



République algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira de Bejaia
Département de Génie Electrique

Mémoire de fin d'étude

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de master en Génie
Electrique

Spécialité : réseaux électrique

Thème

**« Caractérisation expérimentale de l'électrode
couronne nappe de fils »**

Présenté par :

Mr. HADDAD Lyamine

Mr. KITOUNE Nacir

Promoteur : Mme CHIBANE.O

Co-promoteur : Mr RAHMANI.A

Promotion 2020/2021

Remerciements

‘ Nos remerciements vont à Dieu le tout puissant qui nous a donné le courage et la volonté pour réaliser ce modeste travail ’

‘ Nous tenons aussi à remercier nos promoteurs Mme O.RAHMANI et Mr. A RAHMANI pour ses précieux conseils et son orientation ’

‘ Nos remerciements sont adressés également à nos chers parents pour leurs soutien et sacrifices consentis à notre égard ’

*‘ A toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail.
Nous tenons à remercier les membres de jury pour nous avoir fait l’honneur d’examiner et d’évaluer notre modeste travail ’*

Dédicaces

A mes chers et très respectueux parents, aujourd'hui encore, le jour est arrivé pour moi d'exprimer ma profonde reconnaissance à votre égard, vous redire combien je vous chéris sincèrement, je vous remercie encore une autre fois pour tout le bien que vous aviez fait pour moi afin d'en arriver là où je suis aujourd'hui.

A mes deux chers grands frères (M'Hamed et Nabil) pour leur soutien, conseil et aide ainsi que leur disponibilité pour moi durant tout mon parcours.

A ma très chère sœur (Razika), l'unique sœur que ce monde m'a permis de connaître, je tiens à la remercier pour son soutien ainsi que son encouragement.

A ma belle-sœur (Nadia) et mon beau-frère (Mabrouk), deux personnes qui ont apporté tant de joie dans notre chère famille.

Et surtout mes quatre neveux (Rayane, Aylane, Asma et Niras), les plus beaux cadeaux que la vie m'a offerts.

« Une pensée à ma défunte sœur (Yasmine) dont j'ai jamais connu, une sœur qui n'a jamais quitté mes pensées »

En particulier à une personne très chère pour moi, une personne qui m'a tant soutenu, une personne qui m'a donné tout son amour.

Et surtout mes amis, avec qui j'ai partagé mes plus beaux souvenirs durant mon parcours universitaire.

Lyamine HADDAD

Dédicaces

À nos chers parents auxquels nous devons toutes nos reconnaissances.

À mes frères et sœurs.

À ma famille sans exception.

À mes neveux: Amine, Mina, Ali, Ilyan, Aylan et Eva

À tous mes chers amis.

À tous ceux qui m'ont apporté de l'aide.

À ma future dulcinée mira

Nacir kitcune

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Etude théorique de la décharge couronne	
I.1 Introduction.....	2
I.2 Décharge électrique	2
I.2.1 Aspect historique	2
I.2.2 Définition	3
I.2.3 Sources des électrons germes.....	3
I.2.4.2 Mécanisme des streamer	6
I.3 Décharge couronne	9
I.3.1 Description phénoménologique de la décharge couronne.....	9
I.3.2 Type de décharge couronne	9
I.3.2.1 Décharge couronne positive.....	9
I.3.2.2 Décharge couronne négative.....	11
I.3.3 Facteur influencent la décharge couronne.....	12
I.3.3.1 Facteurs géométriques.....	12
I.3.3.2 Facteurs physiques	13
I.3.3.3 Facteurs électriques.....	14
I.3.4 Conséquence de l'effet de couronne dans l'air	14
I.3.5 Applications industrielles.....	14
I.4 Conclusion	15
Chapitre II : Techniques expérimentale	
II.1 Introduction	16
II.2 Dispositif expérimental.....	16
II.2.1 Le système d'électrodes utilisé.....	16
II.2.2 La grille conductrice	18
II.2.3 La source de haute tension	19
II.2.4 Matériels utilisé	20
II.3 Méthode de mesure des paramètres	22
II.3.1 Mesure du courant de décharge	22
II.3.2 Mesure du courant et de la tension de la grille	22
II.3.3 Mesure des paramètres de l'air	22
II.3.5 Détermination de la densité du courant	23
II.3.5.1 Les dimensions de la sonde	24
II.4 Conclusion.....	25

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1 Introduction	26
III.2 Système fils-plan	26
III.2.1 Caractéristique courant-tension.....	26
III.2.1.1 influences de la polarité de la tension appliquée	26
III.2.1.2 influence du nombre de fils	28
III.2.1.3 Influence de la distance inter-fils	29
III.2.1.4 Influence de la distance inter électrodes.....	29
III.2.2 Densité du courant J	31
III.2.2.1. Distribution de la densité du courant sur le plan	31
III.3. Système nappe de fils-grille-plan	36
III.3.1. Caractéristique Courant-Tension.....	36
III.3.1.1 Influence de la grille.....	36
III.3.1.2 influence de la distance grille-plan.....	37
III.3.2 densité du courant J	38
III.3.2.1 Distribution de la densité du courant.....	38
III.3.2.2 l'influence de la grille.....	39
III.3.2.3 influence de la distance grille-plan.....	40
III.4 conclusion	40
Conclusion générale	42

Liste des figures

Chapitre I : Etude théorique de la décharge couronne

Fig I.1 : Caractéristique courant-tension des décharges à pression atmosphériques.....	6
Fig I.2 : Schéma d'une avalanche primaire	8
Fig I.3 : Passage de l'avalanche électronique au streamer	9
Fig I.4 : Configurations d'électrodes pour la génération de décharges couronnes (fils/plan, pointe/plan, couteau/plan, et fils/cylindre)	10
Fig I.5 : Schématisation d'une décharge couronne continue positive	10
Fig I.6 : Schématisation d'une décharge couronne continue négative.....	11

Chapitre II : Techniques expérimentale

Fig II.1 : Représentation schématique du dispositif expérimental	16
Fig II.2 : Type de conducteur (électrode active)	17
Fig II.3 : Représentation schématique du système de décharge (vue de coté).....	18
Fig II.4 : Représentation de la grille conductrice.....	19
Fig II.5 : Schéma de l'installation de haute tension	20
Fig II.6 : Appareilles de mesure	20
Fig II.7 : Multimètre numérique	21
Fig II.8 : Installation de haute tension	21
Fig II.9 : Photographies des appareils de mesure de la température (thermomètre) et de l'humidité (hygromètre)	23
Fig II.10 : Vue de dessus de la sonde circulaire	24
Fig II.11 : Coupe transversale de la sonde	24

Chapitre III : Résultats et discussions

Fig III.1 : Influence de la polarité sur les caractéristique Courant-Tension pour les configurations d'électrodes a) 3fils-plan b) 2 fils-plan c) fil-plan, pour les différentes tensions appliquée (D=8cm, H=3cm)	27
Fig III.2 : La caractéristique Courant-Tension en fonction de nombre de fils pour : (a) polarités positive (b) polarité négative	28
Fig III.3 : Caractéristique Courant-Tension en fonction de la distance inter-fils pour la configuration 3 fils-plan a) polarité positive b) polarité négative (H=3cm).....	29
Fig III.4 : Caractéristique Courant-Tension en fonction de la distance inter-électrodes pour le système 3 fils-plan a) polarité positive b) polarité négative, (D=2cm).....	30
Fig III.5 : Caractéristique Courant-Tension en fonction de la distance inter-électrodes pour le système 3 fils-plan a) polarité positive b) polarité négative, (D=6cm).....	30
Fig III.6 : Densité du courant en polarité positive et négative pour les configurations d'électrodes a) fils-plan b) 2 fils plan c) 3fils-plan (H=3cm, D=8cm et Vapp=16kV)	32
Fig III.7 : Influence de la tension appliquée Vapp sur la densité du courant a) polarité positive b) polarité négative (Nf=2, H=3 et D=8)	33
Fig III.8 : Influence de la tension appliquée Vapp sur la densité de courant a) polarité positive b) polarité négative (Nf=3, H=3 et D=8)	33
Fig III.9 : Influence de la distance inter-fils pour une tension appliqué Vapp=12kV sur la densité du courant (Nf=3, H=3cm, polarité positive)	34
Fig III.10 : Influence de la distance inter électrodes H sur la densité du courant pour la tension appliquée en polarité positive, a) Vapp=12kV b) Vapp=16kV (Nf=3, D=8)	35
Fig III.11 : Configuration du système de décharge nappe de fils-grille -plan	36
Fig III.12 : Caractéristiques Courant-Tension pour le système 3 fils-plan en présence d'une grille conductrice a) polarité positive b) polarité négative (D=8cm, hg=1.5cm).....	37
Fig III.13 : Influence de la distance grille-plan sur la caractéristiques Courant-Tension en polarité positive	38
Fig III.14 : Distribution de la grille sur la densité du courant a) fil-grille-plan b) 2 fils-grille-plan, (Vapp=12kV en polarité positive, hg=1.5cm, D=8cm).....	39
Fig III.15 : Influence de la distance grille-plan sur la densité du courant pour (Nf=3, Vapp=14kV en polarité positive).....	40

Nomenclature

HT : haut tension.

