

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

Faculté de Technologie
Département de Génie électrique



Mémoire de fin d'études

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master en Génie Electrique
Spécialité : Réseaux Electrique

Thème

***CARACTERISATION EXPERIMENTALE DE LA
DECHARGE COURONNE POUR DIFFERENTS
SYSTEMES D'ELECTRODES.***

Présenté par :

AIT OTMANE Amel

BAOUR Noura

Promoteur :

Mr RAHMANI Allaoua

Mme CHIBANE Ouarda

Année Universitaire : 2021/2022

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier le bon Dieu le tout puissant, qui nous a donné l'aide, la force, la volonté dans les moments difficiles et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Reconnaissance à nos encadrants monsieur RAHMANI ALLAOUA et madame OUARDA CHIBANE pour leurs patiences, leur modestie, le temps qu'ils nous ont consacré, la qualité de leur encadrement, leurs encouragements et pour leurs précieux conseils et remarques.

Nous exprimons, aussi, nos vifs remerciements aux membres de jury d'avoir pris le temps de lire et juger ce mémoire et le travail qu'il représente.

Une pensée particulière est adressée à tous nos collègues et amies de l'université de St. Mira-Bejaia, les moments passés ensemble ont été très agréables.

Enfin, que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin, par leurs encouragements et conseils à l'accomplissement de ce travail, trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

Dédicace

A mes chers parents qui m'ont soutenu et encouragé durant ces années d'études

A mes trois chers frères (Zahir, Sofiane, Yacine)

A toute ma famille

A tous mes collègues de promotion

A mes amis, Amel, Célia, Hanane, Sarah, Kenza, Hamza,

Merouan

AMEL

Dédicaces

Je dédie ce simple et modeste travail

A la mémoire de ma mère, à qui je dois tout,

A mon père (Azzedine) pour tous les sacrifices qu'il a faits Et Les efforts qu'il a fournis pour que je sois aujourd'hui ici.

A Naima qui m'a tout donné et qui a été comme une maman pour moi.

A mes chères Soeurs (Nawel, Melissa, Sara, Mariam) .

A mon cher frère Khelaf.

A ma binôme Amel

A mes collègues

A tous les étudiants, enseignants en particulier Mr Sahli Zahir

A tous mes amis Thiziri, Loundja, Sara ; Kahina, Amina, Chahine, Oussama, Moh and Matouq, Sofiane, Mahdi, Farid, Lahlou

Noura

Listes des Figures

Figure I-1: Systèmes d'électrodes couramment utilisés pour la production de décharges couronnes	3
Figure I-2 : Caractéristique courant-tension d'une décharge couronne dans l'air (configuration pointe-plan : R=0.5 mm, distance pointe-plan : 80 mm) [9].....	4
Figure I-3 : Décharge de Townsend.....	5
Figure I-4: Descriptif d'un Streamer positif en géométrie fil-plan [19].	8
Figure I-5: Descriptif de la décharge couronne positive.....	9
Figure I-6: Descriptif de la décharge couronne négative.....	10
Figure I-7: Effet de la distance sur la caractéristique courant-tension [32], [33],	13
Figure I-8: Schéma d'évolution de la décharge observée en fonction de la pression [39].	15
Figure I-9: Utilisation de la décharge couronne dans le filtre électrostatique [41]	16
Figure I-10: Utilisation de la décharge couronne pour le paratonnerre	16
Figure I-11: Principe de fonctionnement d'un séparateur électrostatique.....	17
Figure II-1: Photo du dispositif expérimental	22
Figure II-2: Représentation schématique du dispositif expérimental	22
Figure II-3: Représentation de La grille conductrice	23
Figure II-4: installation haute tension au labo de l'université de Bejaia	24
Figure II-5: Appareillage du mesure.....	25
Figure II-6 : Baromètre.....	27
Figure II-7: Appareils de mesure.....	27
Figure II-8: Dispositif expérimental pour le relevé de la caractéristique courant -tension.	28
Figure II-9: vue de face de la sonde circulaire (S).....	29
Figure II-10: Vue de dessus de la sonde circulaire	29
Figure III-1: dispositif expérimental du système nappe de fil-plan	32
Figure III-2: Caractéristique Courant-Tension de la décharge couronne positive et négative pour le système d'électrode trois fils-plan (Hfp=4cm, D=8cm, d=0.25mm, T=29°C, P=1015.3hpa, H=62%).....	33
Figure III-3: caractéristique courant-tension pour différents système d'électrode (un fil, deux fils et trois fils), (Hfp=4cm, D=4cm,T =32.5°C, pour système trois fils-plan T=26°C, P=1019hPa, H=60.5%, d=0.25mm)	34

Figure III-4: Caractéristique courant-tension pour différentes valeurs de D (Hfp=4cm, d=0.25mm, 46%<H<75%, 26°C<T<29°C, 1012hPa<P<1018hPa).....	35
Figure III-5: Caractéristiques Courant-Tension pour différentes valeurs de D : ((Hfp=2cm, d=0.25mm 40%<H<51%, T=31°C, 1015.3hPa<P<1016.3hPa).....	36
Figure III-6: Caractéristique Courant-Tension pour différentes valeurs de Hfp (D=6cm, d=0.25mm,	37
Figure III-7: Caractéristique Courant-Tension pour différentes valeurs du diamètre du fil pour système le fil-plan (Hfp=4cm, P=1018hPa., T=32°C, 60%,<H< 64%)	38
Figure III-8: Caractéristique Courant-Tension pour différentes valeurs du diamètre des fils pour le système 3fils-plan (Hfp=4cm, D=4cm, , P=1017.5hPa, 26 °C < T<32.5°C, T0.25=26°C, H=62% pour le d=0.8mm H=52%)	39
Figure III-9: la densité du courant J pour différents systèmes d'électrodes (Hfp=4cm, D=4cm, d=0.25mm, T=32°C, H=62%, pour système trois fils-plan T=26°C, 56%<H <60%).....	43
Figure III-10: la densité du courant du système d'électrode deux fils-plan pour différentes valeurs de tensions appliquées (Hfp=4cm, D=4cm, d=0.25mm, T=32°C, 63%<H< 61%).....	44
Figure III-11: La densité du Courant pour le système d'électrode trois fils-plan pour différentes valeurs de tension appliquées (Hfp=4cm, D=4cm, d=0.25mm, T=26°C, 56%<H< 60%)	44
Figure III-12 : la densité du Courant du système trois fils-plan pour différentes valeurs de distance inter-fil D (Hfp=2cm, T=31°C, pour Hfp=2cm H varie entre 44 et 42%, pour Hfp=4cm H varie entre 45 et 52%, pour Hfp=6cm H varie entre 53 et 55%).....	46
Figure III-13: la densité du courant pour la configuration trois fils-plan pour différentes valeurs de la hauteur Hfp (D=6cm, T=30.5°C, pour Hfp=3cm H=49%, pour Hfp=5cm H=61%)	47
Figure III-14: la densité du courant pour différentes valeurs du diamètre de fil (Hfp=4cm, D=4cm, pour système fil-plan :T=32 °C,60<H<67, pour système trois fils-plan :26 °C <T<32 °C, 54% <H<64%	48
Figure III-15: Configuration du système de décharge nappe de fils-grille –plan	49
Figure III-16: Caractéristiques Courant-Tension pour le système 3 fils-plan en présence d'une grille conductrice pour les deux polarités (D=4cm, Hfp=4cm, Hfg= 3cm)(H=61% ; H(g)=66% ; T=31°C ; T(g)= 26°C , P=1019 hpa).....	50
Figure III-17 : Caractéristiques courant-tension avec différentes valeurs de résistances de grille. (H=66% ; T=31°C ; P=1019hpa ; D=4cm ; Hfp=4cm)	51
Figure III-18: Influence de la distance entre grille- plan sur les caractéristiques Courant-Tension en polarité positive et négative (H=56.5% ; T=31 .5°C ; P=1016hpa Hgp=2cm et 3cm ;Hfg=2cm ; D=4cm).....	52
Figure III-19: Influence de la distance grille plan sur les caractéristiques Courant-Tension en polarité positive et négative (H=56.5%, T=31 .5°C, P=1016hpa).	53

Listes des tableaux

Tableau I-1: Influence de la nature des électrodes sur la mobilité ionique en tension positive et négative.	14
Tableau III-1. : Tension de claquage et Tension seuil en fonction des différents paramètres des systèmes d'électrode (un fil-plan, deux fils-plan et trois fils-plan) pour la polarité positive et négative	41
Tableau III-2: le facteur de réduction de l'effet mutuel entre les fils en fonction de la tension appliquée	45
Tableau III-3: : le facteur de réduction de l'effet mutuel entre les fils en fonction de la distance inter-fil D	46
Tableau III-4: le facteur de réduction de l'effet mutuel entre les fils en fonction de la distance inter-électrode Hfp	47

Liste des symboles

<i>d</i> : la distance inter-pointes.
DBD : Décharge à Barrière Diélectrique.
<i>E</i> : champ électrique.
<i>e</i> : charge élémentaire (=1.6x10 ⁻¹⁹ C).
<i>E_i</i> : le champ électrique à la surface du fil.
<i>g</i> : la différence entre re-rs.
G270 : diode à haute tension.
<i>h</i> : distance inter-électrodes.
<i>hg</i> : distance entre le plan et la grille.
<i>hp</i> : distance entre la pointe et la grille.
<i>Hr</i> : humidité relative.
<i>I</i> : courant de la décharge.
I₀ : courant initial dû aux électrons primaires (A).
I_g =courant qui passe par la grille.
<i>J</i> : Densité de courant.
<i>N</i> : désignant la densité du gaz.
N₀ : nombre d'électrons initiaux au plan (x=0).
N_p : nombres de pintes.
<i>P</i> : plan collecteur.
pA : pico-Ampère-mètre.
r₀ : rayon de l'électrode active.
R₀ : résistance haute tension.
<i>rc</i> : frontière de l'ionisation.
Re : rayon extérieur de l'électrode.
<i>re</i> : rayon du trou.
R_g : résistance de la grille.
rm : rayon effectif de la sonde.
<i>rs</i> : rayon réel de la sonde.
<i>S</i> : sonde circulaire.
S₀ : section réelle de la sonde.
SG1 : Alimentation basse Tension.
Sm : surface total de la sonde.
<i>T</i> : température.
T100 : transformateur de haute tension.
<i>V</i> : différence de potentiel appliquée entre deux électrodes.
V₀ : tension seuil de l'effet couronne.

V_c : tension de claquage.

x : abscisse du point considéré par rapport à l'extrémité de l'électrode active.

γ : deuxième coefficient de Townsend.

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

Table des Matières

INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I : ETAT DE L'ART.....	3
I.1 Introduction :	3
I.2 La décharge couronne.....	3
I.3 Domaine d'existence de la décharge couronne	4
I.4 Processus physiques des décharges électriques.....	5
I.4.1 Décharge de TOWNSEND	5
I.4.2 La décharge par streamer	7
I.5 Mécanisme de la décharge couronne	8
I.5.1 La décharge positive.....	8
I.5.2 Décharge négative	9
I.5.3 Décharge en régime alternatif	10
I.6 Caractéristiques courant-tension de la décharge couronne.....	11
I.7 Facteurs influençant la décharge couronne	12
I.7.1 Facteurs géométriques.....	13
I.7.2 Facteurs physico-chimiques	14
I.8 Applications de la décharge couronne.....	15
I.8.1 Filtre électrostatique	15
I.8.2 Paratonnerre	16
I.8.3 Neutralisation	16
I.8.4 Séparateur électrostatique.....	16
I.9 Approches théoriques de la décharge couronne nappe de fils :.....	18
I.10 CONCLUSION	19
II. Chapitre II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES.....	21
II.1 Introduction :	21
II.2 Description du dispositif expérimental :.....	21
II.3 Méthode de mesure des paramètres de la décharge :.....	25
II.3.1 Mesure de la tension appliquée :.....	26
II.3.2 Mesure du courant de décharge :.....	26

II.3.3	Mesure du courant et de la tension de la grille :.....	26
II.3.4	Mesure des paramètres de l'air :	26
II.3.5	Mesure de la tension de claquage :.....	27
II.3.6	Mesure de la caractéristique courant-tension :.....	27
II.4	Détermination de la densité du courant J :	28
II.5	La sonde circulaire :	28
II.5.1	Les dimensions de la sonde :.....	29
II.6	CONCLUSION :	30
III.	Chapitre III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....	32
III.1	Introduction :.....	32
III.2	Système nappe de fils-plan :	32
III.2.1	Caractéristique courant –tension (I-V):.....	33
III.2.2	La densité du courant J :.....	42
III.3	Système triode trois fils -grille plan.....	49
III.3.1	Caractéristique courant – tension	49
III.3.2	Densité du courant J	54
III.4	CONCLUSION :.....	57
	CONCLUSION GENERALE :	59
	Bibliographie :	61

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le phénomène de décharge couronne a longtemps été étudié par plusieurs auteurs [1-2]. Elle fait toujours l'objet de recherche active auprès des scientifiques, grâce à son importance pour ses diverses applications industrielles dont la filtration électrostatique, traitement de surface, séparation électrostatique ...etc. [3-4].

La décharge couronne est une décharge électrique à faible courant qui se produit lorsque le potentiel électrique dépasse une valeur critique et les conditions ne permettent pas la formation d'un arc. Le principe consiste à appliquer une tension suffisamment grande à l'électrode active, de rayon de courbure très faible, comme des configurations pointe-plan, fil-plan, fil-cylindre.... [5].

Ce travail s'inscrit dans la suite des travaux réalisés au laboratoire de la haute tension de l'université de A. Mira à Bejaia et qui consiste à caractériser la décharge couronne, positive et négative, en géométrie nappe de fils –plan. Cela en relevant les caractéristiques courant-tension, densité de courant, tension de claquage et tension seuil avec variation de plusieurs paramètres (distance inter-électrode, distance entre fils, nombre de fil, tension appliquée.)

Ce travail est composé de trois chapitres :

- Le premier chapitre explique les notions générales de la décharge couronne, la définition de la décharge couronne, les différents régimes de la décharge, ses applications et les mécanismes de cette décharge avec les processus physiques et les paramètres qui influent (le diamètre des conducteurs, la tension appliquée, la distance entre l'électrode, l'humidité, la température, la pression) sur ses caractéristiques
- Le deuxième chapitre est consacré pour la partie expérimentale. Ou on a présenté le dispositif expérimental, les moyens et matériel utilisés et les différentes méthodes de mesure.
- Dans le troisième chapitre on a présenté et discuté les différents résultats obtenus.
- Enfin, on termine avec une conclusion générale qui résume toute notre étude.

CHAPITRE I

ETAT DE L'ART

Chapitre I

ETAT DE L'ART

I.1 Introduction :

Le phénomène de la décharge couronne a été étudié depuis longtemps par plusieurs auteurs à la fois expérimentalement et en termes de modélisation grâce à son importance dans divers usages industriels parmi eux la filtration électrostatique. [1].

Le terme décharge se rapportait initialement à la décharge se produisant entre deux électrodes planes d'un condensateur plongé dans un gaz. Lorsque le potentiel V_a appliqué à l'anode est suffisamment important, on observe alors l'apparition d'un courant dans le circuit. Ce courant a pour origine le déplacement des électrons produits par l'ionisation du gaz de la cathode vers l'anode

I.2 La décharge couronne

La décharge couronne, qui se produit généralement à pression atmosphérique, est associée à deux électrodes fortement asymétriques. L'électrode active avec un petit rayon de courbure, tel qu'une pointe, un fil, ...etc., est portée à un potentiel élevé. L'électrode passive à grand rayon de courbure, comme une plaque ou un cylindre, est mise à la terre [6-7]. La décharge peut être positive ou négative selon la polarité de la tension appliquée à l'électrode active. Parmi les différentes configurations de systèmes d'électrodes utilisées, les plus courantes sont les systèmes pointe/plan, multipoints/plan, couteau/cylindre, fil/plan, fil/cylindre ou cylindre/cylindre. (Figure I-1).

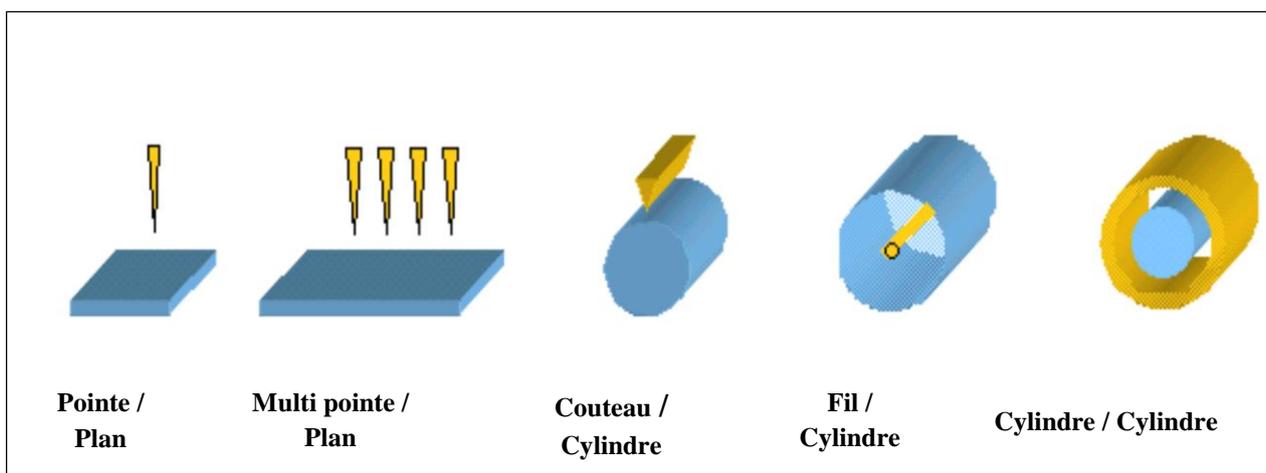


Figure I-1: Systèmes d'électrodes couramment utilisés pour la production de décharges couronnes

I.3 Domaine d'existence de la décharge couronne

La figure (I-2) montre la caractéristique courant-tension d'une décharge couronne continue pour un intervalle pointe-plan à l'air atmosphérique [8]. La tension appliquée à l'intervalle gazeux varie de 0 à la tension de claquage divers régimes de décharge sont parcourus :

- Au début (zone I), on observe un courant de très faible intensité, de l'ordre de 10^{-13} à 10^{-14} A, dû à des impulsions de nature aléatoire qui traduisent la simple collection des espèces chargées présentes naturellement dans le milieu. Ces espèces sont produites par l'impact de rayons cosmiques ou de particules issues de la désintégration spontanée de certains atomes (radioactivité naturelle) sur le gaz présent dans l'espace inter électrodes
- Après une croissance presque linéaire avec la tension appliquée, le courant se stabilise à la valeur I_S qui correspond au courant de saturation.

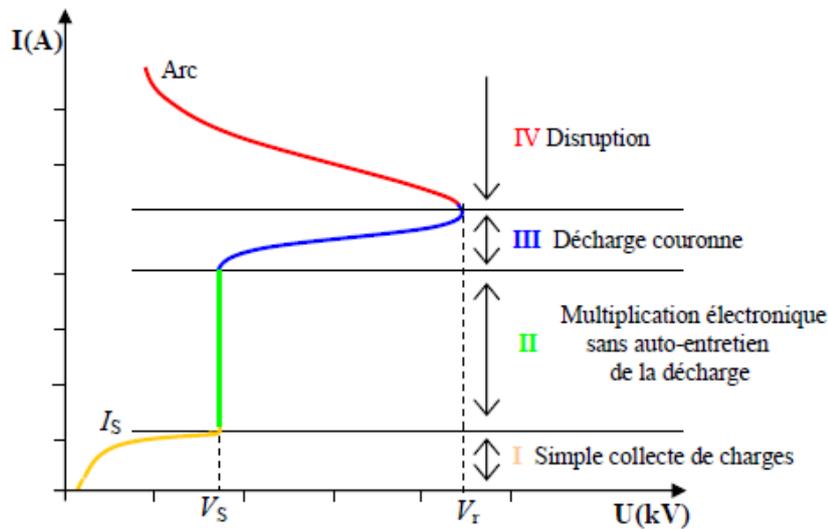


Figure I-2 : Caractéristique courant-tension d'une décharge couronne dans l'air (configuration pointe-plan : $R=0.5$ mm, distance pointe-plan : 80 mm) [9]

- Le deuxième régime (II) se produit à partir de la tension seuil V_S . Le processus d'avalanche électronique de Townsend se déclenche mais sans que le critère d'auto-entretien de la décharge soit pour autant satisfait. La décharge est dite non autonome car elle repose sur un processus d'ionisation externe pour générer des électrons germes. Dans ce régime, le courant augmente très rapidement pour de très petites variations de la tension appliquée.
- Pour le troisième régime (III), l'ionisation du gaz par décharge est suffisante pour éliminer la nécessité de phénomènes d'ionisation externes. La décharge est auto-entretenu. Il s'agit du régime de la décharge couronne qui peut générer les dards (également appelés "streamers")

responsables de la composante impulsionnelle du courant et de sa transition vers l'arc électrique. [10]

- 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 Z pour que les phénomènes d'ionisation deviennent majoritaires par rapport à l'attachement électronique. Le régime d'arc (IV) est atteint, le milieu passe de l'état de plasma hors équilibre à l'état de plasma thermique. [11].

I.4 Processus physiques des décharges électriques

La décharge est interprétée à l'aide de deux modèles [12], [13] :

- Le premier concerne les décharges à longue portée tout au long de l'intervalle inter-électrodes, notamment les effets secondaires à la cathode. C'est la décharge de Townsend.
- Un second modèle a été développé pour rendre compte de la vitesse des phénomènes associés aux décharges à courte portée, en tenant compte des conditions locales : c'est les streamers.

I.4.1 Décharge de TOWNSEND

Considérons un système d'électrodes plan-plan baignant dans un gaz à basse pression, Soit N_0 le nombre d'électrons primaires issus de la cathode par effet photoélectrique. Sous l'effet accélérateur du champ électrique appliqué, des avalanches électroniques peuvent se développer. En effet, les électrons qui ont acquis une énergie suffisante ionisent, par collision, les atomes du gaz. Considérons une tranche de gaz d'épaisseur dy et de section unité située à une distance y de la cathode (figure I-3).

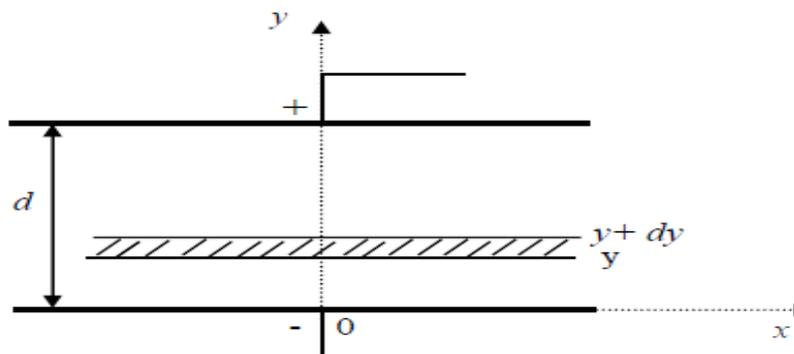


Figure I-3 : Décharge de Townsend

Si $N(y)$ est le nombre d'électrons produits par l'avalanche à la distance y , alors entre y et $y+dy$ il donnent naissance à dN électrons tel que :

$$dN = N \cdot \alpha \cdot dy \quad (\text{I-1})$$

Où α est le nombre moyen de paires d'ion-électron formées par un électron sur un parcours de 1 cm. α est appelé le premier coefficient de Townsend. Il dépend de la nature et de la pression du gaz et du champ local E .

