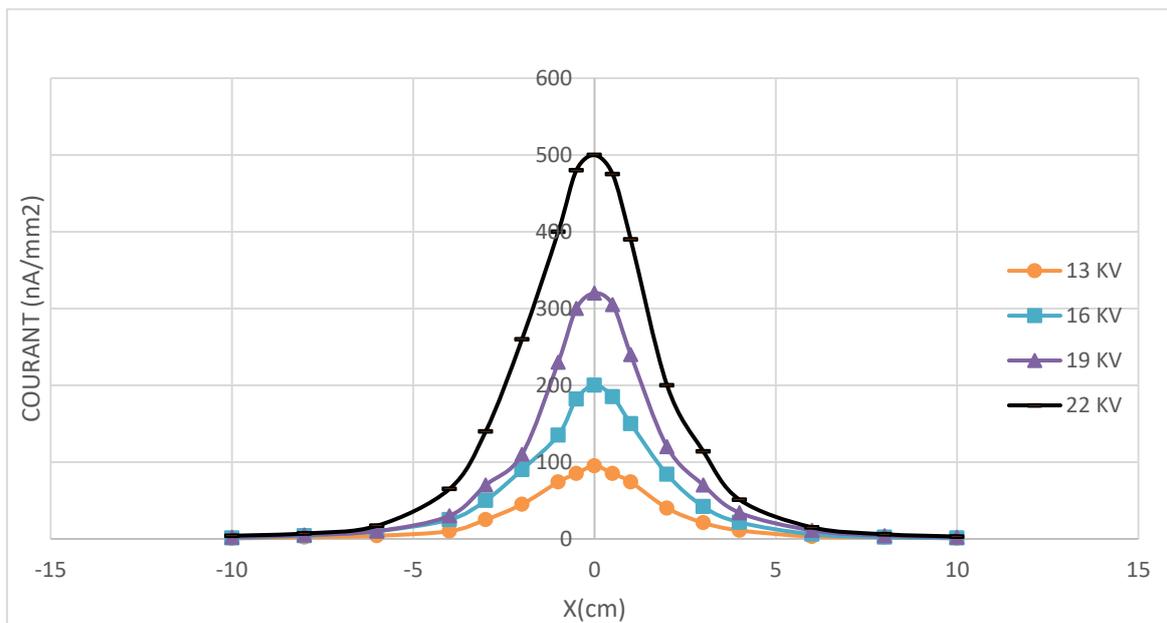


Figure III.6 : Densité du courant J d'un système d'électrode un fil-plan pour différentes valeurs de tension appliquée ($a= 3$ cm, $h_{fp}= 3$ cm, $T=22$ °C, $P=100,08$ hPa, $H=63\%$, $D=0,2$ mm).

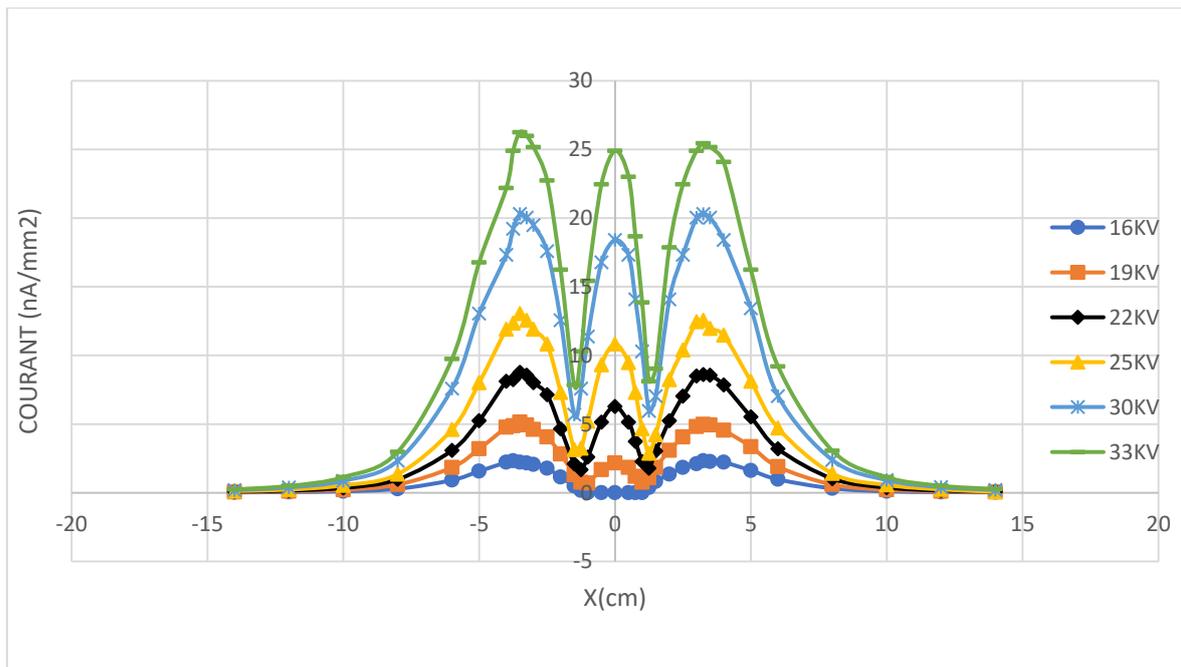


Figure III.7 : Densité du courant d'un système d'électrode trois fils-plan, pour différentes valeurs de tension appliquée ($a= 3\text{cm}$, $20\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 22\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=100,87\text{ hPa}$, $50\% < H < 63\%$, $D=0,3\text{ mm}$).

D'après la première figure (III.6), la densité de courant J a une forme d'une cloche, la valeur de courant est maximale sous le fil, puis elle diminue au fur à mesure qu'on s'éloigne de ce dernier.

Pour la configuration trois fils-plan figure (III.7) la distribution de la densité de courant J est sous forme d'onde, ou les valeurs maximales se trouvent aux alentours de la position des fils, et les minimums entre chaque deux fils.

Les résultats déjà obtenus dans des travaux antérieurs, ont montré que la position des maximums varie avec la distance inter-fil, et nos résultats confirment cela, car la position du maximum des fils des bords se situe à la position $X=3,25\text{cm}$ qui est décalé par rapport à la position du fil qui est égale à $X=3\text{cm}$.

Quand on augmente la tension appliquée V_{app} les valeurs de la densité de courant augmentent, car le champ électrique devient plus intense. On constate aussi que la valeur maximale du courant correspondant au fil du centre est inférieure à celles des fils de bords car les lignes de champ émises par des fils du bord étouffent les lignes de champ émises par le fil centre [27].

L'effet mutuel entre les fils (effet shielding)

Pour étudier la variation de l'effet mutuel entre les fils (effet shielding) en fonction de la tension appliquée, on définit le facteur λ , représentant le taux de réduction de la valeur maximale du courant du fil du centre par rapport au fil du bord par la relation [28] :

$$\lambda = \frac{Jb - Jc}{Jb} \tag{III.1}$$

λ : facteur de l'effet sheilding .

Jb : Densité courant maximal de fil de bord.

Jc : Densité courant maximal de fil du centre.

Tableau III.1 : Le facteur de l'effet sheilding entre les fils en fonction de la tension appliquée.

Tension (KV)	16	19	22	25	30	33
$Jb(nA/mm^2)$	2,32759554	4,979971852	8,606690484	12,55818989	20,298798	25,441160
$Jc(nA/mm^2)$	0	2,165205153	6,279094944	10,82602577	18,4042438	24,89985926
λ	1	0,565	0,269	0,137	0,093	0,021

D'après les résultats du tableau (III.1) on constate que l'effet sheilding diminue avec l'augmentation de la tension appliquée.

III.2.2.2. Influence de la hauteur fils-plan

L'objectif de ces expériences est d'étudier l'influence de la distance inter-électrode sur la densité de courant, on a fixé le diamètre des trois fils à $D=0,3mm$, la tension à $U=25kV$, et on a varié la hauteur fils-plans ($h_{fp}= 3, 4, 5$ et 6 cm).

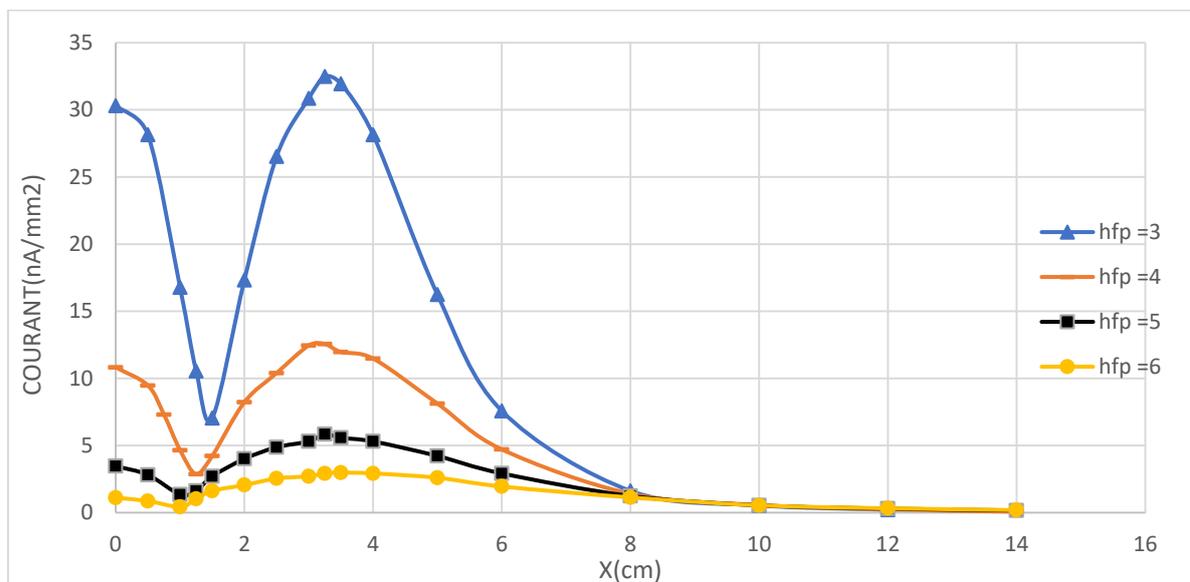


Figure III.8 : Densité du courant pour différentes valeurs de la hauteur fils-plan ($a= 3cm$, $20\text{ }^\circ C < T < 23\text{ }^\circ C$, $P=100,87\text{ hPa}$, $53\% < H < 65\%$, $D=0,3\text{ mm}$).

