

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira-Bejaïa
Faculté de Technologie
Département de Génie Electrique



MEMOIRE

En vue de l'obtention de diplôme de Master en électrotechnique

Option : Réseaux électriques

THEME

**Etude expérimentale de la
configuration Triode pour formation
d'électret**

Présenté par :

REZAOUI Zahir

KROUN Hocine

Encadré par :

Mr. TABTI Belaid

Mr. BENDAHMANE Boukhalfa

Année Universitaire : 2012-2013

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira-Bejaïa
Faculté de Technologie
Département de Génie Electrique



MEMOIRE

En vue de l'obtention de diplôme de Master en électrotechnique

Option : Réseaux électriques

THEME

**Etude expérimentale de la
configuration Triode pour formation
d'électret**

Présenté par :

REZAOUI Zahir

KROUN Hocine

Encadré par :

Mr. TABTI Belaid

Mr. BENDAHMANE Boukhalfa

Année Universitaire : 2012-2013

Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à adresser nos plus vifs remerciements à Messieurs **Belaid Tabti et Bendahmane Boukhalfa**, docteurs au département génie électrique, pour nous avoir confié ce travail. Il nous a dirigés avec beaucoup d'efforts et de patience, son soutien moral, leurs compréhensions et leurs encouragements.

Nous exprimons également notre profonde gratitude à **Mr Aiffaoui et Mme Medjahed**, enseignants et chercheurs au département génie électrique, nous tenons à les exprimer notre plus profonde reconnaissance pour leur suivi pédagogique et leurs conseils aussi bien en Licence et Master, et d'avoir accepté de faire notre jury du présent travail.

Nous tenons très sincèrement à témoigner toute notre reconnaissance à **Mr Mehdaoui et Mr Hakim**, doctorants au niveau du même département, pour leurs aides.

Nos remerciements aussi l'équipe de Hall de Technologie de nous avoir aidés à la réalisation de notre système Triode.

Dédicaces

- ✚ A nos chers parents qui ont beaucoup sacrifié pour nous,
- ✚ A nos frères et sœurs ;
- ✚ A tous nos amis ;
- ✚ A nos cousins et cousines,

Nous dédions ce modeste travail.

Nomenclature

α	Premier coefficient de Townsend
N	Nombre d'électrons produits à une distance x de la cathode
d_x	Parcours élémentaire de l'avalanche
dN_x	Nombre d'électrons produits et récoltés à une distance d_x
N_0	Nombre d'électrons primaires produits par extraction de la cathode
d_i	Distance inter-électrodes
i_0	Courant récolté à l'anode
γ	Deuxième coefficient de Townsend
η	Coefficient d'attachement
J	Densité du courant
I_m	Courant de décharge collectée
IG	Courant de la grille
S	Surface du collecteur (A)
D	Distance fil-plan
d	Distance grille-plan
R	Rayon de courbure de l'électrode active
V_s	Tension seuil

Liste des figures

Figure I.1 : Electrets dipolaires neutres

Figure I.2 : Electrets neutres à charges d'écharge – Homocharges

Figure I.3 : Electrets neutres –Hétérocharges

Figure I.4 : Electrets à excès de charge obtenus par implantation électronique

Figure I.5 : Electrets à excès de charge obtenus par contact liquide

Figure I.6 : Dispositif de charge par effet triboélectrique

Figure I.7 : Principe de formation d'électret par décharge couronne

Figure I.8 : Zones d'ionisation et de dérive dans la décharge couronne

Figure I.9 : Système Triode

Figure I.10 : Scorotron

Figure I.11 : Corotron

Figure I.12 : Décharge couronne dans le système triode de charge.

Figure II.1 : Système triode.

Figure II.2 : Vue de côté.

Figure II.3 : Grille métallique.

Figure II.4 : Schéma de la sonde.

Figure II.5 : Schéma détaillé du banc d'essais.

Figure II.6 : Schéma de l'installation haute tension avec dispositif de mesure.

Figure II.7 : Système triode avec différentes géométries.

Figure III.1: caractéristique $I_G = f(V_a)$ pour $d = 50\%D$.

Figure III. 2: caractéristique $I_m = f(V_a)$ pour $d = 50\%D$.

Figure III.3: caractéristique $I = f(V_a)$ pour les courants de la grille et de plan.

Figure III.4 : caractéristique $I_G = f(V_a)$ pour $d = 75\%D$.

Figure III.5 : caractéristique $I_m = f(V_a)$ pour $d = 75\%D$.

Figure III.6 : caractéristique $I_{2R} = f(V_a)$ pour les courants de la grille et de plan.

Figure III.7 : caractéristique $I_G = f(V_a)$ pour $d = 25\%D$.

Figure III.8 : caractéristique $I_m = f(V_a)$ pour $d = 25\%D$.

Figure III.9 : caractéristique $I = f(V_a)$ pour les courants de la grille et de plan.

Figure III.10 : Distribution de la densité du courant pour la résistance $2R$ et de différentes valeurs de courant de la grille.

Liste des figures

Figure III.11: Distribution de la densité du courant J pour la résistance $4R$ et de différentes valeurs de courant de la grille.

Figure III.12 : Distribution de la densité du courant J pour la résistance $6R$ et de différentes valeurs de courant de la grille.

Figure III.13 : Distribution de la densité du courant pour différentes résistances ($2R$, $4R$, $6R$) et $I_G = 25 \mu A$.

Figure III.14: Distribution de la densité de courant pour la résistance $2R$ et de différentes valeurs de courant de la grille.

Figure III. 15 : Distribution de la densité du courant pour la résistance $4R$ et de différentes valeurs de courant de la grille.

Figure III.16 : Distribution de la densité du courant pour la résistance $6R$ et de différentes valeurs de courant de la grille.

Figure III.17 : Distribution de la densité du courant pour différentes résistances ($2R$, $4R$, $6R$) et $I_G = 25 \mu A$.

Figure III.18 : Distribution de la densité du courant pour la résistance $2R$ et de différentes valeurs de courant de la grille.

Figure III.19 : Distribution de la densité du courant pour la résistance $4R$ et de différentes valeurs de courant de la grille.

Figure III.20 : Distribution de la densité du courant pour la résistance $6R$ et de différentes valeurs de courant de la grille.

Figure III.21 : Distribution de la densité du courant pour différentes résistances ($2R$, $4R$, $6R$) et $I_G = 25 \mu A$.

Figure III.22 : Distribution de la densité du courant pour les trois géométries à une valeur de courant de grille donné ($I_G = 25 \mu A$).

Figure III.23 : Distribution de la densité du courant en fonction de la position de la grille pour $X = 0 \text{ cm}$.

Figure III.24 : la tension seuil en fonction de la géométrie de la triode

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Notions générales sur les électrets	
I.1. Introduction	3
I.2. Les Électrets	3
I.3. Les différents types d'électret	5
I.3.1. Les électrets dipolaires à polarisation induite	5
I.3.2. Electrets à charges d'espace	5
I.3.3. Electrets à excès de charge	6
I.3.3.1. L'implantation électronique	6
I.3.3.2. Le contact liquide	7
I.4. Les méthodes de formation des électrets	8
I.4.1. Charge par effet triboélectrique	8
I.4.2. Charge par rouleau électrostatique	9
I.4.3. Charge par décharge couronne:.....	10
I.5. La physique de la décharge couronne	11
I.5.1 Décharge de Townsend	11
I.5.2 Mécanismes gouvernant la formation des ions	12
I.5.2.1 L'excitation atomique	12
I.5.2.2 L'ionisation par collision électronique	12
I.5.2.3 La recombinaison	13
a) Recombinaison entre ions	13
b) Recombinaison ion ⁺ - électron	13
I.5.2.4 L'attachement	13
I.5.2.5 Le détachement	13

Sommaire

I.6 Dépôt de charge non contrôlée.....	14
I.7 Dépôt de charge contrôlée	15
Triode	15
Scorotron	16
Crotron	17
I.8 Processus de charge dans une configuration triode.....	17
I.9 Conclusion	19

Chapitre II : Etude expérimentale

II.1 Introduction	20
II.2 Le système d'électrode.....	20
II.3 Grille métallique	21
II.4 Dispositif expérimentale.....	21
II.4.1 La sonde linéaire	21
II.4.2 Dispositif de mesures.....	24
II.5 Méthode de mesure	25
II.5.1 Mesure de la tension appliquée à l'électrode active.....	25
II.5.2 Mesure du courant au collecteur.....	25
II.5.3 Détermination de la densité de courant sur le plan	25
II.6 Les différentes géométries de la configuration triode	26
II.7 Mode opératoire et conclusion.....	26

Chapitre III : Résultats et interprétations

III.1 Introduction.....	28
III.2 Caractéristique courant –tension pour la 1 ^{er} géométrie (d = 50%D)	28
III.3 Caractéristique courant –tension pour la 2 ^{ème} géométrie (d =75%D)	31
III.4 Caractéristique courant –tension pour la 3 ^{ème} géométrie (d = 25%D)	33
III.5 Distribution de la densité du courant J sur le plan	35
III.5.1 La densité du courant pour la 1 ^{er} géométrie (d = 50 %D).....	35

Sommaire

III.5.2 La densité du courant J pour la 2 ^{ème} géométrie (d = 75 % D).....	37
III.5.3 La densité de courant pour la 3 ^{ème} géométrie (d = 25%D)	40
III.6 Comparaison de la distribution de la densité du courant entre les trois géométries	43
III.7 Influence de la densité du courant en fonction des trois géométries	43
III.8 Influence de la géométrie de la triode sur la tension de seuil.....	44
III.9 Conclusion.....	45
Conclusion générale	46
Références bibliographiques	47

Introduction générale

Introduction générale

Un électret est un diélectrique qui rayonne un champ quasi permanent. Il occupe une place de choix dans les nouvelles technologies. Les techniques de formation et caractérisation de ces matériaux se sont perfectionnées, son utilisation est élargie pour divers applications telle que les systèmes micro-électromécaniques, les transducteurs de certains microphones, filtre à particules électrostatiques et d'autres applications dans le domaine biomédical. Les électrets sont utilisés soit sous forme de films minces, soit sous forme de structures fibreuses et poreuses [1, 2, 3].

La décharge couronne est le moyen le plus simple et le plus fiable pour reproduire le chargement électrostatique des diélectriques. Grâce à ce moyen, il est possible de déposer et piéger des charges aussi bien positives que négatives dans les niveaux énergétiques de la surface d'isolant. Pour générer la décharge couronne, un système d'électrode asymétrique est nécessaire, par exemples fil-plan où un diélectrique est posé sur le plan, alors la surface libre reçoit les charges, le dépôt n'est pas répartie de façon homogène sur sa surface. Afin de remédier à ça, nous avons pensé à introduire dans le dispositif une grille métallique. Celle-ci est intercalée entre l'électrode haute tension et le plan de masse et ceci pour contrôler le dépôt des charges sur la surface du diélectrique et cette configuration d'électrodes est appelé triode.

Pour orienter la décharge couronne dans une zone bien définie sur la surface de l'échantillon nous avons introduit aussi une nouvelle configuration a l'électrode active qu'on appelle électrode duale qui est constituée d'un fil et d'un cylindre portées au même potentiel.

L'objectif de notre travail est de réaliser ce dispositif, dédié à la caractérisation d'électret par la mesure de la densité de courant par apport au plan et relever ses caractéristiques courant-tension. Cette étude nous permettra de mieux maitriser le processus de génération des charges dans cette configuration.

Dans le premier chapitre, nous donnerons un bref aperçu sur l'état de connaissances sur les électrets et de différentes méthodes de leurs formations, ensuite enchaîner sur la physique de la décharge couronne dans le gaz.

Dans le deuxième chapitre, nous présenterons notre réalisation et la démarche expérimentale, adoptée pour aboutir à une caractérisation.

Les résultats expérimentaux sont présentés dans le troisième chapitre ou un effort d'interprétation a été fourni.

Une conclusion générale vient clore ce travail, nous y avancerons quelques perspectives qui pourront compléter ultérieurement ce travail.

Chapitre I

Notions générales sur les électrets

I.1 Introduction

Ce chapitre cherche à faire le point sur l'état des connaissances sur la phénoménologie de la décharge couronne monopolaire positive dans la configuration triode après une brève introduction sur la définition de l'électret. Nous évoquerons également les méthodes de formation des électrets, en accordant une place de choix aux dispositifs de charge basés sur l'effet couronne car leur mise en œuvre est moins coûteuse et permet une meilleure maîtrise du dépôt de charges électriques.

I.2 Les électrets

Un électret est un matériau diélectrique qui présentant la propriété d'être dans un état de polarisation électrique quasi permanente. Dans un certain sens, c'est l'équivalent en électrostatique d'un aimant permanent. Le terme *électret*, mot-valise formé à partir de l'anglais "Electricity" et "Magnet", a été proposé par Olivier Heaviside, qui a étudié théoriquement les propriétés d'un tel matériau en 1885, tandis que le premier électret artificiel a été préparé par Mototaro Eguchi en 1919 [1, 4, 5]. Qui a réussi à développer une méthode permettant de fabriquer des électrets à partir d'un mélange de 45% de cire de carnauba, 45% de résine de colophane et 10% de cire d'abeille. Le tout fut porté à la température de fusion (130°C) avant d'être refroidi en présence d'un fort champ électrique. Lorsque le mélange est liquide, les molécules sont libres de se déplacer et donc de s'orienter selon la direction du champ électrique. Le champ est retiré lorsque le mélange a refroidi et les molécules polaires gardent leur orientation permettant d'obtenir une polarisation rémanente de l'ordre de 0.01 à 0.1mC/m² et ceci pendant plusieurs années [5].

En simplifiant les choses, on peut comparer un électret avec un condensateur possédant une charge électrique quasi permanente. Toutefois, à la différence d'un condensateur classique dont la polarisation induite est transitoire et reste dépendante du champ électrique appliqué, un électret peut conserver sa polarisation pendant une période de temps très importante, liée à sa permittivité diélectrique et à sa résistivité électrique.

Deux types d'électrets doivent être distingués :

- le premier type regroupe tous les électrets dont la polarisation résulte de l'existence d'une charge électrique d'espace ;
- le second type renvoie aux matériaux ferroélectriques qui acquièrent une polarisation rémanente liée à l'existence d'une hystérésis [4].

Les électrets ne sont utilisés que depuis les années 1960, notamment en tant qu'élément transducteur de certains microphones, en tant que capteur de composition chimique d'un gaz, comme filtre à particules électrostatique, ou encore pour la détection de rayonnement ionisant [4].

Lorsqu'un isolant est soumis à de fortes contraintes (champ électrique élevé, irradiation, rayonnement solaire UV, efforts et frottements mécaniques importants, variations de température), il apparaît dans certaines régions de l'isolant un excès de charges électriques. Nous appellerons charge d'espace l'ensemble des charges réelles, positives ou négatives, contenu dans un isolant, ce qui inclut les charges de surface et de volume. Il semble aujourd'hui de plus en plus probable que les problèmes de baisse de performances et de rupture des isolants soient liés à la présence et à l'accumulation de la charge d'espace en volume et en surface. En effet, le champ électrique dû à la charge d'espace dit « champ résiduel » peut augmenter localement la contrainte électrique, en sur-sollicitant l'isolant. De plus, lors d'un piégeage massif de la charge accumulée, l'énergie relaxée est considérable et peut endommager localement ou complètement le matériau [6,7].

Les charges injectées créent des homocharges qui diminuent le champ interfacial, et augmente le champ volumique. Inversement, l'accumulation de porteurs aux électrodes y constitue des hétérocharges qui conduisent donc à une augmentation du champ interfacial et à une diminution du champ volumique.

Nous pouvons classer les charges électriques dans un diélectrique en deux catégories :

- Les charges extrinsèques sont les électrons et trous injectés à partir des électrodes, ou les ions qui diffusent des électrodes vers l'isolant. Elles peuvent aussi résulter du contact entre la surface libre du diélectrique et un plasma gazeux ou un faisceau de particules chargées.
- Les charges intrinsèques sont les ions contenus initialement dans l'isolant, ou générés soit par électrodissofiation d'espèces neutres, soit par ionisation des constituants du solide par interaction avec des rayonnements énergétiques ou des particules énergétiques [6,7].

I.3 Les différents types d'électret

IL existe trois catégories d'électrets dont les caractéristiques dépendent de la technique d'implantation des charges :

I.3.1 Les électrets dipolaires à polarisation induite

Ces électrets sont électriquement neutres. Ils sont obtenus par application d'un champ électrique intense lorsque le matériau est à la température de fusion, de façon à orienter les dipôles : c'est le principe qui fut utilisé avec les premiers électrets à la cire [1,5].