Si d est la distance inter-électrode, le courant dans le circuit extérieur s'obtient par intégration de l'équation (I-1) :

$$I = I_0 \cdot \exp(\alpha \cdot d) \quad (\text{I-2})$$

Les mesures effectuées par Townsend ont montré qu'en réalité le courant électronique croît plus rapidement que celui prévu par la formule précédente. Les travaux qu'il a entrepris, dans ce sens, l'ont amené à considérer et à tenir compte de plusieurs effets secondaires. Il explique alors le phénomène par l'émission d'électrons secondaires résultant du bombardement de la cathode par les ions positifs. En effet, l'expérience montre que la densité de courant de décharge dépend de la nature de la cathode. Townsend définit alors un nouveau coefficient " γ ", appelé deuxième coefficient de Townsend. Ceci est égal au rapport du flux d'électrons secondaires au flux de cations incidents.

Les N_0 électrons primaires, émis par la cathode, donnent naissance à $N_0 (\exp(\alpha d) - 1)$ paires d'ion-électron sur leur parcours. Les $N_0 (\exp(\alpha d) - 1)$ ions correspondants arrivent à leur tour sur la cathode et en extraient $\gamma \cdot N_0 (\exp(\alpha d) - 1)$ électrons secondaires (nouveaux électrons) qui subiront le même sort que les électrons primaires. Le courant dans le circuit extérieur est donné alors par l'équation (I-3) :

$$I = \frac{e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)} \cdot I_0 \quad (\text{I-3})$$

En général $e\alpha d \gg 1$, le coefficient d'amplification de l'avalanche électronique M s'écrit :

$$M = \left(\frac{I}{I_0} \right) = e^{\alpha d} (1 - \gamma \cdot e^{\alpha d}) \quad (\text{I-4})$$

Remarquons que M tend vers l'infini lorsque d atteint une distance critique telle que :

$$\gamma \cdot e^{\alpha d} = 1$$

C'est le critère de claquage de Townsend. [14]. Cette théorie est non valide pour les hautes pressions telles que la pression atmosphérique. En effet, les travaux de Fletcher [15], montrent qu'aux hautes pressions, le temps de formation de la décharge est beaucoup plus court que le temps de passage des cations entre les électrodes. Cela signifie que les processus " γ " liés à la cathode peuvent être exclus. Cependant, cette théorie garde sa validité pour des valeurs du produit $P.d$ inférieures à 200 Torr.cm [16]. L'insuffisance de la théorie de Townsend pour les pressions élevées a conduit à la formulation d'une nouvelle théorie appelée des étincelles et des éclairs, basée sur le concept du Streamer (dards en française)

I.4.2 La décharge par streamer

A la suite de mesures de temps de décharge effectuées par Rogowski, le mécanisme proposé par Townsend est remis en cause par Raether, Meek [17] et Loeb [18] lorsque les valeurs du produit de la pression par la distance ($p.d$) sont supérieures à 250 kPa.mm . En effet, l'expérience a montré que :

Pour les surtensions importantes, le courant de décharge peut atteindre des valeurs importantes avant même la fin de la première avalanche et avant que les ions de cette avalanche n'atteignent la cathode et n'en extraient les électrons secondaires.

La décharge n'est plus diffusée comme celle de Townsend, mais concentrée dans des canaux étroits avec des ramifications et des changements de direction (étincelles). Pour expliquer ce phénomène, il n'est plus possible de se contenter du processus de Townsend car il existe une source supplémentaire d'électrons en plus des processus α et γ : c'est la photo-ionisation du gaz. Le streamer peut être défini comme étant une série continue d'avalanche qui prend naissance entre les électrodes. Si la tension appliquée est très grande devant la tension de claquage, le champ dû à la charge d'espace formée par les ions positifs en tête de l'avalanche primaire atteint une valeur comparable au champ électrostatique initial avant que l'avalanche n'atteigne l'anode. Le streamer commence à se développer à partir de ce point. Un électron libre se trouvant dans ce champ conduit à une avalanche. Les électrons en tête de celle-ci tendent à neutraliser la charge positive concentrée à la tête du filament en même temps qu'ils excitent les atomes du gaz. Ces derniers vont en particulier émettre des radiations photo-ionisantes. La situation initiale se retrouvera légèrement décalée en raison de la lenteur des ions qui forment une nouvelle charge d'espace à l'endroit où se trouvent les nouveaux électrons

primaires créés par photo-ionisations. Le streamer va donc se développer pas à pas jusqu'à ce qu'un canal de plasma soit établi entre l'anode et la cathode.

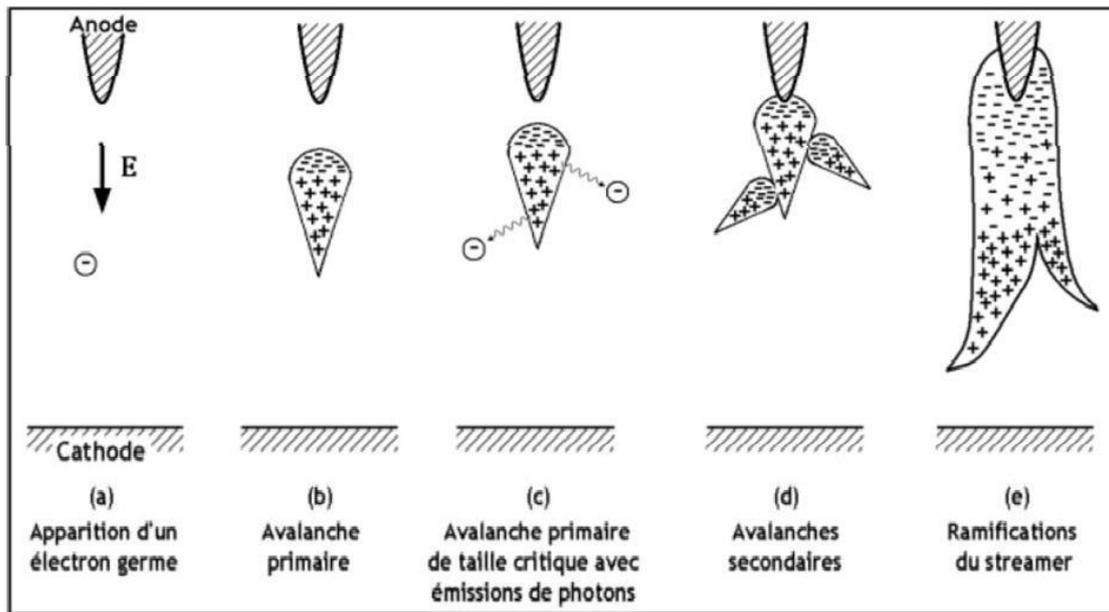


Figure I-4: Descriptif d'un Streamer positif en géométrie fil-plan [19].

I.5 Mécanisme de la décharge couronne

Les décharges couronnes se situent dans le régime III de la figure (I-2) La décharge est classiquement établie entre une électrode active avec un petit rayon de courbure et une électrode passive avec un grand rayon de courbure (électrode reliée à la terre). La dissymétrie des électrodes conduit à un champ électrique inhomogène dans l'espace inter-électrodes selon la polarité du potentiel appliqué à l'électrode active, on distingue la décharge couronne positive de la décharge couronne négative.

I.5.1 La décharge positive

Une décharge couronne positive est la décharge qui se produit lorsque la pointe est portée à un potentiel positif et que la plaque est mise à la terre. Dans ce cas, dans la région de champ élevé autour de la pointe, des électrons sont générés par photo-ionisation et accélérés vers l'anode (pointe). Autour d'elle, une région fortement ionisée se forme alors : la région en pointillés de la figure I-5. Les ions positifs résultants sont repoussés par l'anode, sous la force de Coulomb, distance de la pointe (moins d'un millimètre) au-delà desquelles un champ électrique trop faible ($< 30 \text{ kV/cm}$ dans l'air à pression atmosphérique) ne permet plus de générer des ions positifs. Par conséquent, les ions positifs migrent vers la cathode (plaque). Cette région est mono polaire, puisqu'il n'y a que des ions positifs [20] est appelée la région « de dérive ». (Figure I-5).

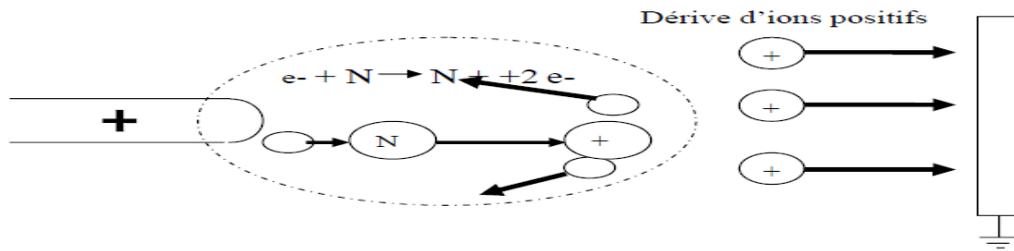


Figure I-5: Descriptif de la décharge couronne positive.

Pour cette décharge, il y'a avancement de streamers, qui se propage en quelque sorte comme une extension de l'anode. D'après les modélisations de [21] la décharge est composée d'une phase de propagation du streamer (durée de la propagation de 50 ns à la vitesse de 2×10^5 m/s) et d'une Phase de restauration pendant laquelle les ions dérivent. Ces deux phases forment un cycle de fréquence 10 kHz. Le courant de décharge n'est donc pas continu, mais correspond à une succession de phénomènes transitoires. Goldman et al indiquent qu'un courant positif de 50 μA se décomposerait en un courant unipolaire continu de 20 μA , distribué uniformément à la surface de la cathode, et de streamers contribuant à 30 μA percutant la cathode à une fréquence de 10 kHz.

1.5.2 Décharge négative

Une décharge couronne négative se produit lorsque la pointe est portée à un potentiel négatif et la plaque est mise à la terre. Dans ce cas, les électrons sont toujours générés par photo-ionisations, et une zone d'ionisation apparaît autour de la pointe. Goldman et Sigmund [22] expliquent que les ions positifs reviennent rapidement à la cathode (Figure 1-6). Seuls les ions négatifs créent par attachement dans les zones à faible champ peuvent migrer vers l'électrode mise à la terre. De plus, lorsque la haute tension dépasse un seuil, il y'a passage à l'arc.

Le courant de cette décharge est dû à des impulsions de Trichel à une fréquence qui est fonction de la tension appliquée. Ces impulsions sont régulières et dues au champ électrique affaibli près de la cathode. Les ions négatifs empêchent la multiplication des avalanches électroniques. L'intervalle entre deux pics de courant, impulsions de Trichel, dépend donc du temps nécessaire aux ions négatifs à atteindre l'anode.

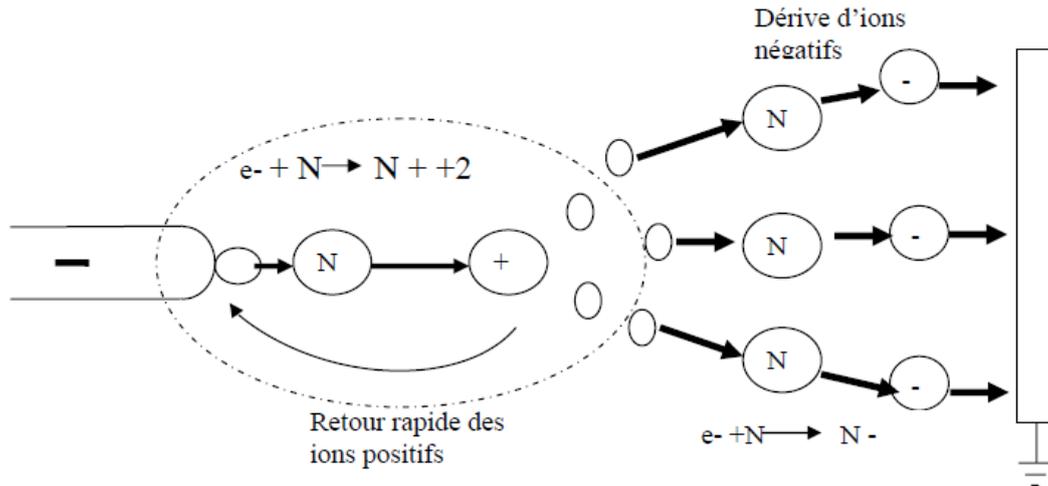


Figure I-6: Descriptif de la décharge couronne négative

I.5.3 Décharge en régime alternatif

Si une tension alternative est appliquée à une pointe, en comparaison avec l'effet couronne pour un champ continu, quelques différences sont observées. Cela est dû principalement à l'inversion du champ électrique entre chaque deux alternance et au mouvement oscillatoire de la charge d'espace développée par l'effet de couronne.

Si l'intervalle de temps d'inversions de la polarité est suffisamment long pour que toutes la charge d'espace produite par chaque alternance soit évacuée avant l'inversion de la polarité du champ électrique, alors les processus de développement de la décharge couronne en tension alternative sont les même que ceux décrit pour l'excitation continue positive et négative [23]. Cela implique l'existence d'une fréquence f et d'une distance inter-électrodes d limites nécessaire pour l'évacuation de la charge donner par l'équation suivante [21].

$$d_{max} = \frac{\mu E_0}{\pi f} \Leftrightarrow f_{max} = \frac{\mu E_0}{\pi d} \tag{I-5}$$

Avec μ la mobilité des ions et E_0 l'amplitude maximale du champ électrique.

H_{fp} : la distance inter électrode.

E_0 : l'amplitude maximale du champ électrique.

μ : la mobilité des ions.

Si la fréquence de l'excitation est supérieure à cette fréquence maximale, la charge d'espace va osciller et s'accumule à chaque période entre les électrodes. En raison de cet effet cumulatif, le passage à l'arc se produit à un potentiel inférieur au potentiel continu.

Goldman et al ont identifié trois composantes du courant dans le cas d'une tension alternative :

- Courant capacitif dû à l'intervalle gazeux entre les électrodes qui jouent le rôle d'un condensateur ;
- Courant synchrone, continu et en phase avec la tension appliquée ;
- Courant impulsionnel, somme des impulsions « streamers » pour les alternances positives et des impulsions « Triche » lors des alternances négatives

I.6 Caractéristiques courant-tension de la décharge couronne

Trois types de systèmes d'électrodes sont souvent utilisés au laboratoire pour étudier les décharges couronnes : Plans supérieurs, cylindre de filetage et plans de filetage. Dans ces trois configurations, le champ électrique est très intense à proximité de l'électrode active, décroît hyperboliquement, et atteint sa valeur minimale au niveau de l'électrode passive. Les systèmes point-plan sont faciles à mettre en œuvre et ont été le premier sujet de recherche de Warburg [23]. Ensuite, Townsend [24] préfère le système cylindrique coaxial en raison de sa symétrie radiale et de la simplicité des calculs théoriques qu'il présente. La configuration fil-plan est adoptée par Deutsch [25] pour son importance pratique dans le transport d'énergie électrique. Malgré les différences qu'ils présentent lors de la décharge couronne, ces systèmes présentent d'importantes caractéristiques courant-tension (I-V) communes :

$$I = K \cdot V(V - V_s) \quad (\text{I-6})$$

Où :

I : le courant de la décharge ;

V : la tension appliquée ;

V_s : la tension seuil de l'effet couronne ;

K : une constante dépendant de la mobilité moyenne des ions et de la géométrie du système d'électrodes :

Comme on peut le voir, le courant est nul lorsque $V=V_s$ et augmente paraboliquement avec V .

Depuis, plusieurs méthodes de calcul basées sur des approximations et des hypothèses simplificatrices ont été proposées [26-27]. Pour la géométrie cylindrique coaxiale, Jones et al. [28] ont obtenu une loi générale couvrant tout le domaine de la décharge couronne. Ils supposent que toutes les quantités sont indépendantes du temps, que la charge d'espace n'est fonction que de la variable radiale R (m) et que la mobilité moyenne μ (Cm²/V.s) des ions positifs n'est fonction que de l'humidité de l'air.

$$V = V_C + R_C \cdot E_C \left\{ [1 + I'(R'^2 - 1)]^{1/2} - 1 + (1 - I')^{1/2} \cdot \ln \left(\frac{R'[1 + (1 - I')^{1/2}]}{(1 - I')^{1/2} + [1 + I'(R'^2 - 1)]^{1/2}} \right) \right\} \quad (\text{I-7})$$

Avec :
$$I' = \frac{I}{2\pi \cdot \mu \cdot \epsilon_0 \cdot E_C^2} \quad \text{et} \quad R' = \frac{R}{R_C}$$

Où :

V_C : la chute de tension dans la zone d'ionisation ;

E_C : le champ du minimum d'ionisation ;

R_C : le rayon de la zone d'ionisation ;

ϵ_0 : Constante diélectrique du vide;

Pour des faibles courants, ils retrouvent la loi de Townsend :

$$I = \frac{8\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \mu}{R^2 \cdot \ln\left(\frac{R}{R_0}\right)} V(V - V_S) \quad (\text{I-8})$$

Dans le cas de la géométrie fil-plan, ne présentant pas de symétrie de révolution comme pour le cas du système cylindrique, le calcul de la loi générale courant-tension est complexe.

Toutefois, aux faibles courants, elle est donnée [29] sous la forme suivante :

$$I = \frac{3.12\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \mu}{d^2 \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot d}{R}\right)} V(V - V_S) \quad (\text{I-9})$$

I.7 Facteurs influençant la décharge couronne

Plusieurs facteurs peuvent influencer le seuil et les caractéristiques de la décharge couronne [30], on distingue trois facteurs essentiels :

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

I.7.1 Facteurs géométriques

I.7.1.1 Rayon de courbure

L'augmentation du rayon de courbure augmente la tension seuil d'apparition de l'effet couronne. [31]

I.7.1.2 . Distance inter électrode

L'influence de la distance inter-électrodes sur les paramètres de la décharge est montrée sur la figure (I-7).

Il est clair que pour les petites distances, le courant est important et croît plus rapidement avec la tension appliquée [30], et l'augmentation de la distance inter-électrodes augmente la tension seuil à laquelle l'effet couronne se produit.

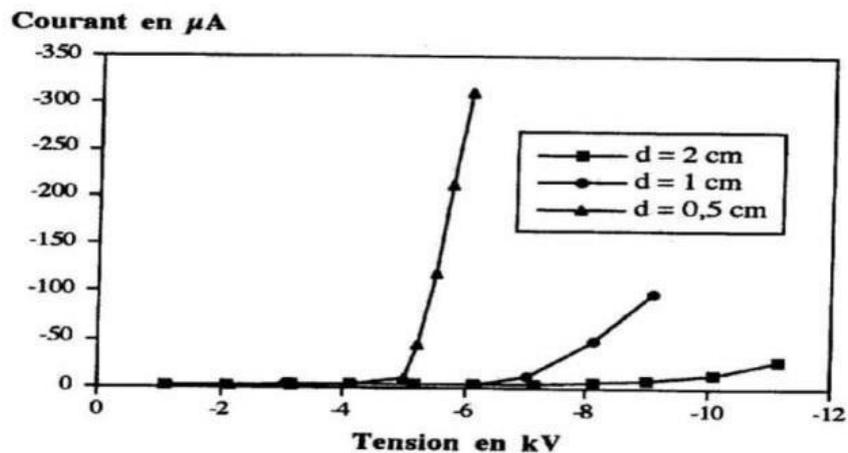


Figure I-7: Effet de la distance sur la caractéristique courant-tension [32], [33],

I.7.1.3 Nature des électrodes

La nature des électrodes et la tension appliquée influent sur la mobilité ionique comme le montre le tableau (I-1) [34].

A partir de ce tableau on peut conclure que les ions négatifs sont plus rapides par rapport aux ions positifs.

<u>Tension positive</u>	μ :en[$m^2 \cdot V^{-1} \cdot S^{-1}$] à d=0.5 cm
Electrode en cuivre	$8 \cdot 10^{-5}$
Electrode en aluminium	$7,4 \cdot 10^{-5}$
Electrode en acier	$12 \cdot 10^{-5}$
<u>Tension négative</u>	μ :en[$m^2 \cdot V^{-1} \cdot S^{-1}$] à d=0.5 cm
Electrode en cuivre	$4 \cdot 10^{-4}$
Electrode en aluminium	$2,9 \cdot 10^{-4}$
Electrode en acier	$4,5 \cdot 10^{-4}$

Tableau I-1: Influence de la nature des électrodes sur la mobilité ionique en tension positive et négative.

I.7.2 Facteurs physico-chimiques

I.7.2.1 Température

Avec l'augmentation de la température, à la pression normale, la rigidité diélectrique de l'air diminue, ce qui favorise la décharge couronne. Ceci est dû au fait que le libre parcours moyen augmente [35 ,36].

I.7.2.2 Humidité

L'influence de l'humidité sur la rigidité diélectrique de l'air est très importante, notamment dans le cas où le champ électrique n'est pas uniforme. Ce phénomène serait associé d'une part à l'augmentation de l'accumulation d'électrons libres due à la présence de la vapeur d'eau dans l'air (forte électronégativité) et d'autre part à la plus forte absorption des photons en tête des streamers. Dans la région où les avalanches secondaires sont générées par photo ionisations, le seuil de décharge couronne se produit à des tensions de plus en plus basses pour 90% et 5% d'humidité relative [37]. Cette différence pourrait s'expliquer par l'augmentation de la conductivité de l'air à mesure que l'humidité relative de la cellule de décharge augmente.

I.7.2.3 Pression

L'influence de la pression sur le courant de décharge délivré par la source d'ions est très forte. Dans la gamme (0.1-1) bar, Nouri [38] a trouvé que l'effet de la pression sur le seuil est

équivalent à celui de la distance entre les électrodes. Selon la loi de Paschen, plus la pression augmente, plus le nombre de particules dans l'espace inter électrode augmente, et le libre parcours moyen des particules chargées diminue. Par conséquent, l'ionisation de l'air est réduite. Le seuil de décharge corona augmente avec la pression, mais la mobilité des porteurs de charge diminue.

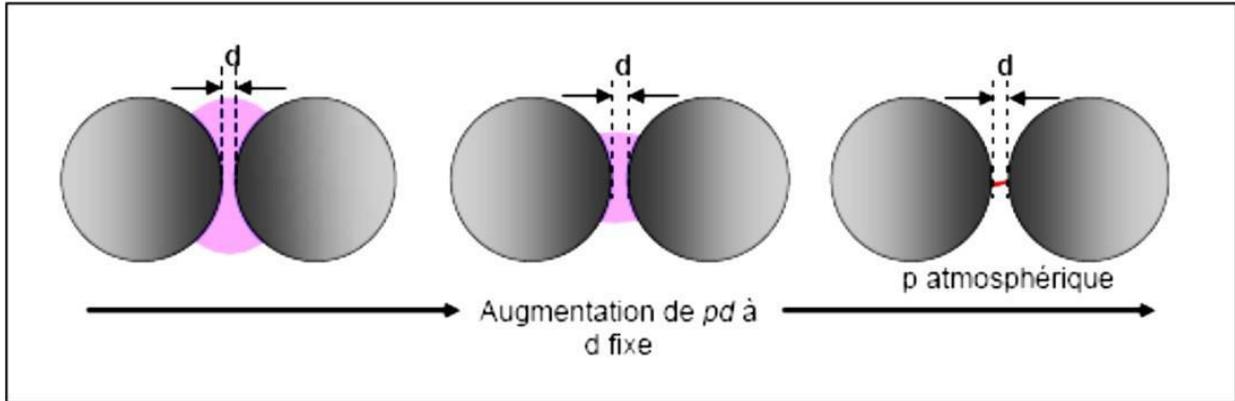


Figure I-8: Schéma d'évolution de la décharge observée en fonction de la pression [39].