D'après les résultats obtenus figure (III.8), on remarque que la densité du courant J décroît lorsqu'on augmente la distance inter-électrodes, cela est due à la diminution du champ électrique dans l'espace inter électrodes.

Et on remarque aussi que la position des valeurs maximales de la densité de courant des fils de bords se situe toujours à la position $X= 3,25\text{cm}$ quel que soit la valeur de la hauteur fils-plan.

Tableau III.2 : Le facteur de l'effet sheilding entre les fils en fonction de la hauteur fils-plan.

Hfp (cm)	3	4	5	6
J_b (nA /mm ²)	32,4780773	12,55818989	5,846053914	2,97715709
J_c (nA /mm ²)	30,31287214	10,82602577	3,464328245	1,109667641
λ	0,066	0,138	0,407	0,627

D'après le tableau (III.2) les valeurs de facteur λ on déduit que l'effet mutuel qui s'exerce entre les fils augmente avec l'augmentation de la hauteur fils-plan (hfp).

III.2.2.3. Influence du rayon de courbure du fil

Dans le but d'établir l'influence du rayon de courbure sur la densité du courant, on fixe la hauteur fils-plan $hfp=4\text{cm}$, et on varie les diamètres des fils ($D=0,2; 0,3; 0,5$ et $0,8\text{mm}$), pour deux valeurs tension appliquée $V_{app}=25\text{kV}$ et $V_{app}=33\text{kV}$.

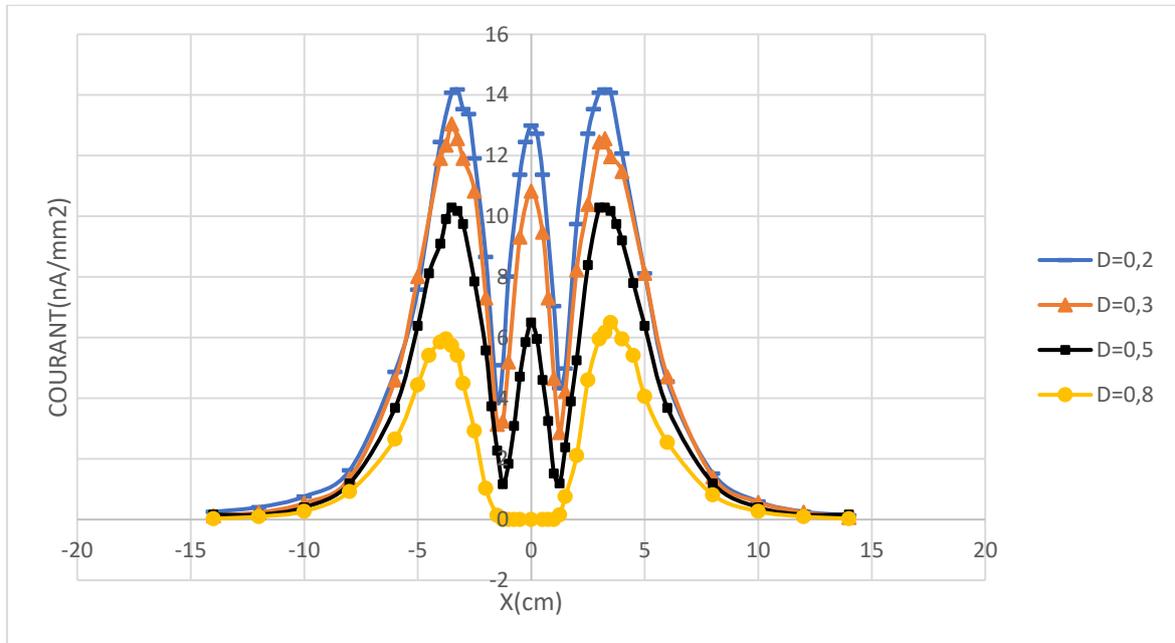


Figure III.9 : Densité du courant J tension pour le système d'électrode trois fils-plan pour différents diamètres des fils ($20\text{ }^\circ\text{C} < T < 22\text{ }^\circ\text{C}$, $100,66\text{ hPa} < P < 100,87\text{ hPa}$, $53\% < H < 65\%$, $hfp=4\text{cm}$, $U=25\text{kV}$).

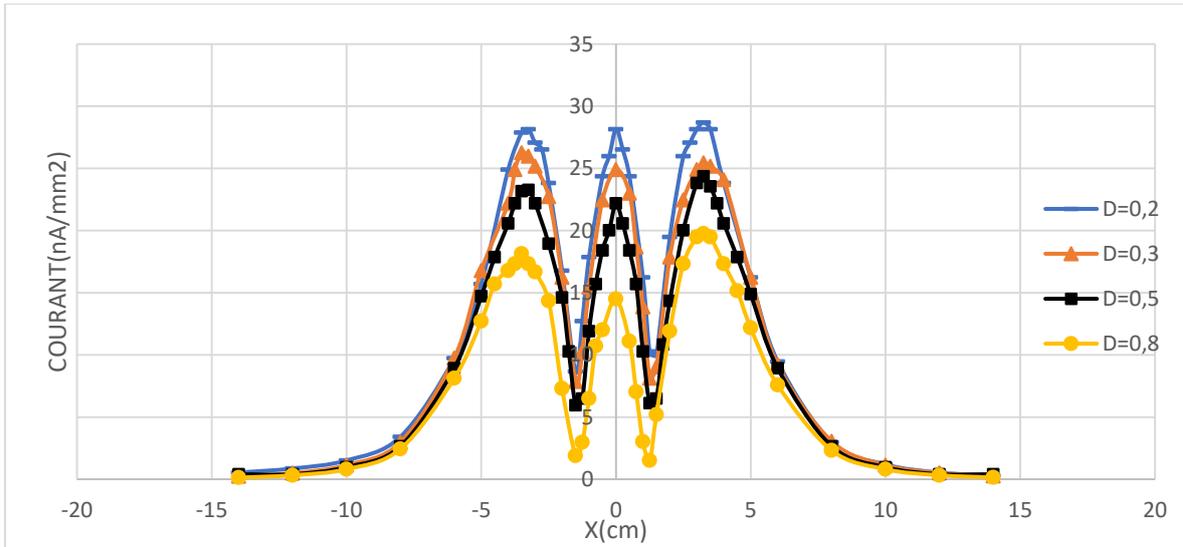


Figure III.10 : Densité de courante tension pour le système d’électrode trois fils-plan pour différents diamètres des fils ($20\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 22\text{ }^{\circ}\text{C}$, $100,66\text{ hPa} < P < 100,87\text{ hPa}$, $53\% < H < 65\%$, $h=4\text{ cm}$, $U=33\text{ kV}$)

D’après les deux figures (III.9) et (III.10) on constate que le diamètre des fils influe directement sur la densité du courant J , le courant capté par la sonde est plus important pour des rayons de courbures plus faibles, car le camp devient plus intense.

La position du maximum des fils des bords reste toujours la même que précédemment, qui se situe à la position $X= 3,25\text{ cm}$ elle est décalée par rapport à la position du fil qui est égale à $X=3\text{ cm}$.

Tableau III.3 : Le facteur de l’effet sheilding entre les fils en fonction des diamètres des fils $U=25\text{ kV}$.

D (mm)	0,2	0,3	0,5	0,8
J_b (nA /mm ²)	14,18209375	12,55818989	10,28472448	6,49561546
J_c (nA /mm ²)	12,99123092	10,82602577	6,49561546	0
λ	0,0839	0,1299	0,3684	1

Tableau III.4 : Le facteur de l’effet sheilding entre les fils en fonction des diamètres des fils $U=33\text{ kV}$.

Hfp (cm)	0,2	0,3	0,5	0,8
J_b (nA /mm ²)	28,68896828	25,44116055	24,35855797	19,75749702
J_c (nA /mm ²)	28,14766699	24,89985926	22,19335282	14,50687453
λ	0,0188	0,0213	0,0888	0,2657

Les valeurs de λ indiquées sur les tableaux montre que l’effet sheilding augmente avec le diamètre des fils, on remarque que pour le diamètre $D=0,8\text{ mm}$ et pour la tension appliquée

$V_{app}=25kV$, la décharge générée par le fil central se retrouve étouffé par les charges des fils du bord et quasiment inexistante.

III.2.2.4. Courant de décharge fixe

Pour étudier l'effet des diamètres des fils(D) et la hauteur fils-plan(hfp) sur l'effet sheilding, on a fixé le courant collecté par le plan (I_p) indiquée par le microampèremètre, a deux valeurs $I_p=100\mu A$ et $I_p=150\mu A$, si on varié la hauteur fils-plan ou les diamètres des fils, on augmente la tension appliquée V_{app} , afin d'obtenir la même valeur du courant de plan (I_p).

III.2.2.4.1. Influence de la hauteur

Dans cette série d'expériences, on a fixé le courant du plan à $I_p=100\mu A$ et $I_p=150\mu A$ et on varie la hauteur fils-plan (hfp= 3, 4, 5 et 6 cm).