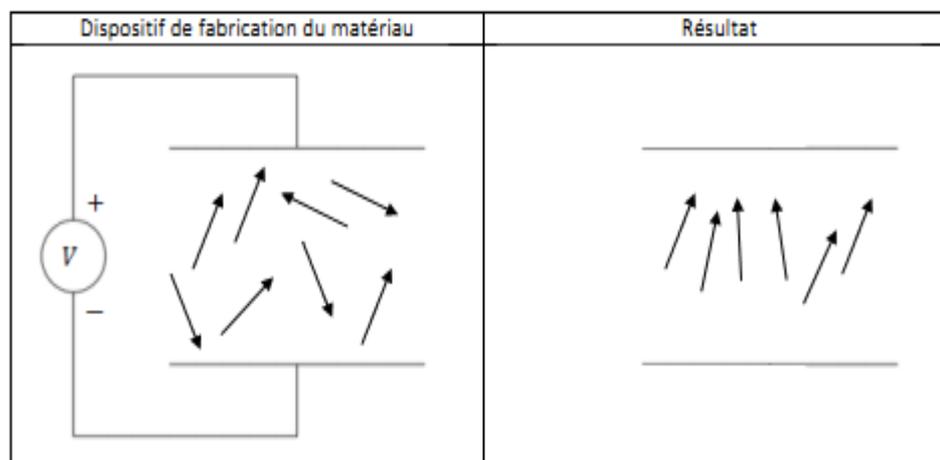


Figure I.1 : Electrets dipolaires neutres [5].

I.3.2 Electrets à charges d'espace

Dans une première catégorie, des charges sont présentes dans le matériau mais avec une répartition aléatoire conduisant à une charge d'espace nulle. En apportant de l'énergie, par exemple thermique, les charges deviennent libres. En appliquant un champ électrique, elles se déplacent et viennent former des dipôles. Les charges accumulées sont de signes opposés aux charges des électrodes : on les appelle hétérocharges. Globalement, le matériau reste électriquement neutre.

Dans une seconde catégorie, des charges sont injectées dans le matériau grâce aux électrodes. Les charges accumulées aux bords du matériau sont de même signe que les charges des électrodes : on les nomme homocharges. Dans ce processus d'élaboration, il n'y a pas à apporter de l'énergie thermique au matériau [1, 5].

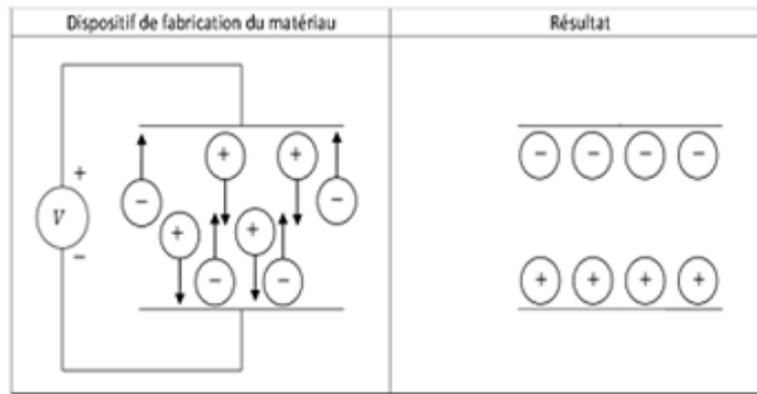


Figure I.2 : Electrets neutres à charges d’échange – Homocharges [5].

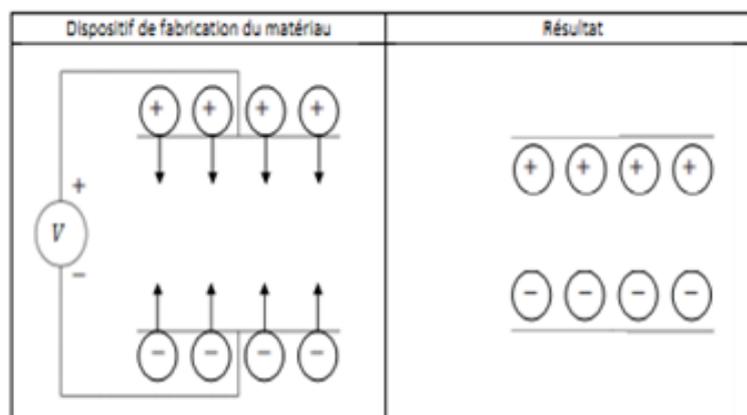


Figure I.3 : Electrets neutres –Hétérocharges [5].

I.3.3. Electrets à excès de charge

La dernière possibilité pour polariser le matériau est de créer un excès de charge soit par implantation électronique ou ionique, d’autres techniques moins standards comme le contact humide existent également :

I.3.3.1. L’implantation électronique

L’utilisation d’un canon accélérateur (à ions ou à électrons) pour accélérer des particules chargées (ions ou électrons) vers la surface d’un échantillon de diélectrique permet également de fabriquer des électrets. Les électrons viennent se placer à une profondeur de la surface en fonction de leur énergie cinétique [5].

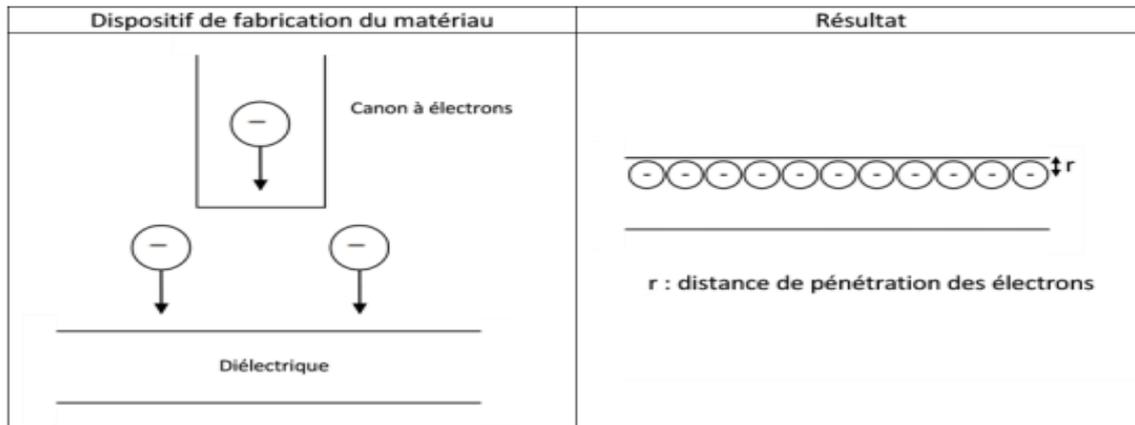


Figure I.4 : Electrets à excès de charge obtenus par implantation électronique [5].

I.3.3.2 Le contact liquide

Bien que cette technique ne soit pas standardisée contrairement à la décharge Corona et à l'implantation électronique, elle donne des résultats néanmoins intéressants. L'échantillon de diélectrique destiné à devenir un électret est couvert d'une électrode en face arrière mise à la masse. En face de cet échantillon est placée une électrode en platine recouverte de coton et imbibé d'une solution électrolytique. Le tout est mis en contact avec la surface de diélectrique et soumis à une forte tension.

Au bout de quelques minutes, l'électrode est progressivement retirée tout en maintenant la tension. La surface de l'électret reste chargée (figure I.5) [5].

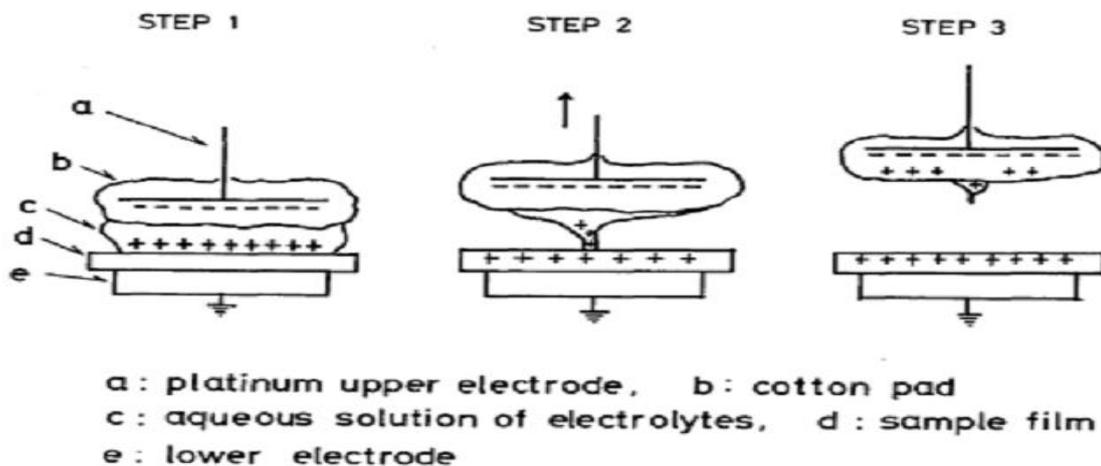


Figure I.5 : Electrets à excès de charge obtenus par contact liquide [5].

I.4 Les méthodes de formation des électrets

Nous allons présenter certaines techniques de charge des matériaux isolants fibreux, à savoir la charge par effet triboélectrique, par transfert de charges à l'aide d'un rouleau électrostatique et par décharge couronne. Ces techniques sont les plus utilisées pour charger les diélectriques en vue de la caractérisation de leur aptitude à garder l'état d'électrisation [1].

I.4.1. Charge par effet triboélectrique

Il s'agit d'un transfert de charges électriques entre différents matériaux : lorsque deux matériaux électriquement neutres entrent en contact, il y a un transfert de charges qui aboutit à l'obtention de deux matériaux chargés, l'un positivement et l'autre négativement. Si l'un des matériaux présente une conductivité faible, les charges ainsi générées resteront après séparation et de nouveaux contacts auront pour effet de produire de nouveaux transferts des charges. L'effet triboélectrique est en général associé à l'apparition de charges électriques après frottement entre deux matériaux mais sa définition s'étend souvent aux transferts des charges par contact, le frottement étant l'équivalent de contacts suivi de séparations, mais s'accompagnant de génération de chaleur et parfois de transfert de masse [8].

La charge transférée augmente généralement avec la surface du contact, la pression entre les deux matériaux en contact ainsi qu'avec la vitesse du frottement ; elle diminue avec la rugosité des surfaces de contact. La reproductibilité de la charge est très difficile à obtenir par ce mécanisme [1].

Le dispositif suivant (figure I.6) utilisé pour charger les échantillons de tissus est inspiré de la méthode n°1 de la norme EN 1149-3. Les frotteurs utilisés sont de deux types : l'un en aluminium, l'autre en polyéthylène traité antistatique (le polyéthylène doit être traité afin d'éviter une trop forte accumulation de charges à sa surface qui pourrait perturber les mesures de champ à la surface de l'échantillon, en effet la proximité d'un corps fortement chargé masquerait la mesure du champ électrique à la surface du textile). Les bandes de tissu font 5cm de large sur 30 cm de long. Elles sont situées à 5 cm de l'objectif du champmètre. Un poids (de 138g) à leur base permet de les maintenir tendues pendant le frottement [8].

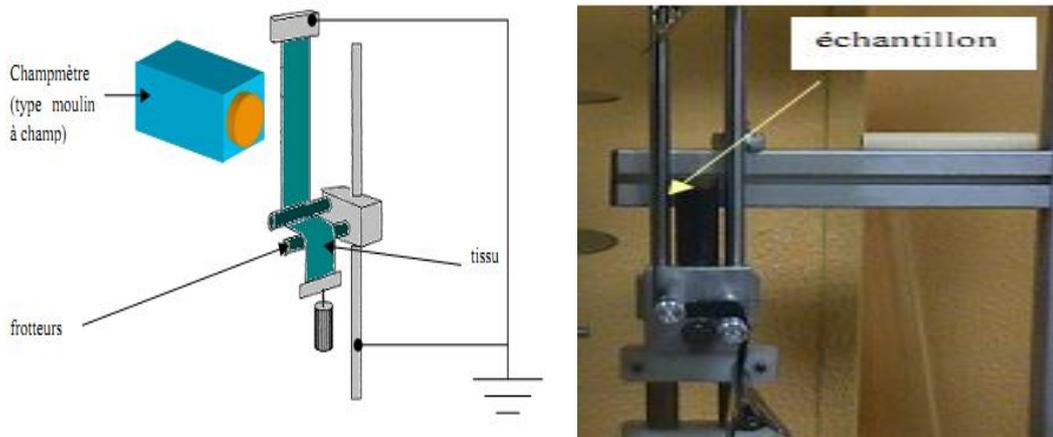


Figure I.6 : Dispositif de charge par effet triboélectrique [8].

I.4.2 Charge par rouleau électrostatique

Le contact entre deux matériaux est, en fait, suffisant pour produire un phénomène d'électrisation. Un diélectrique peut être aussi chargé avec un rouleau électrostatique en contact avec la surface libre de l'échantillon et dont le potentiel de charge est aussi contrôlé par la source haute tension [1].

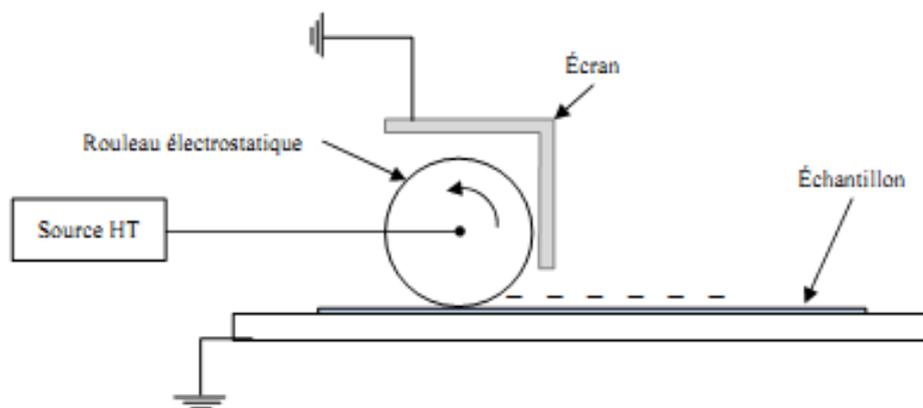


Figure I.7 : Principe d'un dispositif de charge par rouleau électrostatique [9].

L'intérêt de ce système est double :

- Il met en œuvre un principe de dépôt différent de la décharge couronne.

- Il permet la mesure de potentiel simultanément à la charge, le défilement de l'échantillon pouvant permettre de réduire le temps entre charge et mesure, notamment pour une cartographie ligne par ligne d'échantillons relativement dissipatifs.

Le transfert de charge au contact entre le rouleau et la surface du diélectrique est très probablement de type électronique. La charge séparée résulte des différences dans la structure électronique des deux corps en contact ; elle est influencée tout d'abord par la nature des matériaux et par les traitements subis par leurs surfaces. La distribution de charge de surface déposée étant homogène à l'échelle macroscopique, ces rouleaux sont utilisés pour charger les feuilles de papier dans les imprimantes laser [1].

I.4.3 Charge par décharge couronne

Cette méthode de charge est adéquate pour la formation des électrets, car elle permet d'asservir leur potentiel de surface afin de contrôler le niveau et la qualité du dépôt des charges électriques [1].

Ce procédé de formation est basé sur la génération de décharge couronne en appliquant une tension assez élevée (dizaines de kV) à une électrode de faible rayon de courbure (centaines de micromètres) située à une certaine distance (plusieurs centimètres) par rapport à un plan de masse. L'électrode active peut être une pointe, plusieurs pointes disposées en forme de peigne, ou un fil très fin. Le champ électrique dans l'espace inter électrodes est non uniforme, son intensité au voisinage de l'électrode active est assez élevée pour que l'air soit ionisé. Le diélectrique est posé sur le plan de masse. Sous l'action du champ électrique, il reçoit des charges de même polarité que l'électrode couronne. La figure I.7, illustre le principe de formation d'électret par décharge couronne négative.

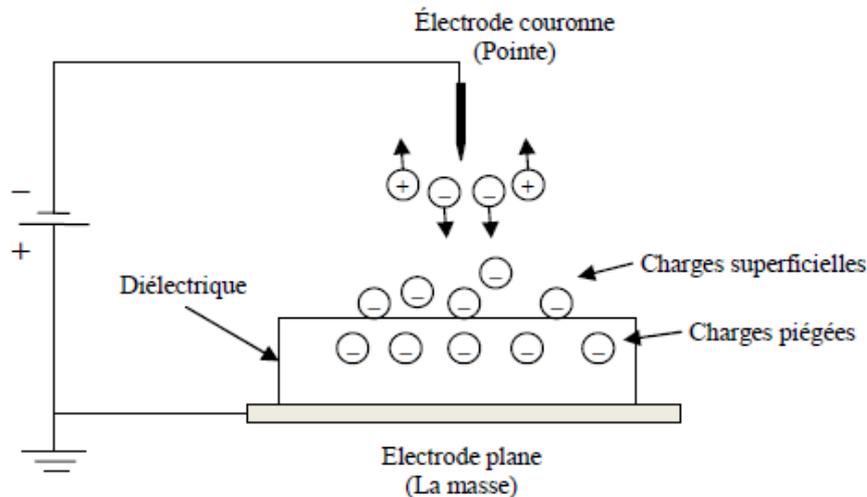


Figure I.7 : Principe de formation d'électret par décharge couronne [1].