E : la différence de potentiel appliquée entre deux électrodes.

D : la distance inter fils.

a : premier coefficient de Townsend. (1/m).

I : courant (A).

I₀ : courant initial dû aux électrons primaires (A).

d : distance inter électrode (m).

B⁺ impact d'ions positifs.

η : probabilité d'attachement électronique.

V_o : potentiel de la terre.

r₀ : rayon de l'électrode active.

R₀ : résistance haute tension.

r_c : frontière de l'ionisation.

R_e : rayon extérieur de l'électrode.

pA : Pico-Ampèremètre.

H : distance inter électrodes.

r_e : rayon du trou.

R_g : résistance de la grille.

r_m : rayon effectif de la sonde.

r_s : rayon réel de la sonde.

S : sonde circulaire.

S₀ : section réelle de la sonde.

SG1 : Alimentation basse Tension.

S_m : surface total de la sonde.

T : température.

T100 : transformateur de haute tension.

V : 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.

R : résistance d'amortissement..

η : Coefficient d'attachement

I_g : courant qui passe par la grille.

V_g : Tension de la grille.

C10 : Condensateur de lissage.

E : Champ électrique

G270 : diode à haute tension.

e : charge élémentaire (=1.6x10⁻¹⁹ C).

E_i : Le champ électrique à la surface du fil.

H_r : humidité relative.

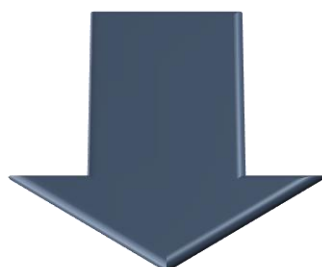
P : plan collecteur.

G : la différence entre r_e-r_s.

N_f : nombre de fils

V_{app} : tension appliquée

V_s : tension seuil d'apparition de l'effet couronne



‘Introduction générale’

Introduction générale

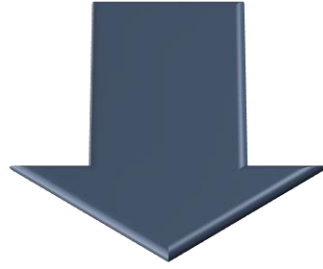
Les décharges couronnes ont fait l'objet de nombreuses études par le passé [1-7] et l'élargissement de leur champ d'application industrielle et commerciale a suscité un grand regain d'intérêt tel que la production d'ozone, le traitement de surface, dépollution de l'eau, les filtres électriques, la charge de matériaux isolants, la peinture électrostatique etc... [1, 2].

L'effet de couronne est un phénomène de décharge électrique entrainé par l'ionisation du milieu entourant un conducteur il apparaît quand le champ électrique dépasse une valeur critique mais dont les conditions ne permettent pas la formation d'un arc. Les décharges couronnes sont caractérisées par une dissymétrie géométrique des électrodes. Les configurations courantes utilisées dans les expériences sont de type pointe plan, fil-plan et fil-cylindre [3].

Notre travail consiste à étudier l'influence de différents paramètres sur le développement de la décharge couronne générée par les électrodes nappe de fils. Cela en enregistrant les caractéristiques Courant- Tension, densité du Courant et tension seuil en fonction de la distance inter-électrodes, distance inter-fils, polarité de la tension appliquée,...

Ce manuscrit est structuré en trois chapitres.

- Le premier chapitre traite l'étude théorique de la décharge électrique couronne en particulier 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) sur ces caractéristique.
- Le deuxième chapitre est consacré à l'étude et à la présentation de l'ensemble des moyens et du matériel expérimental utilisé pour nos expériences.
- Le dernier chapitre consiste à l'interprétation des résultats expérimentaux obtenus. Le but de ces expériences est de déterminer les caractéristiques de la décharge couronne, dans deux types de configurations d'électrodes à savoir fils-plan et fils-grille-plan et l'influence des paramètres (nombre de fils, distance inter-fils et la distance inter-électrodes) sur les caractéristiques courant-tension et la densité du courant ainsi que l'influence de l'insertion de la grille conductrice entre l'électrode active et passive.



Chapitre I

‘Etude théorique de la décharge couronne’

Chapitre I

Etude théorique de la décharge couronne

I.1 Introduction

Les gaz constituent un des éléments de base de l'isolation à haute tension, l'air est le gaz le plus utilisé pour ses bonnes qualités isolantes et sa disponibilité [4].

En pratique un gaz n'est jamais parfait, car il contient toujours un certain nombre de charges libres à cause des rayonnements cosmiques, solaire et de la radioactivité naturelle, ce qui fait qu'à l'application d'un champ électrique, ces charges se déplacent, et un courant électrique apparaît. Ce dernier dépend du champ électrique appliqué et si on dépasse un certain seuil, le gaz présentera une conductivité due aux collisions entre les particules et ce phénomène se développe pour provoquer une décharge électrique.

I.2 Décharge électrique

I.2.1 Aspect historique

L'étude scientifique des décharges électriques a commencé au XVIII^{ème} siècle par l'observation expérimentale d'étincelles produites par des générateurs électrostatiques et des éclairs d'orages. Ensuite l'invention de piles suffisamment puissantes a permis à V.V. Petrov de produire le premier arc électrique en 1803 dans l'air. Humphrey Davy en fit ensuite l'étude. Mais ce fut Michael Faraday qui, entre 1831 et 1835, découvrit et commença l'étude des décharges lumineuses en utilisant des tubes contenant des gaz à une pression de l'ordre de 100 Pa sous 1000 Volt.

Par la suite, à la fin du XIX^{ème} siècle et au début du XX^{ème} siècle, la physique des décharges électriques dans les gaz a permis à la physique atomique de faire ses premiers progrès avec les travaux de William Crookes et de Thomson, avec en particulier la mise en évidence du rôle fondamental des électrons dans la décharge et la mesure du rapport e/m (e : la charge d'un électron ; m : la masse d'un électron). Vers 1900, un élève de Thomson, Townsend, réalisa la première modélisation d'une décharge, correspondant au cas de la décharge lumineuse en champ uniforme. Langmuir travailla aussi sur ces décharges et introduisit le concept du plasma. Au cours du XX^{ème} siècle on passa à l'exploration des décharges électriques en fonction de la fréquence, tandis que la modélisation progressait en raison du développement d'applications [5].

I.2.2 Définition

Sous l'action d'un champ électrique suffisamment grand entre deux électrodes placées dans l'air, ce dernier peut s'ioniser et laisser passer un courant ; c'est ce qu'on appelle décharge électrique. Pour que l'initiation de la décharge se produise, il faut qu'au moins une particule chargée dite particule germe, généralement un électron, soit présent dans ce gaz. Dès lors que cet électron est créé, il est accéléré par le champ électrique appliqué, qui peut être continu, alternatif, ou impulsionnel [6].