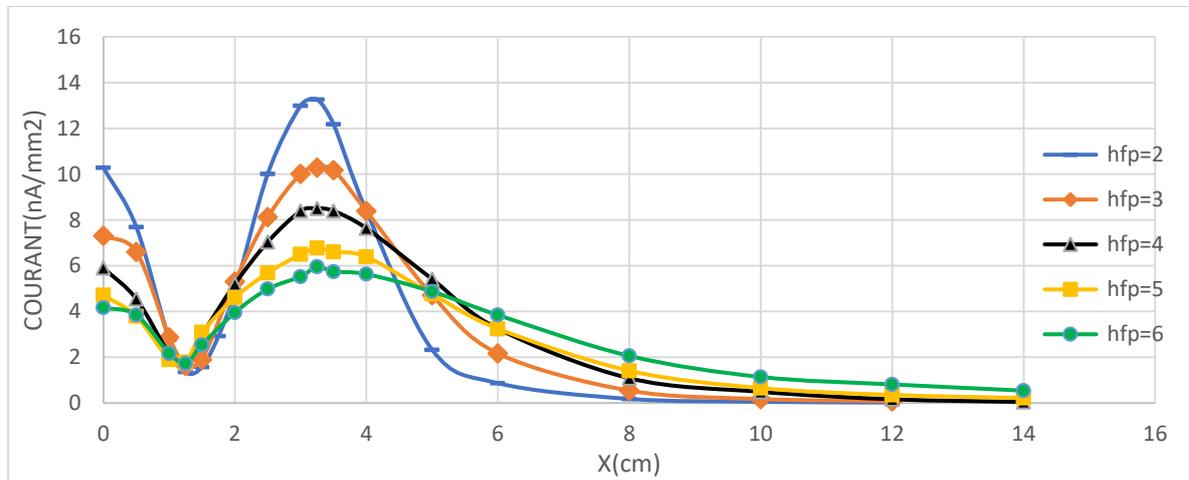


Figure III.11 : Densité du courant J pour différentes valeurs de la hauteur fils-plan ($D=0,3mm$ $20\text{ }^\circ C < T < 24\text{ }^\circ C$, $100,65\text{ hPa} < P < 100,75\text{ hPa}$, $53\% < H < 65\%$, $I_p=100\mu A$).

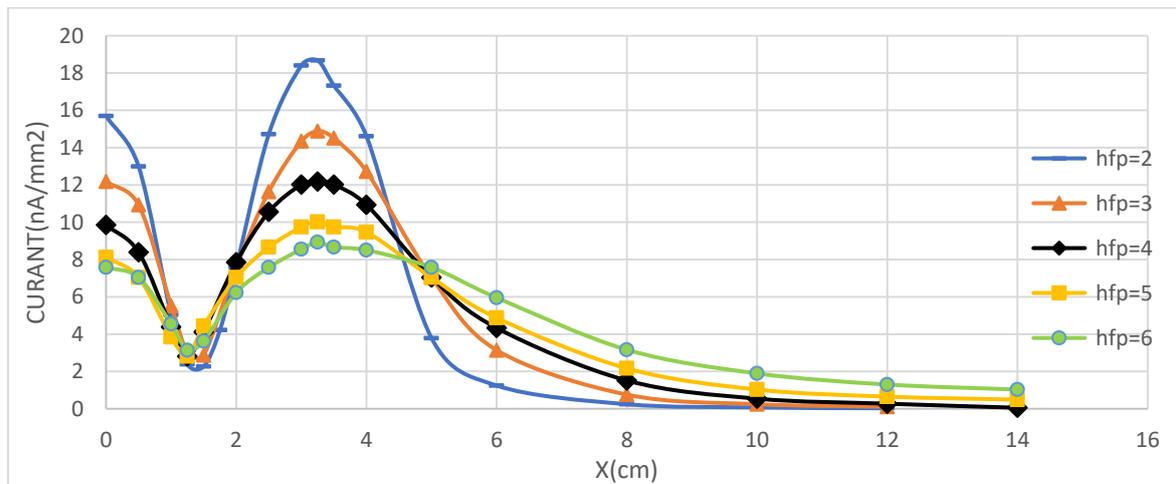


Figure III.12 : Densité du courant J pour différentes valeurs de la hauteur fils-plan, ($D=0,3mm$ $20\text{ }^\circ C < T < 24\text{ }^\circ C$, $100,65\text{ hPa} < P < 100,75\text{ hPa}$, $53\% < H < 65\%$, $I_p=150\mu A$).

Les figures (III.11) et (III.12) montrent que la densité de courant est plus importante pour les petites valeurs de hfp, car quand on augmente la distance inter-électrode les ions parcourent de plus grande distance pour atteindre le plan de masse.

Tableau III.5 : Le facteur de l'effet sheilding entre les fils en fonction de la hauteur fils-plan. $I_p=100\mu A$.

hfp (cm)	2	3	4	5	6
Jb (nA/mm²)	13,26188156	10,28472448	8,498430226	6,766266104	5,954314171
Jc (nA /mm²)	10,28472448	7,307567392	5,900184042	4,709321208	4,16801992
λ	0,2244	0,2894	0,3057	0,3040	0,2999

Tableau III.6 : Le facteur de l'effet sheilding entre les fils en fonction de la hauteur fils-plan $I_p=150\mu A$.

hfp (cm)	2	3	4	5	6
Jb (nA /mm²)	18,67489445	14,88578543	12,17927899	10,01407383	8,931471257
Jc (nA /mm²)	15,69773736	12,17927899	9,851683447	8,119519324	7,578218036
λ	0,1604	0,1818	0,1911	0,1891	0,1515

Selon les valeurs de λ obtenues (tableau) Pour différentes valeurs de I_p ($I_p=100\mu A$ et $I_p=150\mu A$), on remarque que les valeurs sont presque constantes, les écarts entre les valeurs reviennent aux erreurs expérimentales. On déduit que l'effet sheilding est lié à la valeur de champ électrique aux alentours des fils.

III.2.2.4.2. Influence du rayon de courbure

Dans cette série d'essai on a varié les diamètres des fils ($D=0,2$; $0,3$; $0,5$ et $0.8mm$). Pour deux valeurs de courant du plan $I_p=100\mu A$ et $I_p=150\mu A$.

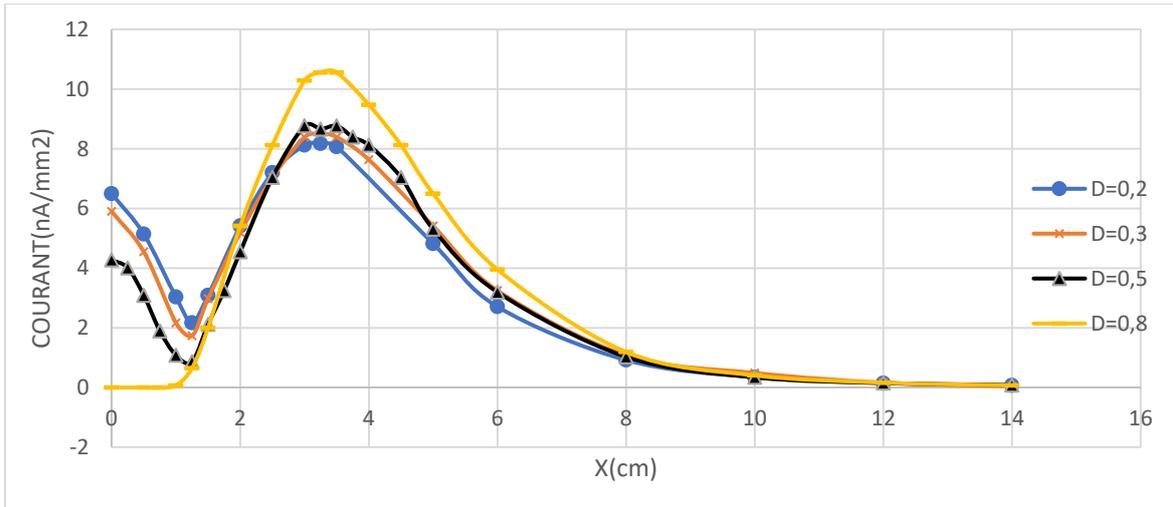


Figure III.13 : Densité du courant J tension pour le système d'électrode trois fils-plan pour différents diamètres des fils ($20\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 24\text{ }^{\circ}\text{C}$, $100,66\text{ hPa} < P < 100,87\text{ hPa}$, $54\% < H < 65\%$, $I_p = 100\mu A$).

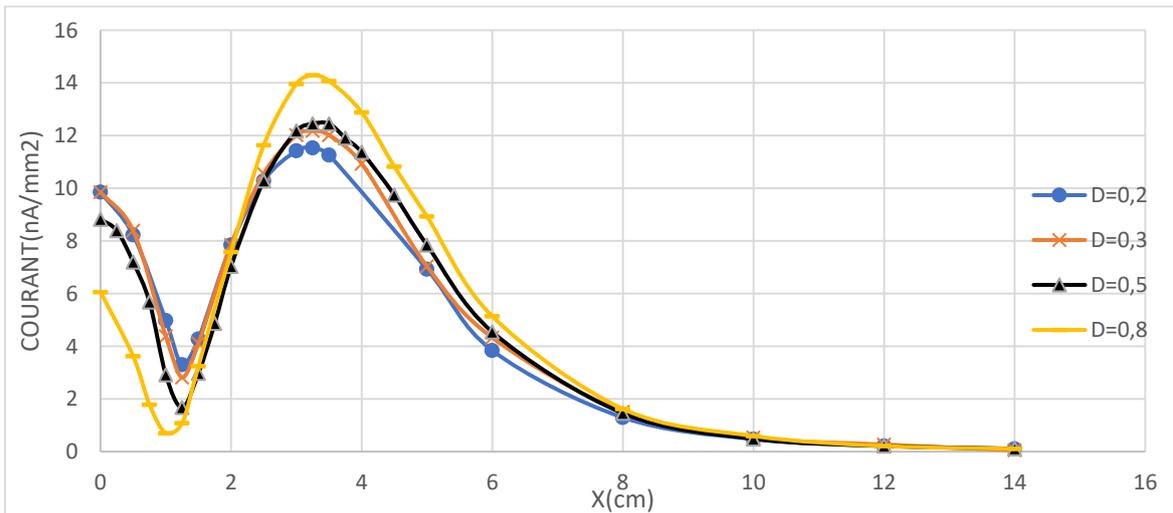


Figure III.14 : Densité du courant J tension pour le système d'électrode trois fils-plan pour différents diamètres des fils ($20\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 24\text{ }^{\circ}\text{C}$, $100,66\text{ hPa} < P < 100,87\text{ hPa}$, $54\% < H < 65\%$, $I_p = 150\mu A$).