I.7.2.4 Facteurs électriques

L'effet couronne dépend de l'application d'une tension, continue ou alternative au système d'électrodes. Les différents types d'émission de charge décrits pour la tension alternative sont également observés à la tension continue, la seule différence étant que l'effet couronne se produit à la tension. Le courant alternatif implique une concentration d'émission de charge correspondant au pic de l'onde sinusoïdale de la tension appliquée, mais l'émission de charge continue est permanente. [40]

I.8 Applications de la décharge couronne

I.8.1 Filtre électrostatique

La génération de charges électriques dans les décharges couronnes continues à pression atmosphérique est exploitée depuis plusieurs décades dans le traitement des effluents gazeux contenant des poussières (précipitation électrostatique).

Le fil central produit une charge négative due à l'effet couronne. Les particules de poussière chargées négativement sont attirées vers le cylindre et piégées, les empêchant de s'échapper. Le cylindre agit comme un filtre à poussière et lorsqu'il est saturé, il est remplacé par un nouveau filtre (Figure I-9) [41]

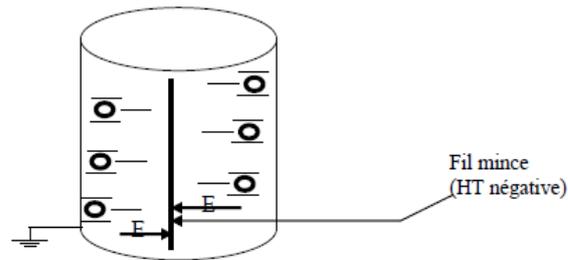


Figure I-9: Utilisation de la décharge couronne dans le filtre électrostatique [41]

I.8.2 Paratonnerre

L'effet couronne augmente la conductivité de l'air autour de la pointe ; le canal de la foudre qui opte pour le chemin le moins résistant est capté par le paratonnerre (Figure I-10) [41]

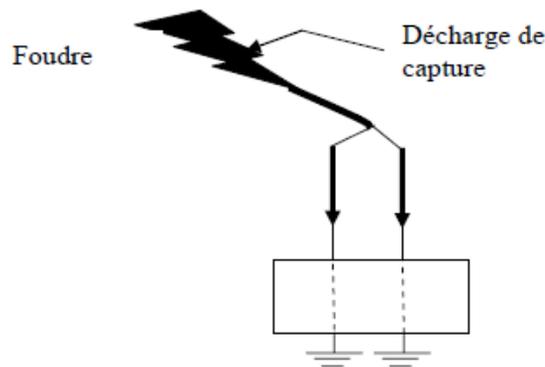


Figure I-10: Utilisation de la décharge couronne pour le paratonnerre

I.8.3 Neutralisation

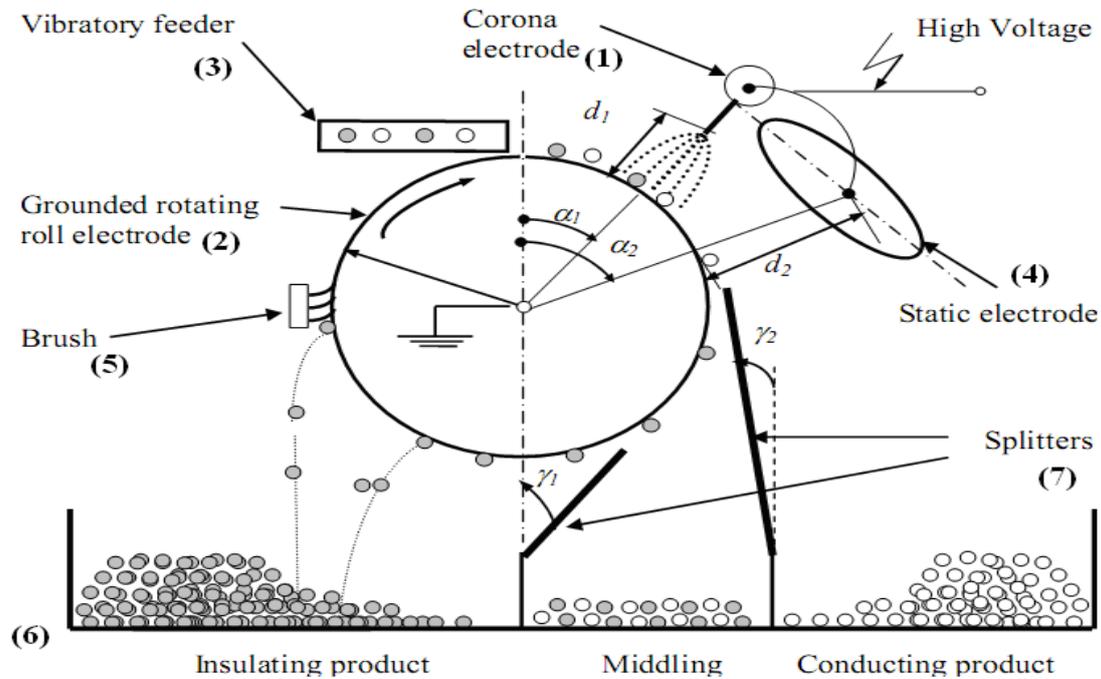
La présence de charges électriques à la surface des matériaux isolants est accompagnée assez souvent de nuisances électrostatiques non négligeables. La neutralisation de la charge électrique est couramment faite en utilisant la décharge couronne, comme exemple :

La surface de l'avion se charge par frottement avec l'air. Les charges créées par effet couronne produites par des flèches disposées sur les ailes de l'avion éliminent par neutralisation les charges surfaciques. [42]

I.8.4 Séparateur électrostatique

Le séparateur couronne électrostatique à tambour figure (I-12) est le modèle le plus utilisé dans l'industrie. Il permet de séparer un mélange granulaire isolant-métal avec des puretés

proches de 100%. Le mélange de particules granuleuses reçoit la charge générée par l'effet couronne, grâce aux électrodes reliées à une source haute tension négative. Ces particules se comportent différemment selon qu'elles sont isolantes ou métalliques et tombent à des endroits différents (Figure I-11).



- (1) : Electrode couronne reliée à une H.T continue.
 (2) : Electrode cylindrique reliée à la terre.
 (3) : Vibro-transporteur
 (4) : Electrode statique reliée à la même HT continue.
 (5) : Brosse.
 (6) : Collecteur de particules.
 (7) : Electrode de neutralisation reliée à une H.T alternative

Figure I-11: Principe de fonctionnement d'un séparateur électrostatique

Les décharges couronnes ont de nombreuses autres applications commerciales et industrielles tel que : Production d'ozone ; Traitement de surface de certains polymères ; Photocopieur ; Refroidissement de composants électroniques (la migration des particules ionisées génère un flux qui expulse l'air chaud).

I.9 Approches théoriques de la décharge couronne nappe de fils :

En 1929, Peek a proposé une loi empirique pour déterminer le champ seuil de l'effet couronne d'un conducteur cylindrique en fonction du champ superficiel, du rayon du conducteur, et de la densité de l'air et il l'a écrite sous la forme :

$$E_s = 31. \delta. \left(1 + \frac{0.308}{\sqrt{\delta \cdot r_0}} \right) \text{ (kV/cm)} \quad (\text{I-10})$$

Avec : $\delta = \frac{P}{76} \cdot 298 / (273 + T)$ Densité relative de l'air

($\delta = 1$ pour $P = 76 \text{ cm} \cdot \text{Hg}$ et $T = 25^\circ\text{C}$).

La relation (I-10) n'est vérifiée que pour des surfaces parfaitement polies. La rugosité superficielle diminue le champ seuil ; on tient compte de cette influence en attribuant au conducteur un coefficient d'état de surface. Le champ seuil E d'un conducteur non poli s'exprime alors sous la forme [43] :

$$E_0 = m. E_s \quad (\text{I-11})$$

De nombreuses formules empiriques ont été proposées sous :

$$E_s = F. \left(1 + \frac{G}{r_0^B} \right) \quad (\text{I-12})$$

Où : F , G , et B sont des constantes qui diffèrent d'un auteur à l'autre

En utilisant l'équation donné par Cooperman On peut déterminer le champ seuil E_s de la décharge couronne à la surface de la nappe, où le système nappe de fils-deux plans est équivalent à un système cylindrique coaxiale (fil -cylindre) [44] :

$$E_s = E_s / (r_0 \ln(R/r_0)) \quad (\text{I-13})$$

$$\text{Avec} \quad : \quad R = \frac{D}{2\pi} \exp\left(\frac{\pi d}{D}\right)$$

Où :

U_s : est la tension seuil de l'effet couronne.

R : est le rayon du cylindre équivalent.

r_0 : est le rayon du fil.

D : distance entre deux fils voisins.

d : diamètre du fil.

Pour un nombre important de fils de la nappe, la tension U_s et le champ seuil E_s deviennent indépendant de nombre de fils de la nappe. A une distance X_c de la surface de la nappe, le champ électrique est égal au champ critique du minimum d'ionisation E_c donné par :

$$E_c = U_s / ((r_0 + X_c) \log(\frac{R_0}{r_0})) \quad (\text{I-14})$$

La longueur critique d'avalanche est égale à : [38]

$$X_c = (E_s/E_c - 1) \cdot r_0 \quad (\text{I-15})$$

Popkov [36] propose une forme d'équation pour la géométrie nappe de fils – deux plans :

$$E_s = \frac{U_s}{R_0 \left[\ln \left[\frac{D}{2\pi r_0} \right] + \pi \frac{d}{D} \right]} \quad (\text{kV/cm}) \quad (\text{I-16})$$

I.10 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents types de la décharge couronne ainsi que les mécanismes de sa création. Les mécanismes de développement d'avalanche électronique et de propagation des décharges ont été décrits (mécanisme de Townsend et streamer) et les paramètres influençant la décharge couronne ont été brièvement discutés.

Enfin, on a donné quelques applications de la décharge couronne dans le domaine industriel.

Le chapitre suivant est consacré à l'étude expérimentale, et les différents moyens et matériel utilisés pour la réalisation de notre banc d'essai

CHAPITRE II
TECHNIQUES
EXPERIMENTALES

Chapitre II

TECHNIQUES EXPERIMENTALES

II.1 Introduction :

Ce chapitre est consacré à l'étude et à la présentation de l'ensemble des moyens et matériels expérimental utilisés dans notre travail.

Les essais expérimentaux ont été réalisé au sein du laboratoire de la Haute tension de l'université A. MIRA de Bejaia Le but recherché est de déterminer les paramètres de la décharge couronne (tension de seuil, densité de courant, la caractéristique Courant-Tension) générée par la configuration nappe de fils-plan, ainsi que les paramètres qui influent sur cette décharge (nombres d'électrodes actives utilisées, la distance inter-fils, la distance inter-électrodes).

Dans un premier temps nous avons effectué plusieurs séries de mesure de la caractéristique $I=f(V)$ en polarités positive et négative et de la densité de courant en polarité positif. Par la suite on a inséré une grille conductrice entre l'électrode active et le plan et on a refait les mêmes mesures pour voir l'influence de la grille sur la décharge couronne.

II.2 Description du dispositif expérimental :

Le système d'électrode-utilisé dans notre travail est la configuration nappe de fils-plan. Le dispositif d'essai est représenté sur la figure II-1. L'électrode active est constituée d'un ensemble de fils de très faible rayon de courbure, les fils de diamètre 0,25 mm sont en cuivre et les fils de diamètre 0,5 et 0,8 mm sont en tungstène. Les fils, séparés par une distance D variable, sont tendus parallèlement par deux supports isolés en plexiglas à une hauteur H du plan de mesure. Ils sont reliée à une installation haute tension, qui délivre une tension continue variable ; L'électrode passive est en acier inoxydable composée d'un plan collecteur, de deux plans de garde mis à la terre et d'une sonde circulaire incorporée dans le même niveau de la surface avec le plan

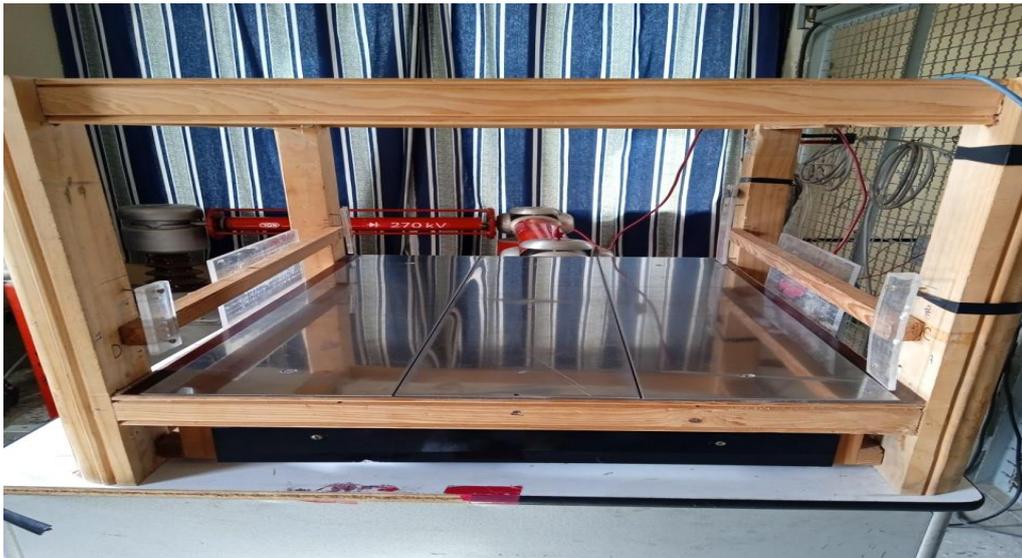
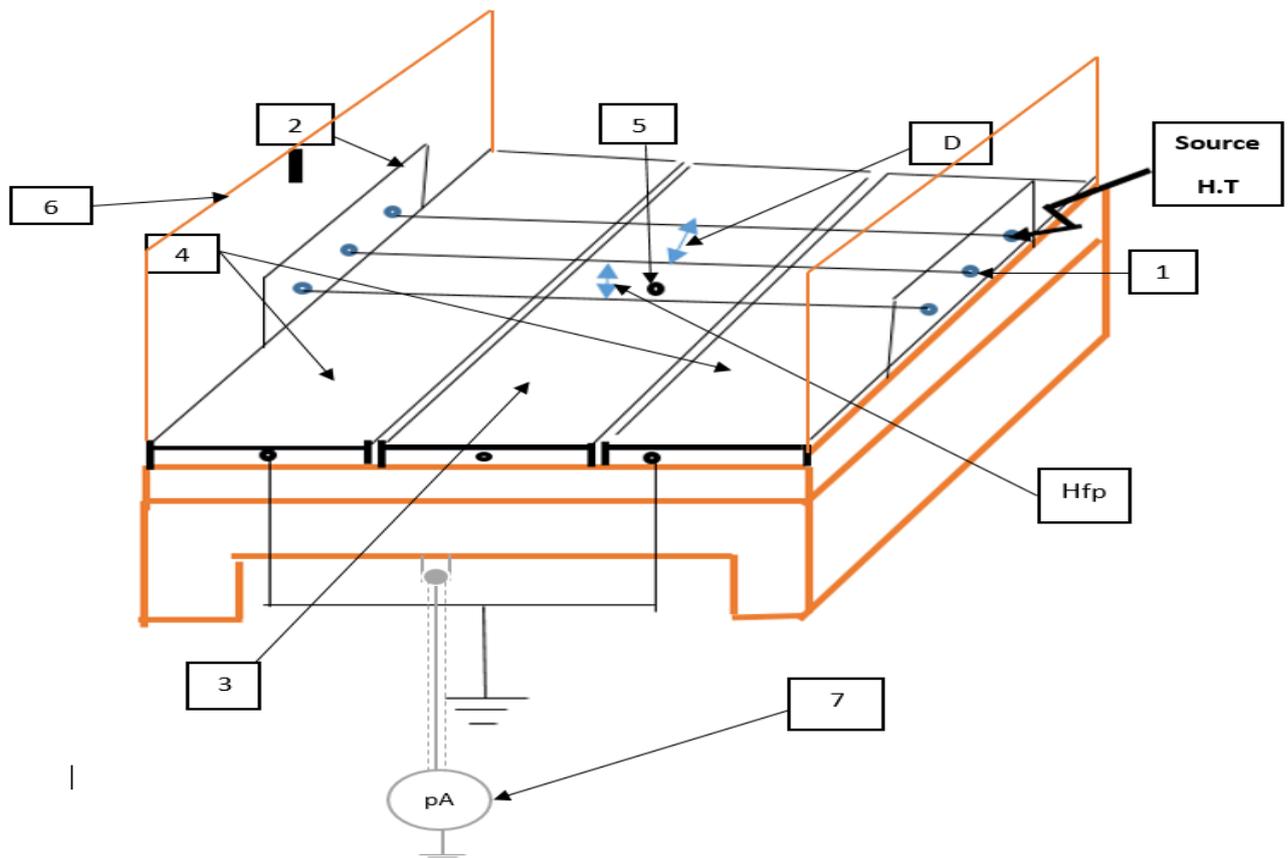


Figure II-1: Photo du dispositif expérimental



(1) : Fils conducteur, (2) : Support en plexiglass, (3) : Plan collecteur, (4) : Deux plans de garde, (5) : Sonde circulaire (6) : Support en bois, (7) : Pico-ampèremètre, (D) : Distance inter-fils, H : Distance inter-électrode. (H.T) : Haute tension

Figure II-2: Représentation schématique du dispositif expérimental

❖ Grille conductrice :

Pour le système triode (figure II-3) une grille conductrice est placée entre l'électrode active (fils) et l'électrode plan reliée à la terre. La grille est reliée à la terre à travers une résistance électrique, son potentiel V_g dépend de la valeur de cette résistance et du courant de décharge I_g qui s'écoule à travers cette grille.

Pour varier la valeur du potentiel de la grille V_g , nous agissons sur la résistance variable qui fixe le potentiel de la grille. La variation de la résistance R_g est obtenue par l'association de résistances de l'ordre de $M\Omega$.

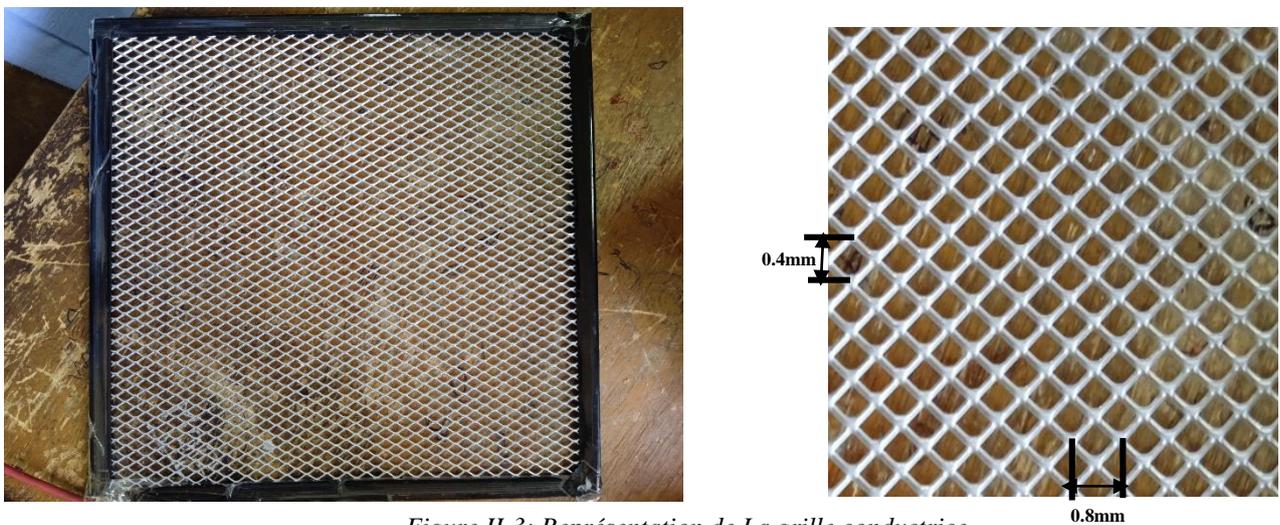


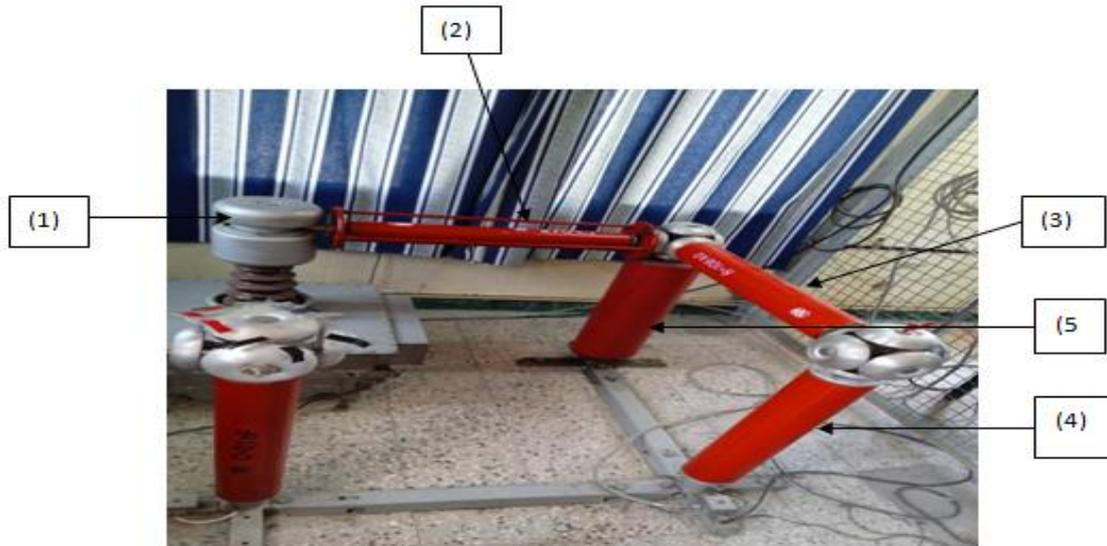
Figure II-3: Représentation de La grille conductrice