I.2.3 Sources des électrons germes

Les électrons libres présents dans le milieu gazeux (électrons germes), gagneront de l'énergie sous l'action du champ électrique externe et perdent sous l'effet des collisions élastiques et inélastiques avec les particules présentes dans le gaz. Nous allons maintenant donner quelques indications sur les sources possibles d'électrons germes, nécessaires à l'amorçage de notre décharge.

a. Rayonnement cosmiques ou radioactivité naturelle : Sous l'effet de l'irradiation par rayonnements cosmiques ou par les processus de radioactivité naturelle, 7 à 20 électrons par cm^3 /sec sont produits dans l'air à la pression atmosphérique.

b. Détachement d'électrons des ions négatifs : C'est le processus principal de production d'électrons à partir d'ions négatifs. Ces derniers peuvent préexister dans l'espace inter-électrodes, c'est le cas de la présence des impuretés telles que O_2 ou H_2O et les pourvoyeurs principaux en électrons germes seront les ions négatifs O_2^- ou H_2O^- liés aux impuretés.

c. Contribution de la cathode : Dans le cas d'une configuration fil positive-plan négatif, la cathode est généralement, une source d'électrons germes peu efficace, parce qu'elle est d'une part soumise à un champ électrique faible et d'autre part située à une distance importante de la zone de décharge [7].

I.2.4 Mécanismes de la décharge électrique

La décharge ou le claquage électrique se produit suivant deux mécanismes : le mécanisme de Townsend ou le mécanisme des canaux (Streamers) et cela en fonction de plusieurs paramètres tels que la distribution du champ électrique entre les électrodes, l'intensité de ce champ, la forme de la tension appliquée, le taux d'humidité ... etc [5].

I.2.4.1 Décharge de Townsend

Un électron placé dans un champ électrique uniforme ($E = V/d$, où V est la différence de potentiel appliquée entre deux électrodes de distance D) est accéléré et peut ioniser des atomes ou des molécules, tel que



L'ionisation d'une espèce conduit donc à la formation d'une particule chargée et à la libération d'un électron supplémentaire, qui à son tour va être accéléré et acquérir une énergie suffisante pour ioniser une seconde particule. Ce mécanisme d'ionisation successive est connu sous le nom « d'avalanche électronique » ou « décharge de Townsend ».

Pour que la décharge soit auto-entretenu, il est nécessaire que tout électron qui quitte la zone d'ionisation soit remplacé. Chaque électron doit créer suffisamment d'ions positifs, de photons et d'espèces métastables pour qu'au moins l'un d'eux puisse produire un nouvel électron.

Sous l'influence du champ électrique appliqué, toutes les particules ainsi créées vont se déplacer dans l'espace inter-électrodes et générer un courant électrique, le courant de décharge [8].

Townsend a proposé en 1914 d'introduire un coefficient d'ionisation α (appelé premier coefficient de Townsend) pour traduire mathématiquement ce phénomène d'ionisation. Son inverse $1/\alpha$ représente le libre parcours moyen.

L'apparition d'un électron primaire au niveau de la cathode se traduit par l'arrivée de (e^{ad}) électrons au niveau de l'anode, La relation de Townsend s'écrit alors :

$$I = I_0 \cdot e^{\alpha d} \quad (\text{I.2})$$

Avec:

I : courant (A).

I_0 : courant initial dû aux électrons primaires (A).

d : distance inter électrode (m).

α : premier coefficient de Townsend (1/m).

En dehors de ce mécanisme de multiplication des électrons proposé par Townsend, des électrons secondaires peuvent être émis par impact d'ions positifs B^+ sur la cathode ou par impact de photons (émis par désexcitation radiative après impact électronique) :



Donc il faut introduire le coefficient généralisé d'ionisation secondaire γ associé aux différents phénomènes secondaires. Il est alors facile de montrer que le courant en régime

stationnaire suit la relation :

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

Le dénominateur de cette expression, qui peut être nul, explique la divergence du courant et donc le claquage du fluide. Cette divergence du courant n'a évidemment pas réalité physique, dans la pratique, le courant est limité par la résistance du circuit électrique.

Le critère de claquage est alors exprimé par la relation suivante :

$$1 - (\gamma(e^{\alpha d} - 1)) = 0 \quad (\text{I.5})$$

Donc la relation s'écrit :

$$\gamma \cdot (e^{\alpha d} - 1) = 1 \quad (\text{I.6})$$

La présence des gaz ayant des atomes à ion électronégatifs, peuvent capter un électron pour former un ion négatif [9]. Ce phénomène est caractérisé par le coefficient d'attachement η qui s'oppose au processus. Comme ce mécanisme est consommateur d'électrons, il est compétitif du mécanisme d'ionisation. Pour prendre en compte ce phénomène, il convient alors d'introduire dans la relation de Townsend une probabilité d'attachement électronique η :

$$I = I_0 (\alpha - \eta)^d \quad (\text{I.7})$$

Le critère d'auto entretien de la décharge s'écrit alors :

$$\gamma \cdot ((\alpha - \eta) - 1) = 1 \quad (\text{I.8})$$

La figure (I.1) décrit le comportement du courant en fonction de la valeur de la tension appliquée [10]. La courbe permet de distinguer quatre régimes

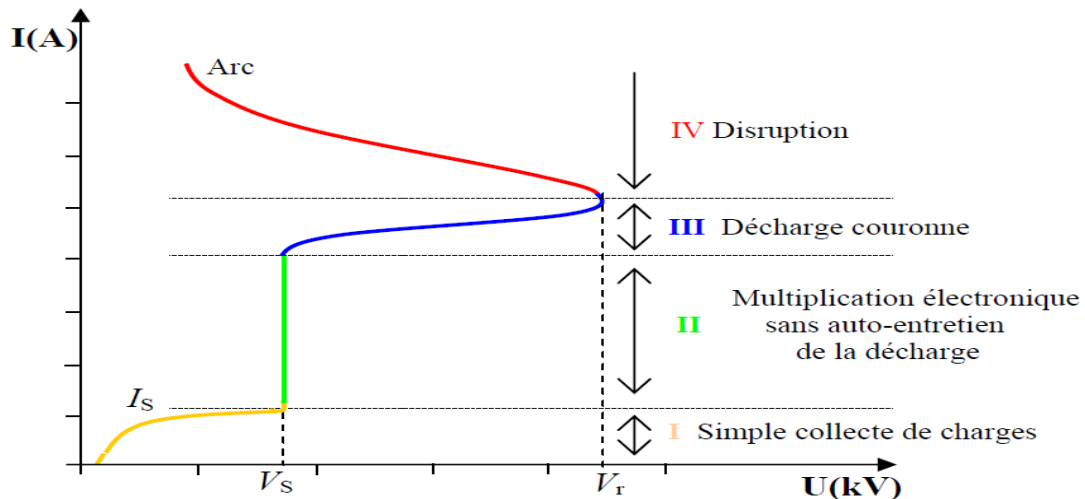


Fig I.1 : Caractéristique Courant-Tension des décharges à pression atmosphériques [10]

- **Régime I** : le courant est très faible ($\leq 10^{-12}$ A/cm²), dû à la présence d'ions issus de la radioactivité naturelle ou rayonnement cosmique. Dans ce cas, le champ électrique est trop faible pour assurer l'avalanche électronique.
- **Régime II** : lorsque la tension atteint une valeur seuil V_o , le champ est assez intense pour qu'un électron puisse ioniser une particule environnante. Le processus d'avalanche se déclenche sans que le critère d'auto-entretien soit pour autant satisfait. La décharge a besoin d'une source externe complémentaire pour donner naissance aux électrons germes : on parle de régime de Townsend non entretenu. Le courant reste faible ($\leq 10^{-9}$ A/cm²).
- **Régime III** : ici la décharge ne s'éteint plus car la condition d'auto-entretien est atteinte. La composante continue (représentative de la charge d'espace) augmente avec la tension.
- **Régime IV** : les courants de décharges deviennent très importants car toute l'énergie passe par un même canal préférentiel dans l'espace inter-électrodes. C'est le régime des décharges disruptives tel que les arcs électriques [9, 10].

I.2.4.2 Mécanisme des streamer

Dans la théorie du Streamer, la présence d'une seule avalanche de taille suffisamment importante (critique) peut provoquer le claquage par l'intermédiaire d'un canal ionisé appelé Streamer. Les mécanismes de base de cette théorie sont :

- La création d'une avalanche primaire du type Townsend engendrée par un électron germe (figure I.2).
- Le renforcement du champ électrique local par la charge d'espace positive laissée par la première avalanche.

- La photo ionisation du gaz à la tête de l'avalanche.
- La transition avalanche-Streamer figure (I.3) lorsque le champ de charge d'espace devient de l'ordre de grandeur du champ électrique appliqué.