Les figures (III.13) et (III.14) montrent que les valeurs de la densité de courant des fils de bord augmentent avec l'augmentation des valeurs de diamètre des fils de bords, ceci peut être expliqué par l'élargissement de la zone d'ionisation autour des fils et par conséquent la densité de courant est plus importante, par contre pour le fil central la densité de courant J diminue, car il se retrouve étouffé par les fils de bord avec l'augmentation du diamètre (D).

Tableau III.7 : le facteur de l'effet sheilding entre les fils en fonction des diamètres des fils $I_p=100\mu A$

Hfp (cm)	0,2	0,3	0,5	0,8
Jb (nA /mm ²)	8,17364945	8,498430226	8,76908087	10,55537512
Jc (nA /mm ²)	6,49561546	5,900184042	4,2762801780	0
λ	0,2053	0,3057	0,51234	1

Tableau III.8 : Le facteur de l'effet sheilding entre les fils en fonction des diamètres des fils $I_p=150\mu A$

Hfp (cm)	0,2	0,3	0,5	0,8
Jb (nA /mm ²)	11,52971744	12,17927899	12,44992963	14,29035401
Jc (nA /mm ²)	9,851683447	9,851683447	8,823210999	6,062574429
λ	0,1455	0,1911	0,3383	0,5757

Les tableaux (III.7) et (III.8) illustre la valeur de λ on remarque que l'effet sheilding augmente avec l'augmentation des rayons des fils ceci est dû au même effet (l'élargissement de la zone d'ionisation autour des fils).

III.3. Système triode trois fils-grille plan

L'installation expérimentale utilisée dans cette partie est composée du système d'électrode précédant avec une grille qui est insérée entre l'électrode active (trois fils) et le plan de masse. La grille est reliée à la terre, à travers une résistance (R_g), tous les essais ont été réalisés par le même diamètre des fils $D=0,3mm$, et une distance inter-fils $a=3cm$. La présence de la grille ajoute de nouveaux paramètres à l'étude (figureIII.15) qui sont :

- Hauteur fil grille h_{fg} .
- Hauteur grille plan h_{gp} .

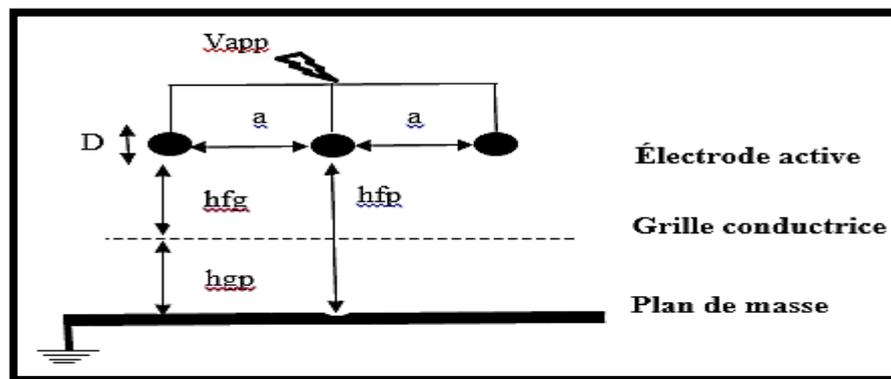


Figure III.15 : Dispositif expérimentale du système triode.

III.3.1. Caractéristiques Courant-Tension

Dans cette série d'expérience, on a enregistré le courant du plan collecteur et le courant de grille en fonction de la tension appliquée, plusieurs facteurs ont été pris en considération :

- Influence de la présence de la grille.
- Influence de la variation de la résistance de la grille.
- Influence de la position de la grille.

III.3.1.1 Influence de la présence de la grille

Les courbes de la figure (III.16) représentent les caractéristiques courant-tension pour le système triode trois fils -grille-plan et le système trois fils- plan sans grille. On a fixé la hauteur fils-plan $h_{fp}=4\text{cm}$ et la résistance de la grille à $R_g=100\text{M}\Omega$.

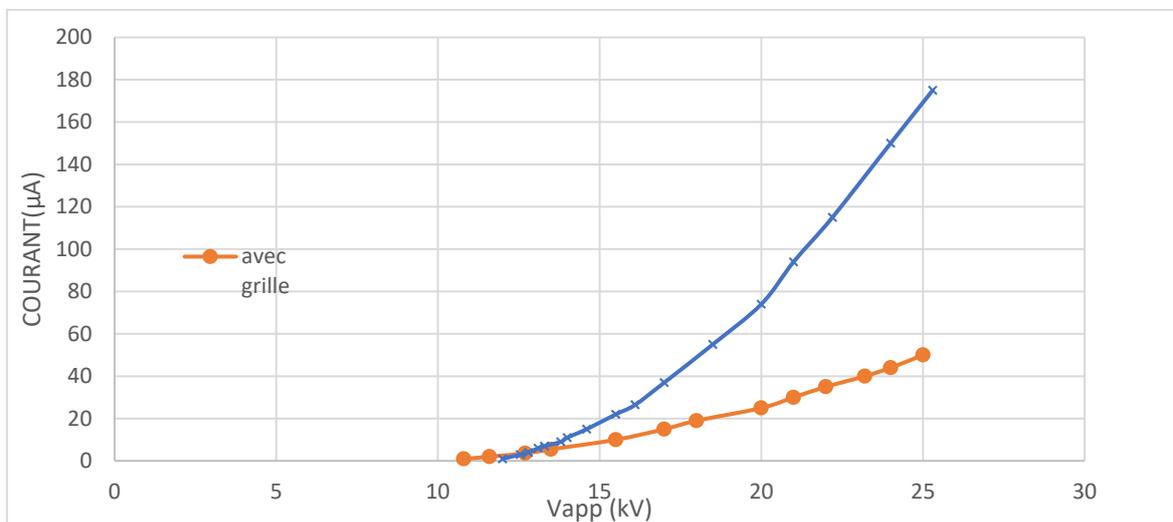


Figure III.16 : Caractéristique courant-tension pour le système triode trois fils -grille-plan et le système trois fils- plan sans grille ($a=3\text{cm}$, $20^\circ\text{C} < T < 21^\circ\text{C}$, $P=100,65\text{ hPa}$, $54\% < H < 58\%$).

Pour la même valeur de la tension appliquée, le courant de décharge récolté par le plan (I_p) est plus élevé en absence de la grille, car pour le système triode une partie de courant de décharge est évacué à travers la grille vers la terre, nous constatons que le seuil d'apparition V_s de la décharge couronne est plus faible avec l'insertion de la grille car cette dernière fait augmenter le champ de l'espace fils-grille.

III.3.1.1. Influence de la variation de la résistance de la grille

Les courbes des figure (III .17) et (III.18) représentent les caractéristiques courant-tension, et le courant (I_g) récolté par la grille en fonction de tension appliquée, pour différentes valeurs de résistance R_g ($50\text{M}\Omega$, $100\text{M}\Omega$, $150\text{M}\Omega$). La hauteur fil-plan est fixée à $h_{fp}=4\text{cm}$ et la grille est inséré au milieu à $h_{fg}=2\text{cm}$.

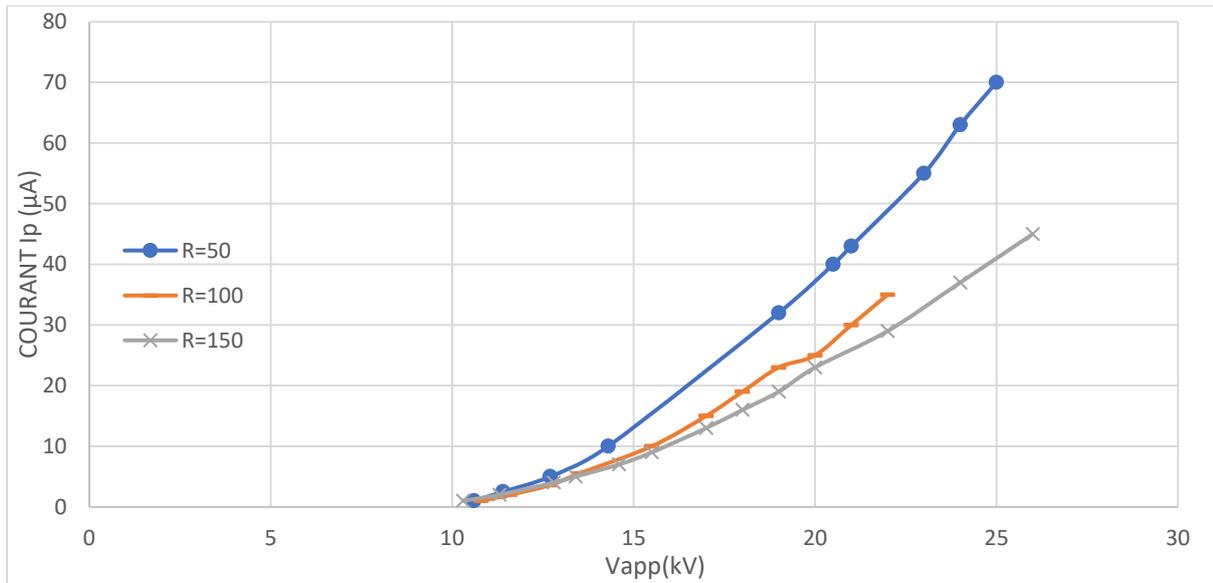


Figure III.17 : Caractéristique courant-tension pour différentes de la résistance R_g ($T=21\text{ }^\circ\text{C}$, $P=100,62\text{ hPa}$, $H=54\%$, $h_{fg}=2\text{cm}$, $h_{fp}=4\text{cm}$).