I.5 La physique de la décharge couronne

I.5.1 Décharge de Townsend

Dans la théorie de Townsend un électron germe accéléré par le champ électrique appliqué acquiert une énergie qui peut suffire, à partir d'une certaine valeur de champ électrique, à ioniser par collisions une particule neutre du gaz. Les nouveaux électrons créés vont participer à leur tour au mécanisme d'ionisation des molécules neutres produisant ainsi une multiplication ou avalanche électronique [12]. Townsend a introduit un coefficient multiplicateur α qui permet d'exprimer l'accroissement d'électrons dN le long d'un parcours élémentaire dx de l'avalanche tel que :

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

Le coefficient α , appelé généralement le premier coefficient de Townsend, dépend de la nature du gaz, du champ local E et de la pression du gaz. Dans le cas d'un champ homogène, α est constant dans tout l'intervalle. Ainsi :

$$N = N_0 \exp(\alpha x) \quad (\text{I.2})$$

Où : N_0 est le taux de production d'électrons primaires par seconde.

N est le nombre d'électrons produits par avalanche à une distance x de la cathode.

Si d est la distance inter-électrodes, le courant mesuré est donné par :

$$i = N_0 \cdot e \cdot \exp(\alpha \cdot d) = i_0 \cdot \exp(\alpha \cdot d) \quad (\text{I.3})$$

Pour qu'une véritable décharge puisse se produire, il faut qu'une succession d'avalanches puisse avoir lieu. Pour Townsend, la cause de ce phénomène est le bombardement de la cathode décrit comme suit : Au niveau de la cathode, les ions positifs formés au cours des collisions ionisantes bombardent la cathode et peuvent en extraire des électrons [12].

Townsend a introduit un deuxième coefficient γ exprimant la probabilité qu'à un ion à créer un électron. L'expression du courant devient :

$$i = i_0 \cdot \frac{e^{\alpha \cdot d}}{1 - \gamma \cdot (e^{\alpha \cdot d} - 1)} \quad (\text{I.4})$$

Le nombre d'électrons créés par une avalanche sera :

$$N = N_0 \cdot \frac{e^{\alpha \cdot d}}{1 - \gamma \cdot (e^{\alpha \cdot d} - 1)} \quad (\text{I.5})$$

I.5.2 Mécanismes gouvernant la formation des ions

I.5.2.1 L'excitation atomique : un atome neutre peut être excité soit par collision avec un électron, soit par absorption d'un photo. Dans le premier cas, la réaction s'écrit :



Cette réaction n'est possible que si l'énergie de l'électron incident est au moins égale à l'énergie d'excitation. Dans les mécanismes de la décharge couronne, l'excitation atomique intervient essentiellement par son processus inverse, la désexcitation est accompagnée de l'émission d'un photon et ce phénomène est responsable des effets lumineux observés.

I.5.2.2 L'ionisation par collision électronique : l'ionisation d'un gaz par les électrons libres accélérés dans le champ électrique est le processus essentiel de la formation des ions positifs, ce phénomène est appelé processus α . l'ionisation n'a lieu par choc électronique que lorsque l'énergie cinétique de l'électron incident est au moins égale à l'énergie d'ionisation de l'atome considéré. On écrit :



La photo-ionisation : pour qu'un processus d'ionisation puisse se produire lors de l'absorption d'un photo par une particule gazeuse, il faut que l'énergie du photo incident soit

au moins égale à l'énergie d'ionisation de la particule considérée. La photo-ionisation peut aussi se produire comme suit : les électrons accélérés par le champ électrique excitent par collision des molécules neutres qui reviennent à leur état fondamental avec émission d'un photon.

I.5.2.3 La recombinaison : soit deux types à considérer :

- a) **Recombinaison entre ions** : ce phénomène est caractérisé par la présence de particules chargées différemment (ions positifs et négatifs) qui échangent leurs charges pour y revenir à l'état neutre. Ces réactions inverses des réactions d'ionisation, libèrent une certaine énergie, soit sous forme de photo, soit sous forme d'énergie cinétique cédée à une molécule de gaz voisine. Dans l'effet couronne ces réactions se produiront dans les régions de champ électrique faible.
- b) **Recombinaison ion⁺ - électron** : Lorsqu'un électron se recombine avec un ion⁺ pour redonner un atome neutre, la réaction libère une énergie égale à l'énergie d'ionisation sous forme d'un photon. Les photons émis peuvent à leur tour ioniser le gaz à une certaine distance ce qui expliquerait le développement des streamers.

I.5.2.4 L'attachement : l'attachement d'un électron par un atome ou une molécule neutre conduit à la formation d'un ion négatif. Ce processus ne peut pas avoir lieu si les électrons sont trop énergétiques. Il s'avère qu'en champ électrique très faible et dans les conditions normales de l'air, que l'attachement des électrons est alors extrêmement rapide et que le nombre d'électrons libres par unité de volume diminue de moitié en quelque 10^{-10} secondes. Ce mécanisme est exprimé par le coefficient d'attachement η .

I.5.2.5 Le détachement : c'est le processus inverse du précédent. Un ion négatif perd son électron supplémentaire. Dans le cas du phénomène couronne, ce processus ne joue qu'un rôle négligeable, la neutralisation d'un ion négatif a lieu principalement par collision ou par absorption de l'électron par un conducteur [12].

I.6 Dépôt de charge non contrôlée

La méthode de chargement par décharge couronne suscite un intérêt toujours croissant à cause du besoin de charger électriquement des films de polymères pour diverses applications telles que l'électrophotographie et les électrets. La décharge par effet couronne est une décharge électrique autoentretenu dans un gaz qui se produit quand une différence de potentiel suffisamment élevée (quelques kilovolts) est appliquée entre deux électrodes très dissymétriques (par exemple une pointe ou un fil de faible diamètre et une électrode plane ou un cylindre) distantes de quelques millimètres afin d'obtenir un champ électrique beaucoup plus important au voisinage de l'une des électrodes. Les processus d'ionisation sont alors initiés dans la région où le champ électrique est le plus intense. Cette décharge existe sous différentes formes et dépend du niveau et du signe de la tension appliquée, ainsi que de la configuration géométrique des électrodes. A cause du champ électrique élevé proche de l'électrode active (électrode à faible rayon de courbure (une pointe ou un fil), l'air, normalement isolant, devient ionisé et les ions résultants (positifs ou négatifs selon la polarité de la pointe) sont dérivés vers l'électrode passive (le plateau) à faible champ. Le seuil d'excitation de la décharge couronne dépend de l'existence d'électrons libres d'énergie suffisante pour déclencher le phénomène d'avalanche responsable de l'ionisation du gaz présents entre les deux électrodes. Les électrons sont des agents ionisants effectifs parce que lors des chocs, ils transfèrent toute l'énergie acquise du champ électrique, aux molécules du gaz. Il se crée une région d'ionisation au voisinage de la pointe qui contient des porteurs de charges des deux polarités (figure I.8). Autour de cette région on retrouve une région de dérive ou unipolaire les ions de même signe que la pointe dérivent jusqu'à leur neutralisation sur l'autre électrode. Les types d'ions générés dans les décharges couronnes positives et négatives selon la polarité de la tension appliquée ont été déterminés par les techniques de spectroscopie de masse. Par exemple, dans l'air les espèces les plus rencontrées dans le cas d'une décharge positive sont des ions hydratés avec la formule générale $(H_2O)_n H^+$, où n est un entier qui augmente avec le taux d'humidité relative. D'autres espèces d'ions peuvent apparaître à des faibles taux d'humidité tels que $(H_2O)_n NO^+$ et $(H_2O)_n (NO_2)^+$. Pour la décharge négative, les ions les plus déposés sont : CO_3^- , CO_4^- , O_2^- , et O_3^- ainsi que d'autres ions hydratés $(H_2O)_n CO_3^-$ à 50% d'humidité relative. La décharge couronne produit aussi des espèces neutres excitées comme l'ozone (O_3), O_2 , N_2 et l'oxyde d'azote. Baum et al ont mis en

évidence le rôle des photons de la décharge couronne et des espèces neutres excitées dans l'injection de charges dans le volume pour les Echantillons de polyéthylène chargés par décharge Couronne négative [10, 13, 14].

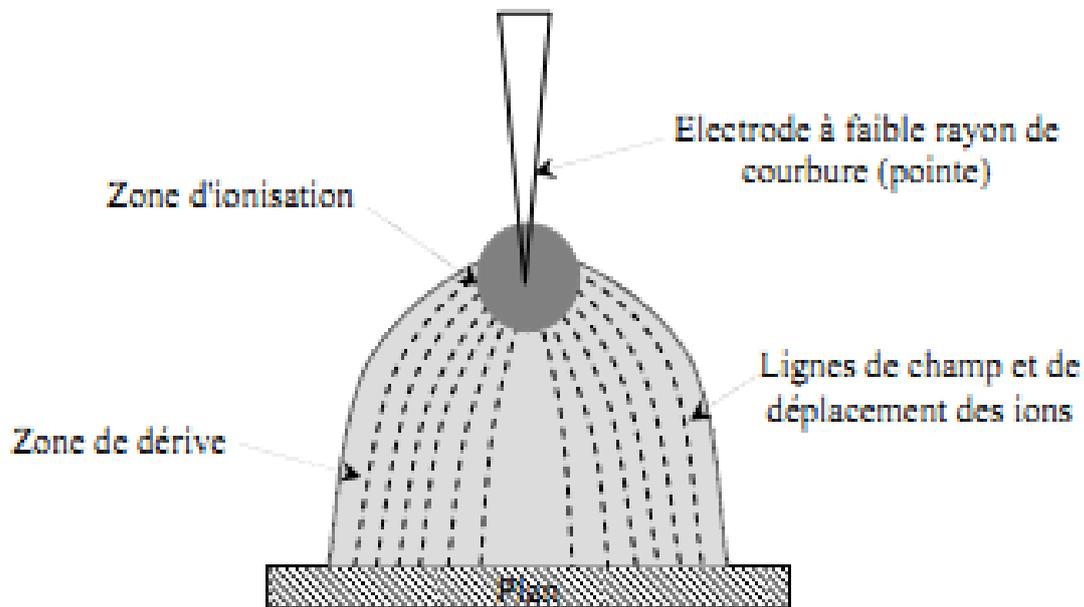


Figure I.8 : Zones d'ionisation et de dérive dans la décharge couronne [13].

I.7 Dépôt de charge contrôlée

Il existe plusieurs dispositifs à triode pour la formation contrôlée d'électrets [1].

- **Triode**

Le système d'électrodes triode est fréquemment utilisé pour commander avec précision le dépôt de charges sur des matériaux isolants. Il se compose d'une électrode à haute tension corona, une électrode de plaque de mise à la terre, et une électrode de grille entre eux. Et pour collecter les ions de la région de dérive et de la diffusée d'avantage à travers la grille deux dispositifs de charge par effet couronne sont utilisés, voir la figure I.9 [10,13].

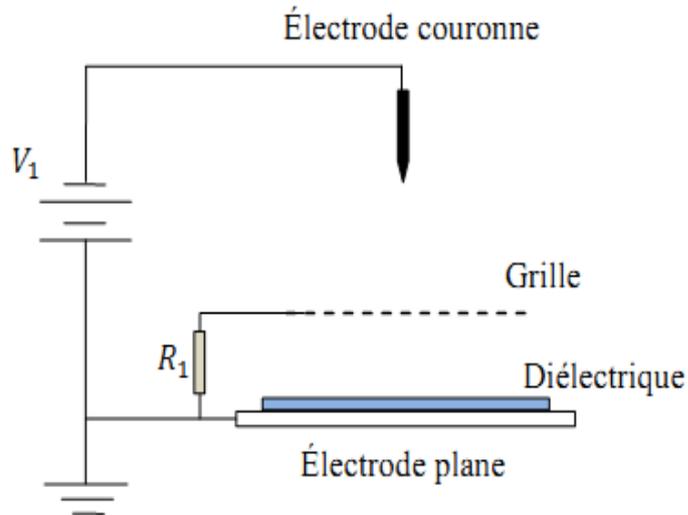
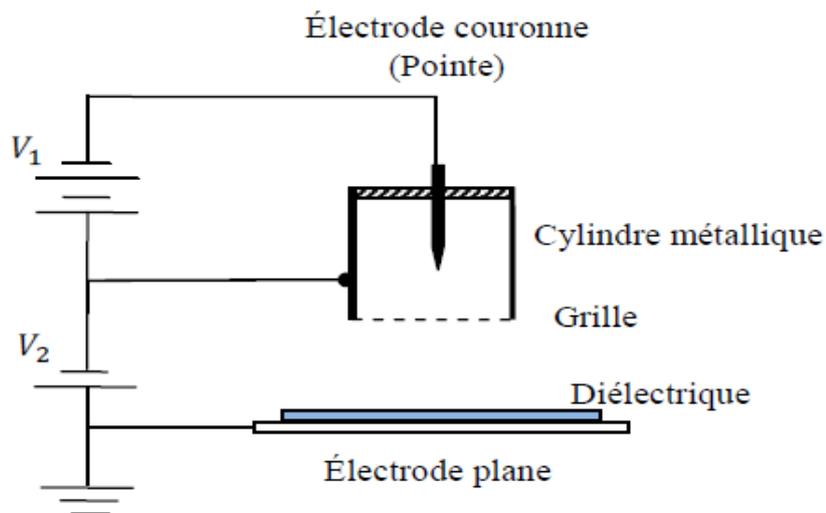


Figure I.9 : Système Triode [1].

- **Scorotron**

La décharge est plus stable par la présence du cylindre et les ions se diffusent d'avantage à travers la grille. Le niveau du potentiel de surface du diélectrique est limité par le potentiel de la grille et la surface de charge dépend des dimensions du cylindre [1].



V_1 : Potentiel de l'électrode couronne

V_2 : Potentiel de la grille et du cylindre métallique

Figure I.10 : Scorotron [1].

- **Corotron**

La grille est omise et le cylindre mis à la terre présente une fente, à travers laquelle les ions atteignent la surface du diélectrique. Contrôle du dépôt des charges ne peut être obtenu que par l'optimisation des paramètres géométriques de l'ensemble et par l'ajustement du temps d'exposition du matériau à la décharge couronne. Ce dernier facteur est essentiel dans les applications industrielles où le diélectrique est souvent en mouvement [1].

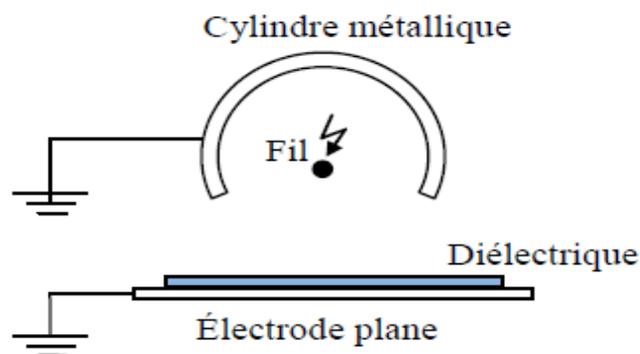


Figure I.11 : Corotron [1].

I.8 Processus de charge dans une configuration triode

La décharge couronne est un phénomène lié à la modification de la conductivité d'un gaz à proximité d'un conducteur de faible rayon de courbure, porté à potentiel élevé. Dans le cas de la configuration triode, cette conductivité est due aux phénomènes d'ionisation intense de l'air au voisinage immédiat du fil à potentiel élevé. Ainsi, l'espace inter électrodes est répartie en trois zones telles qu'elles sont illustrées sur la figure I.12.

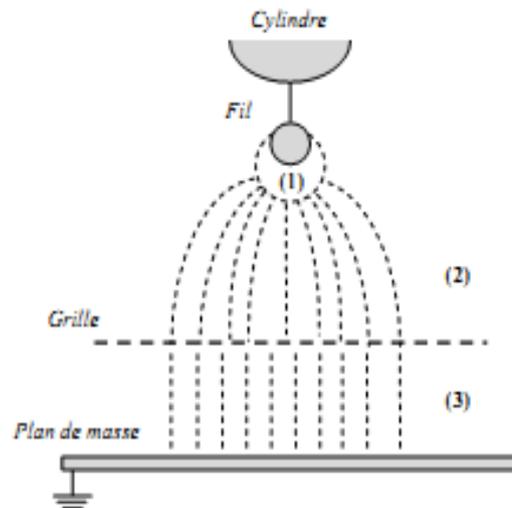


Figure I.12 : Décharge couronne dans le système triode de charge [1].

La zone active (1) est près de l'électrode active où le champ est supérieur au champ critique du minimum d'ionisation. Elle est caractérisée par une densité de charge totale nulle. L'utilisation de l'électrode duale dans des procédés électrostatiques permet de contrôler l'orientation de la décharge couronne dans une zone bien définie de l'espace.

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

Les charges qui ont traversé la grille sont attirées par le plan de masse et interceptées par le média non-tissé déposé sur celui-ci. Ainsi la surface libre du matériau subit un dépôt de charges sous l'action du champ électrique dû à la différence de potentiel entre la grille et le plan de masse. Le matériau continue à se charger jusqu'à ce que le potentiel de surface de celui-ci soit égal à celui de la grille. Ainsi, la zone (2) est caractérisée par une charge d'espace importante tandis que la zone (3) est caractérisée par un champ électrique et une charge d'espace pratiquement négligeables [1].