L'avalanche primaire peut prendre naissance en un point quelconque de l'intervalle inter électrodes pour une valeur critique du champ électrique. Cette avalanche est accompagnée de la création d'une charge d'espace. En effet, dans une avalanche, les électrons forment un nuage négatif qui progresse rapidement vers l'anode (électrode positive) alors que de l'autre côté, les ions positifs restent immobiles (la mobilité des électrons est 100 fois supérieure à celle des ions). Le champ devient alors non uniforme et plus intense près des pôles de l'avalanche et surtout au voisinage du pôle positif (constitué par les ions positifs) qui joue le rôle d'une pointe conductrice. Le champ électrique sur les côtes de l'avalanche quand à lui, diminue. Dès que la charge d'espace de l'avalanche primaire atteint une taille critique (soit environ 10^8 électrons), elle va contribuer à intensifier les collisions ionisantes sur les pôles.

Dans l'avalanche, les électrons et les ions se recombinent en partie, l'énergie rayonnée peut provoquer la photo ionisation des particules de gaz se trouvant à l'intérieur et à l'extérieur de l'avalanche. Les électrons nouvellement créés peuvent, si le champ local est suffisamment intense, conduire par chocs ionisants, à la naissance de nouvelles avalanches dites secondaires qui vont créer à leurs tours une charge d'espace positive à l'avant de la première. Ces avalanches secondaires jouent le rôle de facteur d'entretien et la décharge devient autonome. Chaque avalanche se développe pour son propre compte et de façon très rapide. La première n'a pas fini de croître que déjà toute une chaîne se crée. Alors que les électrons se déplacent vers l'anode, la chaîne semble progresser vers la cathode. La progression de cette chaîne est très rapide du fait que les phénomènes se transplantent par rayonnement lumineux et non par migration d'électrons et d'ions.

L'ionisation se fait donc sans l'intervention de la cathode. La décharge prend alors la forme d'un canal dans la direction de l'axe des électrodes. Son développement dépend de la répartition du champ électrique. D'autre part, lors de collisions élastiques (non ionisantes) avec les particules neutres du gaz, les charges leur transmettent une partie de leurs énergies cinétiques. Il en résulte une augmentation de la température du gaz. Tant que celle-ci est inférieure à celle nécessaire à l'ionisation thermique, elle n'aura aucune influence sur le développement de la décharge. C'est le cas dans le développement du type Streamer. Le champ électrique extérieur nécessaire à l'entretien du streamer est inférieur à celui conditionnant l'ionisation par collisions. Pour l'air, par exemple, le champ moyen du Streamer se développant à partir de l'anode est d'environ $0.5 \cdot 10^6$ V/m et de $1.5 \cdot 10^6$ V/m, lorsque celui-ci se développe à partir de la cathode

alors que le champ critique est d'environ $3 \cdot 10^6$ V/m (dans les conditions normales de pression et de température) [5, 10].

Pour le cas du streamer négatif, les ions positifs créés par les avalanches secondaires viennent extraire des électrons de la cathode qui neutralisent les ions positifs et donnent au streamer un excédent de charges négatives.

À la différence du streamer positif où les avalanches se développent vers la tête du streamer, c'est-à-dire dans le sens où le champ de charge d'espace croît, les avalanches secondaires dans le streamer négatif se propagent vers l'anode, dans le sens où l'effet de la charge d'espace décroît rapidement

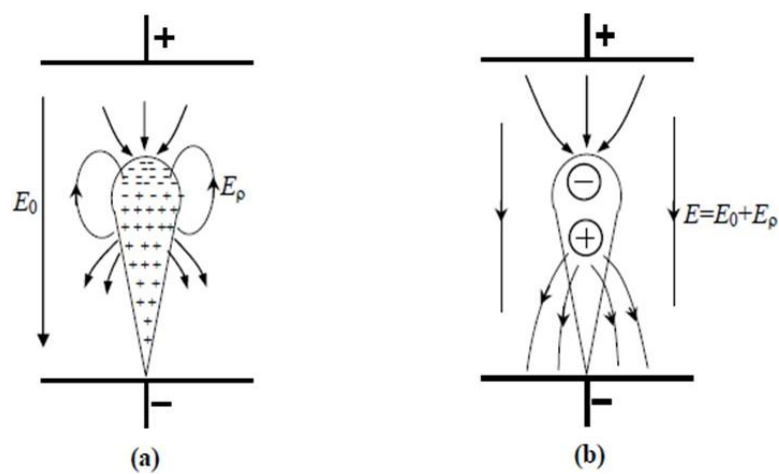


Fig I.2 : Schéma d'une avalanche primaire[11]

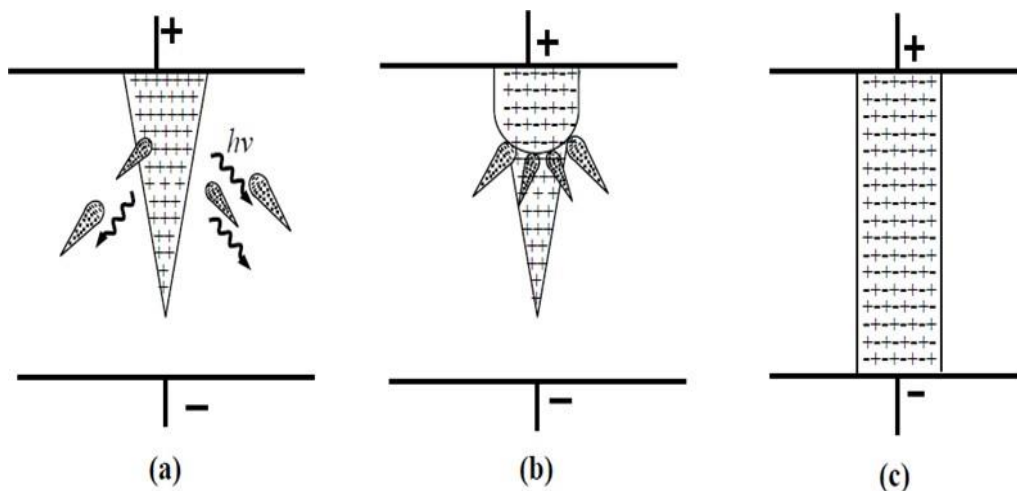


Fig I.3 : Passage de l'avalanche électronique au streamer. [12,13]

I.3 Décharge couronne

I.3.1 Description phénoménologique de la décharge couronne

La décharge couronne est créée entre deux électrodes fortement dissymétriques figure (I.4) par application d'une haute tension (continue, alternative ou pulsée) à l'électrode ayant le plus petit rayon de courbure (électrode active). Cette forte courbure provoque un champ électrique réduit autour de l'électrode qui décroît très rapidement au fur et à mesure que l'on s'en éloigne. [7,14]

Dans la zone près de l'électrode active, la valeur de champ est suffisante pour ioniser le gaz et les avalanches électroniques se développent, ce qui permet rapidement l'accumulation d'une charge d'espace à l'origine de la propagation de la décharge naturellement dans cette zone proche du fil, les processus d'ionisation prédominent sur les processus d'attachement des électrons. En revanche, si on s'éloigne du fil, le champ électrique devient plus faible. L'avantage de la décharge couronne est de pouvoir fonctionner avec tous les types d'alimentation électrique. [7,14]

Lors de la décharge couronne, les phénomènes observés sont de nature optique, acoustique et électrique. Ils dépendent de plusieurs paramètres, dont les paramètres géométriques (forme et dimension des électrodes, distance inter-électrode...), paramètres du gaz inter-électrode (nature, pression, température, humidité...) et paramètres électriques (polarité de la tension appliquée,...).