❖ La source de haute tension

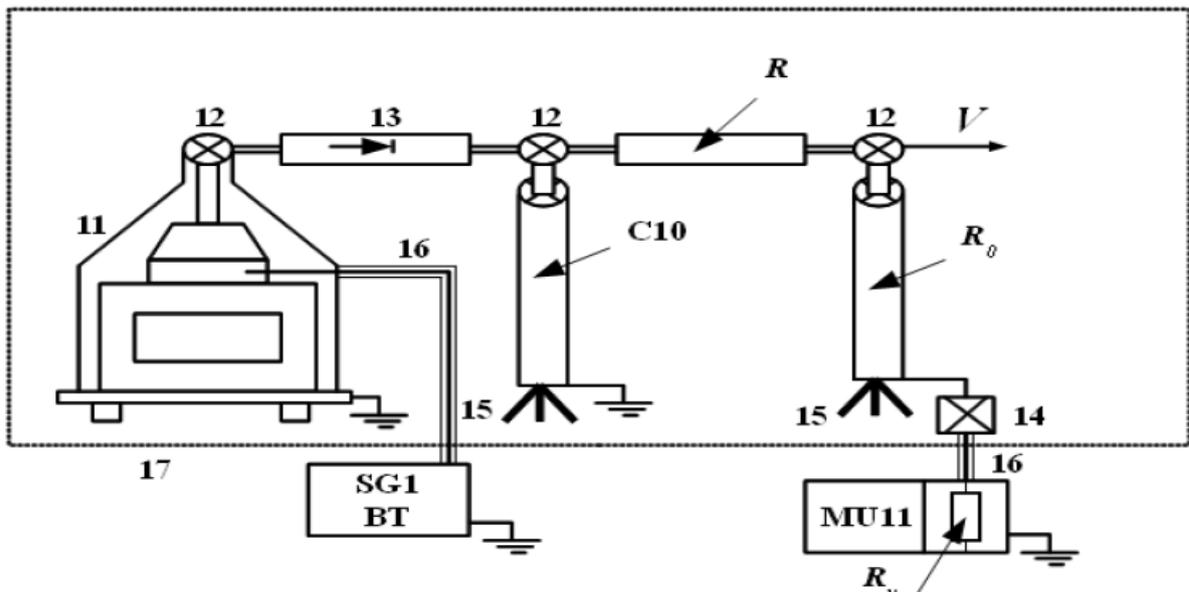
Pour mesurer les paramètres de la décharge couronne en configuration nappe de fils, nous avons besoin d'une source de haute tension continue de polarité positive et négative. Pour cela, on a utilisé une installation haute tension présente au laboratoire de haute tension de l'université de Bejaïa, qui délivre des tensions variant de 0 à 135 kV, continue, de polarité positive et négative (figure II-4)

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=10 nF
- De deux résistances R et R_0 de valeurs 106 k Ω et 250 M Ω respectivement



(1) Transformateur haute tension (T100). (2) Diode haute tension (G270). (3) Résistance haute tension (R_0). (4) Résistance haute tension (R_u). (5) condensateur déliassage (C10)

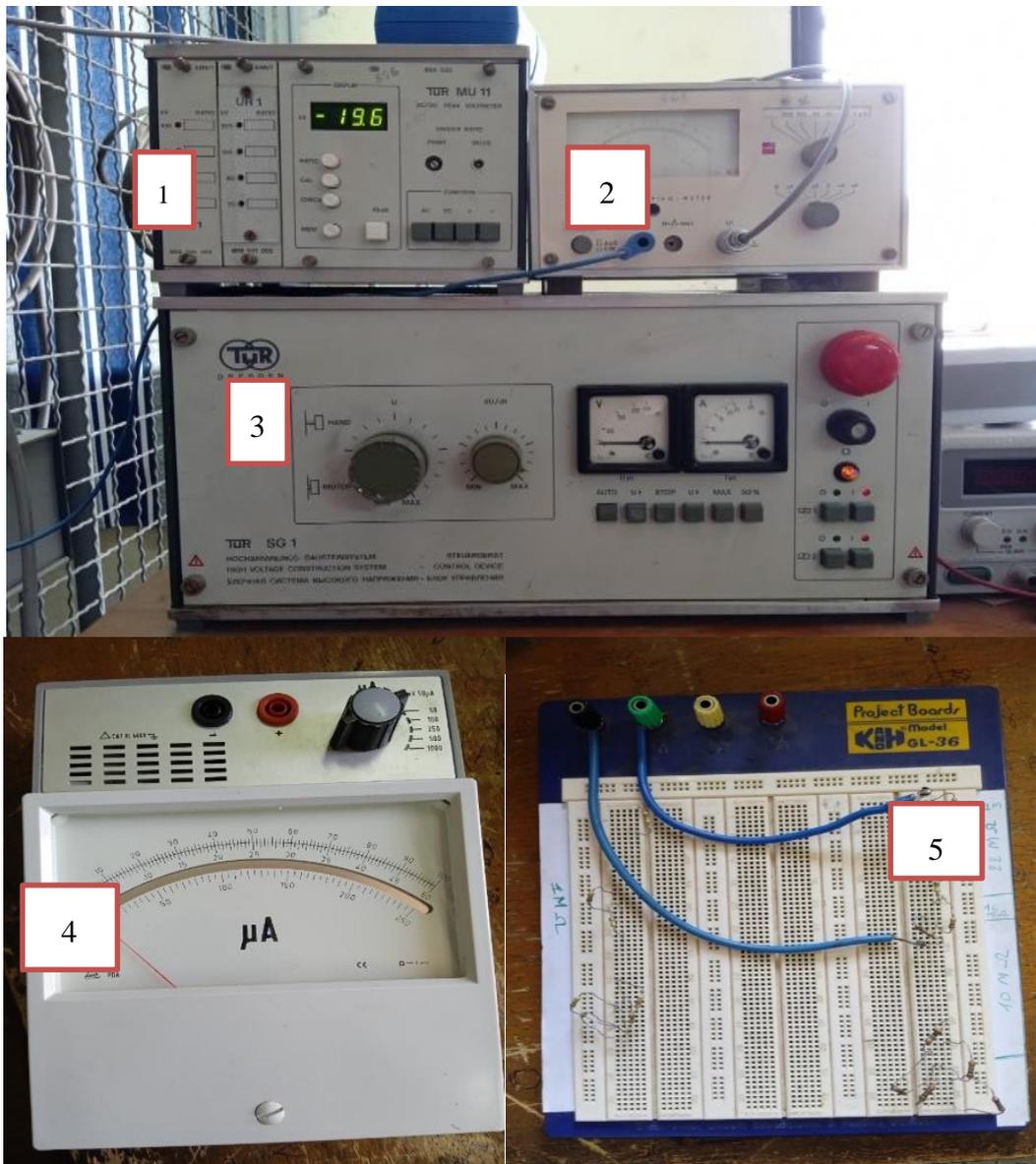


11 : Transformateur haute tension (T100).12 : Nœuds de liaison. 13 : Diode haute tension (G270). 14 : Boîte de connexion. 15 : Support d'éléments. 16 : Câble coaxial.17 : Grille de protection SG1 : alimentation basse tension. MU11 : Voltmètre de crête. C10 : Condensateur de lissage. R : Résistance d'amortissement. R_0 : Résistance haute tension. R_u : Résistance basse tension.

Figure II-4: Installation haute tension au labo de l'université de Bejaia

❖ **Matériels utilisés :**

La figure II-5 représente le matériel qu'on a utilisé lors de nos essais :



(1) Voltmètre de crête, (2) : Pico-ampèremètre, (3) :SG1 Générateur basse tension,
 (4) : Micro-ampèremètre, (5) : Résistance variables de la grille

Figure II-5: Appareillage de mesure

II.3 Méthode de mesure des paramètres de la décharge :

Les différents essais effectués portent sur la mesure des paramètres suivants :

1. La tension appliquée V_{App} à la nappe de fils.

2. Le courant I_s collecté par la sonde.
3. Le courant de la grille I_g et la tension de la grille V_g
4. La tension de claquage V
5. La caractéristique courant –tension (I-V)
6. Les paramètres physiques de l'air (la pression, la température et l'humidité)

II.3.1 Mesure de la tension appliquée :

La mesure de la tension continue V_{App} , est effectuée à l'aide d'un voltmètre de crête (MU11) ou il mesure et affiche la valeur de la haute tension appliquée

II.3.2 Mesure du courant de décharge :

La mesure du courant de la décharge (I) ainsi que la densité du courant collecté en fonction des tensions appliquée V_{App} sur l'électrode active, est effectuée à l'aide d'un micro-ampèremètre et d'un pico-ampèremètre, les éléments (2) et (4) de la figure II-5

Pour mesurer le courant de décharge I , la sonde (S) et le plan (P) sont reliée au pico-ampèremètre à l'aide d'un câble coaxial blindé. La précision des mesures dépend du bon ajustement et l'alignement des fils et de la vérification de la distance inter électrode (H) et de la distance inter-fils (D), et aussi du bon centrage de la sonde et du courant de fuite causé par l'accumulation de poussière entre la sonde et l'électrode active, la sonde doit être nettoyé de la poussière avec le l'acétone avant chaque essai suivi du réglage de la position de la sonde (S) par rapport aux plaques.

II.3.3 Mesure du courant et de la tension de la grille :

La mesure du courant de la grille (I_g) est effectuée à l'aide d'un micro-ampèremètre. La grille est reliée au micro- ampèremètre via une résistance variable (R_g) qui nous permet de contrôler le potentiel de la grille (V_g). Ce dernier est calculé par la formule : $V_g = R_g * I_g$.

II.3.4 Mesure des paramètres de l'air :

Nous avons effectué les mesures de la pression, à l'aide d'un baromètre à mercure, de la température, à l'aide d'un thermomètre à mercure, et de l'humidité, à l'aide d'un Hygromètre à cheveux.



Figure II-6 : Baromètre

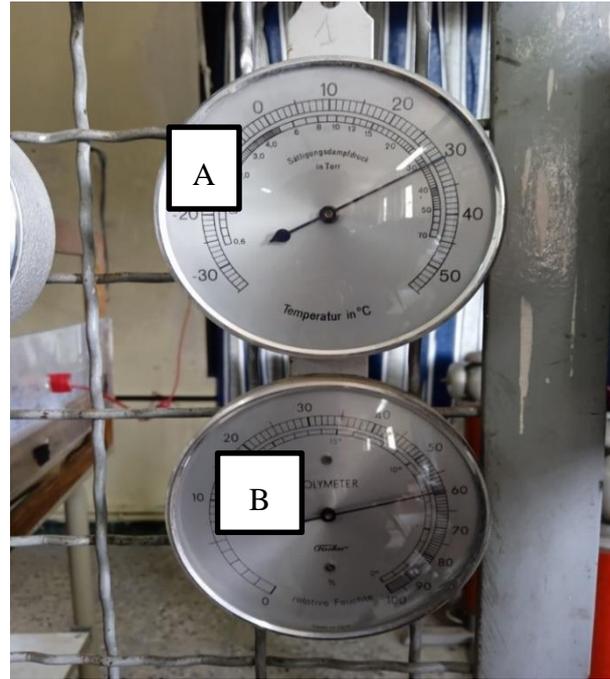


Figure II-7: appareils de mesure

A : thermomètre, B : Hygromètre

Etant donné que la décharge couronne est très influencée par les paramètres physiques de l'air, alors durant notre travail expérimental et avant chaque essai on a relevé les valeurs de la température et de l'humidité, du fait de leur influence sur la décharge couronne.

II.3.5 Mesure de la tension de claquage :

Chaque fois qu'on varie un paramètre, on détermine la tension de claquage avant de commencer les mesures pour ne pas endommager le matériel. En effet, pour mesurer la tension de claquage, les plans de garde, collecteur et la sonde sont mis à la terre et l'électrode active est relié à la source haute tension (figure II-2). On augmente la tension en mode de progression automatique jusqu'à avoir le claquage et sa valeur est affichée par le voltmètre de crête.

II.3.6 Mesure de la caractéristique courant-tension :

Pour déterminer les caractéristiques (I-V), on met les deux plans de garde à la terre. Le plan collecteur (P) ainsi que la sonde (S) sont reliés à la terre à travers un micro-ampèremètre qui nous donne la valeur du courant de décharge 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 fonction de la tension appliquée. Cette mesure nous permet de déterminer la tension d'apparition de l'effet couronne V_{seuil} .

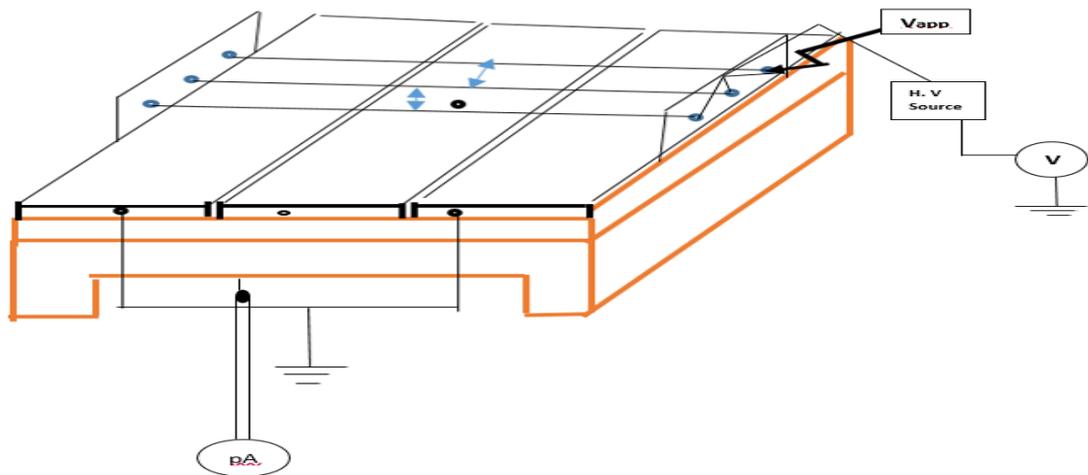


Figure II-8 : Dispositif expérimental pour le relevé de la caractéristique courant-tension

II.4 Détermination de la densité du courant J :

La détermination de la densité du courant J est basée sur la mesure du courant I_s collecté par la sonde, Pour déterminer le courant en un autre point du plan, il suffit de déplacer (dans la direction de l'axe des x) les électrodes actives par rapport à la sonde (fig II-10)

Ce courant peut s'écrire :

$$I_s = J \cdot S_s \quad (\text{II-1})$$

I_s : courant collecté par la sonde

J : la densité de courant

S_s : surface de la sonde

II.5 La sonde circulaire :

La sonde circulaire est un simple capteur incorporé dans un même niveau de surface d'une électrode généralement mise à la terre.

La sonde circulaire est constitué d'un plan circulaire de rayon (r_s) et de surface (S_s) est du surface S centré au milieu d'une électrode E de surface (S_E) de rayon intérieur et extérieur respectivement r_e et R_e d'une façon que les surfaces (S_s) et (S_E) soient au même niveau et forment un intervalle d'air de largeur $g = r_e - r_s$



Figure II-9: vue de face de la sonde circulaire (S)

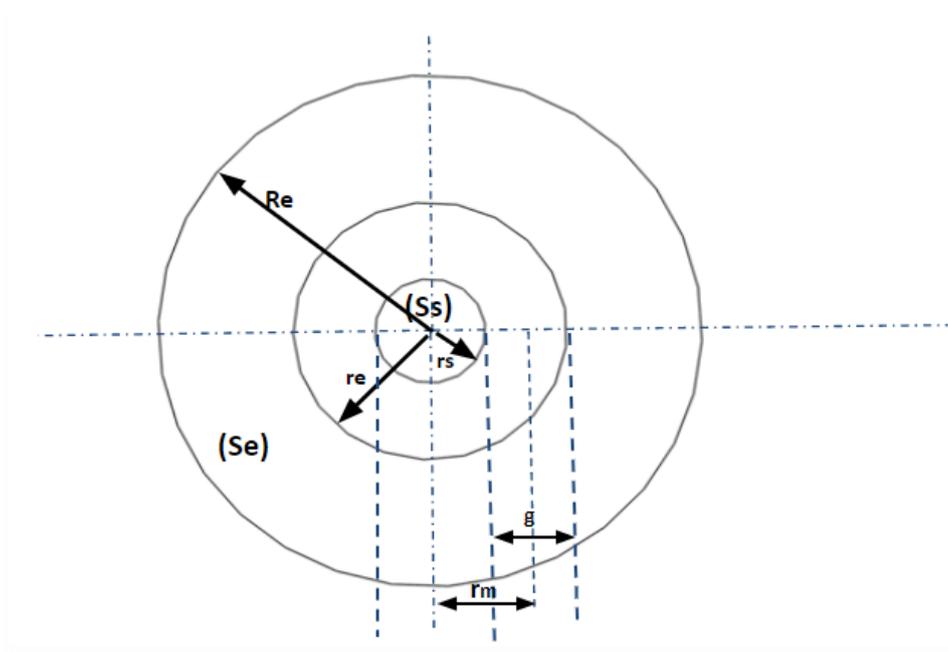


Figure II-10: Vue de dessus de la sonde circulaire

II.5.1 Les dimensions de la sonde :

Rayon du collecteur (Sonde) :

$$rs = \frac{4.7}{2} = 2.35mm$$

Rayon du trou :

$$re = \frac{5}{2} \quad g = re \cdot rs = 0.15mm$$

Le rayon moyen :

$$rm = rs + \frac{g}{2} = 2.425mm$$

La surface totale de sonde :

$$Ss = \pi \cdot r_m^2 = 18.474mm^2$$

II.6 CONCLUSION :

Ce chapitre a été consacré à la description des installations et le matériel nécessaire utilisé au cours de cette étude

Les différents essais que nous avons réalisés nous ont permis d'étudier les paramètres électriques de la décharge couronne en géométrie nappe de fils – plan, les différents résultats seront présentés dans le troisième chapitre.

CHAPITRE III
RESULTATS ET
INTERPRETATIONS

Chapitre III

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III.1 Introduction :

Ce chapitre présente l'étude et l'analyse des résultats expérimentaux obtenus. Le but de ces analyses est de déterminer les paramètres de la décharge couronne (la caractéristique Courant-Tension et la densité de courant), dans deux types de configurations d'électrodes à savoir nappe de fils-plan et nappe de fils-grille-plan. L'influence des paramètres (nombre des fils, distance inter-fils, la distance inter-électrodes et le diamètre de fil) sur ces caractéristiques ainsi que l'influence de l'insertion de la grille conductrice entre l'électrode active et passive a été pris en considération.

Initialement, on a enregistré les caractéristiques Courant-Tension $I=f(V)$, le principe consiste à mesurer simultanément la tension appliquée à l'électrode active et le courant de la décharge couronne collecté par le plan. Puis on a déterminé la densité de courant J : pour une tension appliquée V , on a enregistré le courant collecté par la sonde S à différentes position (x) de l'électrode active. Par la suite, on a inséré une grille conductrice entre les fils et le plan, et on a refait les mêmes essais que précédemment

III.2 Système nappe de fils-plan :

On a effectué plusieurs essais afin de pouvoir étudier les différents paramètres de la décharge couronne (la caractéristique courant-tension et la densité du courant), toutes les mesures ont été effectuée dans les conditions normal des paramètres physique.

La figure (III-1) illustre le dispositif expérimental utilisé :

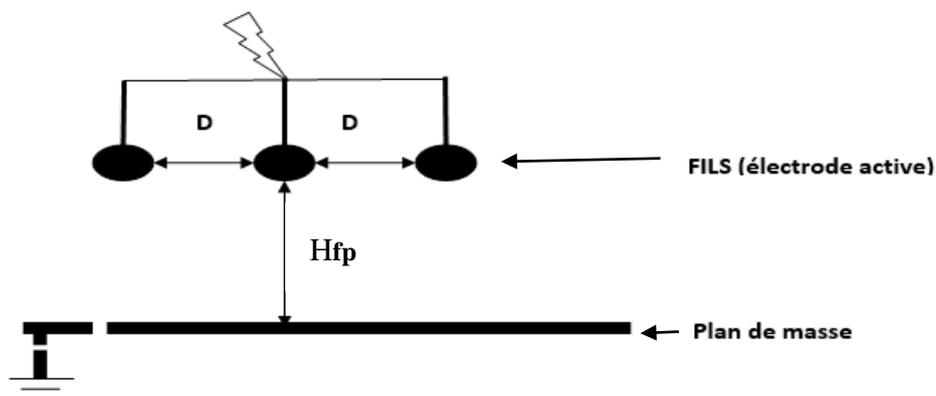


Figure III-1: dispositif expérimental du système nappe de fil-plan

III.2.1 Caractéristique courant –tension (I-V):

La mesure du courant de décharge est effectuée par un micro-ampèremètre connecté au plan collecteur (P) et la tension appliquée par un voltmètre de crête.

On a étudié les caractéristiques courant-tension en fonction des paramètres suivants :

- La polarité de la tension appliquée
- Nombre de fils N_f
- Distance inter-fils D (entre deux fils voisins).
- Distance inter-électrode H_{fp} (entre nappe de fils et le plan).
- Le diamètre de fil d .

III.2.1.1 Influence de la polarité :

Les caractéristiques courant-tension obtenue pour le système trois fils-plan suivent la loi quadratique de Townsend (équation I-4), le courant de décharge augmente avec la tension appliquée lorsque celle-ci dépasse la tension seuil de l'apparition de l'effet couronne (figure III-2). De même, le courant de décharge négative est plus élevé que celui de la décharge positive pour une tension donnée, cela est dû à la différence de mobilité apparente des porteurs de charge positive et négative.

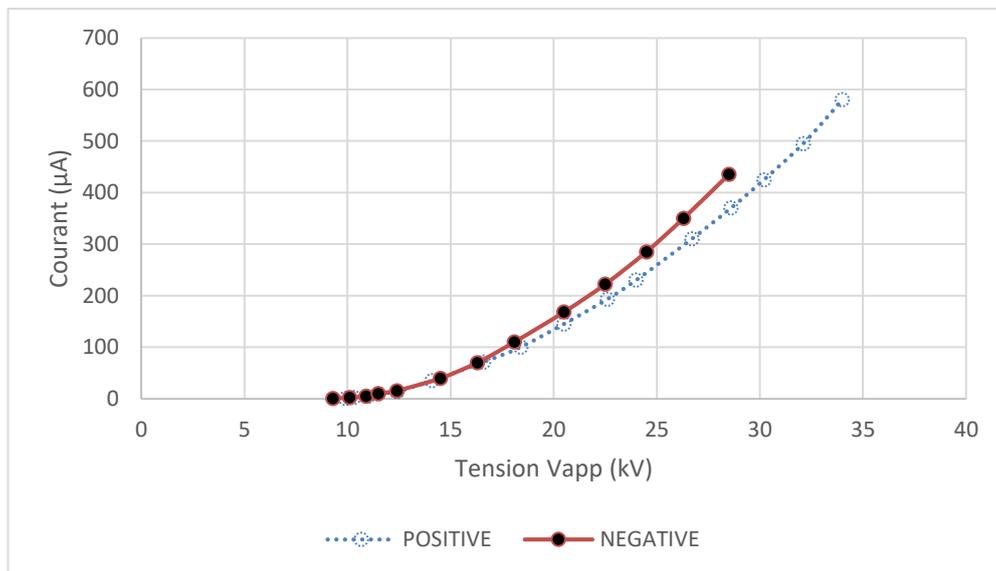


Figure III-2: Caractéristique Courant-Tension de la décharge couronne positive et négative pour le système d'électrode trois fils-plan ($H_{fp}=4\text{cm}$, $D=8\text{cm}$, $d=0.25\text{mm}$, $T=29^\circ\text{C}$, $P=1015.3\text{hpa}$, $H=62\%$)

III.2.1.2 Influence du nombre de fil :

Dans cette série d'expérience on a étudié l'effet du nombre de fils de l'électrode active sur la décharge couronne, La figures (III-3) montre les allures des caractéristiques Courant-Tension pour les deux types de décharge (positif et négatif) en fonction du nombre de fils allant d'un fil à trois fils, la distance fils-plan H_{fp} est fixée à $H_{fp}=4\text{cm}$ et la distance inter-fils D est fixé à $D=4\text{ cm}$ pour les systèmes d'électrodes deux fils-plan et trois fils-plan.