I.8 Conclusion

- La compréhension et la maîtrise des phénomènes liés à la génération de la charge d'espace et son évolution, ainsi qu'au comportement du diélectrique chargé, sont indispensables à la mise en œuvre de solutions techniques appropriées pour l'amélioration des performances des électrets en vue d'accroître l'efficacité du processus de charge.
- La décharge couronne produite par un système d'électrodes de type triode semble être la meilleure solution pour contrôler l'état de charge initiale des électrets [1].

Chapitre II

Etude expérimentale

II.1 Introduction

Le but de notre travail étant de faire ressortir toutes les caractéristiques courant-tension lors de la décharge couronne monopolaire positive dans la configuration d'électrode de type triode en fonction de la distance (D) entre l'électrode duale (cylindre-fil) et le plan de masse et entre la grille et le plan de masse, et par la suite on mesure la densité de courant toute en long du plan de masse.

Afin d'atteindre cet objectif, un dispositif qui a été réalisé dans le hall de technologie de l'université de Bejaia qu'est composé d'un système triode (électrode duale-grille-plan) et une sonde linéaire pour mesurer la densité de courant.

II.2 Le système d'électrode

Cette configuration représentée dans la figure II.1, appelée triode est composée de L'électrode duale qui est un ensemble d'un fil en cuivre, ayant un rayon $R = 0.1$ mm, et d'un cylindre en aluminium ayant un diamètre 30 mm, L'ensemble est porté à un potentiel continu de polarité positive et qui se déplace en vertical à travers un filetage, et d'une grille qui est placée au milieu entre le fil de l'électrode duale et l'électrode plane reliée à la terre. La grille étant reliée à la terre via une résistance électrique variable, son potentiel dépend de cette résistance et de la tension appliquée à la source.

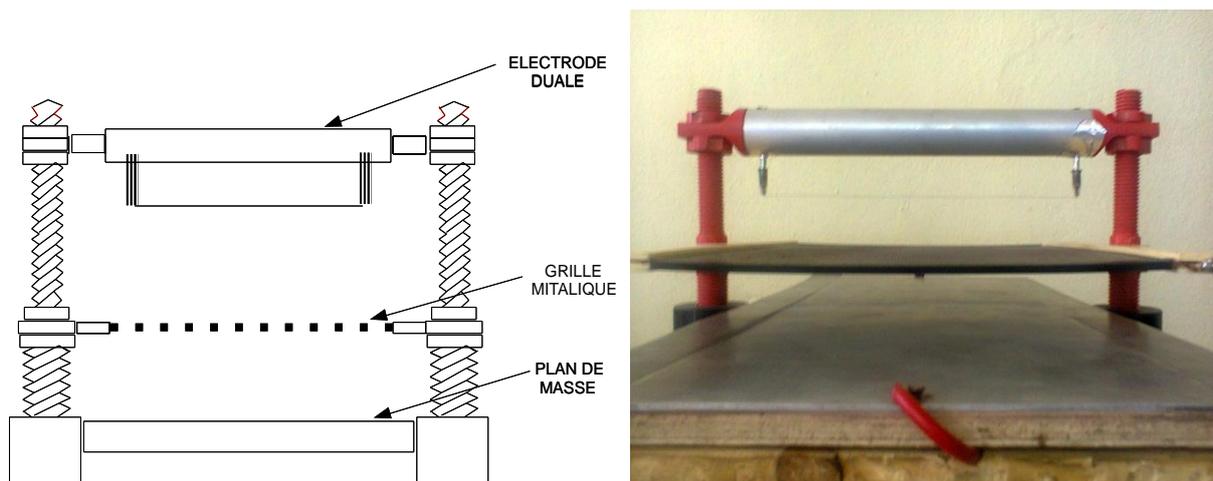


Figure II.1 : Système triode.

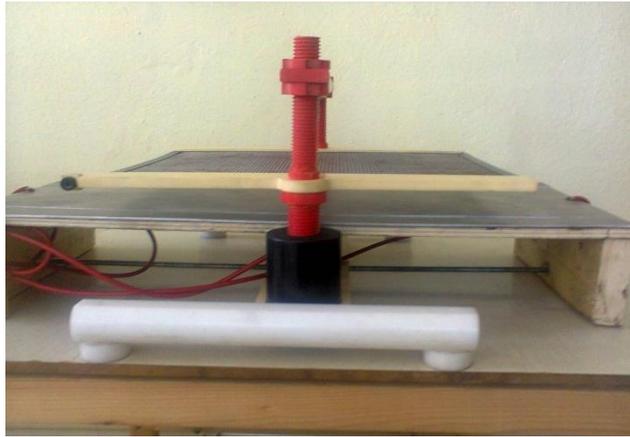


Figure II.2 : Vue de côté.

Et pour mesurer la densité de courant dans toute la surface du plan on a mis un mécanisme qui fait déplacer horizontalement le système à travers le plan (figure II.2).

II.3 Grille métallique

La grille utilisée dans notre étude expérimentale est insérée entre l'électrode active et la sonde dont le fil de tresse a un diamètre de 1.18 et les interstices sont des losanges dont la surface est de $6.4 \times 4 \text{ mm}^2$ et leur épaisseur égale à 0.8 (figure II.3).

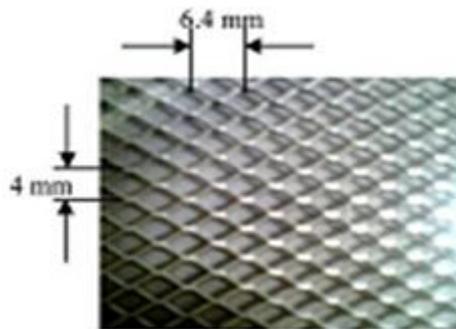


Figure II.3 : Grille métallique.

II.4 Dispositif expérimentale

II.4.1 La sonde linéaire

La sonde linéaire a été réalisée dans le hall de technologie de l'université de Bejaïa. Elle est constituée principalement de deux plaques de polarisation (B) dont leur fonction n'est pas nécessaire pour nos mesures et mises à la terre, entre lesquelles loge une lame rectangulaire de faible surface, le collecteur (A), figure II.4. Ce dernier est isolé des plaques (B) par un intervalle $g = 0,1 \text{ mm}$, La sonde est incorporée dans un même niveau de surface

entre deux plans de gardes (C) mise à la terre. Lorsque la tension appliquée est suffisamment grande pour créer la décharge couronne, un courant I circule entre l'électrode active et la sonde. La valeur du courant divisé par la surface de la sonde nous donne la valeur de la densité du courant de charge.

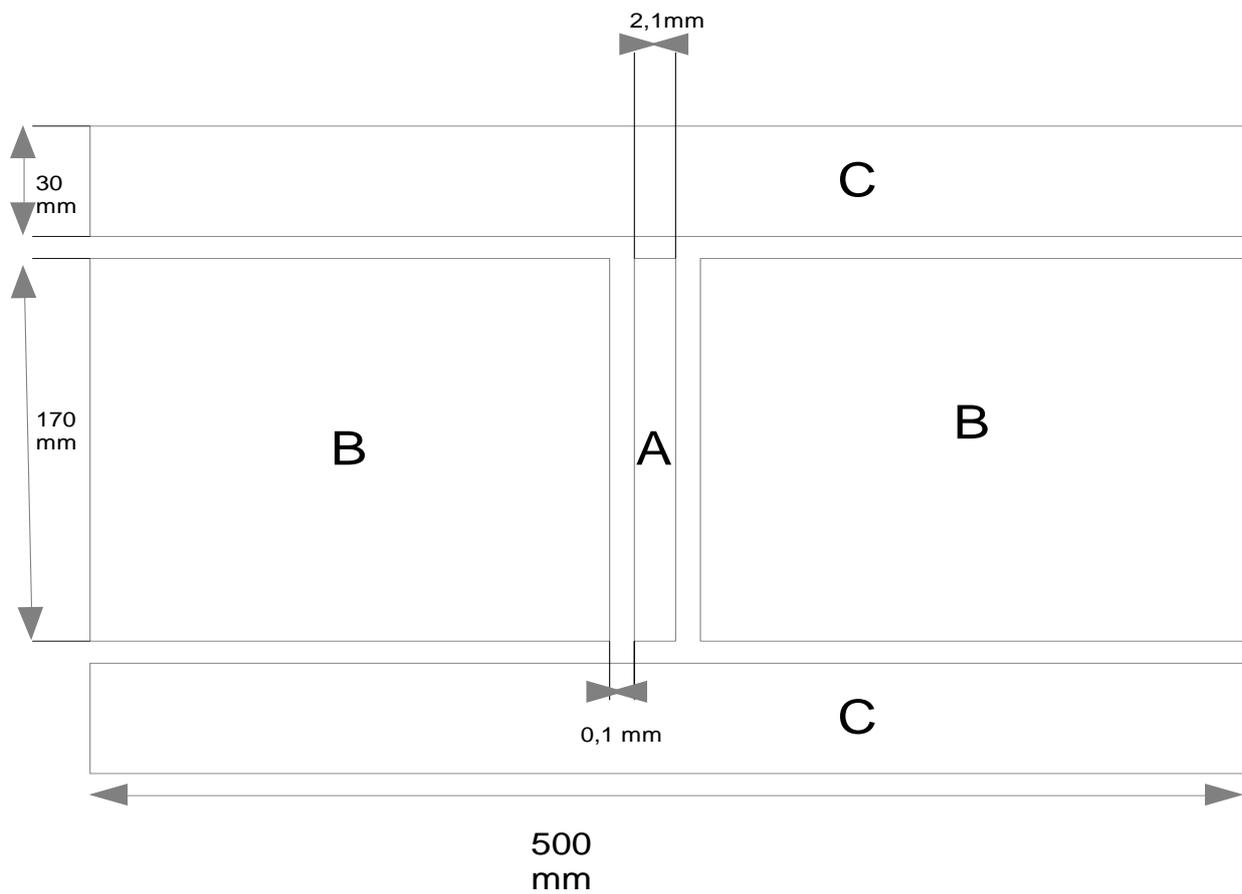


Figure II.4 Schéma de la sonde.

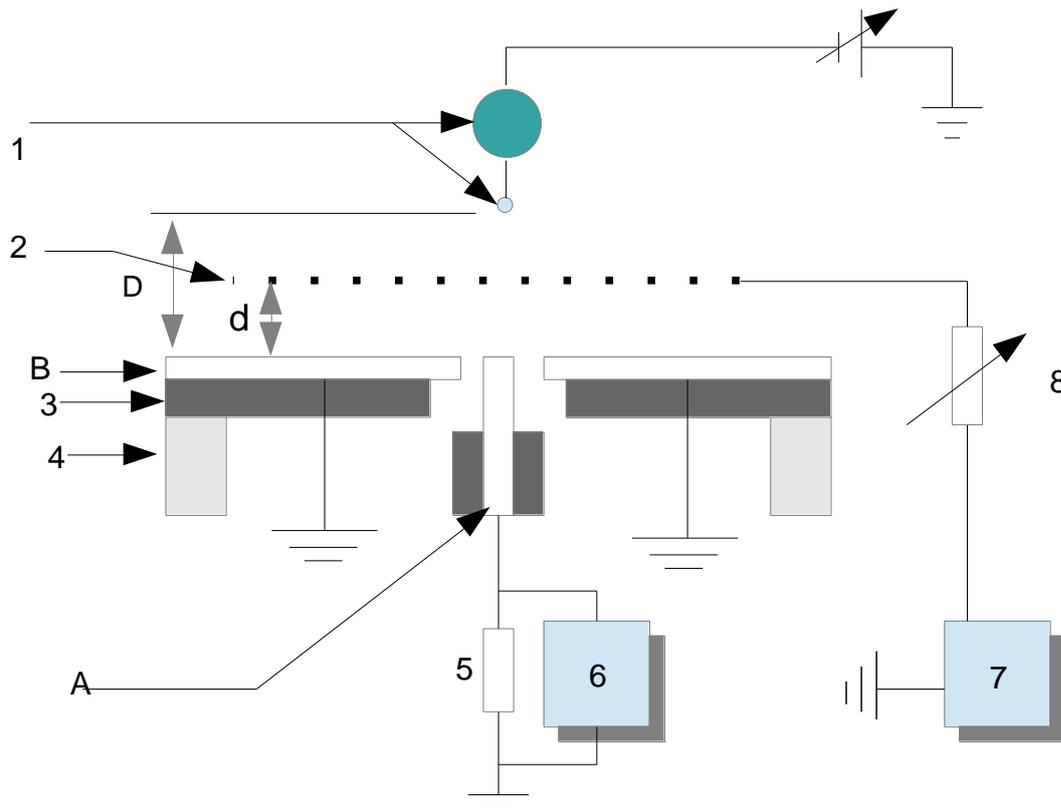


Figure II.5 Schéma détaillé du banc d'essais.

Avec :

- A- collecteur
- B- plan de garde
- C- anneaux de garde
- 1- Electrode duale
- 2- Grille métallique
- 3 - Support isolant
- 4- support en bois
- 5- Résistance ($150\text{ K}\Omega$)
- 6- Multimètre numérique
- 7- microampèremètre
- 8- Résistance variable

II.4.2 Dispositif de mesures

Le dispositif de mesure, muni des appareils de mesure, est représenté sur la figure II.6. L'électrode active (1) est reliée à l'installation haute tension continue délivrant une tension allant de 0 à 135 KV. Cette dernière est fournie après le redressement mono alternance composé d'une diode haute tension (3) au silicium pouvant supporter une tension de 270 KV et d'un condensateur de lissage C10 (4) de capacité 10 nanofarad. Une résistance R_a de 106 K Ω reliant le redresseur au système d'électrodes a pour rôle d'amortir le courant protégeant ainsi la diode de surintensités.

La tension alternative d'origine est générée par amplification d'une basse tension variable appliquée au primaire d'un transformateur élévateur dont le secondaire est relié à la diode.

La mesure du courant de décharge est effectuée par le biais d'un multimètre numérique connecté au collecteur (A) au moyen d'un câble coaxial.

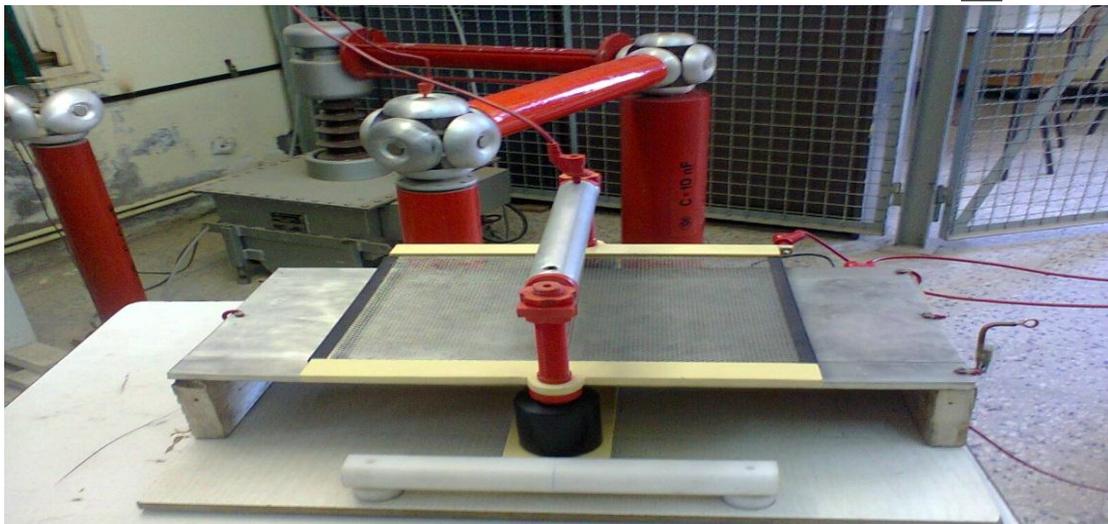
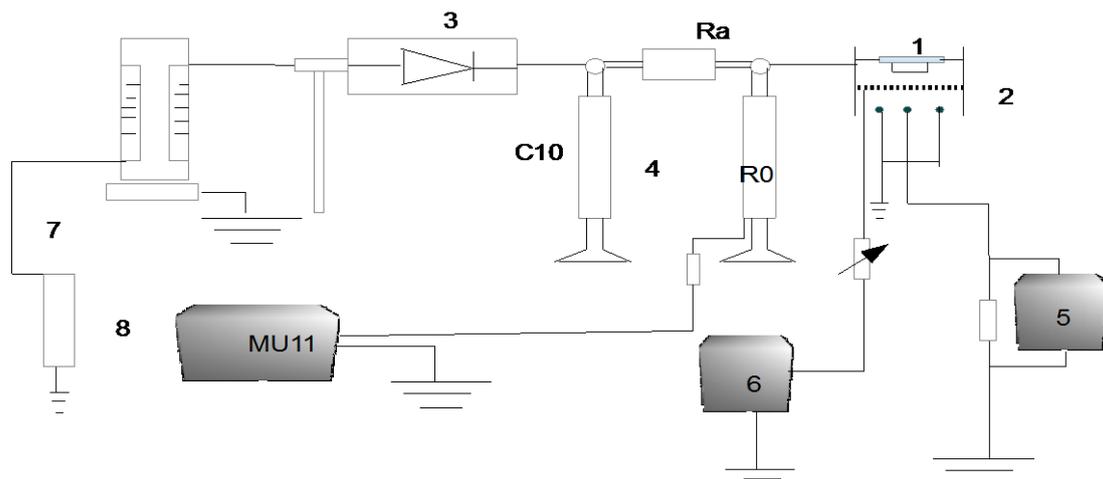


Figure II.6 : Schéma de l'installation haute tension avec dispositif de mesure.