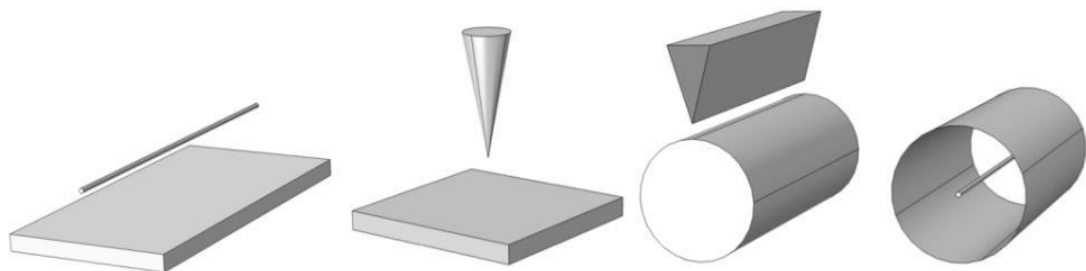


Figure I.4 : Exemples de configurations d'électrodes pour la génération de décharges couronnes (fils/plan, pointe/plan, couteau/plan, et fils/cylindre) [15]

I.3.2 Types de décharges couronnes

I.3.2.1 Décharge couronne positive

La décharge couronne positive est celle qui se produit quand le fil est porté à un potentiel positif et la plaque à la terre. Dans la zone de champ intense autour du fil, des électrons sont

produits par photo-ionisation et sont accélérés vers l'anode (le fil). Autour de celle-ci, se développe alors une région de forte ionisation : zone en pointillé de la figure (I.5.)

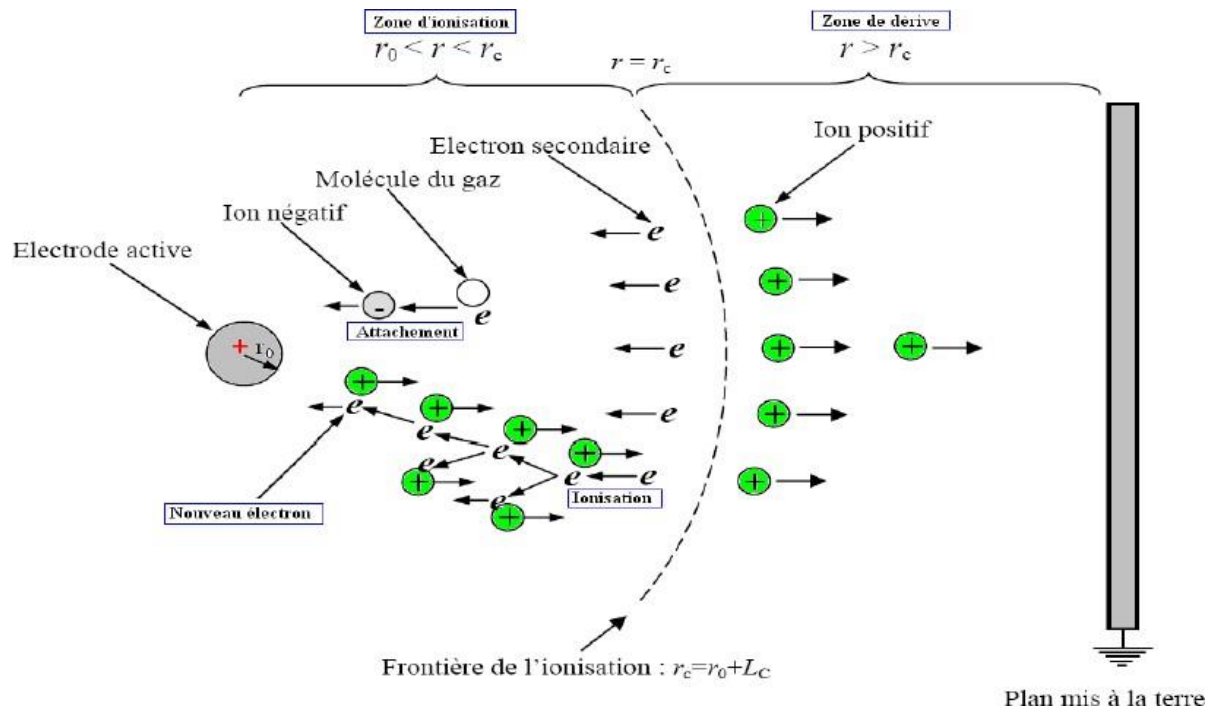


Figure I.5 : Schématisation d'une décharge couronne continue positive [16]

Les ions positifs ainsi créés sont repoussés par l'anode, sous l'effet des forces de Coulomb, jusqu'à une distance du fil au-delà de laquelle le champ électrique trop faible ($< 30 \text{ kV/cm}$ dans l'air à pression atmosphérique) ne permet plus la création d'ions positifs. Les ions positifs migrent donc vers la cathode (la plaque). Cette zone unipolaire, puisqu'il n'y a que des ions positifs, est appelée région de « dérive » [17] figure (I.5). 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 L'oiseau étal, (2002) [18], la décharge est composée d'une phase de propagation du streamer (durée de la propagation de 50 ns à la vitesse de $2 \times 10^5 \text{ m/s}$) 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. (1985) indique qu'un courant positif de $50 \mu\text{A}$ se décomposerait en un courant unipolaire continu de $20 \mu\text{A}$, distribué uniformément à la surface de la cathode, et de streamers contribuant à $30 \mu\text{A}$ percutant la cathode à une fréquence de 10 kHz .

Une succession d'avalanches se forment dans une certaine zone de tension, mais il est quand même difficile d'obtenir un phénomène stable.

I.3.2.2 Décharge couronne négative

Dans le cas où le fil est porté à un potentiel négatif, il y a toujours création d'électrons par photo-ionisation et apparition de la zone d'ionisation autour du fil. Goldman et Sigmond, expliquent que les ions positifs alors créés reviennent rapidement à la cathode. Seuls les ions négatifs créés par attachement dans une zone où le champ est plus faible peuvent migrer vers la plaque. De plus, lorsque la haute tension dépasse un seuil, il y a passage à l'arc. [3,15, 17]

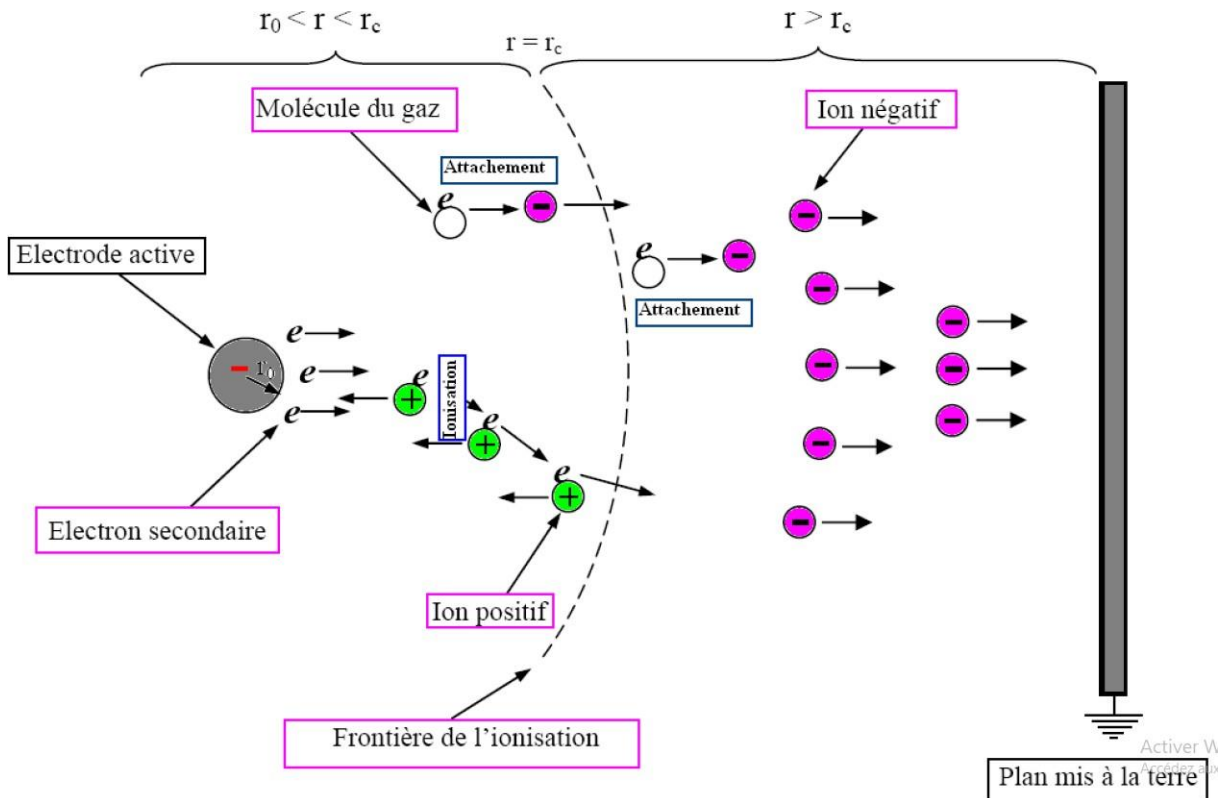


Figure I.6 : Schématisation d'une décharge couronne continue négative [16]