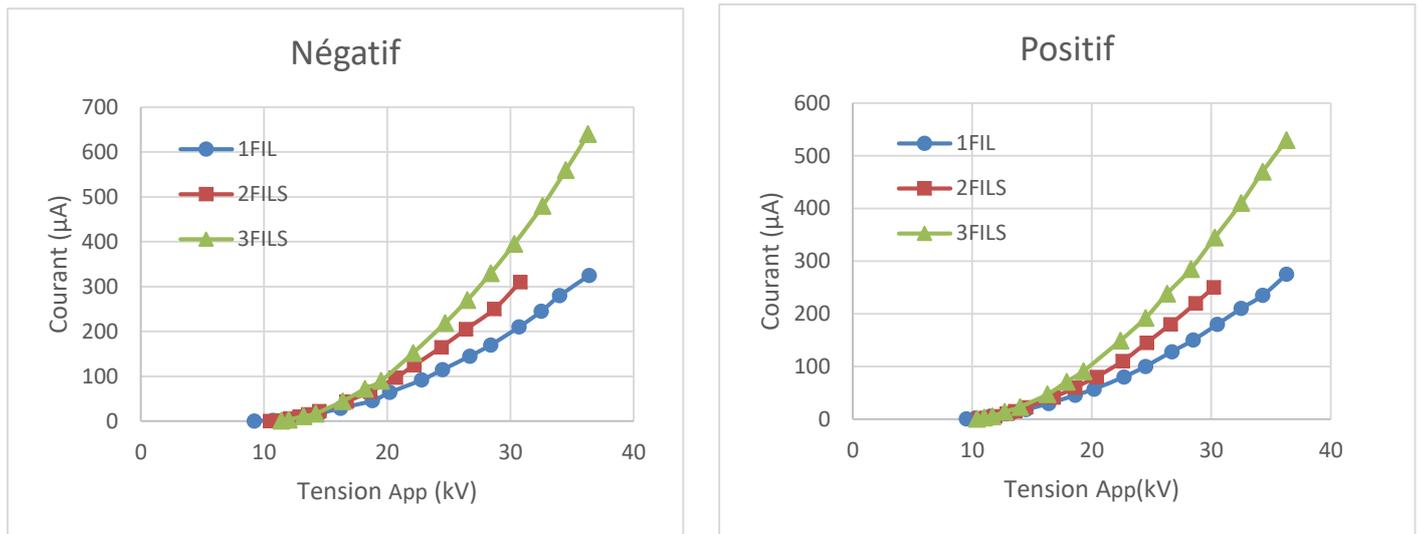


Figure III-3: caractéristique courant-tension pour différents système d'électrode (un fil, deux fils et trois fils), ($H_{fp}=4\text{cm}$, $D=4\text{cm}$, $T=32.5^{\circ}\text{C}$, pour système trois fils-plan $T=26^{\circ}\text{C}$, $P=1019\text{hPa}$, $H=60.5\%$, $d=0.25\text{mm}$)

Le courant de décharge augmente avec le nombre de fils N_f ceci peut être expliqué par l'augmentation du nombre de régions ionisées autour de chaque fil.

III.2.1.3 Influence de la distance inter-fils :

Pour étudier l'influence de la distance inter-fils sur la décharge couronne, on a fixé la hauteur des fils H_{fp} , on varie la distance inter-fils D et on a mesuré le courant collecté par le plan P pour différentes valeurs de la distance ($D=2,4,6,8\dots\text{ cm}$).

Les courbes des Figures III-4 et III-5 montrent les résultats obtenus :

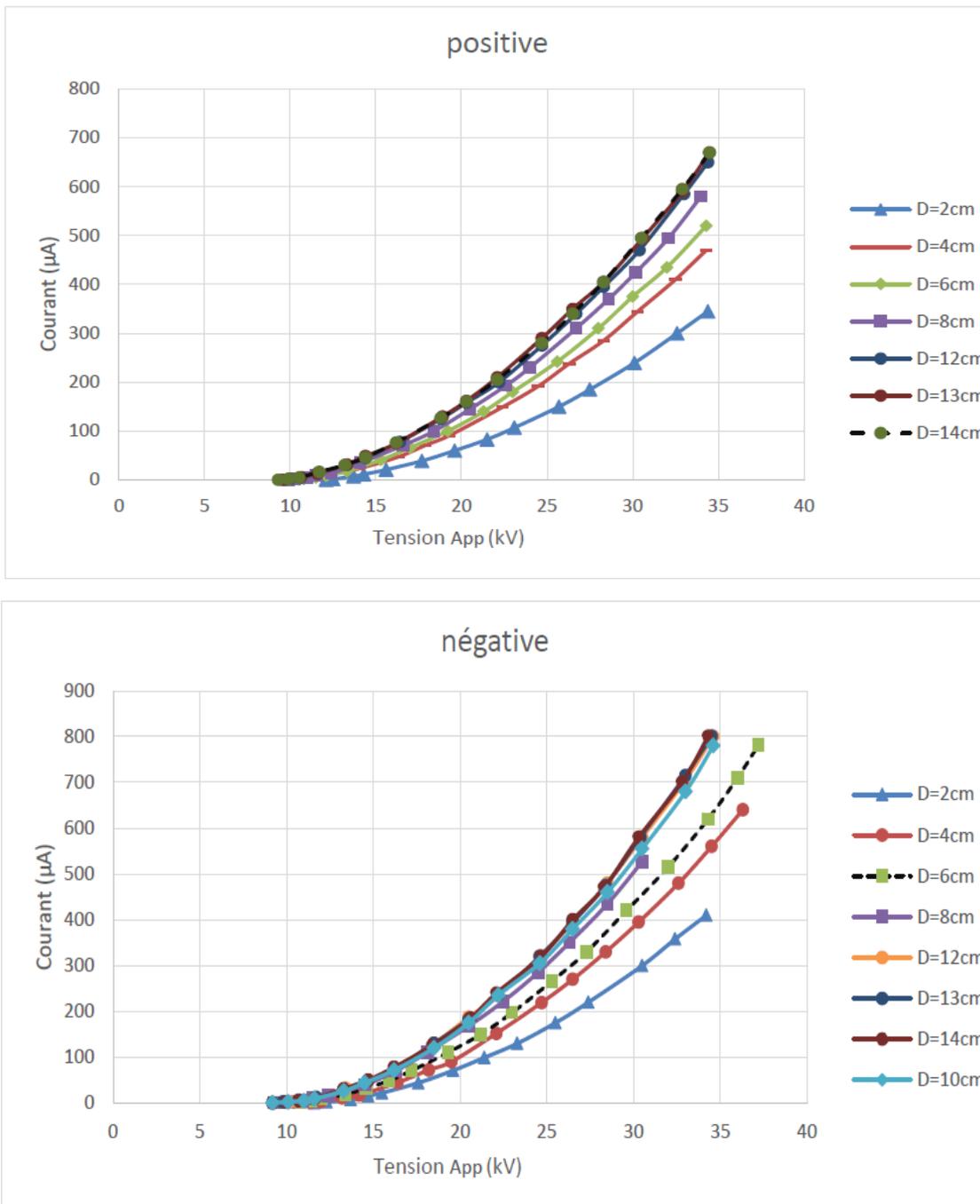


Figure III-4 : Caractéristique courant-tension pour différentes valeurs de D ($H_{fp}=4\text{cm}$, $d=0.25\text{mm}$, $46\% < H < 75\%$, $26^\circ\text{C} < T < 29^\circ\text{C}$, $1012\text{hPa} < P < 1018\text{hPa}$)

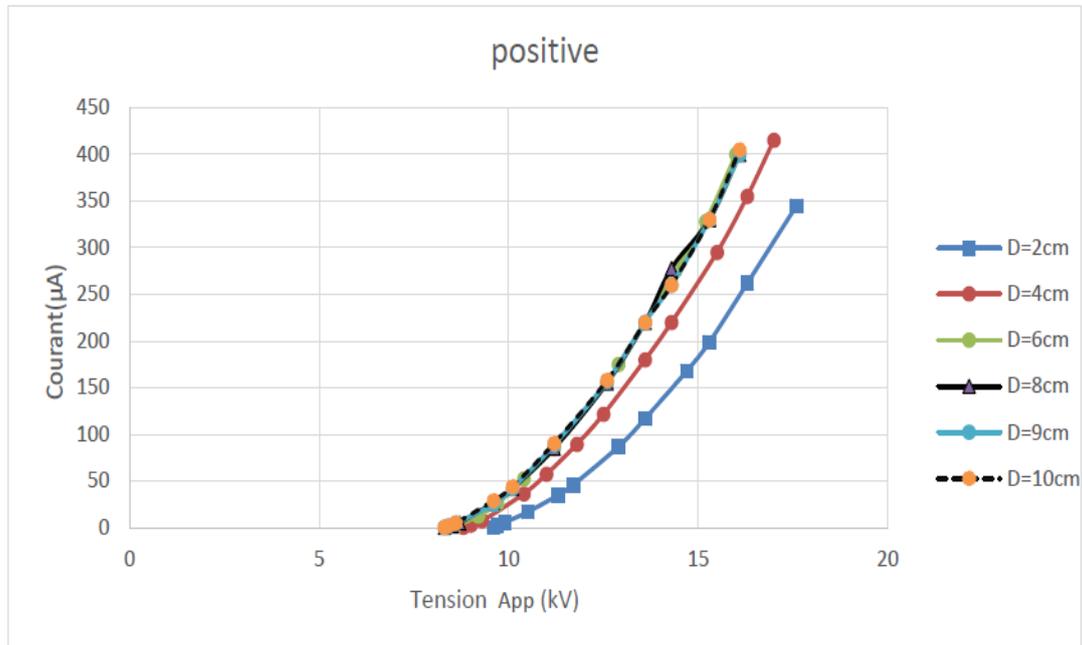


Figure III-5: Caractéristiques Courant-Tension pour différentes valeurs de D : ($H_{fp}=2\text{cm}$, $d=0.25\text{mm}$, $40\%<H<51\%$, $T=31^{\circ}\text{C}$, $1015.3\text{hPa}<P<1016.3\text{hPa}$)

On remarque que d'après les résultats obtenus que le courant de décharge augmente avec l'augmentation de la distance inter-fils cela est dû à la diminution de l'effet sheilding qui s'exercent entre les fils avec l'augmentation de D (Figures III-4 et III-5). Néanmoins, les courbes montrent qu'après une certaine distance limites, l'augmentation de D n'est pas accompagnée d'une croissance de courant de décharge car les décharges sont devenues indépendante. Ces résultats sont en accord avec les résultats obtenus par Coopermmman :

- ✓ Pour $\frac{2H}{D} \geq 2$ le courant de décharge augmente
- ✓ Pour $\frac{2H}{D} \leq 0.6$ le courant de décharge devient indépendant de la distance inter-fil

III.2.1.4 Influence de la distance inter-électrode :

Pour étudier l'influence de la distance inter-électrode sur la décharge couronne, on a fixé la distance inter-fils D , en faisant varié la hauteur des fils H_{fp} par rapport au plan P .

Ces résultats sont en accord avec les résultats obtenus par Cooperman., figure III-6 :

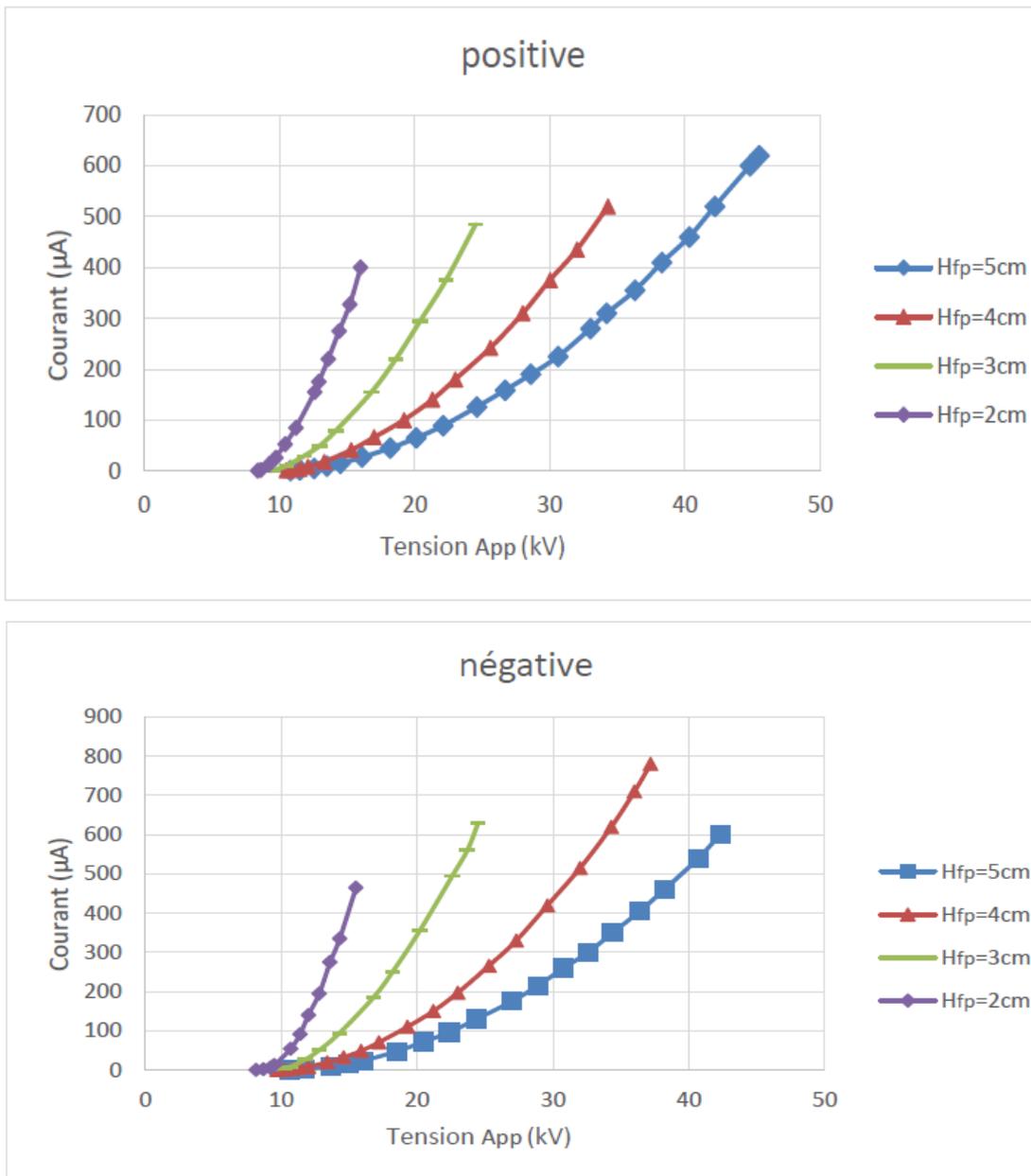


Figure III-6: Caractéristique Courant-Tension pour différentes valeurs de Hfp (D=6cm, d=0.25mm,

26 °C < T < 31°C, 1014.4hPa < P < 1016.3hPa, P4=1012.9hpa, pour Hfp=2cm H=51%, pour Hfp=3cm H=40%, pour Hfp=4 cm H=75%, pour Hfp=5cm H=57%

Les courbes de la figure III-6 : montrent que pour la même tension appliquée le courant de la décharge diminue avec l’augmentation de la distance inter-électrode, car le champ électrique moyen diminue avec l’augmentation de la Hfp.

III.2.1.5 L’influence du rayon de fil :

Les figures III-7 et III-6 illustrent les caractéristiques courant-tension pour les systèmes 1fil-plan et 3 fils-plan pour différent diamètres des fils (d=0.25mm, d=0.5mm et d=0.8mm).

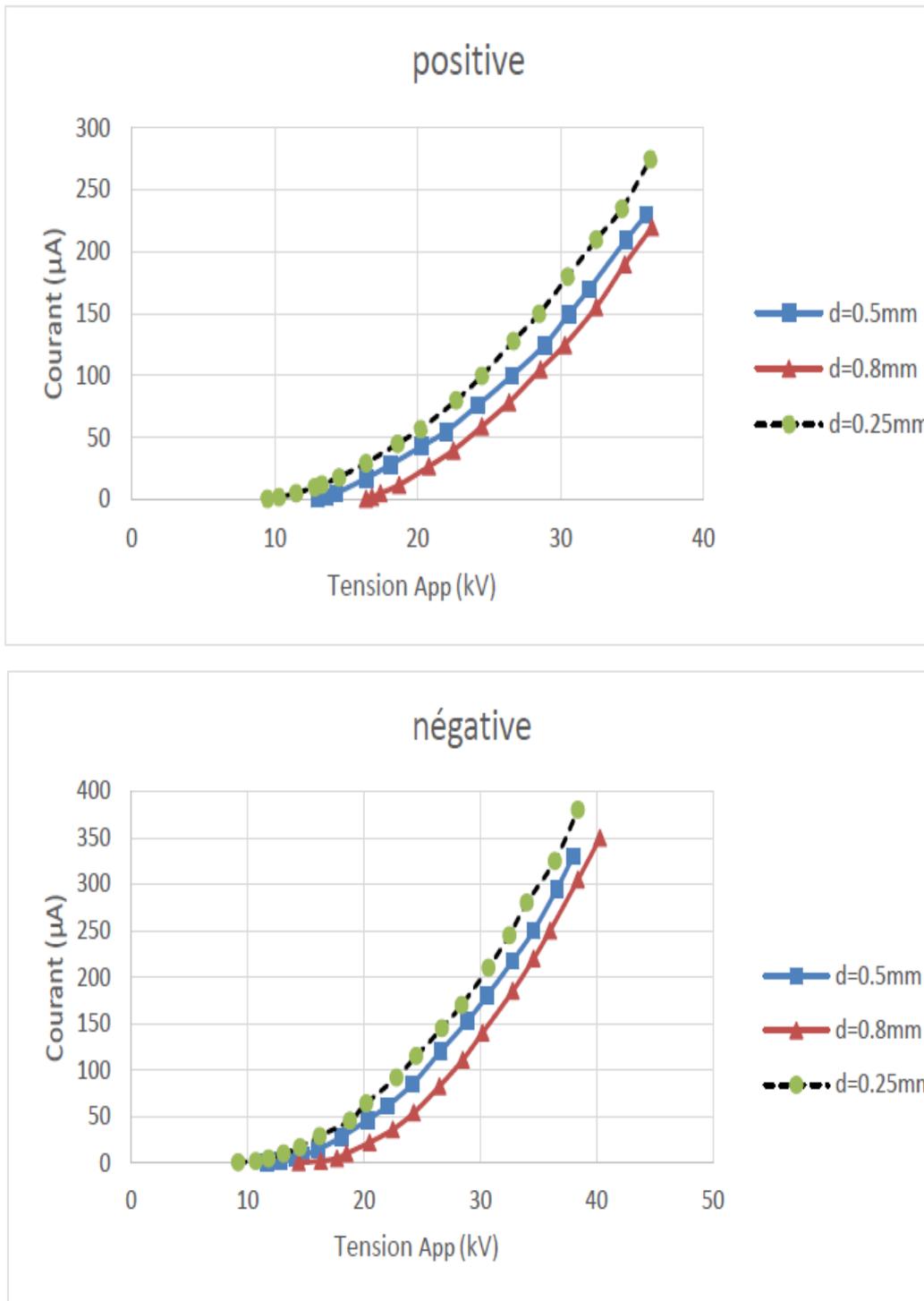


Figure III-7: Caractéristique Courant-Tension pour différentes valeurs du diamètre du fil pour système le fil-plan ($H_{fp}=4cm$, $P=1018hPa$, $T=32^{\circ}C$, 60% , $\langle H \rangle < 64\%$)

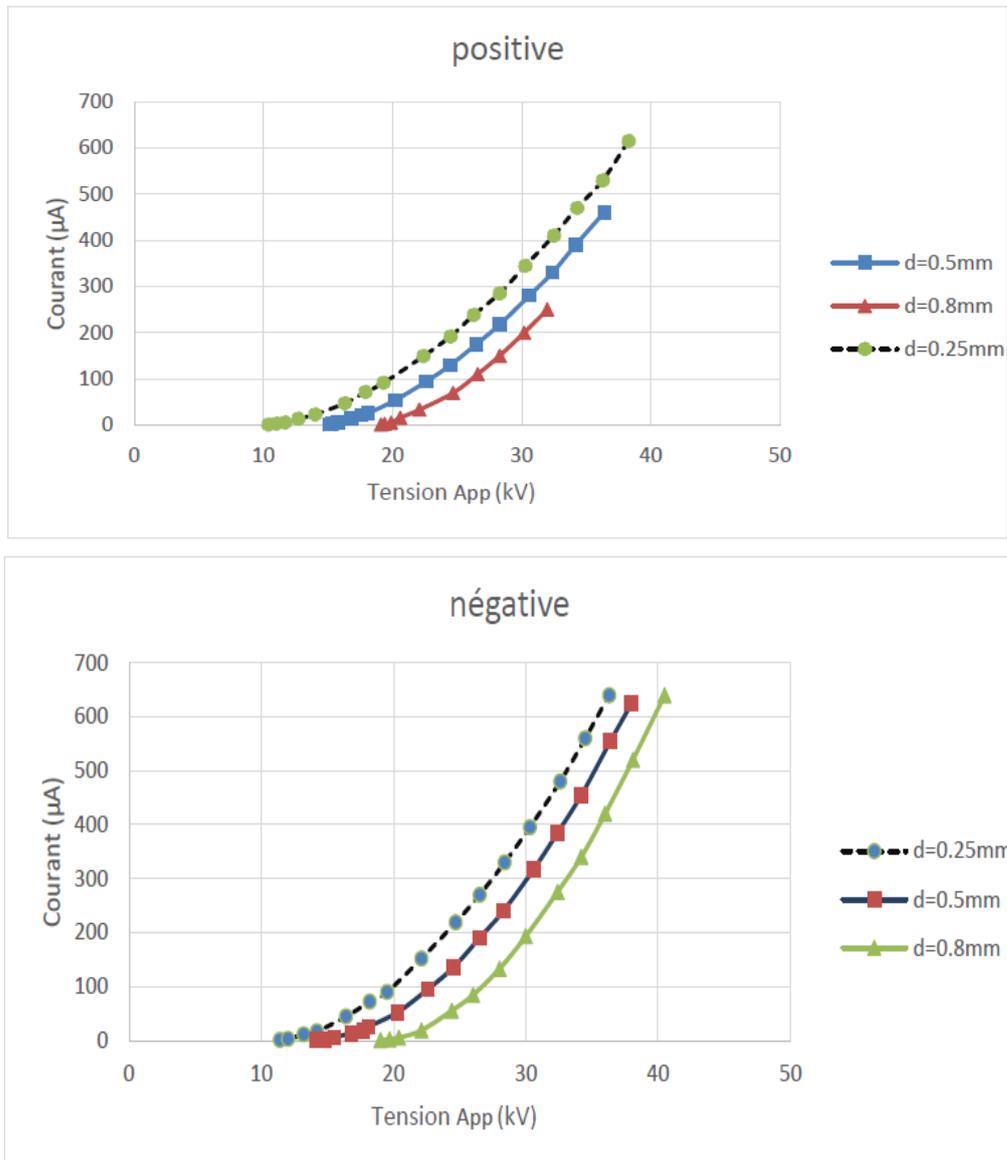


Figure III-8: Caractéristique Courant-Tension pour différentes valeurs du diamètre des fils pour le système 3 fils-plan ($H_{fp}=4\text{cm}$, $D=4\text{cm}$, $P=1017.5\text{hPa}$, $26^\circ\text{C} < T < 32.5^\circ\text{C}$, $T_{0.25}=26^\circ\text{C}$, $H=62\%$ pour le $d=0.8\text{mm}$ $H=52\%$)

D'après les résultats obtenus, pour la même valeur de tension appliquée le courant de décharge diminue avec l'augmentation du diamètre de fil car le champ est d'autant plus intense que le rayon de courbure R est faible, ces résultats sont en accord avec les travaux de Hartmann [45].