II.5 Méthode de mesure

II.5.1 Mesure de la tension appliquée à l'électrode active

La tension continue U est mesurée au moyen d'un voltmètre de crête (MU11) via un diviseur résistif composé d'une résistance haute tension R_0 de $250\text{ M}\Omega$ et d'une résistance basse tension R_u de valeur $501\text{ K}\Omega$, de plus le (MU11) présente une résistance d'entrée R_e de $4.24\text{ M}\Omega$. Le voltmètre de crête mesure la tension u aux bornes de la résistance basse tension et affiche numériquement la valeur de la tension appliquée $U = K \cdot u$ (figure II.7). Où K est le rapport du diviseur de tension :

$$K = \left(\frac{R_0 + (R_e // R_u)}{(R_e // R_u)} \right) = \frac{R_0 R_e + R_0 R_u + R_u R_e}{R_u R_e} = 556$$

II.5.2 Mesure du courant au collecteur

Le courant collecté par la sonde ou collecté sur le plan entier a été déterminé par la mesure de la chute de tension aux bornes d'une résistance $R = 150\text{ K}\Omega$ insérée en série avec le câble coaxial au moyen d'un multimètre numérique. Après chaque série de mesures, les éléments de la sonde sont systématiquement nettoyés avec de l'acétone pour parer à toute éventualité de présence de poussière qui se serait accumulée et vérifier si il n'y a pas de la continuité entre la sonde et les plan de gardes et ceci afin que les résultats restent compatibles.

II.5.3 Détermination de la densité de courant sur le plan

La densité de courant est obtenue en divisant le courant collecté sur la sonde par la surface effective du collecteur comme suit :

$$J = \frac{I}{S}$$

Avec :

- J ($\mu\text{A}/\text{m}^2$) la densité de courant sur le plan.
- I (μA) le courant de décharge collecté par le collecteur (A) de la sonde.
- S (m^2) la surface du collecteur (A), elle est donnée par :

$$S = \left(a + \frac{2g}{2} \right) l = 374.10^{-6} \text{ m}^2$$

Avec: $a = 2.1\text{ mm}$; $g = 0.1\text{ mm}$; $l = 170\text{ mm}$.

II.6 Les différentes géométries de la configuration triode

Durant notre travail on a utilisé trois géométries figure II.8. La première c'est de positionner la grille au milieu de l'électrode duale et le plan de masse ($d=50\%D$), et la deuxième géométrie c'est de approché la grille du fil ($d=75\%D$), et pour la troisième géométrie c'est de l'approché du plan ($d=25\%D$).

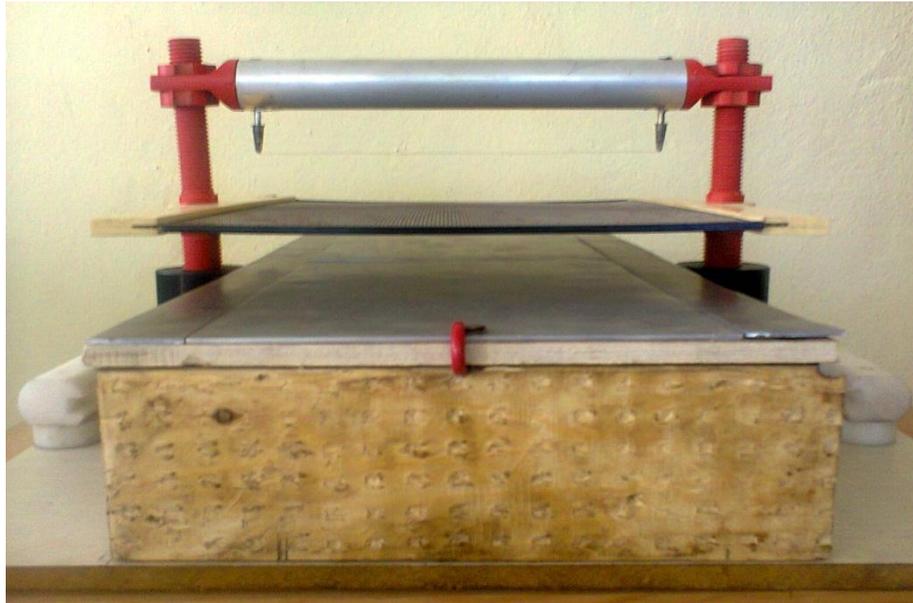


Figure II.7 : Système triode avec différentes géométries.

II.7 Mode opératoire et conclusion

Afin de déterminer la distribution de la densité de courant sur le plan, le fil de l'électrode duale dont la première position se situe au droit de la sonde (collecteur), et par la suite éloigné de cette position en déplaçant à chaque fois d'un centimètre suivant l'axe X jusqu'à la valeur $X = 6\text{cm}$, et à chaque position de la grille on refait la même démarche pour mesurer la densité de courant.

Nous avons à préciser que, sachant que les paramètres physiques sont très influents concernant les décharges dans le gaz en général et le phénomène des décharges couronne en particulier, les données climatiques à savoir : la température, la pression de l'air et l'humidité relative, ont été systématiquement vérifiées. Dans tous les essais que nous avons réalisés et par souci de stabilité et de reproductibilité du phénomène, nous avons tenu à travailler dans des

condition les plus similaires possibles concernant ces paramètres. Ainsi tous nos résultats ont été obtenus dans des fourchettes allant :

- De 24°C à 26°C pour ce qui est de la température.
- De 45% à 55% pour ce qui est l'humidité relative.
- De 1010 hpa à 1015 hpa pour ce qui est de la pression.

Chapitre III

Résultats et interprétations

III.1 Introduction

Le but de notre travail est d'étudier l'influence des paramètres géométriques de la configuration triode lors de la décharge couronne, et pour cela nous avons effectué des divers essais, en essayant de rester crédible concernant le choix de ces essais.

Nous avons dans ce cadre, agencé ce travail expérimental en trois volets dont le premier traite la caractérisation du phénomène de la décharge couronne monopolaire positive pour notre configuration en traçant les caractéristiques IG-Va de la grille et les caractéristiques Im-Va de plan en fonction de différentes résistances (2R, 4R, 6R) de la grille et de leur position par rapport à la distance inter-électrode D (25%D, 50%D, 75%D). Et par la suite nous traçons des allures comparatives entre la grille et le plan pour les différentes résistances et positions de la grille.

Le deuxième volet traite les distributions de la densité de courant pour chaque position de la grille dans l'espace inter-électrode en fonction de leurs différents courants et résistances, ensuite pour un courant donné de la grille en traite la distribution de la densité du courant pour différentes résistances (2R, 4R, 6R).

Le troisième volet concerne la densité de courant dans un point précis de plan en fonction des positions de la grille pour leurs différents courants.

III.2 Caractéristique courant –tension pour la 1^{er} géométrie (d = 50%D)

Dans cette géométrie la grille est positionnée au milieu des deux électrodes. Nous avons représenté sur les figures III.1 et III.2 les variations des courants IG et Im en fonction de la tension Va appliquée à l'électrode active de polarité positive de la décharge couronne. Et ensuite nous présentons un graphe comparatif entre le courant de la grille et le courant recueilli par le plan (figure III.3).

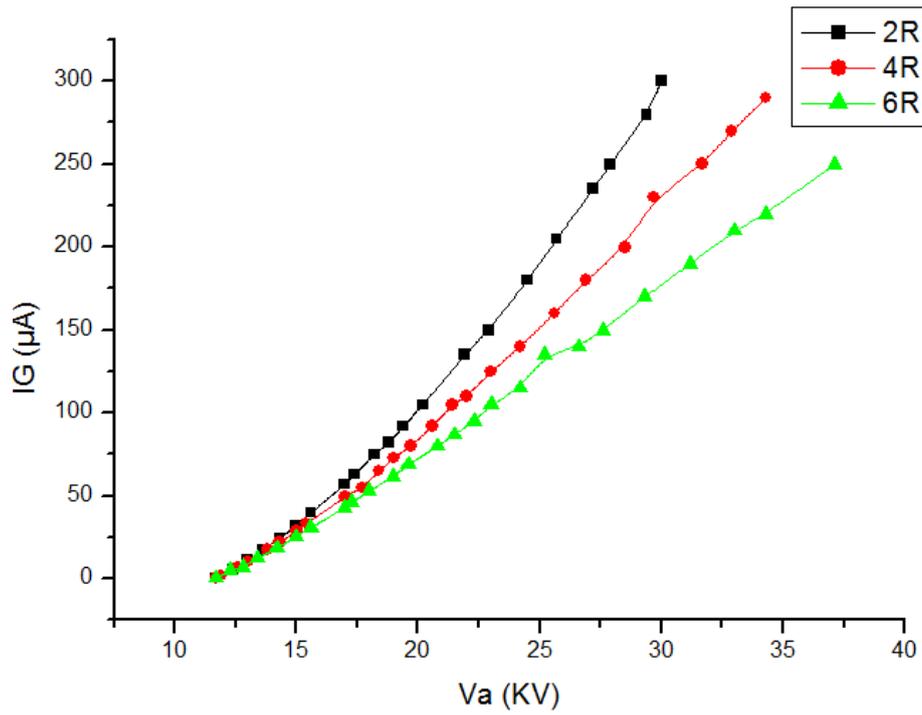


Figure III.1: caractéristique $IG = f(Va)$ pour $d = 50\%D$.

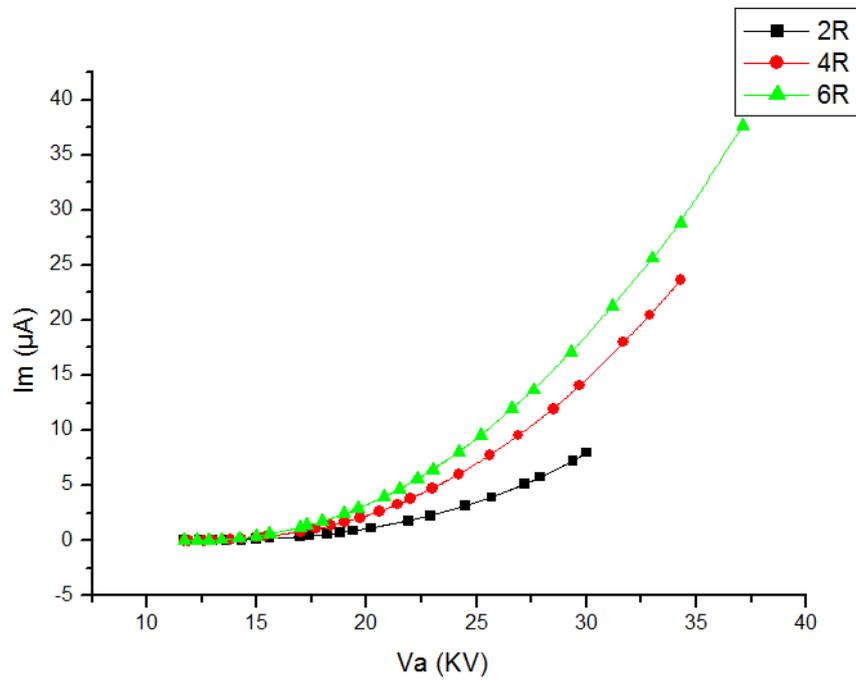


Figure III.2: caractéristique $Im = f(Va)$ pour $d = 50\%D$.

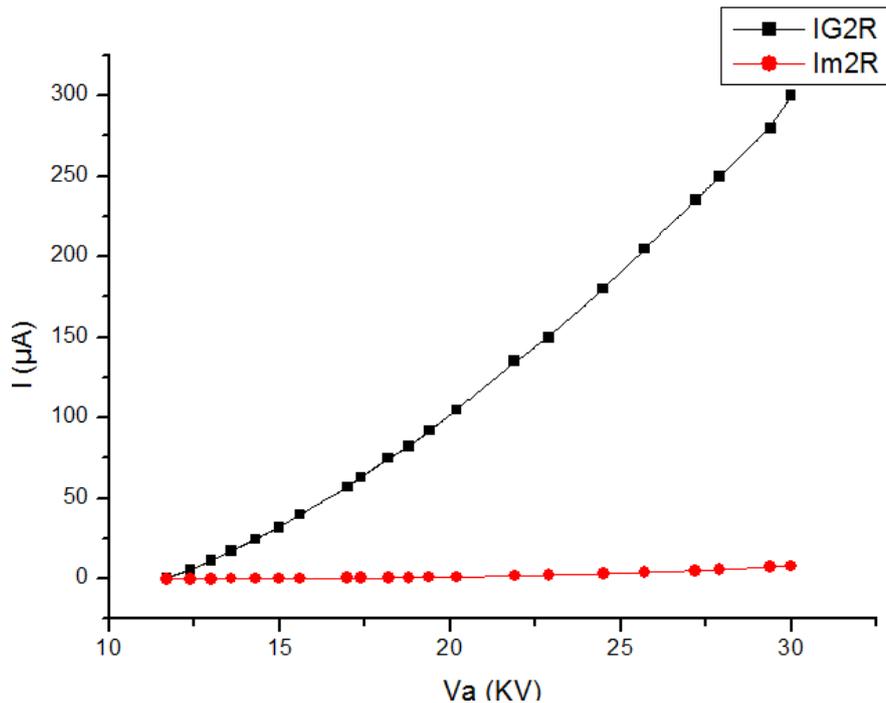


Figure III.3: caractéristique $I = f(V_a)$ pour les courants de la grille et de plan.

La figure III.1, montre des courbes quasi-linéaire ce que veut dire que le courant de la grille augmente avec l'augmentation de la tension appliqué, et que le potentiel de la grille fait réduire la différence de potentiel entre la grille et le fil, en faisant augmenté la résistance de la grille, donc la décharge couronne s'étouffe.

Pour la figure III.2, les courbes des différentes résistances suit la loi quadratique de Townsend $I = f(V^2)$. Et nous constatons qu'à chaque fois quand on augmente la résistance de la grille le courant recueilli est plus grand, ce qui explique la déviation des lignes de champ à travers la grille.

Et dans figure III.3 nous remarquons que la différence entre le courant de grille et celui du plan est plus grand ce que veut dire que la décharge couronne diminue en intensité avec l'insertion de la grille métallique dans le dispositif.

III.3 Caractéristique courant –tension pour la 2^{ème} géométrie (d =75%D)

Dans ce qui suit nous présentons l'aspect des caractéristiques courant-tension dans la deuxième position de la grille (d=75%D) pour le courant recueilli par la grille (figure III.4),et pour le courant recueilli par le plan (figure III.5) en fonction des différentes résistances (2R ,4R,6R), ainsi un aspect comparatif entre les deux cas pour une résistance donnée (figure III.6).

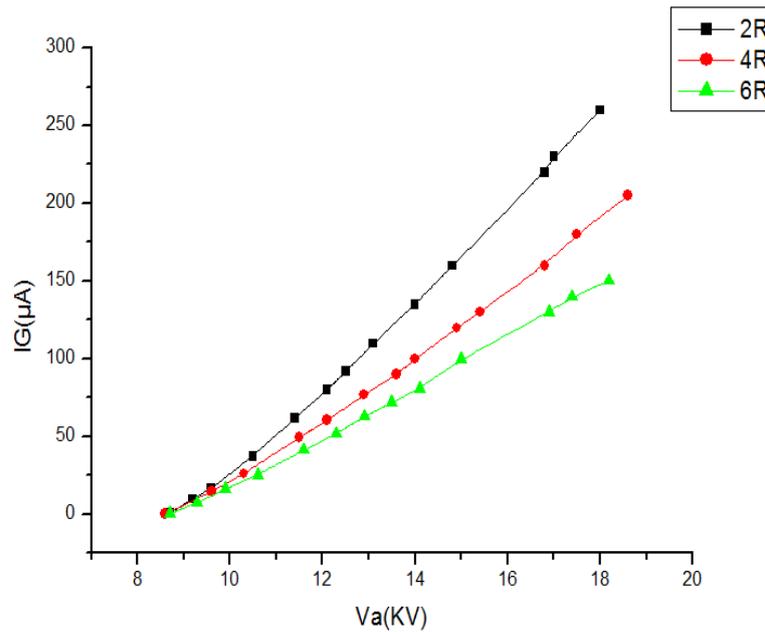


Figure III.4 : caractéristique $IG = f(Va)$ pour $d = 75\%D$.