Le courant de cette décharge est dû à des impulsions de Trichel à une fréquence qui dépend de la tension appliquée [19]. Ces impulsions sont régulières et sont dues au champ électrique qui s'affaiblit au voisinage de la cathode. Les ions négatifs empêchent en effet la multiplication des avalanches électroniques. Une fois ces ions migrés vers l'anode, de nouvelles avalanches apparaissent. L'intervalle entre deux pics du courant, impulsions de Trichel, dépend donc du temps nécessaire aux ions négatifs pour atteindre l'anode. Les mécanismes physico-chimiques au sein des décharges couronnes sont assez complexes et sont encore amplement étudiés par les physiciens des plasmas, car ils ne sont pas encore totalement connus.

a) Apparence lumineuse

Un courant de particules négatives part du fil vers le plan, il atteint 1 à 100 μ A.

On obtient (avec un fil) une zone lumineuse en forme de champignon qui a la couleur bleue violacée dans l'air [16]. Cette couleur est due au spectre de l'azote et des composés oxygénés. Dans le cas d'un fil, celui-ci est bordé de petits champignons. Une gaine sera formée autour du fil quand on augmente la tension.

b) Stabilité du phénomène

Ce phénomène d'effluve négatif ne s'étend qu'à une faible distance du fil, donc pas question de formation d'un canal entre électrodes ; on peut réduire leur distance sans qu'il se produise d'étincelle. Parce que l'étincelle se produit quand elle part d'un fil positive, l'effluve négatif ne tourne pas de lui-même à l'étincelle. C'est un phénomène stable qui se confine au voisinage du fil [20].

I.3.3 Facteur influent la décharge couronne

Plusieurs facteurs peuvent influencer le seuil et la caractéristique de la décharge couronne.

On distingue trois facteurs essentiels :

- ✓ Facteurs géométriques
- ✓ Facteurs physiques
- ✓ Facteurs électriques.

I.3.3.1 Facteurs géométriques

- L'augmentation du rayon de courbure augmente la tension de seuil d'apparition de l'effet couronne.
- La distance inter-électrodes : le courant est plus important et croît plus rapidement avec la tension appliquée pour de faibles distances inter-électrodes. De plus, les seuils de décharge couronne apparaissent pour des valeurs de tensions inférieures dans le cas de faibles distances inter-électrodes [21] ;
- La distribution du champ électrique dans l'espace inter-électrodes dépend de la configuration géométrique des électrodes comme dans le cas des géométries pointe-plan et fil- plan. Dans la configuration nappe de fils-plan, la décharge couronne présente une zone de stabilité et une très bonne gamme de fonctionnement, par contre pour le cas en géométrie (fil- plan) dès l'apparition du champ électrique, la décharge transite rapidement vers l'arc électrique ; donc la gamme de fonctionnement est très faible [6].

I.3.3.2 Facteurs physiques

La décharge couronne est influencée par de nombreux facteurs : l'humidité, la température et la pression. Des études expérimentales ont été menées pour comprendre l'effet de ces paramètres physiques.

1. Effets de l'humidité sur la décharge couronne

Nous présentons ici une nouvelle méthode de collecte des aérosols, pouvant capturer efficacement et indépendamment de leurs tailles toutes sortes d'aérosols, dont la taille peut varier de quelques dizaines de nanomètres à quelques micromètres (taille 10nm-10 μ m). Le système de collecte consiste en un électrofiltre standard, dans lequel une petite quantité de vapeur d'eau (humidité de l'air) est injectée au cœur de l'écoulement d'air de façon à augmenter leur taille, ce qui permet d'augmenter significativement le rendement pour la collecte des particules nanométriques. Cette méthode a l'intérêt majeur de présenter un bon rendement pour une gamme très étendue de tailles de particules, et de concentrer les particules collectées dans un petit volume d'eau.

La vapeur d'eau injectée a une influence sur le comportement de la décharge couronne. L'augmentation de l'humidité conduit à la décroissance de la tension seuil et la mobilité des porteurs de charges de la décharge couronne. En effet, l'eau contenue dans l'air se comporte comme un gaz électronégatif [21].

2. Effets de la température sur la décharge couronne

Des études expérimentales ont été menées pour comprendre l'effet de température sur la décharge couronne :

Avec l'augmentation de la température à la pression normale, la rigidité diélectrique de l'air diminue, ce qui favorise la décharge couronne à cause de l'augmentation du libre parcours moyen [21], lorsque la température augmente, les électrons gagnent plus d'énergie pour former l'avalanche. Ainsi, le seuil de la décharge couronne diminue à une température élevée des gaz [19]. Une élévation de température produit un accroissement de la mobilité des ions. On obtient alors une intensité d'ionisation plus importante dans l'espace de la couronne et un accroissement du courant dans la zone extérieure. La tension d'apparition de l'effet couronne devient plus faible. Par ailleurs, la densité des gaz augmente en même temps que la température. Ainsi la vitesse de migration, et le rendement du dépoussiérage diminuent quand la température augmente [7].

3. Effet de la pression sur la décharge couronne

L'influence de la pression sur le courant de décharge fourni par la source d'ions est très marquée. Dans le domaine [0,1-1,0] bar, un chercheur du domaine a trouvé que l'effet de la pression sur le seuil est équivalent à celui de la distance inter-électrodes [14]. D'après la loi de Paschen, plus la pression augmente, plus le nombre de particules dans l'espace inter-électrodes augmente, et les libres parcours moyens des particules chargées diminuent. Par conséquent, l'ionisation de l'air est réduite. Le seuil d'apparition de la décharge couronne augmente avec la pression, par contre la mobilité des porteurs de charges diminue [19, 21].

I.3.3.3 Facteurs électriques

L'effet couronne diffère selon la tension appliquée à un système d'électrodes (continue ou alternative). Les différents modes d'émission de charges en tension alternative sont observés également en tension continue, la seule différence est que l'effet couronne en tension alternative implique que la concentration des émissions de charges correspond à la crête de la sinusoïde du courant, tandis qu'en continu l'émission de charges est permanente.

I.3.4 Conséquence de l'effet de couronne dans l'air

Au niveau du transport de l'énergie électrique et sur les composantes des lignes de transmission à haute tension, l'effet couronne peut apparaître de façon indésirable, où il représente une source des pertes électriques, d'interférences radiophoniques, de bruits audibles, de la détérioration de l'état de surface des composants et de vibrations mécaniques des conducteurs [23]. De plus, les sous-produits de l'effet couronne dans les milieux isolants de certains disjoncteurs (SF6) et transformateurs (huile), diminuent leur pureté et leurs propriétés isolantes. Les décharges électriques génèrent aussi des gaz dans l'air environnant comme l'ozone, qui est un gaz irritant. [10,16]. De ce fait minimiser l'effet de couronne demeure un défi dans la conception des composants de la haute tension.

I.3.5 Applications industrielles

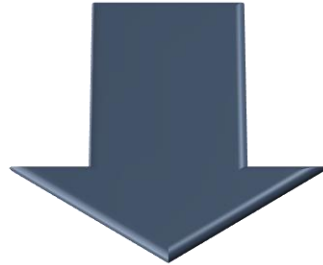
La décharge couronne présente des aspects utiles recherchés pour ses nombreuses applications : dépôt de charge en reprographie, traitement de surfaces métalliques et isolantes, textiles, applications biologiques, séparateur électrostatique, dépoussiéreur électrique, neutralisation, production d'ozone [10,15], photocopieur, laser à azote, refroidissement de composants électroniques (la migration des particules ionisées génère un flux qui expulse l'air chaud), coloration des véhicules ... etc.

I.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons rappelé les différents aspects de l'effet couronne ainsi que les mécanismes de création de la décharge couronne. Les mécanismes de développement de l'avalanche électronique et de propagation des décharges ont été décrits. Les électrons accélérés par le champ électrique entrent en collision avec les molécules neutres présentes dans l'espace inter-électrode et conduisent à l'excitation et l'ionisation du gaz.