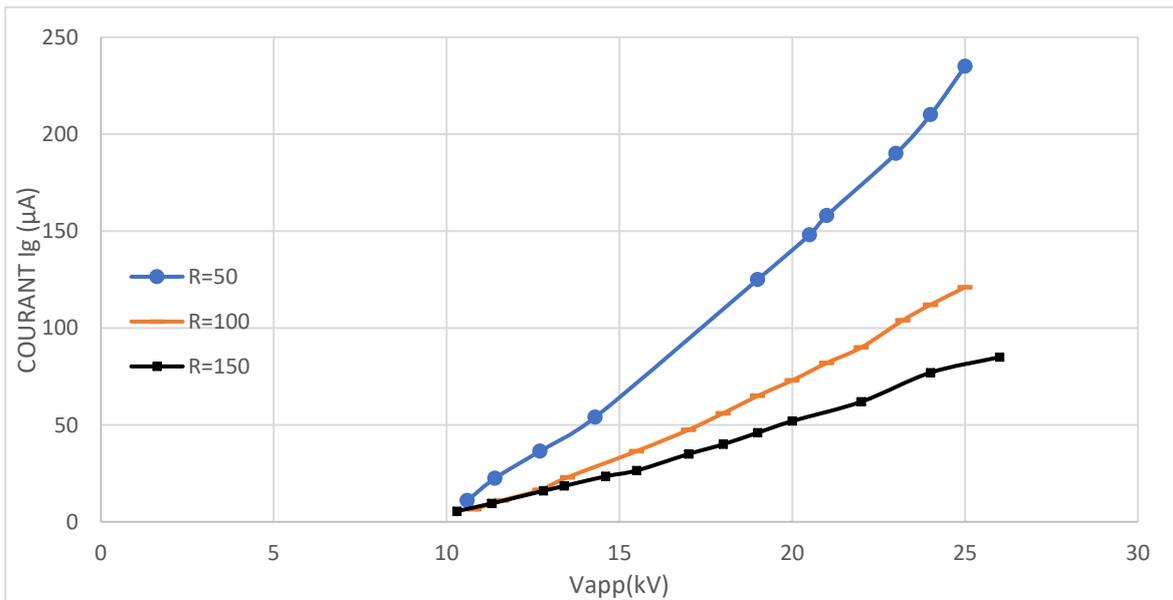


Figure III.18 : Courant de grille en fonction de la tension appliquée pour différentes de la résistance R_g , ($T=21\text{ }^\circ\text{C}$, $P=100,62\text{ hPa}$, $H=54\%$, $h_{fg}=2\text{cm}$, $h_{fp}=4\text{cm}$).

Les résultats des expériences sont présentés sur les figures (III.17) et (III.18), ils montrent que l'augmentation de la résistance de la grille (R_g) fait diminuer le courant du plan (I_p) et le courant capté par la grille I_g . Quand on augmente la résistance de grille R_g le potentiel de la grille augmente ($V_g=R_g \times I_g$), ce qui fait diminuer la différence de potentiel entre les fils et la grille ($V=V_{app}-V_g$), et par conséquent la diminution de champ électrique dans l'espace fils-grille qui engendre une diminution de courant de décharge.

III.3.1.2. Influence de la position de la grille

III.3.1.2.1. Variation de la hauteur grille- plan avec la hauteur fils-grille constante

La figure (III.19) et (III.20) montrent l’allure des courbes courant-tension récoltée par le plan et celui de la grille, en fonction de la variation de la hauteur grille-plan ($h_{gp} = 1, 2, 3$ et 4cm) en maintenant la hauteur fils-grille fixe ($h_{fg} = 2\text{cm}$).

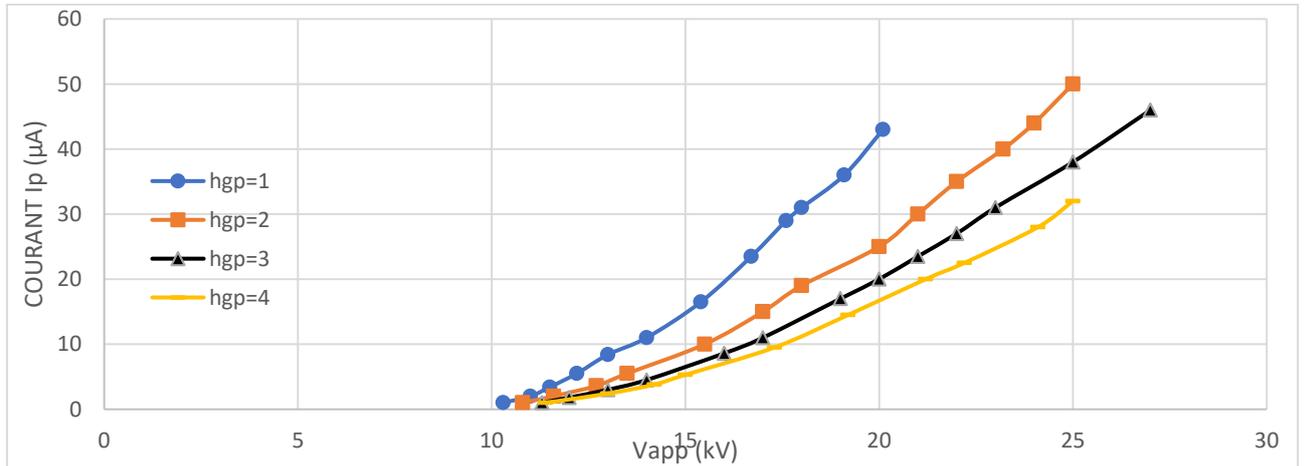


Figure III.19 : Caractéristique courant-tension pour différentes valeurs de la hauteur grille-plan ($21\text{ }^{\circ}\text{C}$ $<T<24\text{ }^{\circ}\text{C}$, $100,65\text{ hPa}<P<100,75\text{hPa}$, $53\%<H<57\%$, $h_{fg}=2\text{cm}$).

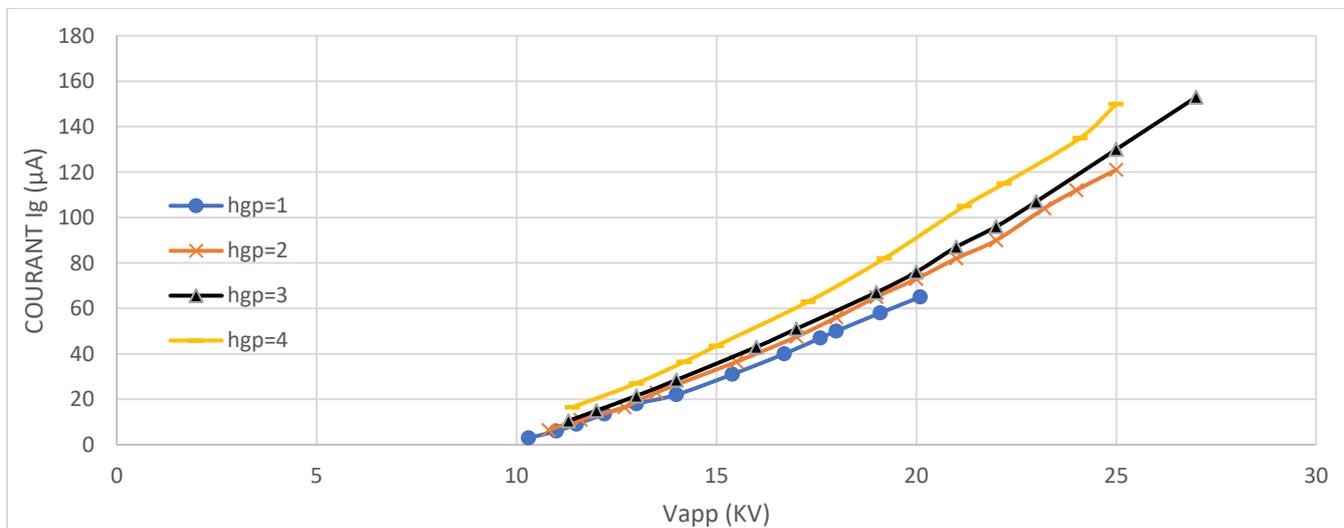


Figure III.20 : Courant de grille en fonction de la tension appliquée pour différentes valeurs de la hauteur grille-plan, ($21\text{ }^{\circ}\text{C}$ $<T<24\text{ }^{\circ}\text{C}$, $100,65\text{ hPa}<P<100,75\text{hPa}$, $53\%<H<57\%$, $h_{fg}=2\text{cm}$).

On constate que le courant de décharge collecté par le plan diminue avec l'augmentation de la hauteur grille-plan (h_{gp}), car le champ moyen dans l'espace grille-plan s'affaiblit par contre le courant qui traverse la grille augmente légèrement.

III.3.1.2.2. Variation de la hauteur fils-grille avec la hauteur grille-plan constante

La figure (III.21) et (III.22) présentent les valeurs des courant collectés par le plan et la grille, en fonction de la variation de la hauteurs fils-grille ($h_{fg}= 1,2,3,4$ cm) en maintenant la hauteur grille-plan fixe ($h_{gp}=2$ cm).