III.2.1.6 Correction de la Tension de claquage et tension seuil :

La tension de claquage et la tension seuil d'apparition de l'effet couronne dépendent d'un bon nombre de paramètres comme la pression, la température et l'humidité.

Pour qu'on puisse faire une étude comparative entre les valeurs de ces Tensions on a ramené leurs valeurs aux conditions normales. Pour des mesures effectuées dans des conditions atmosphériques (conditions de laboratoire), on introduit un facteur de correction K_p de la tension dû à l'humidité définie comme suit

Le tableau ci-dessous illustre les valeurs des Tensions de claquage et des Tensions seuil obtenus pour les différents systèmes d'électrode utilisés en variant plusieurs facteurs (polarité, distance inter-fils, etc. ...). A noter que les fils de diamètre 0.25mm sont en cuivre et les fils de diamètre 0.5mm et 0.8mm sont en Tungstène.

Nombre de fils	Diamètre de fil (mm)	Distance inter électrode Hfp (cm)	Distance inter fils D (cm)	Tension de claquage (kV)		Tension de seuils (kV)	
				DC(+)	DC(-)	DC(+)	DC (-)
1	0.25	4	-	50.6	47.22	9.5	9.2
1	0.5	4	-	47.3	48.69	13	11.7
1	0.8	4	-	44.13	49.48	19.1	19
2	0.25	4	4	47.85	46.86	10.6	10.5
3	0.25	2	2	23.2	19.65	9.85	9.6
3	0.25	2	4	22.75	19.77	8.8	9.1
3	0.25	2	6	22.3	19.4	8.4	8.15
3	0.25	3	2	36.14	33.72	10.6	10.15
3	0.25	3	6	34.53	32.54	9.3	8.6
3	0.25	4	1	48.09	41.41	12.3	11.65
3	0.25	4	2	48.49	46.5	12.1	11.6
3	0.25	4	3	44.97	42.62	11	10.2
3	0.25	4	4	47.47	42.12	10.9	10.93
3	0.25	4	6	43.22	44.09	10	9.7
3	0.25	4	8	45.37	43.75	9.9	9.3
3	0.25	5	2	55.4	53.1	12.75	12.5
3	0.25	5	6	56.4	49.22	10.8	10.6
3	0.5	4	4	42.7	47.4	15.1	14.2
3	0.8	4	4	40.4	48.46	16.4	14.4

Tableau III-1. : Tension de claquage et Tension seuil en fonction des différents paramètres des systèmes d'électrode (un fil-plan, deux fils-plan et trois fils-plan) pour la polarité positive et négative

Les résultats du tableau montrent que :

- Pour les fils en cuivre du diamètre 0.25mm :
 - Pour les fils en cuivre du diamètre 0.25mm, la tension de claquage en polarité positive est supérieure à celle en polarité négative. Par contre pour les fils en Tungstène du diamètre 0.5mm et 0.8mm, la tension de claquage négative est supérieure à la tension de claquage positive ;
 - Plus la hauteur inter-électrode est grande plus la tension de claquage est grande car le champ devient plus faible.
 - La tension de claquage diminue avec l'augmentation du nombre de fil N_f , car le champ devient plus homogène
 - Pour un intervalle d'électrode donné la tension de claquage diminue avec l'augmentation de diamètre des fils des électrodes car le champ devient plus homogène
 - La tension seuil d'apparition de l'effet couronne en polarité positive est supérieure à celle de la polarité négative.
 - La tension de seuil augmente avec l'augmentation du nombre de fil

III.2.2 La densité du courant J :

Les valeurs de la distribution de la densité du courant de décharge J ont été prises en faisant varier la position des fils par rapport à l'axe de la sonde horizontalement par un pas de 0.5cm, jusqu'à ce que le courant s'annule. La mesure du courant de décharge (J) est effectuée par un Pico-ampèremètre connecté à une sonde circulaire (S), et la mesure de la tension appliquée V_{App} effectuée par un voltmètre de crête.

La densité du courant J a été étudiée en fonction des paramètres suivants :

- Nombre de fils N_f
- Distance inter-fils (D)
- Distance inter-Electrode (H_{fp})
- Le niveau de tension appliquée V_{App}
- Le diamètre de fil d

III.2.2.1 Influence du nombre de fil :

Les courbes de la figure III-9 représentent la variation de la densité en fonction de nombre de fils (un, deux et trois fils). La distance inter-électrode est fixé à 4cm et la distance inter-fils est fixé aussi à 4cm

On remarque pour le système d'électrode fil-plan la valeur maximale du courant enregistré est à la position $X=0\text{cm}$ au-dessus du fil et le courant diminue avec l'écart du fil par rapport la sonde jusqu'à atteindre la valeur zéro. Pour le système deux fils-plan la valeur du courant est minimale à la position $X=0\text{cm}$ puis augmente jusqu'à atteindre les valeurs maximales à la position $X=2.25\text{cm}$ du côté positif et $X=-2.25\text{cm}$ du côté négatif, puis diminue jusqu'à atteindre la valeur zéro. De même pour le système trois fils-plan la distribution de la densité est de forme ondulatoire avec un maximum au-dessus de chaque fil et un minimum au milieu de 2 fils voisin.

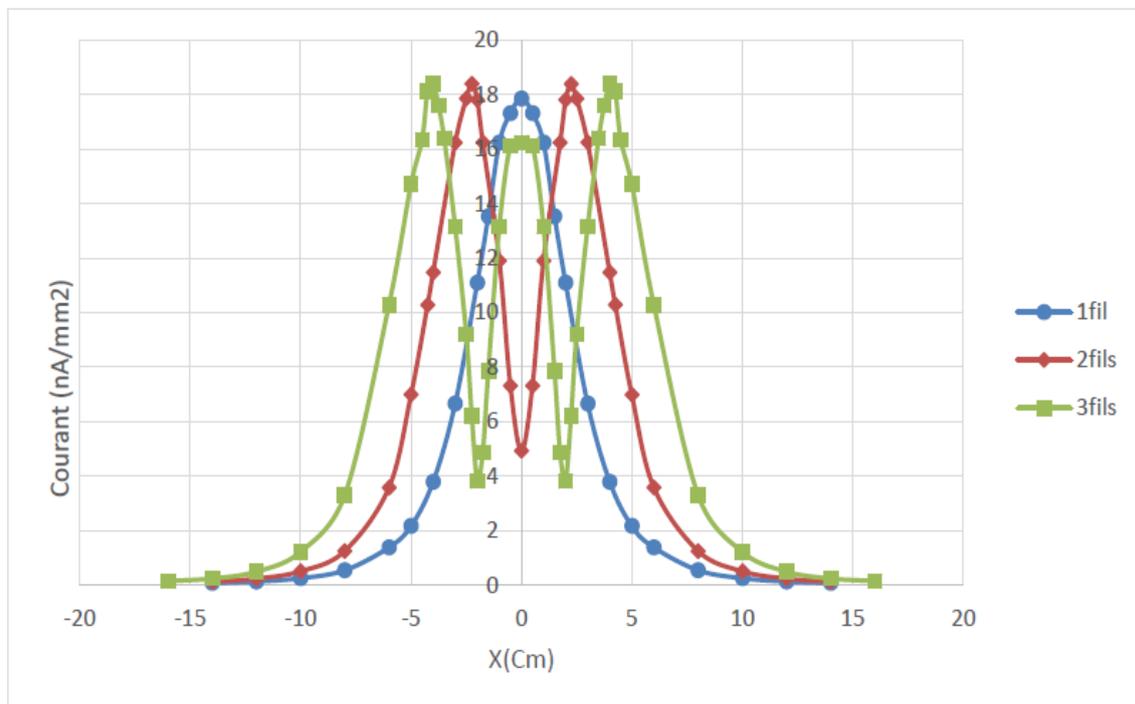


Figure III-9: la densité du courant J pour différents systèmes d'électrodes ($H_{fp}=4\text{cm}$, $D=4\text{cm}$, $d=0.25\text{mm}$, $T=32^\circ\text{C}$, $H=62\%$, pour le système trois fils-plan $T=26^\circ\text{C}$, $56\% < H < 60\%$)

III.2.2.2 Influence de la tension appliquée V_{App} :

Pour étudier l'influence de la tension appliquée sur la densité du courant on a fixé la distance inter-fils à $D=4\text{cm}$ et la distance inter-électrode $H_{fp}=4\text{cm}$ pour 2 fils et 3 fils, et on relève les résultats pour différentes valeurs de tension appliquée, Les résultats obtenus sont représentés sur les figures III-10 et III-11 :

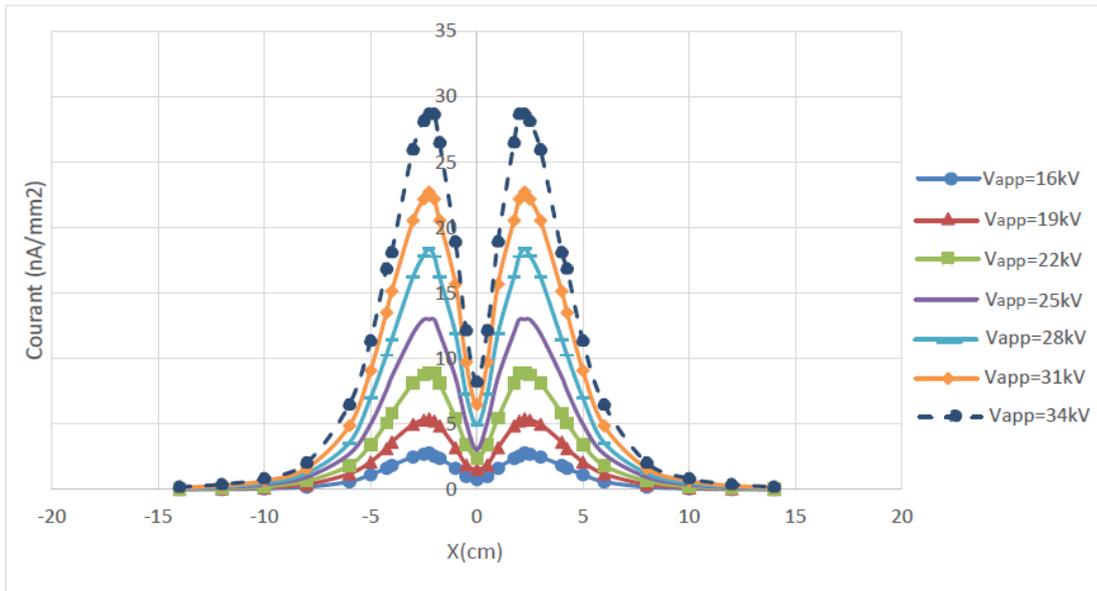


Figure III-10: la densité du courant du système d'électrode deux fils-plan pour différentes valeurs de tensions appliquée ($H_{fp}=4\text{cm}$, $D=4\text{cm}$, $d=0.25\text{mm}$, $T=32^\circ\text{C}$, $63\% < H < 61\%$)

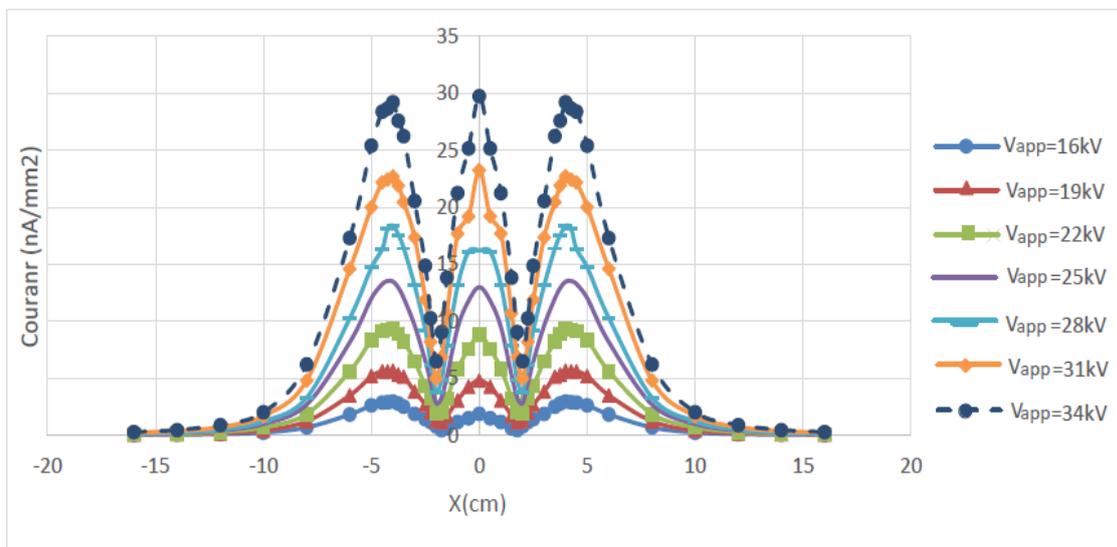


Figure III-11: La densité du Courant pour le système d'électrode trois fils-plan pour différentes valeurs de tension appliquée ($H_{fp}=4\text{cm}$, $D=4\text{cm}$, $d=0.25\text{mm}$, $T=26^\circ\text{C}$, $56\% < H < 60\%$)

La densité du courant augmente avec l'augmentation de la tension appliquée car le champ électrique d'espace inter-électrode devient plus important.

Pour le système trois fils-plan on remarque que l'effet shilding diminue avec l'augmentation de la tension appliquée car l'écart entre les valeurs maximales du fil du centre et du fil du bord diminue.

Tension (kV)	16	19	22	25	34
I _b (nA)	55	104	173	250	540
I _c (nA)	35	89	163	240	550
λ (nA)	0.36	0.144	0.058	0.04	0.01

Tableau III-2: le facteur de réduction de l'effet mutuel entre les fils en fonction de la tension appliquée

Pour étudier la variation de l'effet mutuel entre les fils (effet sheilding) 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 :

$$\lambda = (I_b - I_c) / I_b \quad (\text{III-3})$$

Avec :

- λ : facteur qui représente la réduction de l'effet sheilding qui s'exercent entre les fils
- I_b : courant du fil de bord
- I_c : courant de fil du centre

Pour une valeur de tension importante, le facteur λ diminue

III.2.2.3 Influence de la distance inter-fils :

Dans le but d'étudier l'influence de la distance inter-fils D sur la densité du courant, on a fixé la hauteur H_{fp}=2cm et la tension appliquée à 16kV, et on varie la distance D (D=2cm, 4cm et 6cm). On a mesuré la densité collectée par la sonde à l'aide d'un pico-ampèremètre en faisant varier la position des fils par rapport à la sonde. Les résultats obtenus sont représentés sur la figure III-12 :

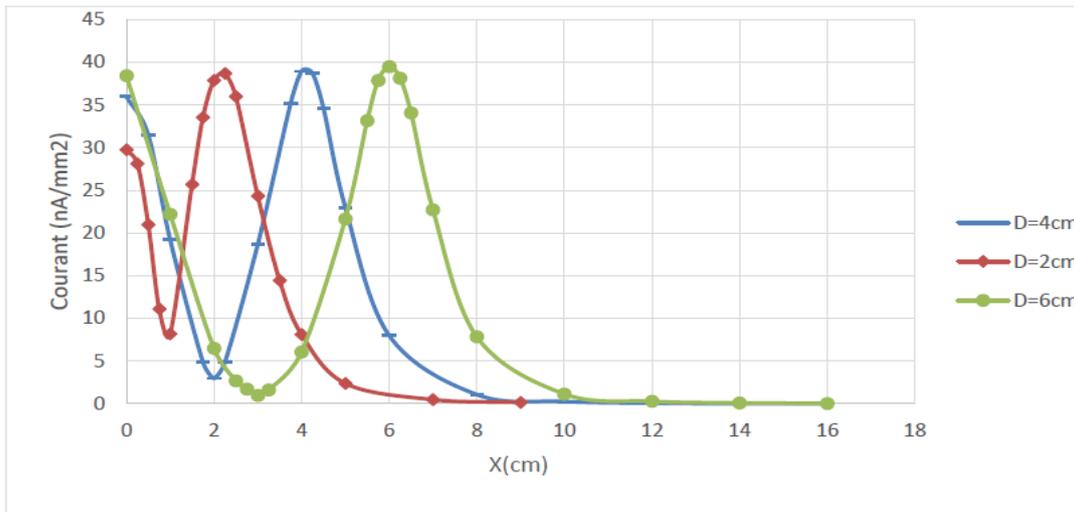


Figure III-12 : la densité du Courant du système trois fils-plan pour différentes valeurs de distance inter-fil D (Hfp=2cm, T=31°C, pour Hfp=2cm H varie entre 44 et 42%, pour Hfp=4cm, H varie entre 45 et 52%, pour Hfp=6cm, H varie entre 53 et 55%)

Les courbes de la figure montrent que la zone de la décharge s’élargie avec l’augmentation de la distance inter-fils. L’effet sheilding qui s’exercent entre les fils diminue. Cependant la valeur du courant maximum au-dessus du fil de centre augmente avec D donc le facteur λ diminue (tableau III-3) et le courant décharge augmente comme on l’a déjà remarqué pour les caractéristiques I(V)

Distance D (cm)	2	4	6
Ib (nA)	715	720	730
Ic (nA)	550	665	710
λ (nA)	0.23	0.076	0.027

Tableau III-3: : le facteur de réduction de l’effet mutuel entre les fils en fonction de la distance inter-fil D

III.2.2.4 Influence de la distance inter-électrode :

Dans cette série d’essais on a fixé la tension appliquée à V=25kV, la distance inter-fils à 6cm et on a fait varier la distance inter électrodes (Hfp=3cm et Hfp=5cm). Les résultats obtenus sont représentés sur la figure III-13

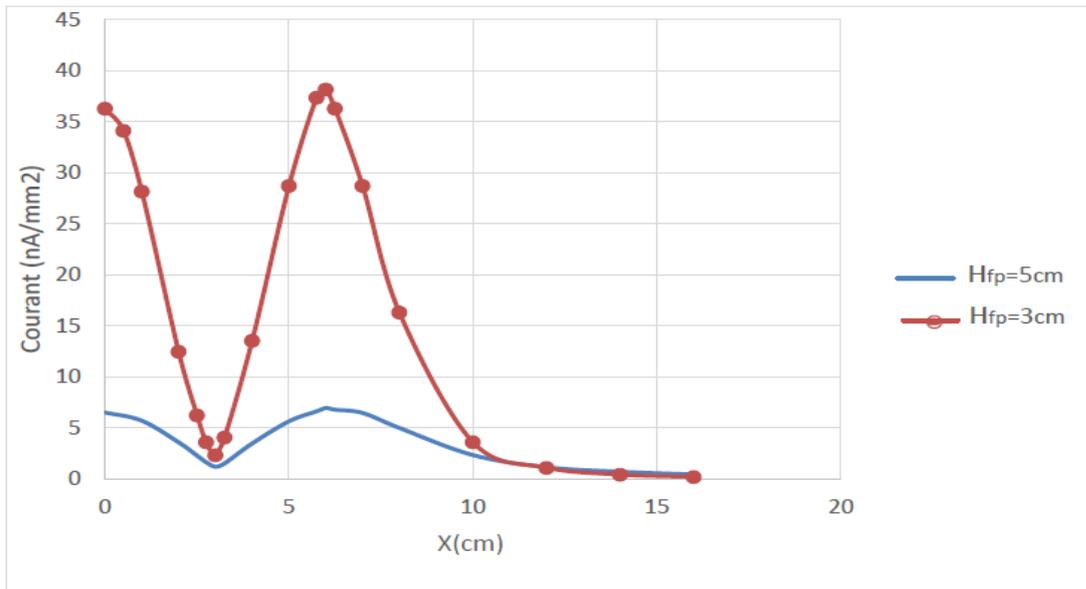


Figure III-13: la densité du courant pour la configuration trois fils-plan pour différentes valeurs de la hauteur H_{fp} ($D=6\text{cm}$, $T=30.5^\circ\text{C}$, pour $H_{fp}=3\text{cm}$ $H=49\%$, pour $H_{fp}=5\text{cm}$ $H=61\%$)

On remarque que les valeurs de la densité du courant sont plus importantes pour $H_{fp}=3\text{cm}$ que pour $H_{fp}=5\text{cm}$, donc la densité du courant diminue avec l'augmentation de la distance inter-électrode et cela est dû au champ électrique moyen qui est faible dans l'espace inter-électrode.

Hauteur H_{fp} (cm)	3	5
I_b	705	128
I_c	670	120
λ	0.049	0.0625

Tableau III-4: le facteur de réduction de l'effet mutuel entre les fils en fonction de la distance inter-électrode H_{fp}

On remarque que la facteur λ augmente avec l'augmentation de la distance inter-électrode, car le champ devient plus faible

III.2.2.5 Influence du rayon de fil :

Les courbes de la figure III-14 présente l'influence du rayon de fil sur la densité du courant J . on a choisi trois diamètres de valeurs 0.25mm, 0.5mm et 0.8mm. On a fixé la valeur

de la tension appliquée à 28kV, la hauteur $H_{fp}= 4\text{cm}$ et la distance inter-fil D à 4cm pour la configuration fil-plan et 3fils-plan.