Lors de la décharge couronne, l'électrode de faible rayon de courbure soumise à une haute tension est le siège d'un fort champ électrique, qui est le facteur clé dans l'ionisation des espèces neutres présente dans l'aire. Les paramètres essentiels influençant la décharge sont : le diamètre des conducteurs, la tension appliquée, la distance entre les électrodes, l'humidité, la température et la pression.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter l'installation expérimentale ainsi que tous le matériel utilisé et les techniques de mesures.



Chapitre II

‘Techniques expérimentales’

Chapitre II

Techniques expérimentales

II.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude et à la présentation de l'ensemble des moyens et du matériels expérimentale utilisé dans ce travail, ce dernier a pour but de déterminer les paramètres de la décharge couronne (tension de seuil, densité du courant et la caractéristique Courant-Tension), ainsi que les facteurs qui influent sur cette décharge.

Dans le premier cas sans grille nous avons mesuré les grandeurs suivantes : la caractéristique ($I V$) et la densité du courant (J) pour les deux polarités positive et négative, en variant plusieurs paramètres, par la suite on a inséré une grille conductrice entre l'électrode active et passive et on a refait les mêmes mesures pour pouvoir évaluer l'influence de la grille sur la décharge couronne.

II.2 Dispositif expérimental

Le dispositif utilisé est représenté sur la figure (II.1), les fils sont alimentés par une source de haute tension, qui délivre une tension continue variable et le courant est collecté à l'aide d'une sonde circulaire inséré au milieu et au même niveau que le plan de masse. Elle est liée à un pico-ampèremètre via un câble coaxial.

II.2.1 Le système d'électrodes utilisé

Les systèmes d'électrodes utilisé dans nos expériences est celui de *nappe de fils -plan* et *nappe de fils-grille-plan*. En effet, ce système est composé de deux électrodes principales, la première est l'électrode active composé de l'ensemble des fils à très faible rayon de courbure ($0.25mm$ mesurée à l'aide d'un Palmer), qui sont attaché à deux support en plexiglas d'une façon qu'ils soient bien tendu, parallèle au plan de masse et à une hauteur H par rapport à celui-ci (H : distance entre plan et fils). La deuxième électrode est l'électrode passive composée d'un plan collecteur et de deux plans de garde qui sont directement mis à la terre comme illustré sur la figure (II.1).

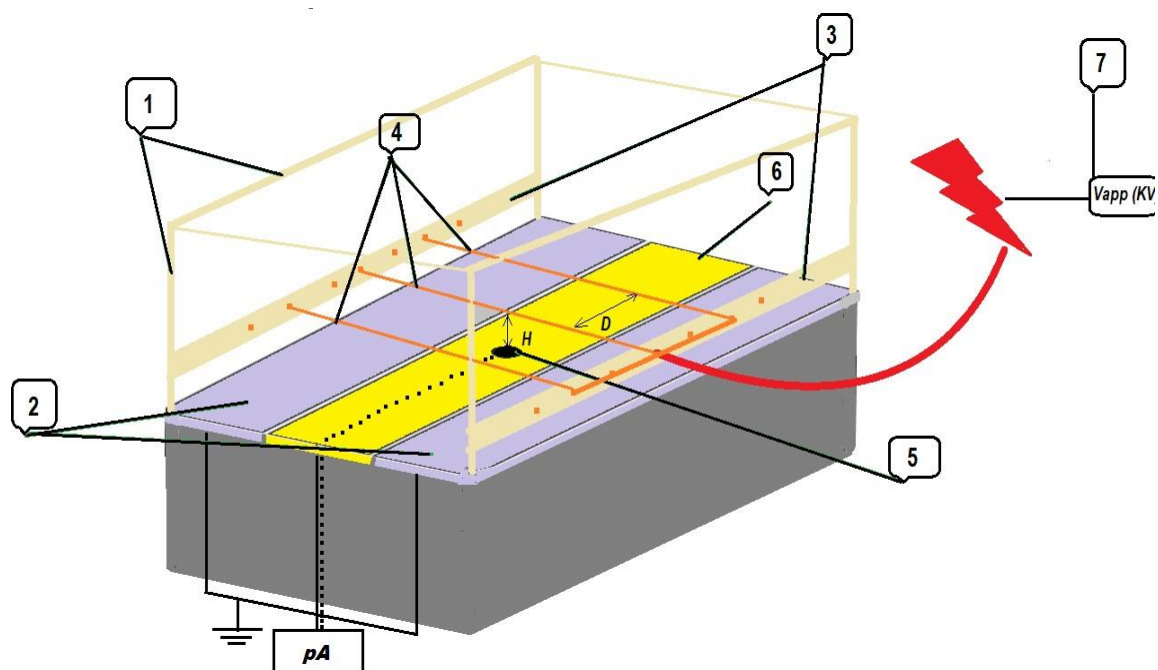


Fig II.1 : Représentation schématique du dispositif expérimentale

(1) support en bois, (2) deux plans de gardes, (3) support en plexiglass, (4) : fils conducteur, (5) sonde circulaire, (6) plan collecteur, (7) source de haute tension, (pA) : pico-ampèremètre, (H) : distance inter-électrodes, (D) : distance inter-fils.



Fig II.2 : Type de conducteur (électrode active)

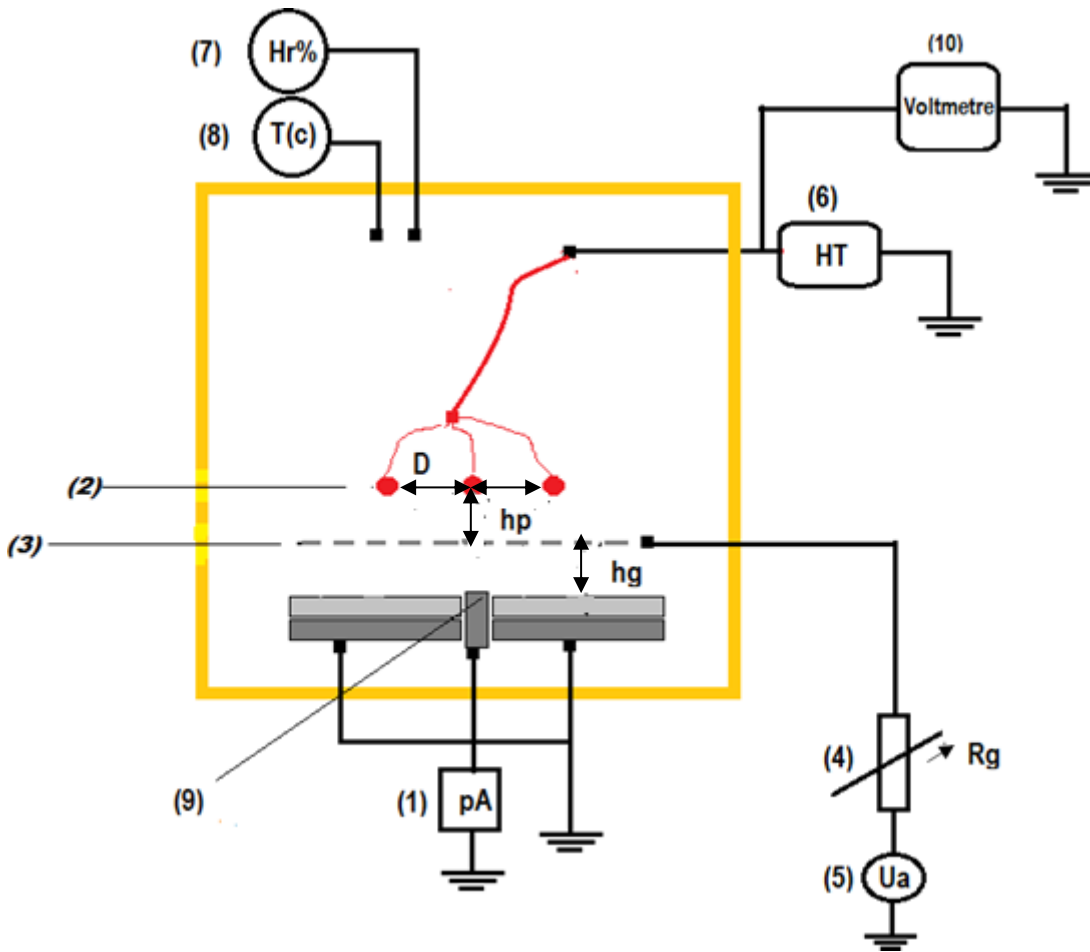


Fig II.3 : Représentation schématique du système de décharge (vue de coté)

(1) : pico-Ampèremètre (2) : électrodes actives (fils), (3) grille métallique (4) résistance variable (5) : multimètre numérique, (6) : source de haute tension, (7) : hygromètre à cheveux, (8) : thermomètre à cheveux, (9) : la sonde, (10) : voltmètre de crête. (D) : la distance inter-fils ; (h_p) : la hauteur fils-grille ; (h_g) : la hauteur plan-grille.