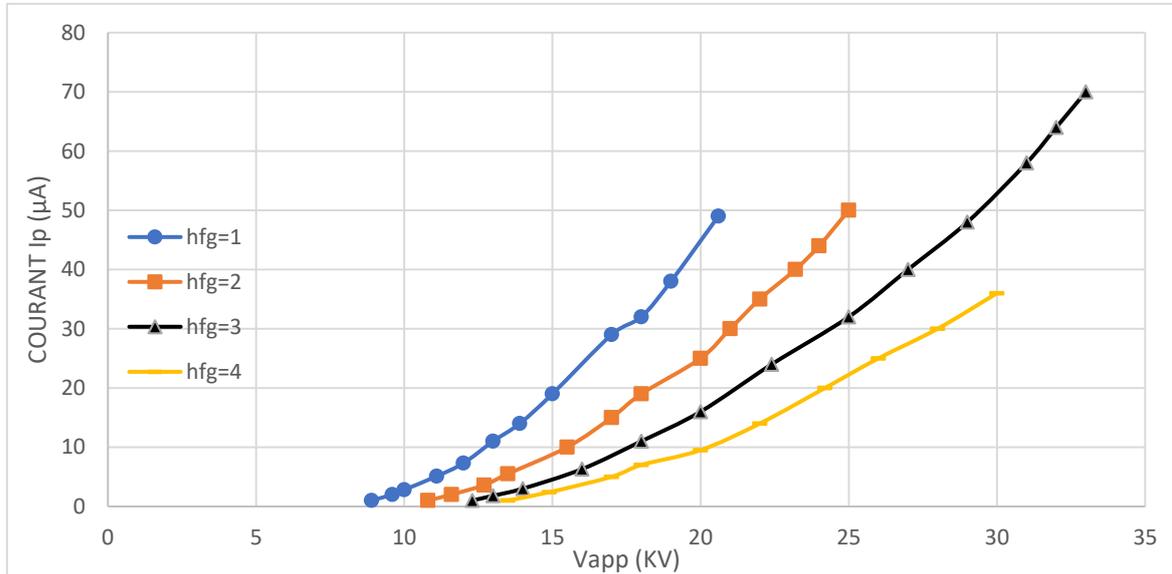


Figure III.21 : Caractéristique courant-tension pour différentes valeurs de la hauteur fils-grille, ($21\text{ }^{\circ}C < T < 24\text{ }^{\circ}C$, $100,65\text{ hPa} < P < 100,75\text{ hPa}$, $53\% < H < 57\%$, $h_{gp}=2$ cm).

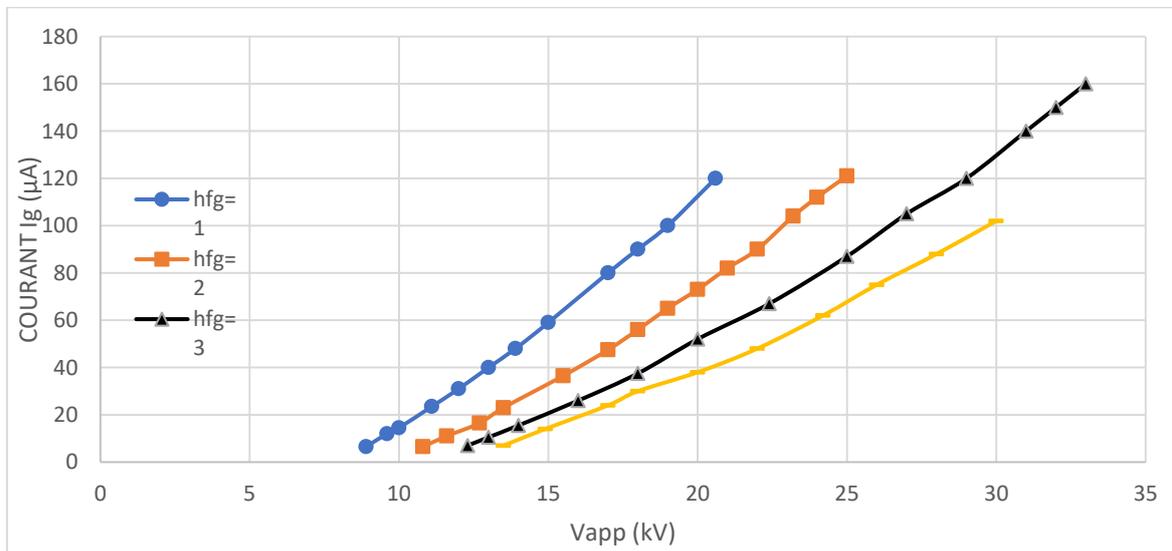


Figure III.22 Courant de grille en fonction de la tension appliquée pour différentes valeurs de la hauteur fils-grille ($21\text{ }^{\circ}C < T < 24\text{ }^{\circ}C$, $100,65\text{ hPa} < P < 100,75\text{ hPa}$, $53\% < H < 57\%$, $h_{gp}=2$ cm).

D'après les deux figures (III.21) et (III.22), on remarque que la tension seuil d'apparition V_s augmente avec l'augmentation de la hauteur fils-grille, et on a constaté aussi que pour la même

tension appliquée le courant du plan et de la grille diminue avec l'augmentation de la hauteur fils-grille (hfg), car le champ électrique s'affaiblit.

III.3.1.2.3. Variation de la hauteur fils-grille avec la hauteur fils-plan constante

Afin d'étudier l'influence de la position de la grille sur la décharge couronne on relève la caractéristique courant-tension de plan est de grille, on a fixé la hauteur fil-plan hfp=4cm, et on a varié la position de la grille (hfg=1 ,2,3cm).

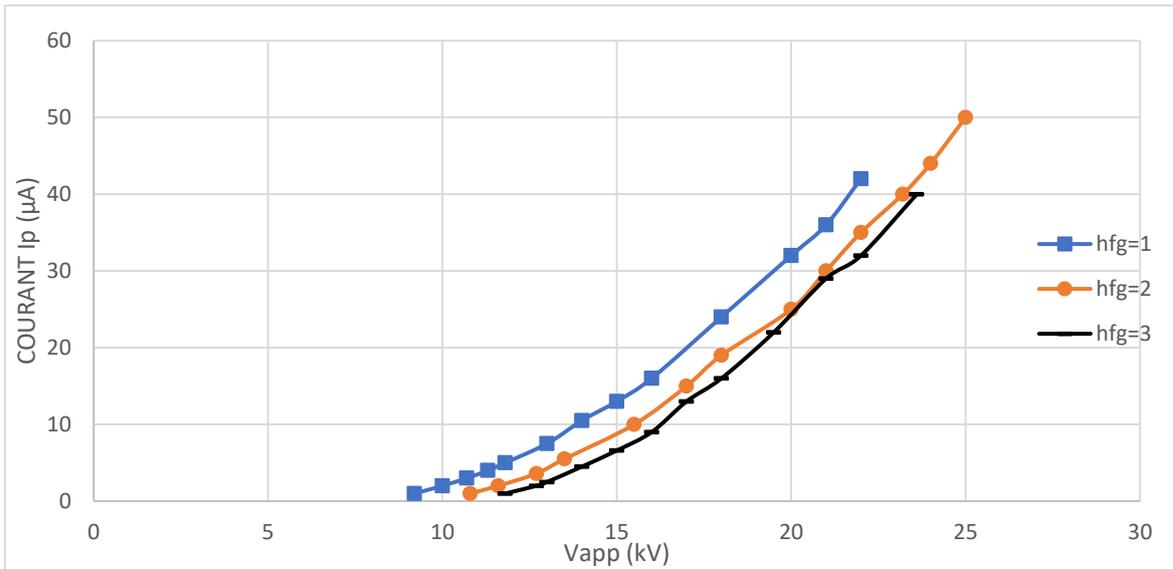


Figure III.23 : Caractéristique courant-tension pour différentes valeurs de la hauteur fils-grille (T=21 °C P=100,62 hPa, H=54% hfp=4cm).

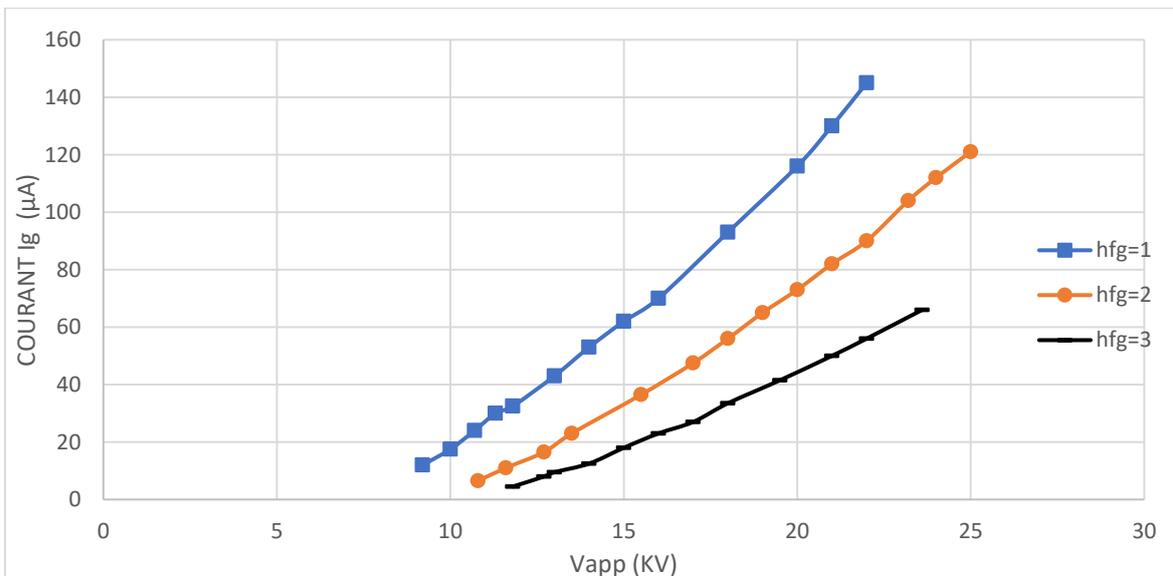


Figure III.24 : Courant de grille en fonction de la tension appliquée pour différentes valeurs de la hauteur fils-grille (T=21 °C , P=100,62 hPa, H=54% hfp=4cm).

D'après les résultats obtenus en remarque que la valeur de courant de décharge collecté par la grille est le plan est plus élevée si la grille se rapproche des fils, car le champ électrique devient plus intense, cela se traduit par l'augmentation de l'intensité de la décharge.

III.3.2. Densité de courant J

Les résultats de la densité de courant dans la configuration triode trois fils -grille -plan ont été obtenues en fonction de :

- Présence de la grille.
- Position de la grille.

III.3.2.1. L'influence de la présence de la grille

Pour étudier l'influence de la présence de la grille sur la distribution de la densité de courant on a mesuré le courant capté par la sonde des deux systèmes de configuration trois fils-plans sans grille et avec grille. Nous avons présenté sur la figure (III.25) la comparaison entre les deux distributions obtenues, pour la même tension appliquée $U = 30\text{kV}$.