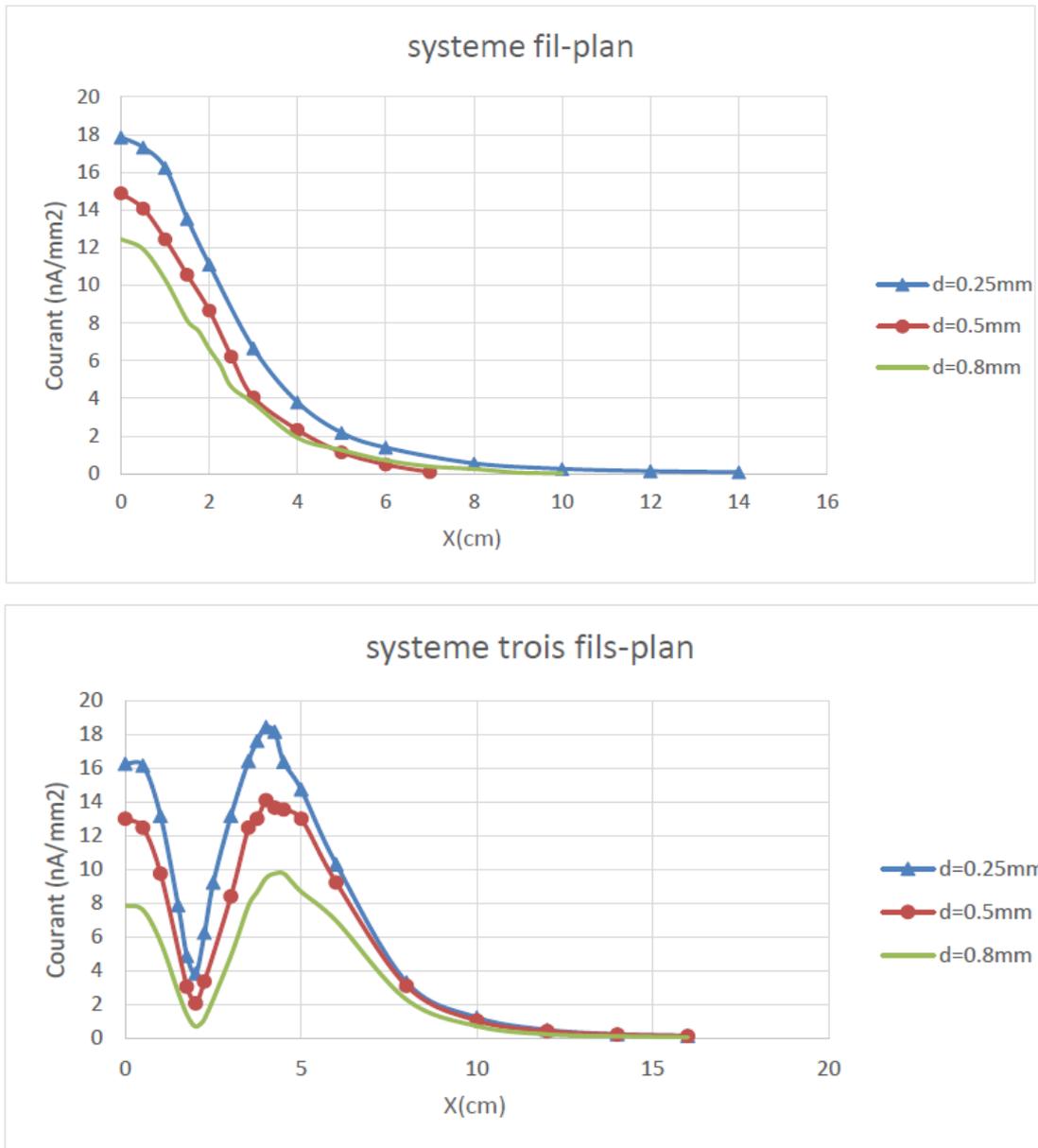


Figure III-14: la densité du courant pour différentes valeurs du diamètre de fil ($H_{fp}=4\text{cm}$, $D=4\text{cm}$, pour système fil-plan : $T=32\text{ }^\circ\text{C}$, $60 < H < 67$, pour système trois fils-plan : $26\text{ }^\circ\text{C} < T < 32\text{ }^\circ\text{C}$, $54\% < H < 64\%$)

Les courbes indiquent une relation inverse entre la densité du courant et le rayon du fil. Cette relation est due à l'influence de la résistivité du matériau sur le champ électrique nécessaire pour maintenir un courant constant.

III.3 Système triode trois fils-grille-plan

Dans cette nouvelle configuration on a utilisé les mêmes éléments que précédemment, en plus une grille est insérée entre l'électrode active et le plan de masse. La grille est reliée à la terre à travers une résistance R_g . Figure III-15

La présence de la grille a ajouté de nouveaux paramètres à l'étude, qui sont :

- Distance entre grille et plan H_{gp} ,
- Distance entre fil et grille H_{fg} ,

R_g et I_g sont respectivement la résistance et le courant de la grille qui permettent de contrôler le potentiel de la grille appelé V_g .

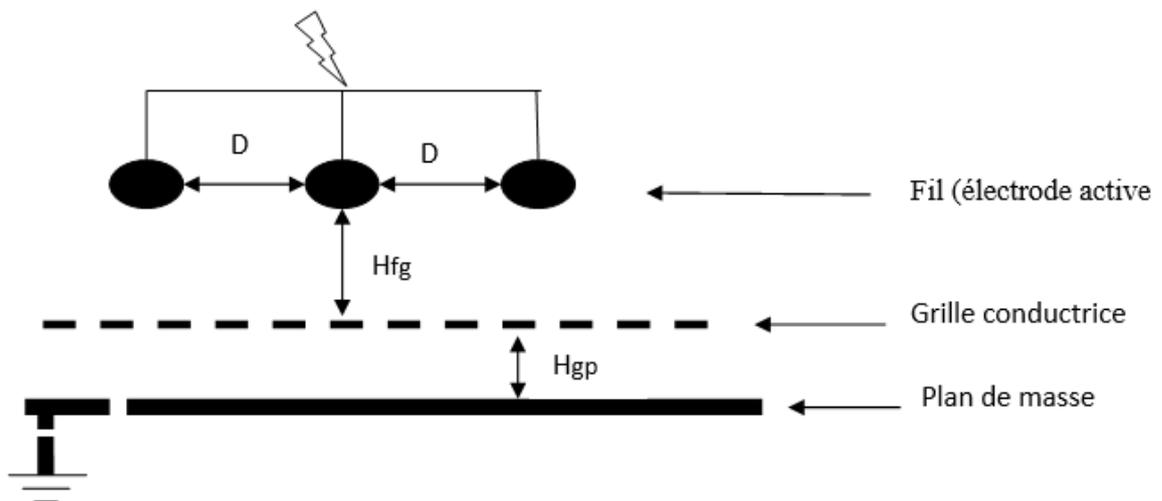


Figure III-15: Configuration du système de décharge nappe de fils-grille-plan

III.3.1 Caractéristique courant – tension

Dans cette partie, 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 à savoir :

- Influence de la polarité ;
- Influence de la distance fil -grille
- Le potentiel de la grille
- Influence de la distance entre la grille et le plan

III.3.1.1 Influence de présence de la grille

Les courbes de la figure III-16 présentent les caractéristiques Courant-Tension pour le système d'électrode triode trois fils-grille-plan et le système trois fils-plan pour les deux polarités positive et négative. On a fixé la hauteur à $H_{fp}=4\text{cm}$, la distance entre les fils à $D=4\text{cm}$ et la résistance de la grille à $R_g=150\text{M}\Omega$.

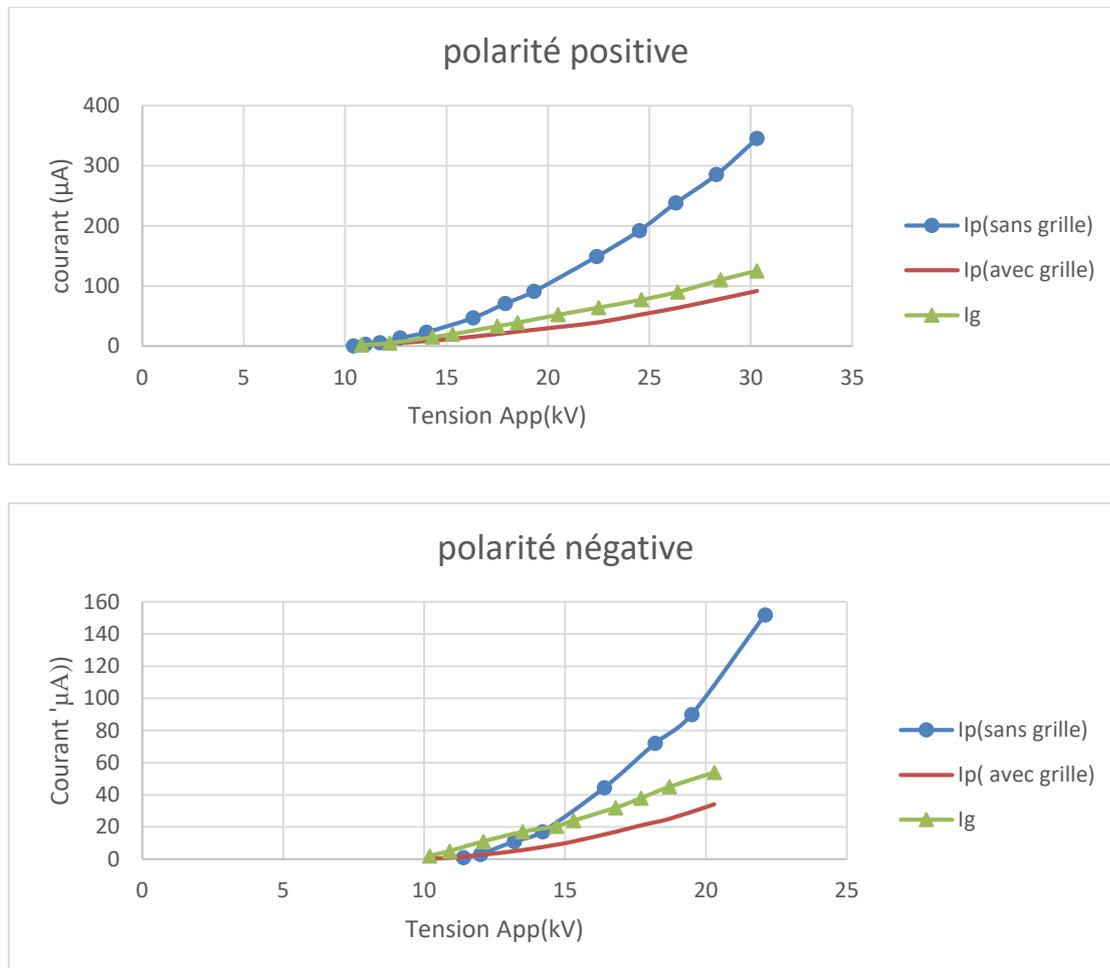


Figure III-16: Caractéristiques Courant-Tension pour le système 3 fils-plan en présence d'une grille conductrice pour les deux polarités ($D=4\text{cm}$, $H_{fp}=4\text{cm}$, $H_{fg}=3\text{cm}$) ($H=61\%$; $H(g)=66\%$; $T=31^\circ\text{C}$; $T(g)=26^\circ\text{C}$, $P=1019\text{ hpa}$)

D'après les résultats obtenus, les caractéristiques courant-tension ont une forme quadratique (comme la loi de Townsend) et les courants collectés par le plan I_p et la grille I_g sont proportionnels à la tension appliquée. En général, le courant I_p dans le système triode est inférieur au courant plan pour le système trois fils-plan sans grille car une partie de ce courant de décharge est évacué à la terre à travers la grille.

III.3.1.2 Influence de la variation de la résistance de la grille :

La Figure III-17 montre les allures des caractéristiques Courant-Tension pour les deux polarités et pour différentes valeurs de la résistance de la grille, la distance fils-plan est fixée à $H=4\text{cm}$ et la distance inter-fils à $D=4\text{cm}$ et on mesure le courant collecté par le plan et par la grille pour les différentes valeurs de la tension appliquée.

Nous constatons que le courant I_p mesuré par le plan diminue avec l'augmentation de la valeur de résistance de la grille. L'augmentation de la valeur de R_g conduit à l'augmentation de potentiel de la grille et par conséquent le champ électrique dans la zone fil-grille devient moins important. Pour la valeur de $R_g=0\Omega$ la totalité de courant de la décharge traverse la grille qui joue le rôle de la masse (Figure III-17). L'augmentation des valeurs de R_g fait diminuer le courant de la grille I_g .

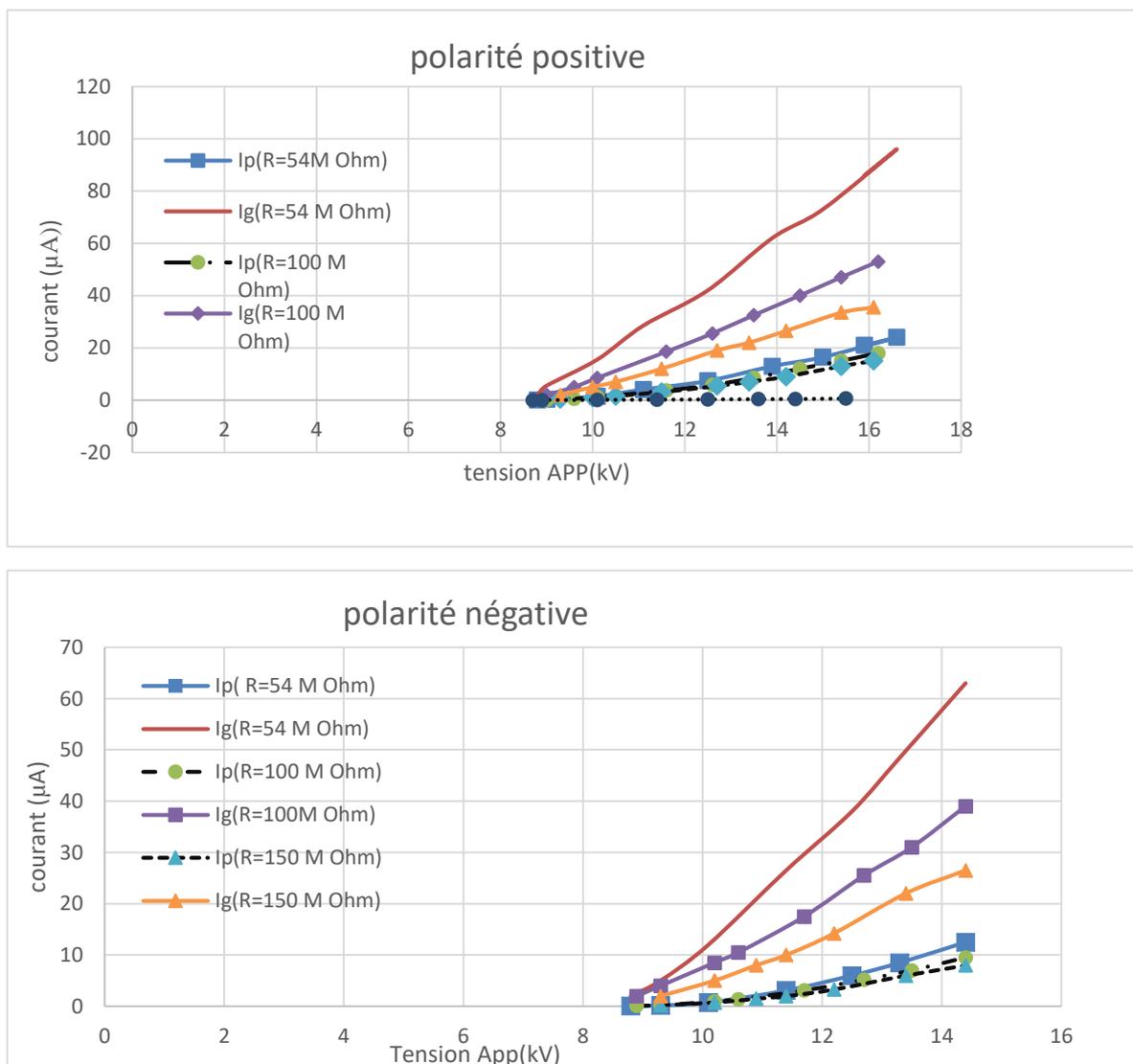


Figure III-17. Caractéristiques courant-tension avec différentes valeurs de résistances de grille. ($H=66\%$; $T=31^\circ\text{C}$; $P=1019\text{hpa}$; $D=4\text{cm}$; $H_{fp}=4\text{cm}$)

III.3.1.3 Influence de la distance inter-électrode H_{fp} avec la distance H_{fg} constante

La figure III-18 ci-dessous représente les caractéristiques Courant-Tension de la décharge couronne pour système triode, tout en fixant la distance inter fils D=4cm et la distance fils-grille H_{fg}=2cm et on fait varier la distances H_{gp}=2cm et 3cm. On mesure le courant collecté par le plan pour les différentes valeurs de la tension appliquée. Et cela pour les deux polarités positive et négative

On déduit de ces résultats que l’augmentation de la distance grille plan H_{gp} provoque une diminution du courant de décharge couronne, ceci est justifié par la diminution du champ électrique moyen dans l’espace situé entre la grille et le plan. (Figure III-18)

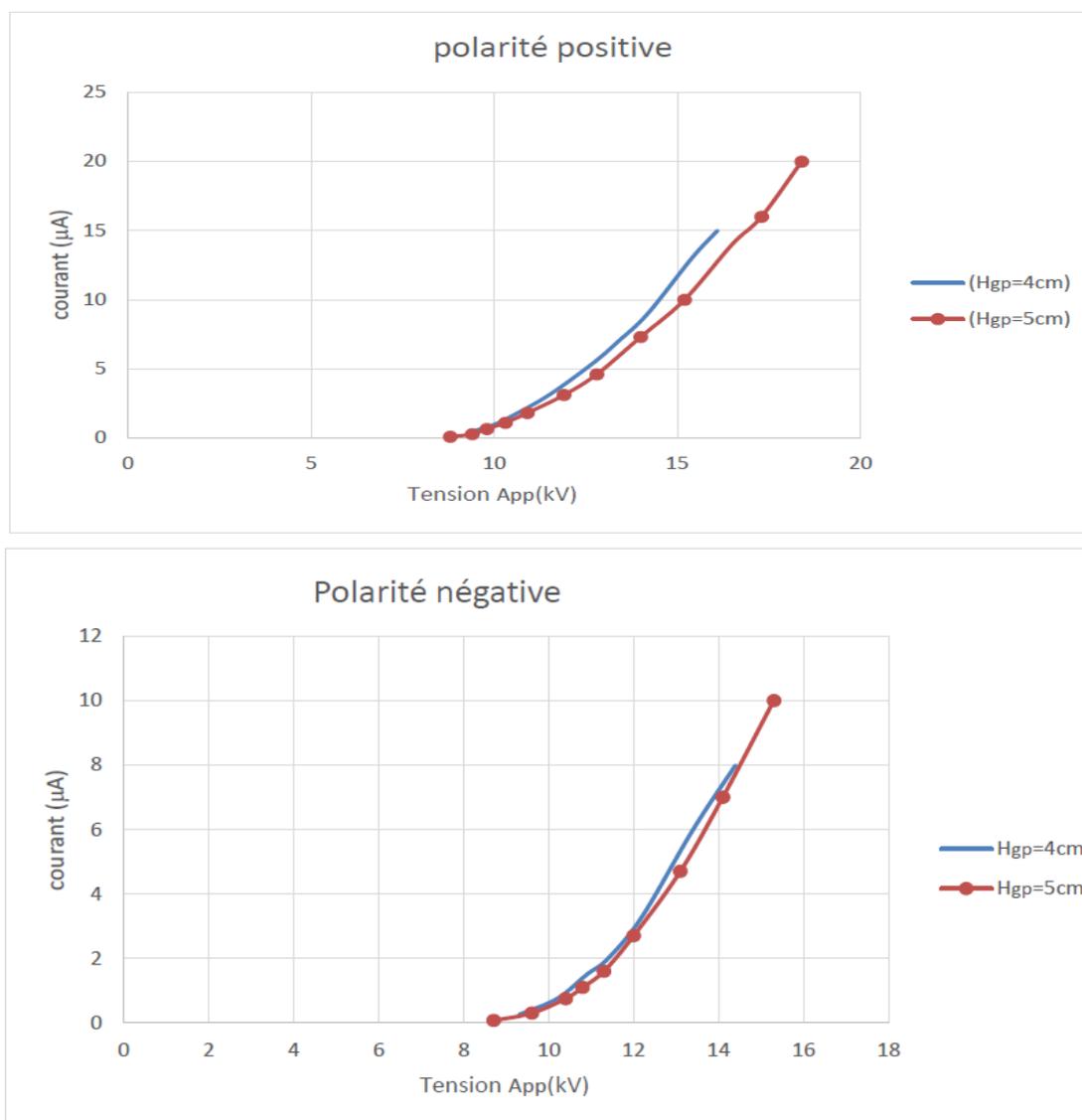


Figure III-18: Influence de la distance entre grille- plan sur les caractéristiques Courant-Tension en polarité positive et négative ($H=56.5\%$; $T=31.5^{\circ}C$; $P=1016hpa$ $H_{gp}=2cm$ et $3cm$; $H_{fg}=2cm$; $D=4cm$)

III.3.1.4 Influence de la distance inter-électrode H_{gp} avec la distance inter-électrode constante :

Les courbes de la figure III-19 représentent l'influence de la distance grille plan sur caractéristiques courant-tension de la décharge couronne. On a fixé les distances inter fils $D=4\text{cm}$ et fils-plan $H_{fp}=5\text{cm}$, on a fait varier la distance entre la grille et le plan $H_{gp}=2$ et 3cm et on mesure le courant collecté par le plan pour les différentes valeurs de la tension appliquée pour les deux polarités positive et négative. Des résultats obtenus, on remarque que la diminution de l'espacement grille-plan H_{gp} provoque une réduction du courant de décharge couronne. Dans une configuration triode la zone de dérive est composé de deux zones, la zone fil-grille H_{fg} et la zone grille-plan H_{gp} ($H=H_{fg}+H_{gp}$). Si H_{gp} diminue alors H_{fg} augmente, cela cause l'affaiblissement du champ électrique dans l'espace fil-grille qui se traduit par la réduction de l'intensité de la décharge couronne.

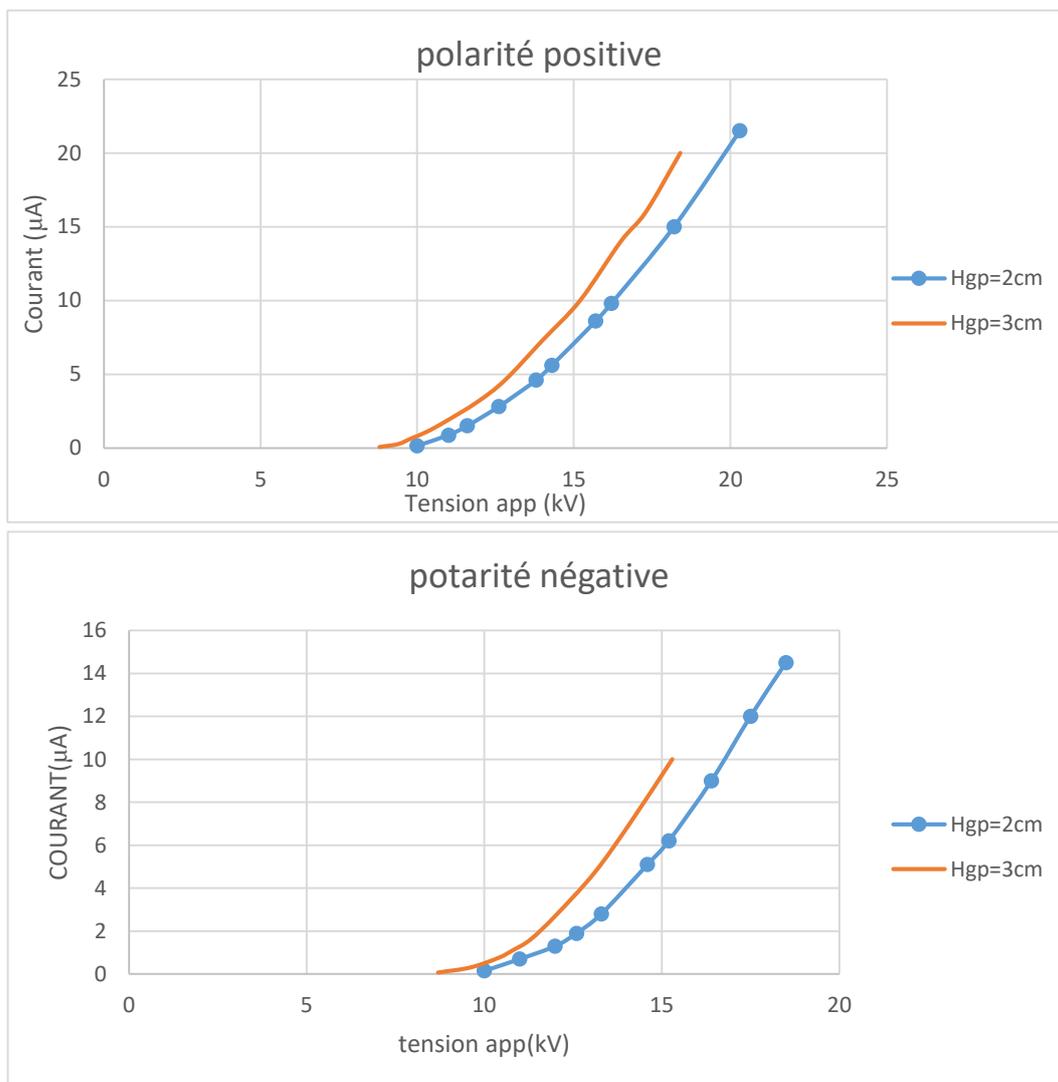


Figure III-19: Influence de la distance grille plan sur les caractéristiques Courant-Tension en polarité positive et négative ($H=56.5\%$, $T=31.5^{\circ}\text{C}$, $P=1016\text{hpa}$).