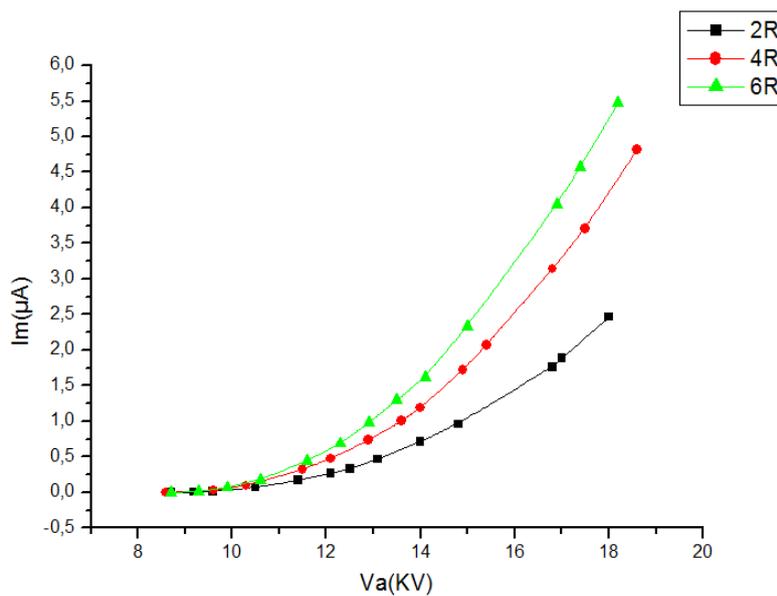


Figure III.5 : caractéristique $Im = f(Va)$ pour $d = 75\%D$.

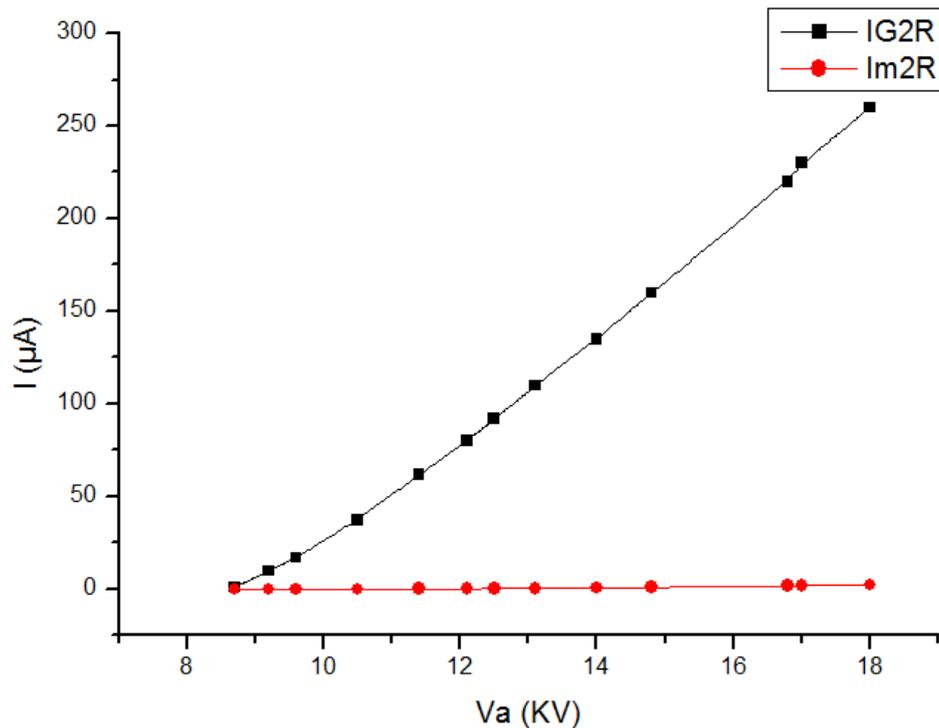


Figure III.6 : caractéristique $I_{2R} = f(V_a)$ pour les courants de la grille et de plan.

Il en ressort que, concernant les deux caractéristiques de la figure III.4 et III.5, pour les trois résistances de la grille, les courants recueillis par le plan et la grille augmentent avec la tension appliquée à l'électrode active ce qui est normal, car le champ devient plus intense. Par ailleurs, nous constatons aussi que à chaque fois quand on diminue la résistance de la grille, le courant recueilli est plus important dans la grille, et ce qui explique le contraire pour le courant du plan, car le courant est plus important avec l'augmentation de la résistance, et cela dû aux lignes de champs électriques qui se dévient de la grille quand leur résistance est plus grande.

La caractéristique comparative (figure III.6), montre que le courant de grille est très important par rapport au courant recueilli par le collecteur.

Dans ce cas, la position de la grille est plus proche du fil ($d = 75\%D$), ceci pourrait trouver son explication dans le fait que lorsque la grille s'éloigne du plan pour se rapprocher de l'électrode duale, celle-ci agit comme un autre plan formant ainsi un système plan-plan. Or dans une configuration pareille, le champ devient homogène, d'où les faibles valeurs du courant recueilli.

III.4 Caractéristique courant –tension pour la 3^{ème} géométrie (d = 25%D)

Pour cette géométrie la position de la grille est proche du plan et en garde la distance inter-électrode $D = 68$ mm ce qui explique l'augmentation de la distance entre l'électrode duale et la grille, nous présentons les caractéristiques courant-tension de la grille pour ces différentes résistances (figure III.7), et les caractéristiques courant-tension par rapport au plan (figure III.8), et nous présentons aussi les caractéristiques courant-tension pour la grille et le plan pour une résistance donnée 2R (figure III.9).

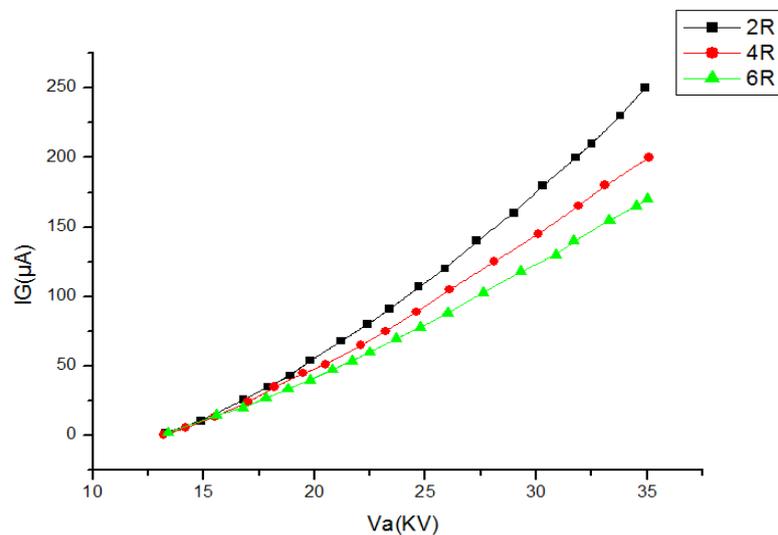


Figure III.7 : caractéristique $IG = f(Va)$ pour $d = 25 \% D$.

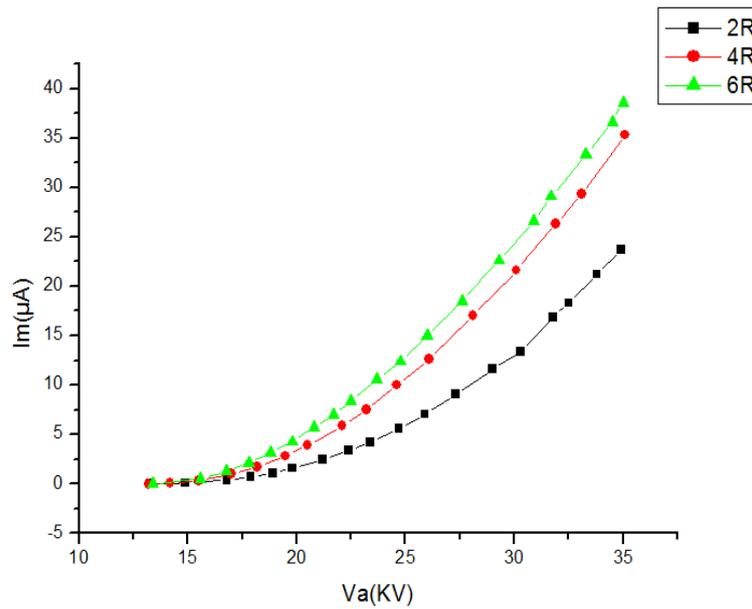


Figure III.8 : caractéristique $I_m = f(V_a)$ pour $d = 25\%D$.

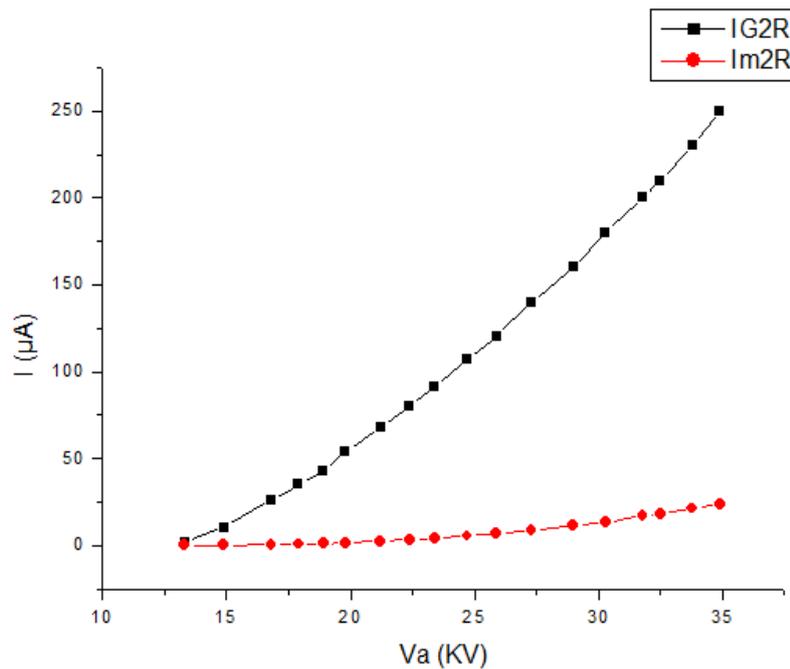


Figure III.9 : caractéristique $I = f(V_a)$ pour les courants de la grille et de plan.

Les caractéristiques $I_G(V_a)$ et $I_m(V_a)$ montrent les mêmes profils de courbe, de ce fait les remarques et les explications sont apporter à l'approche entre la grille et le plan, le courant ainsi recueilli est logiquement plus faible.

Sur la figure III.9, on remarque une très grande différence entre le courant de grille et celui de plan. Le courant recueilli par le plan est presque quasi-linéaire, ce qui explique que la décharge couronne diminue en intensité avec l'insertion de la grille métallique dans le dispositif.

III.5 Distribution de la densité du courant J sur le plan

Les graphes de la distribution de la densité de courant sur le plan pour les différentes géométries de système triode ont été tracés en faisant déplacer tout le système par un pas de 1 cm horizontalement à partir de la sonde.

III.5.1 La densité du courant pour la 1^{er} géométrie ($d = 50 \%D$)

Dans cette géométrie la grille est positionnée au milieu des deux électrodes, et soumise à des différents courants, et pour chaque résistance de la grille on trace la distribution de la densité du courant sur le plan (figures III.10, III.11, III.12).

Et pour comparer la densité du courant en fonction des différentes résistances de la grille un graphe est tracé pour une valeur de courant donnée (figure III.13).

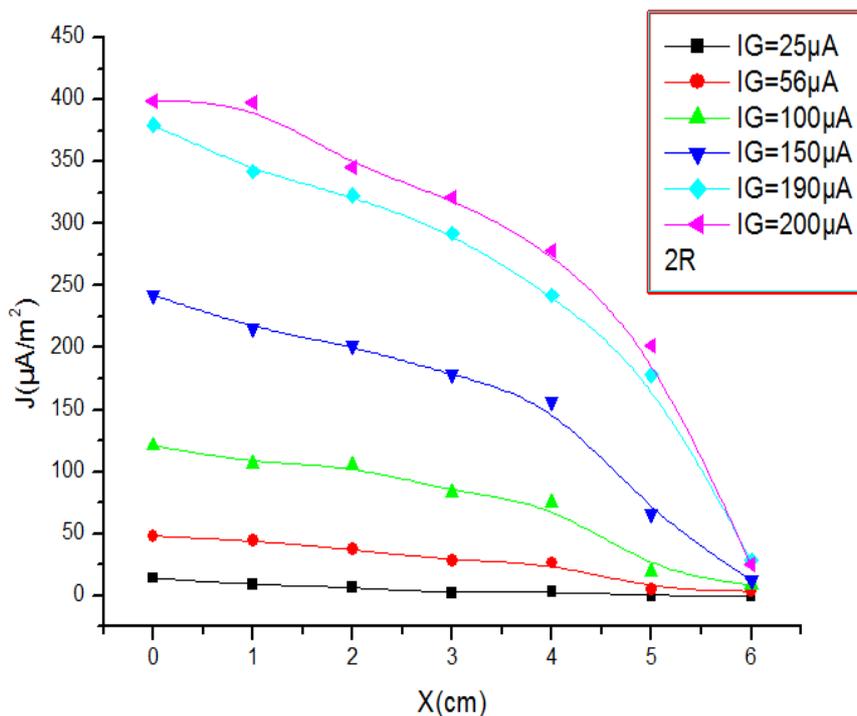


Figure III.10 : Distribution de la densité du courant pour la résistance $2R$ et de différentes valeurs de courant de la grille.

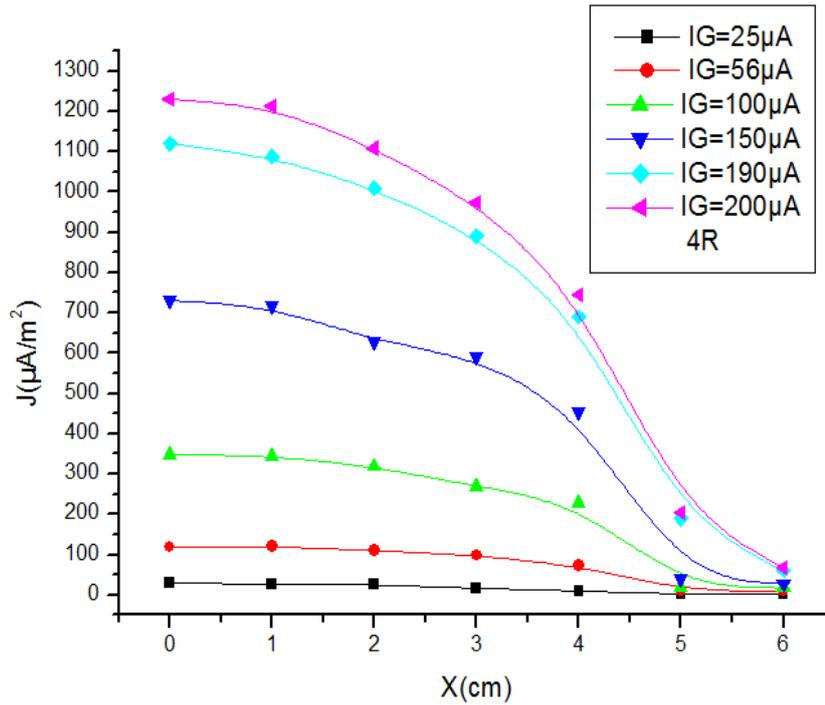


Figure III.11: Distribution de la densité du courant J pour la résistance 4R et de différentes valeurs de courant de la grille.

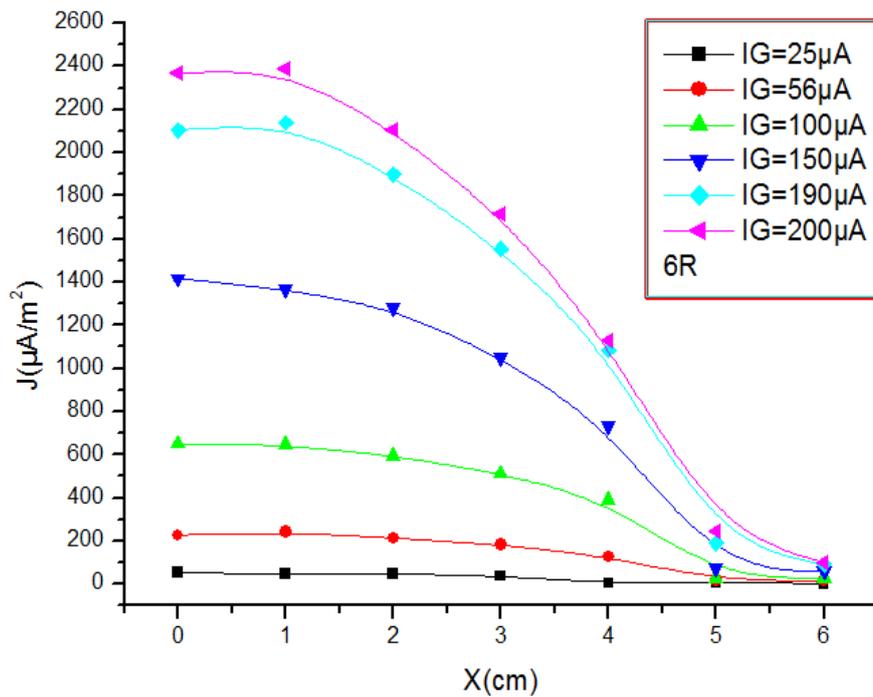


Figure III.12 : Distribution de la densité du courant J pour la résistance 6R et de différentes valeurs de courant de la grille.