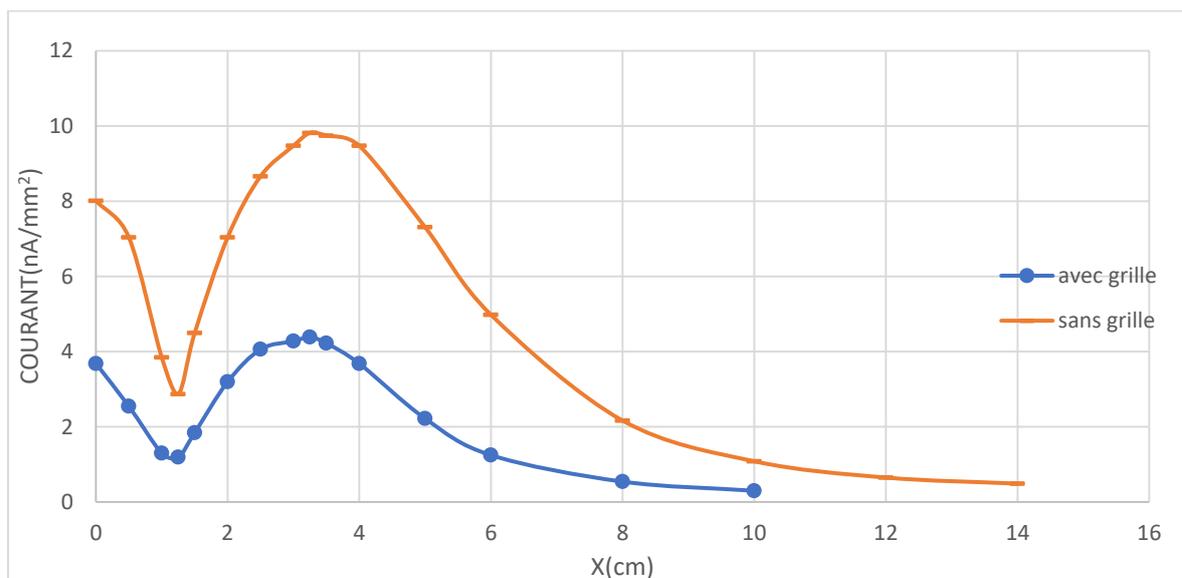


Figure III.25 : Densité du courant J tension pour le système triode trois fils -grille-plan et le système trois fils- plan sans grille ($20\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 24\text{ }^{\circ}\text{C}$, $100,66\text{ hPa} < P < 100,87\text{ hPa}$, $57\% < H < 63\%$, $h=5\text{cm}$, $h_{gp}=3\text{cm}$, $U=30\text{kV}$).

On remarque que les valeurs de la densité de courant J mesurées en l'absence de la grille sont plus élevées que celles mesurées en présence de la grille. En effet, en l'absence de la grille tout le courant de la décharge est collecté par la sonde circulaire contrairement à la configuration triode (avec grille) où une partie de ce courant est récupérée par la grille métallique et la partie restante traverse les ports de la grille.

III.3.2.2. Influence de la position de la grille

III.3.2.2.1. Variation de la position de la grille avec la hauteur fils-plan constante

Afin d'étudier l'influence de la position de grille sur la distribution de la densité de courant, on a fixé la hauteur fil- plan $h_{fp}=5\text{cm}$, est on a varié la position de la grille $h_{fg}=2\text{cm}$ et $h_{fg}=3\text{cm}$.

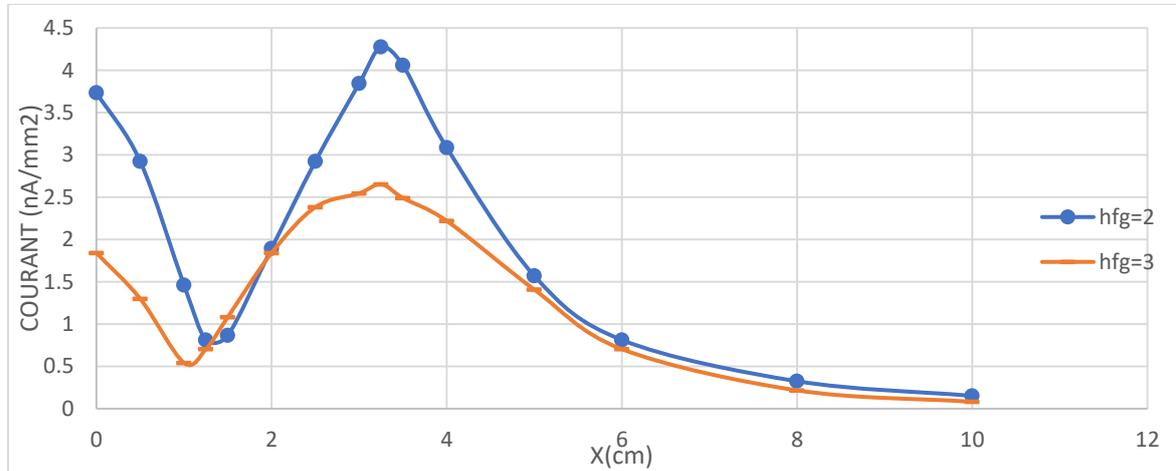


Figure III.26 : Densité du courant J pour différentes valeurs de la hauteur fils-grille ($20\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 24\text{ }^{\circ}\text{C}$, $100,66\text{hPa} < P < 100,87\text{ hPa}$, $57\% < H < 63\%$, $h_{fp}=5\text{cm}$ $U=22\text{kV}$).

Les valeurs de la densité de courant sont plus importantes pour les petites valeurs de la hauteur fils-grille car le champ devient plus intense dans cette zone.

III.3.2.2.2. Variation de la hauteur grille-plan avec la hauteur fils-grille constante

Dans le but d'étudier l'influence de la hauteur grille-plan (h_{gp}) sur la densité de courant, on a fixé la distance fils grille à $h_{fg}=2\text{cm}$, et on a alimenté l'électrode active avec tension de $U=22\text{kV}$, Pour différentes valeurs de distance h_{gp} , les résultats obtenus ont été représenté sur la figure (III.27).

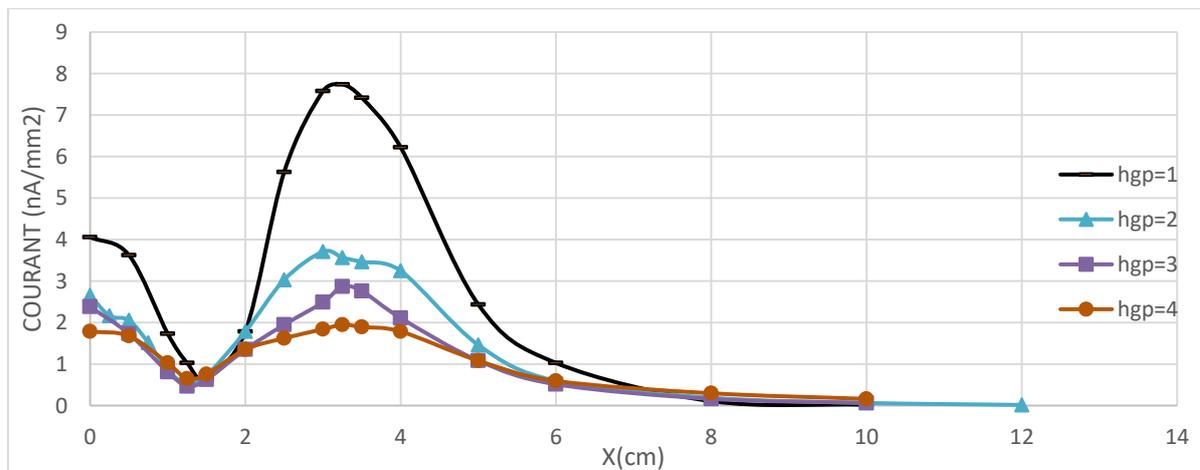


Figure III.27 : Densité du courant J pour différentes valeurs de la hauteur grille-plan ($21\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 24\text{ }^{\circ}\text{C}$, $100,75\text{hPa} < P < 100,87\text{ hPa}$, $53\% < H < 56\%$, $h_{fp}=2\text{cm}$, $U=22\text{kV}$).

A un potentiel de grille constant ($V_g=cte$) On remarque que si la hauteur grille-plan (h_{gp}) augmente, la densité du courant diminue, à cause d'une baisse de champ électrique moyenne dans la zone grille-plan, en revanche le champ devient plus homogène.

III.3.2.2.3. Variation de la hauteur fils-grille avec la hauteur grille-plan constante

Cette configuration a été réalisée en fixant la hauteur grille plan $h_{gp}=2\text{cm}$ et on a varié la hauteur fils-grille, on a appliqué une tension $U=25\text{kV}$.

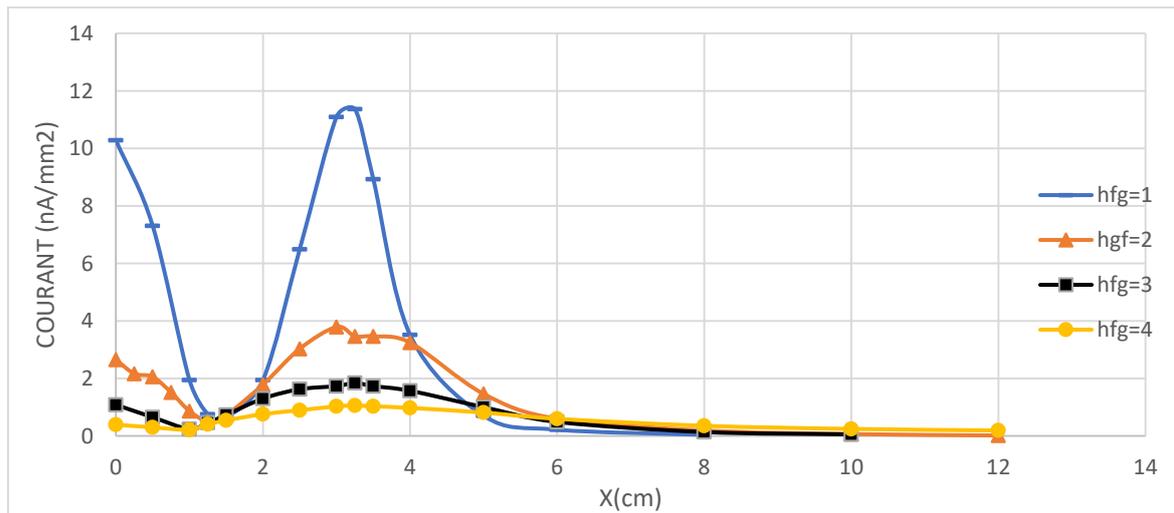


Figure III.28 : Densité du courant J pour différentes valeurs de la hauteur fils-grille ($21,5^\circ\text{C} < T < 24,5^\circ\text{C}$, $100,75\text{hPa} < P < 100,87\text{hPa}$, $53\% < H < 56\%$, $h_{gp}=2\text{cm}$, $U=25\text{kV}$).