III.3.1.5 Influence du potentiel de la grille

III.3.2 Densité du courant J

Les résultats de la densité du courant en configuration triode trois fils – grille – plan ont été traités en fonction de plusieurs paramètres

- Tension V_{App}
- Distance fil- grille H_{fg}
- Distance inter électrodes H_{fp}

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

Dans cette manipulation, on a étudié l'effet de la grille sur la distribution de la densité de courant générée par le système d'électrode trois fils plan on a pris la distance entre les électrodes $H_{fp} = 4$ cm, la distance entre les fils $D = 4$ cm et la distance entre le fil et grille $H_{fg}=2$ cm.

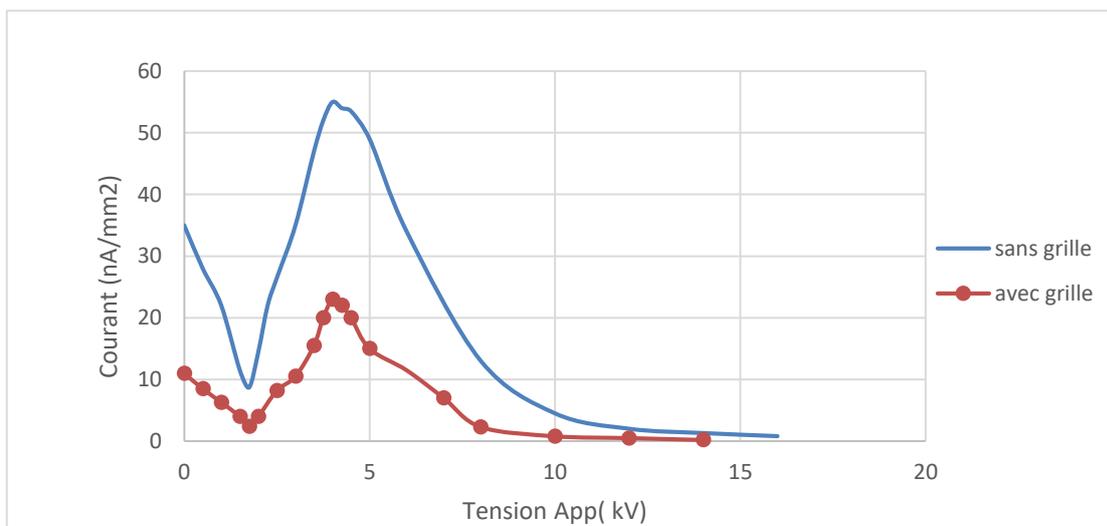


Figure III-20: Effet de la grille sur la densité du courant en polarité positive ($V_{App}=16$ kV, $H=4$ cm, $D=4$ cm, $H_{fg}= 2$ cm, $H=61\%$; $H(g)=66\%$; $T=31^{\circ}C$; $T(g)= 26^{\circ}C$, $P=1019$ hpa)

On peut voir que la densité de courant diminue en présence d'une grille car une partie du courant fourni par la source est conduite à travers la grille jusqu'au plan de masse. On remarque aussi que la zone de charge s'est rétréci

III.3.2.2 Influence de la tension $V_{appliquée}$ (V_{App}) :

Dans le but de voir l'influence de la tension sur la distribution de la densité de courant J, on a fixé La distance inter-électrodes à $H_{fp}=4$ cm, la distance inter-fils à $D=4$ cm et la distance

entre fils grille à $H_{fg}=3\text{cm}$. Cette étude est faite pour différentes valeurs de la tensions ($V_{App}=16\text{kV}$, 19kV et 22kV).

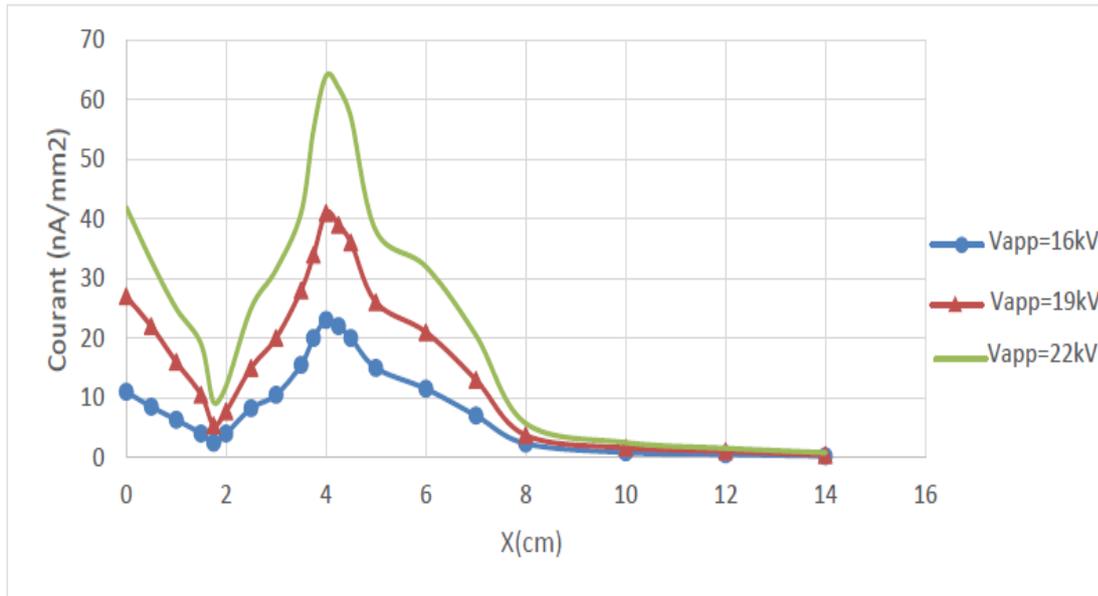


Figure III-21: Distribution de la grille sur la densité du courant pour le système 3 fil-grille-plan en polarité positive, ($H_{fg}=3\text{cm}$, $D=4\text{cm}$, $56\% < H < 59\%$; $T=32^\circ\text{C}$; $P=1015\text{hPa}$)

Les graphes de la figure III-20 montrent que la densité du courant augmente lorsque la tension appliquée augmente, ceci est dû à l’augmentation du champ électrique moyen dans l’espace inter-électrodes.

III.3.2.3 Influence de la distance fil- grille :

Afin d’étudier l’influence de la distance fil- grille sur la densité de courant, on a alimenté l’électrode active avec une tension 16kV , pour différentes valeurs de la distance fils-grille. Les résultats obtenus ont été représentés sur la figure III-22.

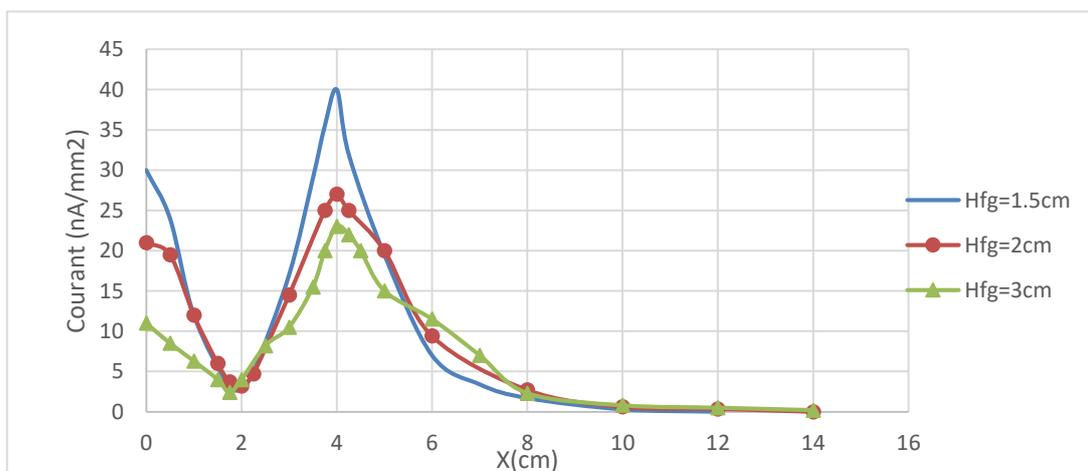


Figure III-22: Influence de la distance fil- grille- sur la densité du courant pour polarité positive ($N_f=3$ fils, $V_{App}=16\text{kV}$, $56\% < H < 59\%$; $T=32^\circ\text{C}$; $P=1015\text{hPa}$)

On remarque que la densité de courant J augmente si on diminue la distance H_{fg} . Ceci est dû à l'augmentation du champ électrique moyen dans l'espace situé entre les fils et la grille. On constate aussi que l'étendue de la décharge diminue car la zone de charge de la décharge couronne se rétrécit quand la grille est proche de l'électrode active.

III.3.2.4 Influence de la distance inter électrodes :

Dans cette série d'expériences on a varié la distance inter électrodes ($H_{fp}=4$ et 5cm) en maintenant la distance fil grille $H_{fg}=2\text{cm}$, pour le système en mesurant la densité de courant collecté par la sonde en fonction de la tension appliquée $V_{App}=19\text{kV}$. Les résultats obtenus sont présentés sur la Figure III-23.

On constate que la densité courant de décharge diminue avec l'augmentation de la distance inter électrodes, cela est dû à l'affaiblissement du champ électrique moyen situé entre la grille et le plan

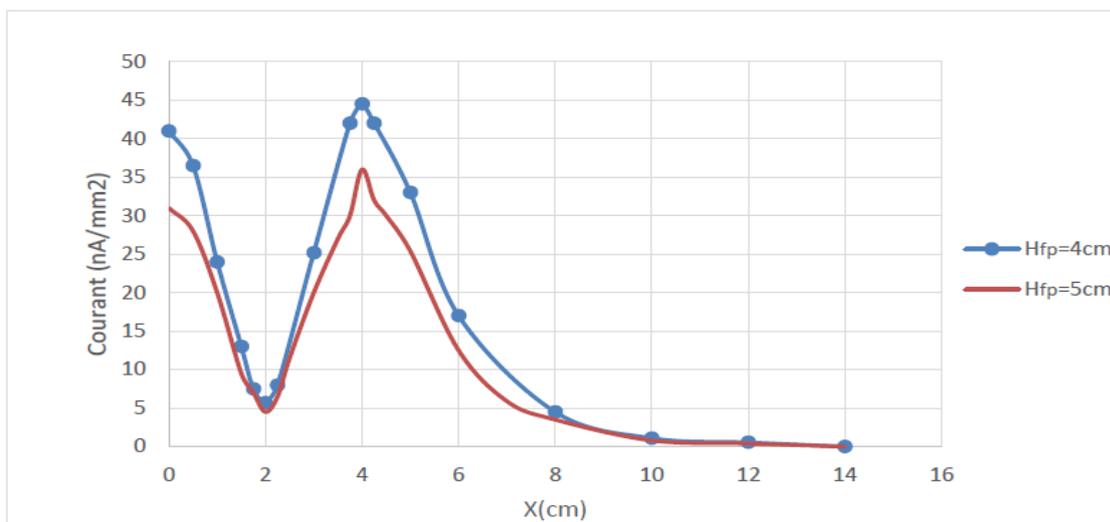


Figure III-23: distribution de la densité du courant, pour différentes valeurs de la distance inter électrode dans le système triode en polarité positive ($V_{App}=19\text{kV}$, $H_{fg}=2\text{cm}$, $D=4\text{cm}$, $56\% < H < 59\%$; $T=32^\circ\text{C}$; $P=1015\text{hPa}$)

III.4 CONCLUSION :

Les essais et les expériences précédentes nous ont permis d'évaluer les différents paramètres de la décharge couronne générée par la configuration trois fils-plan et la configuration triode (trois fils-grille-plan), à savoir les caractéristiques courant –tension et la densité du courant.

Après avoir étudié les différents résultats obtenus on a constaté que le nombre de fils et la distance inter-fils sont deux paramètres importants pour le système nappe de fils. Le courant de décharge et l'effet shielding sont affectés par plusieurs d'autres paramètres : le rayon de courbure, distance inter-électrode, la polarité et la valeur de la tension appliquée, position de la grille dans le système triode....

La tension de claquage et tension seuil d'apparition de l'effet couronne sont aussi influencées par les paramètres déjà cités en haut.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

De nombreuses études ont été réalisées sur la décharge couronne et de grands progrès ont été réalisés dans la compréhension de ce phénomène mais les recherches sont toujours en cours, en particulier dans le domaine des applications liées à ces décharges. On peut citer séparateurs électrostatiques, précipitateurs électrostatiques, filtres à électrostatique

L'étude réalisé dans ce mémoire a pour objectif la caractérisation expérimentale du système d'électrode nappe de fils. Dans la première partie, on a relevé et les caractéristiques courant-tension en polarité positive et négative ainsi que les tensions de claquage et le seuil d'apparition de l'effet couronne. Dans la deuxième partie, on a relevé la densité du courant.

Les résultats obtenus ont permis d'évaluer l'influence de plusieurs paramètres sur le courant de la décharge comme : le nombre de fils, la distance inter-fils, la distance inter-électrodes et la présence de la grille. D'après les résultats obtenus, les conclusions suivantes ont été tirées :

- Les courbes représentant les caractéristiques courant-tension ont une forme quadratique et confirme la loi de Townsend.
- Le courant de la décharge négative est supérieur au courant de la décharge positive.
- Le courant de la décharge augmente avec l'augmentation de nombre de fils, la distance inter-fils et de la tension appliquée
- L'augmentation de la distance fils-plan et du rayon des conducteurs fait diminuer l'intensité du courant récolté par le plan de masse.
- La distribution de la densité du courant sur l'électrode plane a une forme ondulatoire avec des valeurs maximales sous chaque fil et des valeurs minimales entre chaque deux fils voisins. Ces valeurs sont affectées par la tension appliquée et la distance inter-fils.
- L'effet mutuel qui s'exerce entre les fils varie en fonction de plusieurs paramètres à savoir la distance inter-fil, la tension appliquée et la distance inter-électrode. Cet effet devient faible avec l'augmentation du champ électrique.

- L'insertion d'une grille conductrice entre les deux électrodes nous permet le control du dépôt de charge mais fait diminuer le courant de la décharge. Et ce dernier est affecté par la distance fils-grille et le potentiel de la grille.

Finalement, nous espérons que d'autres travaux pratiques et numériques soient poursuivis pour évaluer d'autres facteurs dans le but d'optimiser le système de charge nappe de fil

Bibliographie :

[01] R. Farhi, C. Morel, G. Chéron « Matières plastiques & adjuvant hygiène et sécurité ». INRS, ED638, Octobre 2006.

[02] M. Handala. M. Amokrane « Étude de la décharge de surface sous tension Alternative 50 Hz : effet sur une interface isolante air/solide ». Thèse de doctorat d'Etat, UMM T.O, décembre 2007.

[03] C. Gottschalk, J.A. Libra and A. Saupe, « *Ozonation of Water and Waste Water* », practical guide to understanding ozone and its applications, second completely revised and updated edition, (2010).

[04] Y. Belarbi, M.O. Boulefdouï ; « *Caractérisations de la décharge couronne dans le électrostatique (PES) en différentes configurations* », en Master U. Belhadj Bouchaïb d'Ain Temouchent, 2019.

[05] B. Marwa : « Etude des caractéristiques des matériaux isolants par la méthode de DPS », université badji mokhtar- Annaba., 2019.

[06] F. W. Peek, *Dielectric Phenomena in H.V. Engineering*, Mc Graw Hill, PP. 52-80, 1929.

[07] L. B. Loeb, *Electrical Coronas: Their Basic Physical Mechanisms*, Berkeley, University of California Press 1965,

[08] R. S. Sigmond, M. Goldman, *Electrical breakdown and discharges in gases – Part B*, NATO ASI series B89-B, 1989.

[09] J. Jolibois : « Etude et développement d'un actionneur plasma à décharge à barrière diélectrique – Application au contrôle d'écoulement sur profil d'aile », Thèse de doctorat d'université de potier, décembre 2008

[10] J. M. Meek, *Phys. Rev.*, vol. 57, pp. 722-728, 1940.

[11] H. Ait Said : « Influence de l'humidité sur la décharge couronne dans un précipitateur électrostatique d'aérosols », thèse de doctorat, Université de Bejaïa, 2016.

- [12] R. Farhi, C. Morel, G. Chéron « Matières plastiques & adjuvant hygiène et sécurité ». INRS, ED638, Octobre 2006.
- [13] LU. Zibin. « Etude des mécanismes de dégradation de polymères par décharges électriques de type filamentaire ». Thèse de doctorat de l'université PARIS VI, décembre 1991.
- [14] J. M. Townsend, *Electricity in gases*, Oxford University Press 1914.
- [15] R. C. Fletcher, 1949, *Phys. Rev.*, Vol. 76, P. 1501.
- [16] C. Gary, *Les propriétés diélectriques de l'air et les très hautes tensions*, Edition Eyrolle, 1984
- [17] J. M. Meek, "A theory of spark discharge", *Phys. Rev.*, Vol. 57, p. 722, 1940
- [18] L.B. Loeb and A.F. Kip, "Electrical discharge in air at atmospheric pressure", *J. Appl. Phys.*, Vol.10, p.142, 1939.
- [19] E. Badareu , I. popescu , « Gaz ionise : décharge électrique dans les gaz » Edition DUNO, 1984.
- [20] A.Lacoste , D.Pai , C.Laux, «Ion wind effect in a positive DC corona discharge inatmospheric pressure air», *AIAA Paper* n°2004-0354, Reno,2004.
- [21] L.Parissi : « Etude d'un procédé de traitement d'air chargé en composé organiques volatiles par décharge moyenne fréquence avec barrière diélectrique : mécanisme mis en oeuvre et recherche d'optimisation », Thèse Univ. Paris VI, 1999.
- [22] M. Goldman , R.S Sigmond , «Corona insulation, *IEEE Trans*». *Elec. Ins*, EI. 17/2, pp. 90-105,1982.
- [23] E. Warburg, *Handbuch der Physik*, Vol. 14 (Berlin Springer). 1927,
- [24] G. Berger, Thèse de Doctorat, UNIVERSITE PARIS-Sud, Centre d'Orsay. 1988,
- [25] W. Deutsh, , *Ann. Phys.*, Vol. 5, PP. 588-612, 1933.
- [26] V. I. Popkov, *Electrichestvo*, Vol. 1, PP. 33-48,1949.
- [27] J. Dupuy, , *R.G.E.*, Tome 67, No. 2, PP. 85-104,1958.

- [28] J. E. Jones, Y. Zebboudj, G. Hartmann, R. T. Waters, ICPIG XVIII, Swansea (U.K.), PP. 646-647, 1987.
- [29] E. Badareu, I. Popescu, *Gaz Ionisés*, Dunod, Paris, 1965.
- [30] F. Koliatene « contribution à l'étude de l'existence des décharges dans les systèmes de l'avionique ». Thèse de doctorat de l'université de Toulouse III-Paul Sabatier,
- [31] M.P. Panaget, « Etude en laboratoire des effets physico-chimiques induits par les pertes de transport à haute tension », Thèse de doctorat de l'université Paris 6, 1997.
- [32] E. Kuffel, W. S. Zaengl, *High-Voltage Engineering: Fundamentals*, Pergamon Press, N, 1984.
- [33] K. Hamoumeche : « Étude de l'interaction entre une barrière de papier et une décharge couronne en géométrie pointe-plan », Thèse de magister, UMMTO, décembre. D, paris, 2009.
- [34] L.B. Loeb, *fundamental processes of electrical discharge in Gases*, John Wiley sons, INC, New York. 1947,
- [35] J. Jolibois « Étude et développement d'un actionneur plasma à décharge à barrière diélectrique-Application au contrôle d'écoulement sur profil d'aile ». Thèse de doctorat, d'université de Poitier, décembre 2008.
- [36] D. Dubois « réalisation et caractérisation d'un réacteur plasma de laboratoire pour des études sur la dépollution des gaz d'échappement ». Thèse de doctorat d'université de Toulouse III-Paul Sabatier, le 20 septembre 2006.
- [37] J.F. Loiseau, J. Batin a, F. Noël, R. Peyrous (2002) Hydro dynamical simulation of the electric wind generated by successive streamers in a point-to- plane reactor. *J. Phys. D: ApplPhys.* Vol. 35, pp. 1020 -1031
- [38] H. Nouri : « Influence des paramètres physiques de l'air sur le précipitateur électrostatique d'aérosols », Thèse de doctorat, université de Bejaia, 2010.
- [39] M. Handala « Etude de la décharge de surface sous tension alternative 50 Hz : une interface isolante air/solide », thèse de doctorat, UMMTO, décembre 2007.
- [40] M. Kaci, H. Ait Said, A. Laifaoui, M. Aissou, H. Nouri, Y. Zebboudj, « Investigation on the corona discharge in blade-to-plane electrode configuration », *Braz. J. Phys.*, 45 pp. 643-655, 2015.

- [41] B.Medjdoub et Y.Aissou : « Décharge couronne fil- plan en polarité positive » ,PFE de master U.A.MIRA Bejaia, 2021.
- [42] A.Tilmatine « TECHNIQUE DE LA HAUTE TENSION » Université Sidi - bel - abbès.
- [43] P. Cooperman, « A new technique for the measurement of corona field strength and current density in electrical precipitation”, Trans. Amer. Inst. Elec. Eng. Part 1, pp. 75, 64 – 67, 1956.
- [44] B.Benamar : « La faisabilité de l'électrofiltration d'une atmosphère chargée en poussières de bois : étude expérimentale et numérique », Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy 1, France, 2008.
- [45] G.Hartmann, « Theoretical évaluation of peek's law» industry application . IEEE transation on,n°6, PP. 1647-1657.