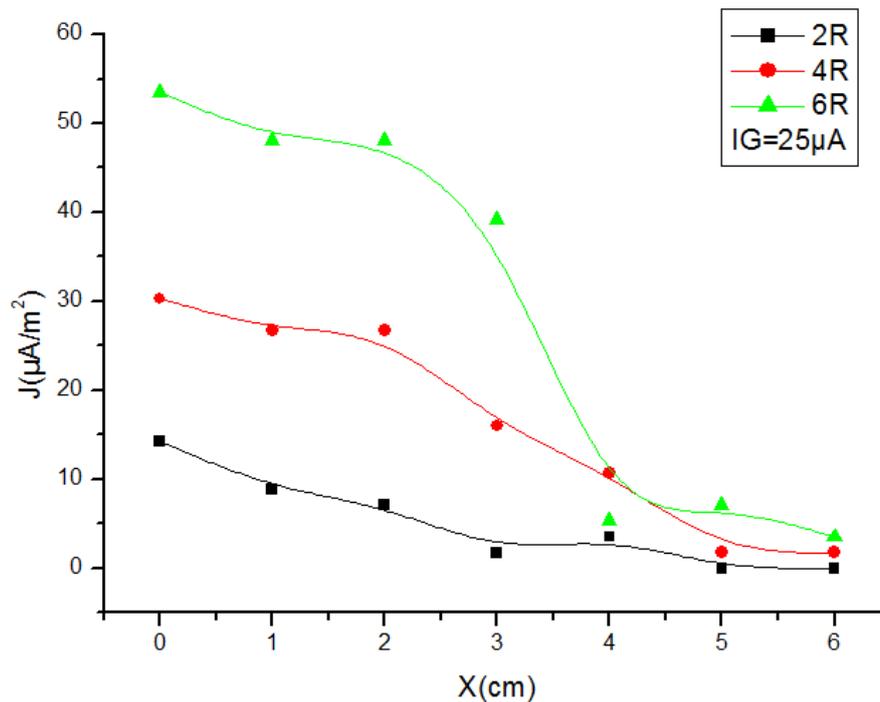


Figure III.13 : Distribution de la densité du courant pour différentes résistances (2R, 4R, 6R) et $I_G = 25 \mu\text{A}$.

L'étude expérimentale de la densité du courant montre que celle-ci est maximum au droit du fil C'est à-dire sur l'axe du plan caractérisé par la distance $X=0$ cm. La valeur de la densité de courant diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de cet axe (figure III.10, III.11, III.12) pour toutes les valeurs des résistances de la grille.

III.5.2 La densité du courant J pour la 2^{ème} géométrie ($d = 75 \% D$)

Dans cette géométrie la grille est proche de l'électrode active, et qui soumise à des différents courants, et pour chaque résistance de la grille en trace la distribution de la densité du courant sur le plan (figures III.14, III.15, III.16).

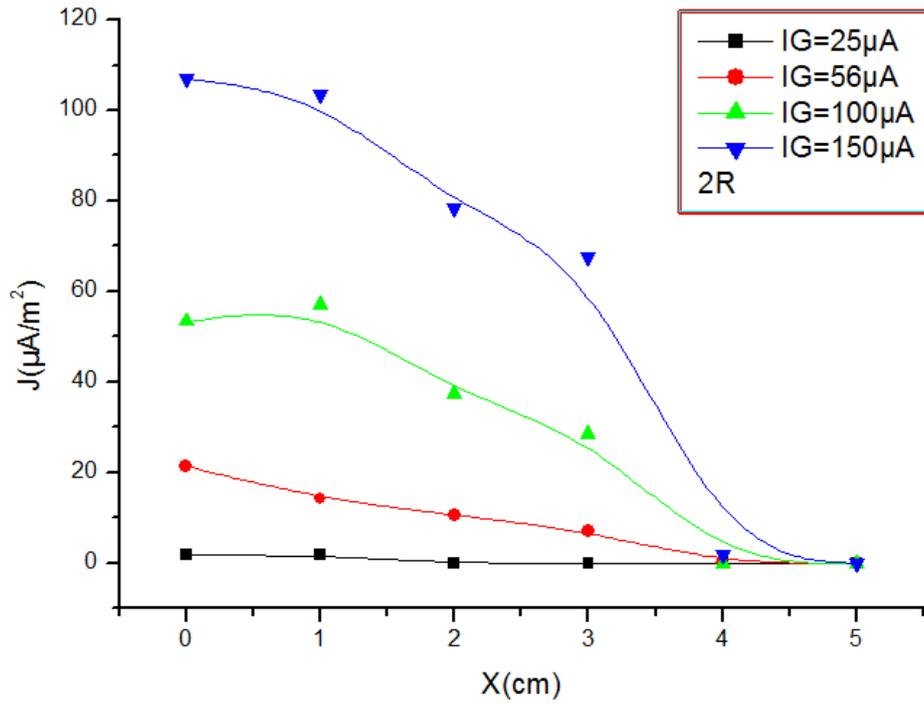


Figure III.14: Distribution de la densité de courant pour la résistance $2R$ et de différentes valeurs de courant de la grille.

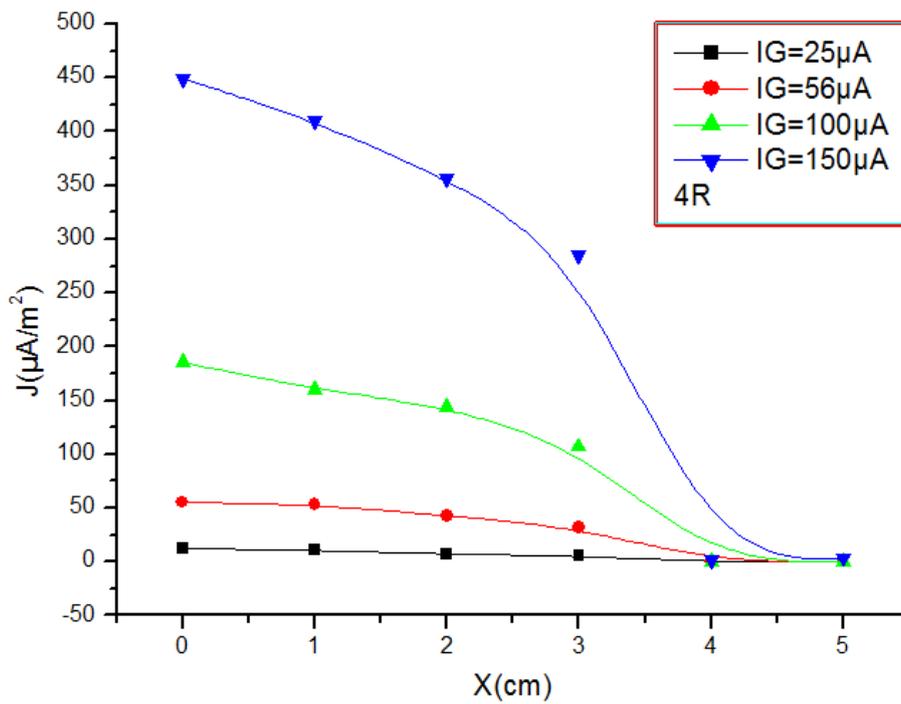


Figure III. 15 : Distribution de la densité du courant pour la résistance $4R$ et de différentes valeurs de courant de la grille.

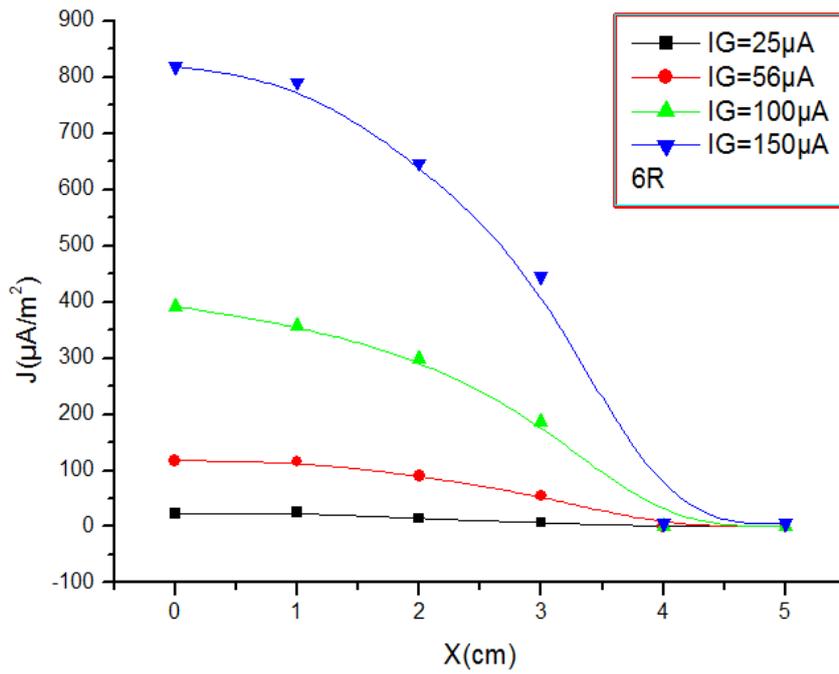


Figure III.16 : Distribution de la densité du courant pour la résistance $6R$ et de différentes valeurs de courant de la grille.

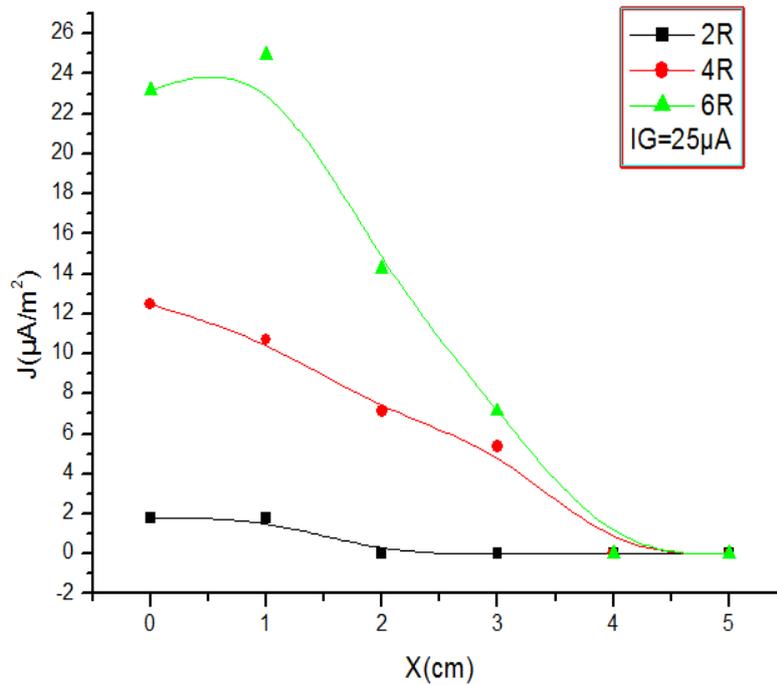


Figure III.17 : Distribution de la densité du courant pour différentes résistances ($2R$, $4R$, $6R$) et $I_G = 25 \mu\text{A}$.

Nous avons présenté sur les figures III.14, III.15, III.16, les distributions de la densité du courant pour les différentes valeurs de courant et résistances imposées à la grille, et dans cette géométrie la grille est proche de l'électrode duale ce qui laisse la grille agir comme un autre plan formant ainsi un système plan-plan. Or dans une configuration pareille, le champ devient homogène, ce qui explique que dans cette géométrie les valeurs du courant recueilli est très faible par rapport aux autres géométries. Ensuite nous avons présenté sur la figure III.17, la distribution de la densité du courant pour une valeur de courant donné en fonction de trois résistances, et nous remarquons que lorsqu'en augmente la résistance de la grille la densité de courant dans tous les points du plan augmente.

III.5.3 La densité de courant pour la 3^{ème} géométrie ($d = 25\%D$)

Dans ce cas la grille est proche de la sonde, et on fixe toujours la distance entre le fil et la sonde égale à 68 mm.

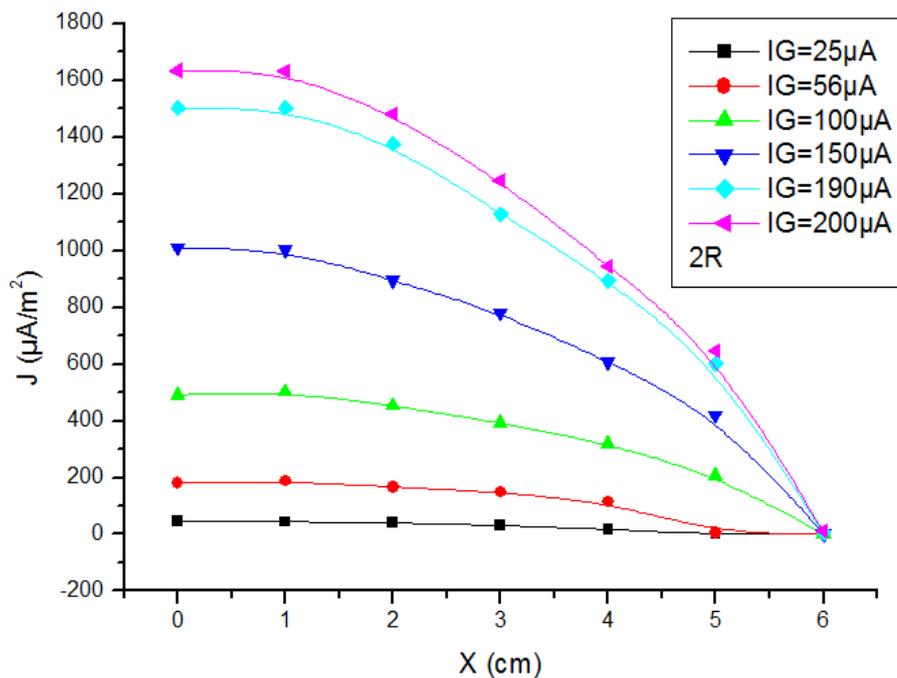


Figure III.18 : Distribution de la densité du courant pour la résistance $2R$ et de différentes valeurs de courant de la grille.

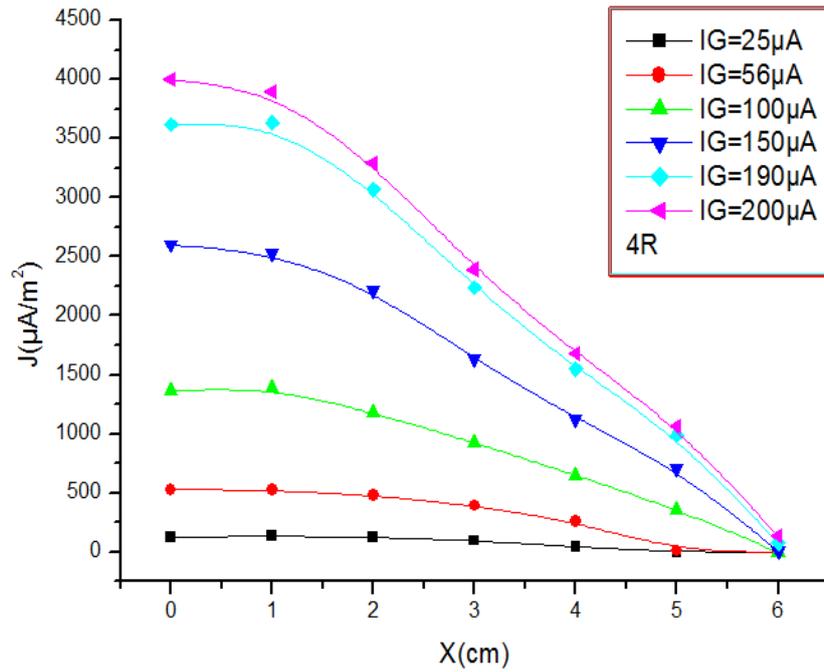


Figure III.19 : Distribution de la densité du courant pour la résistance $4R$ et de différentes valeurs de courant de la grille.

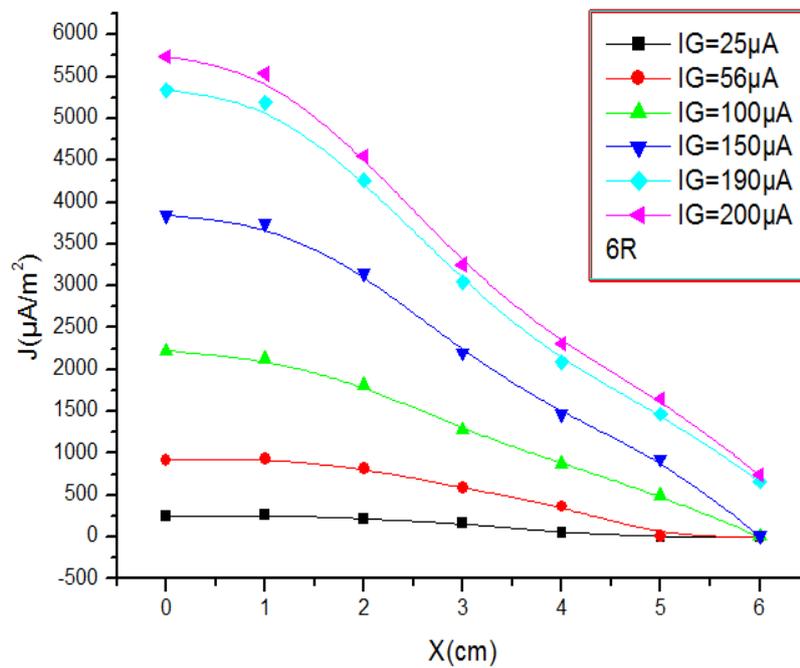


Figure III.20 : Distribution de la densité du courant pour la résistance $6R$ et de différentes valeurs de courant de la grille.