D'après les résultats expérimentaux présentés sur la figure (III.28), on peut voir que les valeurs de la densité de courant J collectée par la sonde, sont fortement élevées pour les hauteurs fils grille faible, ceci revient à l'augmentation du champ électrique dans l'espace situé entre les fils et la grille, et on remarque aussi que l'étendue de la décharge diminue car la zone de chargement diminue quand la grille est plus proche de l'électrode active.

III.4. Conclusion

Les essais expérimentaux précédents nous ont permis de déterminer les différents paramètres de la décharge couronne générée par les configurations un fil-plan, trois fils-plan et le système triode à savoir la caractéristique courant tension et la densité de courant J .

Après avoir interpréter les résultats obtenus, on a constaté que le nombre de fils, la hauteur fils-plan et le diamètre des fils, influencent considérablement sur le courant de décharge, et l'effet sheilding qui s'exerce entre les fils. Comme on a constaté que la position de la grille est un paramètre très important qui contrôle l'homogénéité du chargement des diélectriques.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Ce travail a été consacré à une étude expérimentale de la décharge couronne, produite par trois types de configurations à savoir, un fil-plan, trois fils-plans, et le système triode (trois fils grille-plan). On a relevé dans un premier temps les caractéristiques courant-tension en polarité positive ainsi que la tension seuil d'apparition de l'effet couronne. Et dans un second temps ont relevé la densité de courant J .

Les résultats de nos essais expérimentaux nous ont permis d'évaluer l'influence de plusieurs paramètres sur le courant de décharge telle que le nombre de fils, la tension appliquée, la hauteur fils-plan, les diamètres des fils. La présence de la grille a été aussi prise en considération en variant la résistance (R_g), la hauteur fils-grille, et la hauteur grille-plan. D'après les résultats obtenus, les conclusions suivantes ont été déduites :

- Le courant de décharge et la tension seuil augmente avec l'augmentation de nombre de fils.
- Pour des grandes valeurs des diamètres des fils et des hauteurs fils-plan plus importante le courant de décharge diminue.
- La densité de courant J a une forme d'une cloche, en configuration un fil-plan ou la valeur de courant est maximale sous le fil, et diminue progressivement qu'on s'éloigne de ce dernier, et concernant la configuration trois fils-plan la densité de courant est sous forme ondulatoire, les valeurs maximales du courant capté se trouvent aux alentours de la position des fils, et les minimums entre chaque deux fils.
- L'effet mutuel qui s'exerce entre les fils (effet shielding), varie en fonction la tension appliquée, hauteur fils-plan, et les diamètres des fils.
- L'insertion d'une grille conductrice entre les deux électrodes nous permet un meilleur contrôle du dépôt de charge et le champ devient plus homogène, en revanche elle diminue le courant de décharge. Ce dernier est affecté par le potentiel de la grille et sa position par rapport aux fils et au plan de masse.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- [1] Julien. Jarrige « Étude expérimentale des décharges électriques impulsionnelles. Application au traitement des effluents gazeux et à la décontamination de surface ». Thèse de doctorat de l'université de Rouen, février 2008.
- [2] Claude. Gary « effet couronne sur les réseaux électriques aériens ». Technique de l'ingénieur, d4.
- [3] Mohamed Sofiane bendilmi « Etude expérimentale de la décharge couronne multipoints pour applications a la modification de surfaces des matériaux diélectriques et a la séparation électrostatique » thèse pour l'obtention du grade de docteur de l'université de Poitiers le 23 / 06 / 2022.
- [4] Carl Potvin « Comportement et effet de la charge d'espace sur le mécanisme des vibrations induites par effet de couronne » mémoire présenté à l'Université du Québec a Chicoutimi. Mars 2000.
- [5] LARBA Mohamed « Effets des décharges partielles sur les propriétés diélectriques des isolants dans la fabrication des câbles électriques » thèse de doctorat université Badji Mokhtar d'Annaba 2017.
- [6] Kasdi Ahmed « Etude théorique et expérimentale de la décharge couronne bipolaire » thèse de doctorat université Abderrahmane mira de Béjaïa 18 octobre 2007.
- [7] Assia guerroui « prédiction des paramètres des décharges couronnes dans le mélange sf6-n2 » thèse de doctorat université de 8 mai 1945 Guelma ,2016.
- [8] Rafael Diez Medina « Alimentation de puissance d'une lampe exciplexe a décharge a barrière diélectrique, en vue du contrôle du rayonnement » thèse doctorat de l'université de Toulouse ,16 octobre 2008.
- [9] Elyse SILI « Etude et caractérisation des décharges partielles et du vieillissement du polyamide en environnement aéronautique » doctorat de l'université de Toulouse le 11 décembre 2012
- [10] Etienne ouss « caractérisation des décharges partielles et identification des défauts dans les PSEM sous haute tension continue » thèse de doctorat de l'université de Lyon ,24septembre2018.

Références bibliographiques

- [11] Yali, B.SC.A, « contribution à l'étude de l'influence des décharges de couronne sur la perte de volume d'une aspérité de glace portée à un potentiel élevée » mémoire présenté à l'université du Québec à Chicoutimi. Avril 1993.
- [12] Kaci Meziane « études et caractérisation des électrets par la méthode de cartographie de surface ». Thèse de doctorat de l'université de Bejaïa, 2016.
- [13] : Hamouche. K « étude de l'interaction entre une barrière de papier et une décharge couronne en géométrie pointe-plan ». Thèse de magister, ummto, décembre 2009.
- [14] Saad djedjiga « effet de la décharge couronne sur les surfaces isolantes et les surfaces métallique » magister université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou ,21 décembre 2011
- [15] Zouaoui Ghiles « étude de la distribution du champ électrique généré par la décharge couronne en géométrie duale-plan et fil-plan » mémoire de fin d'étude université de Bejaïa, 2021.
- [16] : Ibrahima. Ndiaye « Initiation et développement des décharges couronnes sur une surface de glace ». Mémoire d'ingénieur, université Québec, mai 2003.
- [17] Reguig Abdeljalil « contribution à l'étude expérimentale et numérique de la décharge couronne dans différents types de configurations d'électrode » thèse de doctorat Université Djilali liables de sidi bel-Abbes, Mai 2017.
- [18] Ahmerlaine Selma bendjakhnoune Hassina « étude de la décharge couronne en configurations multipoints-plan et fil-cylindre » mémoire université 8 mai 1945 – guelma 14 juillet 2021.
- [19] K. SENOUCI, K. MEDLES, A. BENDAOU, M. YOUNES, S. DAS and L. DASCALESCU « Application de la maîtrise statistique des procédés au pilotage d'un processus de séparation électrostatique » Article · Mars 2007.
- [20] Benadla Khouloud Naila Benamara Nora « Approche floue sur un séparateur électrostatique a cylindre tournant » projet de fin d'études Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent Département de Génie Electrique 2014/2015.
- [21] Bassem Khaddour « modélisation du champ électrique modifié par la charge d'espace injectée » thèse pour obtenir le grade de docteur de l'inpq institut national polytechnique de Grenoble ,21 Novembre 2006.

Références bibliographiques

- [22] Nawel ait Hamouda « étude de la réduction des oxydes d'azote et de l'ozone par décharge couronne » mémoire université des sciences et de la technologie d'Oran - Mohamed Boudiaf ,05mai2012.
- [23] Zahira Anane « modèle dynamique de l'effet couronne pour l'étude de la propagation de la surtension le long des lignes de transmission ht en utilisant l'emtp » thèse de doctorat université Ferhat Abbas – Sétif 1,19 décembre 2018.
- [24] Kaustubh Vyas, J. G. Jamnani Optimal Design of 1200 kV UHV AC Transmission Lines in India using Newly Developed Standalone MATLAB GUI, International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: 2277-3878 (Online) Volume-8 Issue-2, July 2019.
- [25] M. Pascal Ortega « De la décharge de laboratoire à la décharge atmosphérique » Dossier d'habilitation à diriger des recherches. Université de la Polynésie française, aout 2007.
- [26] Paul-Quentin ELIAS (DAFE) « Interaction plasma-écoulement en régime supersonique : stabilisation d'une instationnarité de choc par une décharge de faible puissance ». 5èmes Journées des Doctorants MFE/IDF-Nord de l'ONRA, Châtillon janvier 2007.
- [27] H. Ziedan, A. Sayed, A. Mizuno, and A. Ahmed « Onset Voltage of Corona Discharge in Wire-Duct Electrostatic Precipitators ». Electrical Engineering Department, Assiut University, Egypt Department of Ecological Engineering, Toyohashi University of Technology, Japan.
International Journal of Plasma Environmental Science & Technology, Vol.4, No.1, MARCH 2010.
- [28] A. Kasdi «Optimization of the inter electrode spacing to improve the efficiency of a Multi-wires-to-plates type electrostatic precipitator». The Electrical Engineering International Conference EEIC'19 Bejaia- Algeria (December 04-05-2019), 524-528.