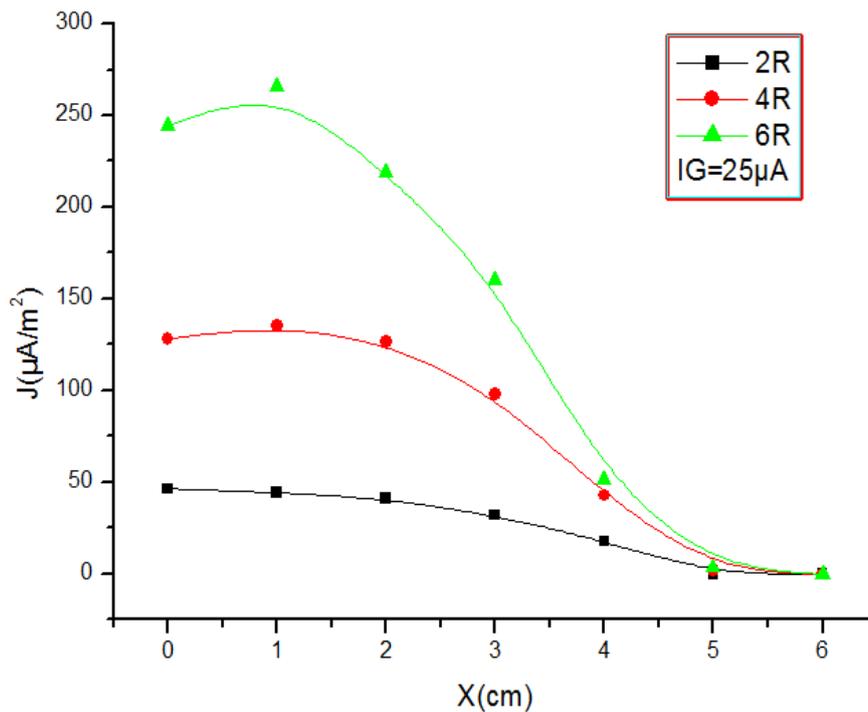


Figure III.21: Distribution de la densité du courant pour différentes résistances (2R, 4R, 6R) et $I_G = 25 \mu A$.

Sur les figures III.18, III.19, III.20, la distribution de la densité du courant dans cette géométrie montre les mêmes profils de courbe pour les trois résistances, C'est-à-dire que la densité de courant au point $X=0$ cm est maximal et lorsque on s'éloigne de cette axe la densité du courant diminue progressivement jusqu'à l'annulation du courant.

Et ensuite nous avons présenté sur la figure III.21, la distribution de la densité du courant pour une valeur de courant donné en fonction de trois résistances, et cela pour comparer l'influence de la résistance de la grille sur la configuration triode, et nous remarquons que lorsqu'en augmente la résistance de la grille la densité de courant dans tous les points du plan augmente.

Nous remarquons que la forme de ces courbes tendent à répondre à la loi de Warburg [15] mais avec des différences liées à la distance inter-électrode, laquelle la loi se présente sous la forme :

$$J(\theta) = J(0) \cos^p(\theta) \quad (\text{III.1})$$

III.6 Comparaison de la distribution de la densité du courant entre les trois géométries

Nous avons voulu, dans ce qui suit, voir comment évolue la distribution de la densité du courant par rapport à différentes géométries de système triode. Pour ce faire nous avons tracé $JG(X)$ (figure III.22), pour les différentes hauteurs de la grille et une valeur de courant de grille donnée égal à $25 \mu\text{A}$.

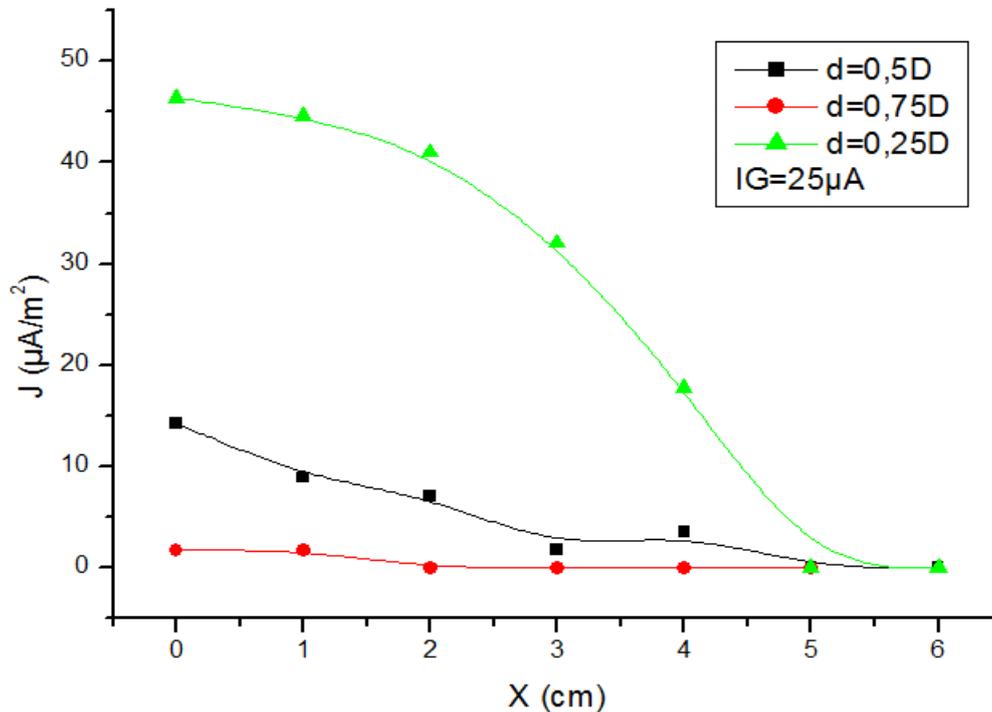


Figure III.22 : Distribution de la densité du courant pour les trois géométries à une valeur de courant de grille donné ($I_G = 25 \mu\text{A}$).

Et nous remarquons que la densité du courant augmente lorsqu'on diminue la distance d entre la grille et la sonde, et que la différence de la densité du courant entre la 3^{ème} géométrie ($d = 25\%D$) et les autres géométries ($d = 50\%D$, $75\%D$) est très importante.

III.7 Influence de la densité du courant en fonction des trois géométries

Dans ce cas nous avons tracé des graphes de la densité du courant au point $X = 0 \text{ cm}$ pour les différentes valeurs du courant de la grille (figure III. 23). Ainsi nous remarquons que lorsqu'on augmente la distance entre la grille et la sonde la densité diminue progressivement jusqu'à sa disparition.

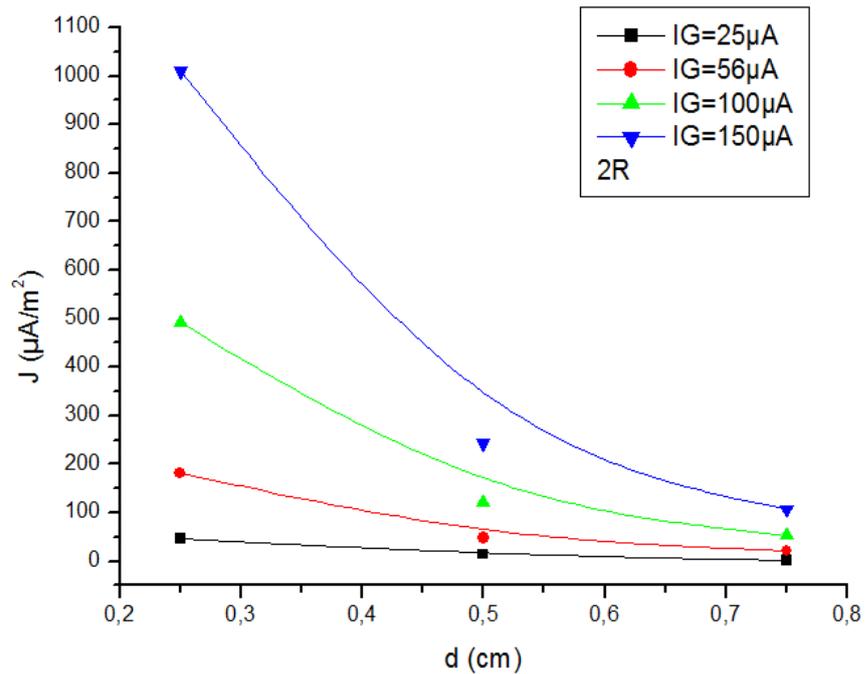


Figure III.23 : Distribution de la densité du courant en fonction de la position de la grille pour $X = 0$ cm.

III.8 Influence de la géométrie de la triode sur la tension du seuil

La tension seuil d'apparition de la décharge couronne dépend d'une géométrie à une autre, ce qui explique que lorsque on augmente la distance entre la grille et le fil la valeur de la tension seuil augmente. Et que la tension seuil d'apparition de la décharge couronne est indépendante de la résistance de la grille.

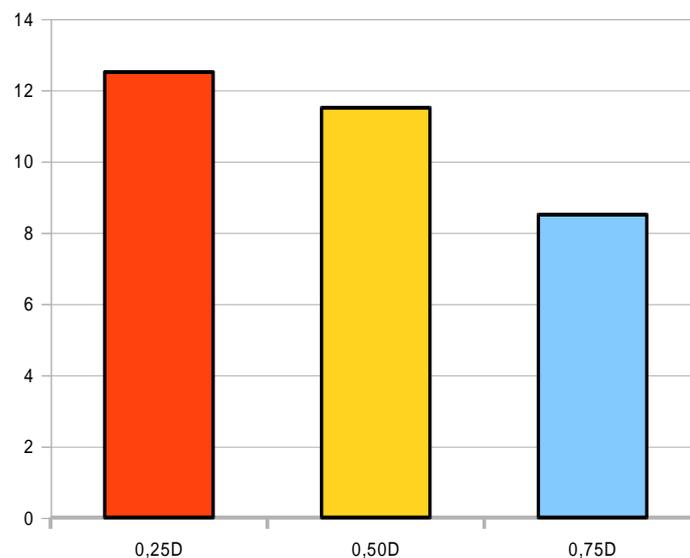


Figure III.24 : la tension seuil en fonction de la géométrie de la triode.

III.9 Conclusion

Les résultats obtenus dans cette partie expérimentale montrent l'importance des paramètres géométriques de la configuration triode pour la maîtrise du contrôle de dépôt sur la surface de l'échantillon, ainsi le comportement de la décharge couronne en présence de la grille entre l'électrode duale et le plan.

Conclusion générale

La réalisation de la configuration triode, dans un premier temps, nous a permis de vérifier le comportement de la décharge couronne monopolaire positive générée par le système d'électrodes de type triode et dans un autre, lever le voile sur l'influence de ces paramètres géométriques pour contribuer à la maîtrise de formation d'électret par décharge couronne.

Nous avons effectué des essais pour caractériser cette configuration. Les mesures obtenues sont :

- Le courant de la décharge couronne suit une forme quadratique par rapport à la tension appliquée à l'intervalle d'air comme stipulé par la théorie de Townsend et l'intensité de la décharge. Dont le paramètre révélateur est le courant collecté par la sonde, évolue pour toutes les configurations de façon ascendante quand la distance inter-électrode décroît.
- Concernant la densité de courant, sa distribution sur le plan suit la loi de Warburg en général comme rapporté par d'autres travaux, hormis le fait que pour notre cas le paramètre puissance de la fonction cosinus peut différer d'une configuration à une autre. D'autre part nous avons montré que cette densité de courant est maximale au droit du fil portant la haute tension pour décroître ensuite quand on s'éloigne de cette position.

Ce travail a mis en évidence aussi plusieurs perspectives de recherches prometteuses pour le progrès de la méthodologie de caractérisation des propriétés électrostatiques des diélectriques. Suite à l'expérience gagnée pendant l'achèvement de cette étude, le travail futur devrait se concentrer sur les points suivants :

- Évalue l'effet de l'échantillon diélectrique sur le comportement de la décharge couronne.
- Évaluation du champ électrique sur le plan.
- Modélisation du processus de génération de la décharge couronne.

Références bibliographiques

- [1] B.TABTI, « CONTRIBUTIONS A LA CARACTERISATION DES FILTRES A ELECTRET PAR LA MESURE DU DECLIN DE POTENTIEL DE SURFACE », thèse de doctorat, 2011. Université de Bejaia.
- [3] A. Tilmatine, « décharge couronne », ch. 04.
- [4] É. Durand, «*Électrostatique, Méthodes de calcul diélectriques*», volume 3, Masson, Paris, 1966.
- [5] S. boisseau, « Récupération d'énergie vibratoire à électrets », thèse de doctorat, 2006.
- [6] Conj Duc PHAM, « Cartographie de charges d'espace par méthode FLIMM/complémentarité avec les méthodes PEA et TPT », thèse de doctorat, 2009.
- [7] S. kacem, « modélisation électro-hydrodynamique des décharges couronne dans l'air à la pression atmosphérique pour application aux actionneurs plasmas », thèse de doctorat, 2011.
- [8] T. Hammi, « ETUDE DE METHODES DE MESURES ET REALISATION D'UN BANC DE TEST POUR L'EVALUATION DES PROPRIETES ELECTROSTATIQUES DES TEXTILES », thèse de doctorat, avril 2005. Université des Sciences et Technologies de Lille.
- [9] P. Molinié, « Recherches en électrostatique. Actualité d'une science ancienne et applications à la caractérisation des matériaux », conférence, 2010.
- [10] Z. Zehira, « ÉTUDE DE L'EFFET D'UN TRAITEMENT PAR PLASMA FROID SUR LES PROPRIÉTÉS DE SURFACE D'UN FILM DE POLYMÈRE », thèse de doctorat. 2008. Université Mentouri de Constantine.
- [12] N. Oussalah, « détermination de la distribution du champ et de la densité du courant lors de la décharge couronne monopolaire négative », mémoire de magister, 12/10/2002.

- [13] A. Bendaoud¹, M. Plopeanu², K. Medles¹, A. Tilmatine, L. Dascalescu²,
« Experimental study of corona discharge generated by a triode electrode system »,
2012.
- [14] Yali, B.SC.A, « contribution à l'étude de l'influence des décharges de couronne sur la
perte de volume d'une aspérité de glace portée à un potentiel élevé », thèse de doctorat,
1993.
- [15] A. Ieta, Z. kucerovsky, W.D. greason « laplacian approximation of Warburg
distribution» journal of electrostatics, vol63, pp. 143-154,2005.

Résumé :

La décharge couronne est le moyen le plus simple et le plus fiable pour reproduire le chargement électrostatique des diélectriques. Grâce à ce moyen, il est possible de déposer et piéger des charges aussi bien positives que négatives dans les niveaux énergétiques de la surface d'isolant. Pour générer la décharge couronne, un système d'électrode asymétrique est nécessaire, par exemple fil-plan où un diélectrique est posé sur le plan, alors la surface libre reçoit les charges, le dépôt n'est pas répartie de façon homogène sur sa surface. Afin de remédier à ça, nous avons pensé à introduire dans le dispositif une grille métallique. Celle-ci est intercalée entre l'électrode haute tension et le plan de masse et ceci pour contrôler le dépôt des charges sur la surface du diélectrique et cette configuration d'électrodes est appelé triode.

Le but de notre travail étant de faire ressortir toutes les caractéristiques courant-tension lors de la décharge couronne mono polaire positive dans la configuration d'électrode de type triode en fonction de la distance (D) entre l'électrode duale (cylindre-fil) et le plan de masse et entre la grille et le plan de masse, et par la suite on mesure la densité de courant toute en long du plan de masse.

Afin d'atteindre cet objectif, un dispositif qui a été réalisé dans le hall de technologie de l'université de Bejaia qu'est composé d'un système triode (électrode duale-grille-plan) et une sonde linéaire pour mesurer la densité de courant.

Summary:

The corona is the easiest and most reliable way to reproduce the electrostatic charging of dielectrics. By this means, it is possible to remove and trap loads both positive and negative energy levels in the insulator surface. To generate the corona discharge, an asymmetric electrode system is required by wire background examples where a dielectric is placed on the plane, then the free surface receives the charges, the deposit is not evenly distributed on the surface. To remedy that, we thought to introduce the device in a metal grid. It is sandwiched between the high voltage electrode and the ground plane and this for controlling the deposition of charges on the surface of the dielectric and the electrode configuration is called triode.

The aim of our work is to highlight all the current-voltage characteristics in the positive corona discharge in the nonpolar electrode type triode configuration depending on the distance (D) between the dual electrode (cylinder-wire) and the ground plane and between the grid and the ground plane, and then the current density in all along the ground plane is measured. To achieve this goal, a device that has been made in the technology hall of the University of Bejaia what consists of a triode system (dual-grid-plane electrode) and a linear probe to measure the density of current.