II.2.2 La grille conductrice

La grille conductrice est placée au milieu, 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 tel que $\{V_g = R_g * I_g\}$.

Afin de contrôler le dépôt de charges à un potentiel de surface désiré, 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 $M\Omega$.

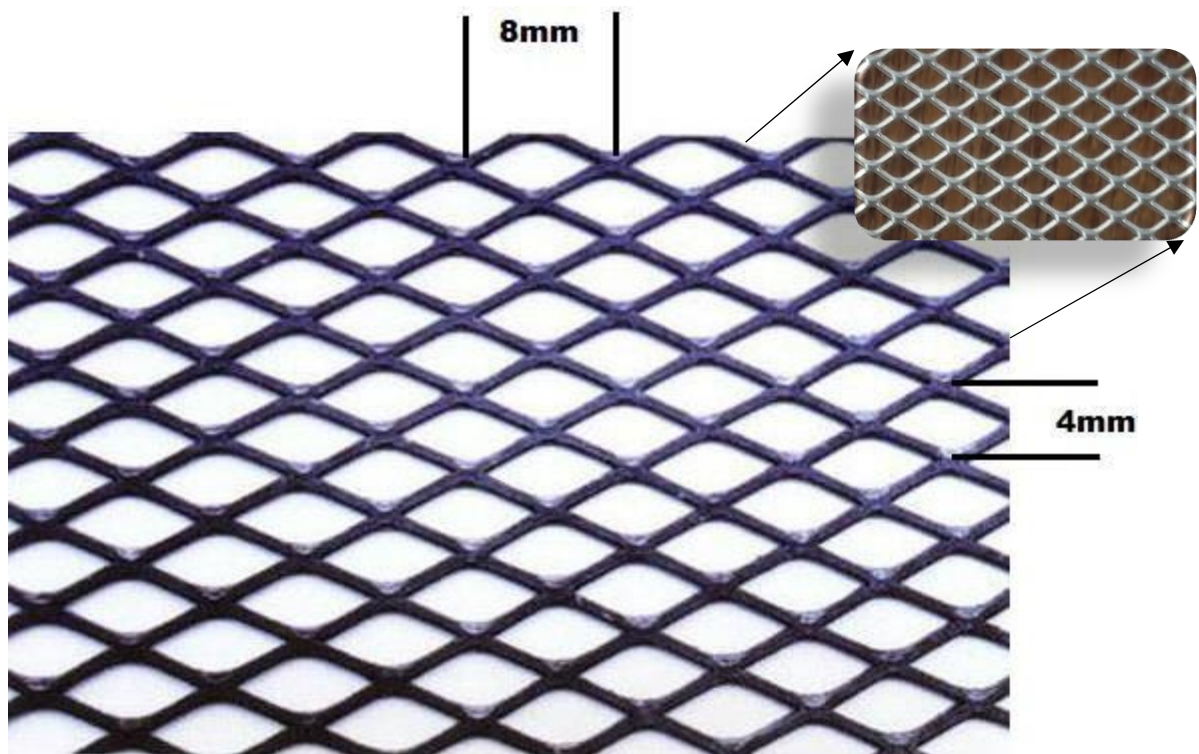


Fig II.4 : Représentation de la grille conductrice

II.2.3 La source de haute tension

Pour mesurer les paramètres de la décharge couronne en configuration nappe de fils-plan, nous avons besoin d'une installation de haute tension continue en polarité positive et négative. Pour cela, nous avons utilisé une source de haute qui délivre des valeurs de tensions variant de 0 à 40 kV figure (II.5). 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 R₀ de valeurs 106 kΩ et 250 MΩ respectivement.

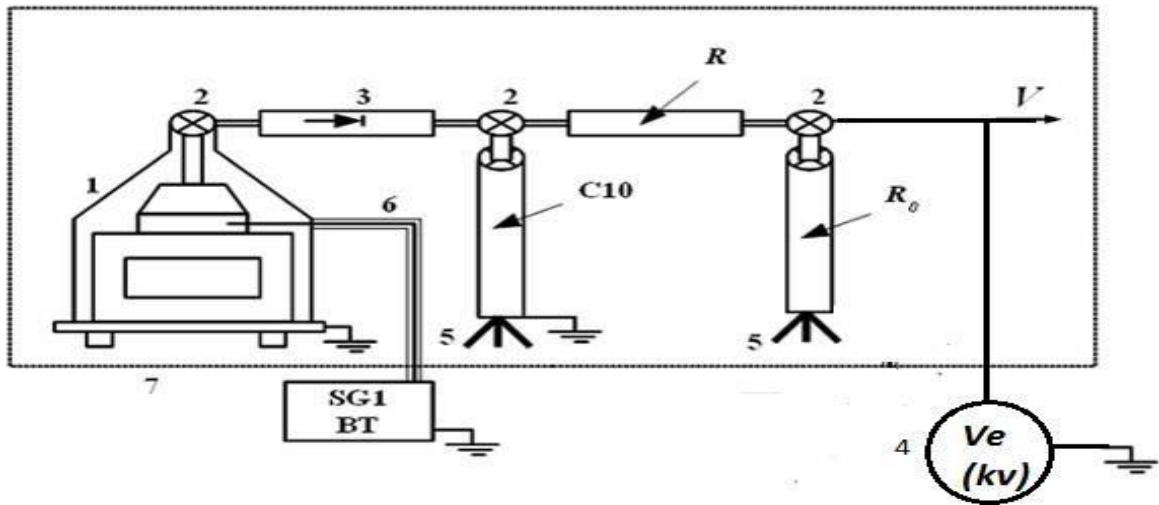


Fig II.5 : Schéma de l'installation de haute tension

(1) Transformateur haute tension (T100) ; (2) Nœuds de liaison ; (3) Diode haute tension(G270) ; (4) voltmètre de crête ; (5) Support d'éléments ; (6) Câble coaxial ; (7) Grille deprotection ; SG1 : Alimentation basse Tension ; C10 : Condensateur de lissage ; R : Résistanced'amortissement ; R0 Résistance haute tension

II.2.4 Matériels utilisé



Fig II.6 : Appareilles de mesure.

(1) Voltmètre de crête (2) Pico ampèremètre (3) Générateur de haute tension.



Fig II.8 : Installation de haute tension

(1) Transformateur haute tension (T100), (2) Diode haute tension (G270), (3) Résistance d'amortissement (R_a). (4) Résistance haute tension (R_0), (5) Condensateur delissage (C10).

II.3 Méthode de mesure des paramètres de la décharge

II.3.1 Mesure du courant de décharge

Pour mesurer le courant de la décharge (I), la sonde (S) et le plan (P) sont reliées à un pico-Ampèremètre à l'aide d'un câble coaxial blindé. La précision des mesures dépend du bon ajustement des fils et de la vérification de la distance inter-électrode (H) entre les fils et le plan, et aussi dépend du bon centrage de la sonde et du courant de fuite causé par l'accumulation de poussière entre la sonde et l'électrode active. Pour ce faire, avant toutes mesures, la sonde doit être nettoyée avec de l'acétone et la position des fils par rapport à la sonde (S) doit être ajustée.

La mesure du courant de la décharge couronne (I) ainsi que la densité du courant collecté en fonction des tensions appliquées V_{app} sur l'électrode active, est effectuée à l'aide d'un Pico-Ampèremètre (pA).

II.3.2 Mesure du courant et de la tension de la grille

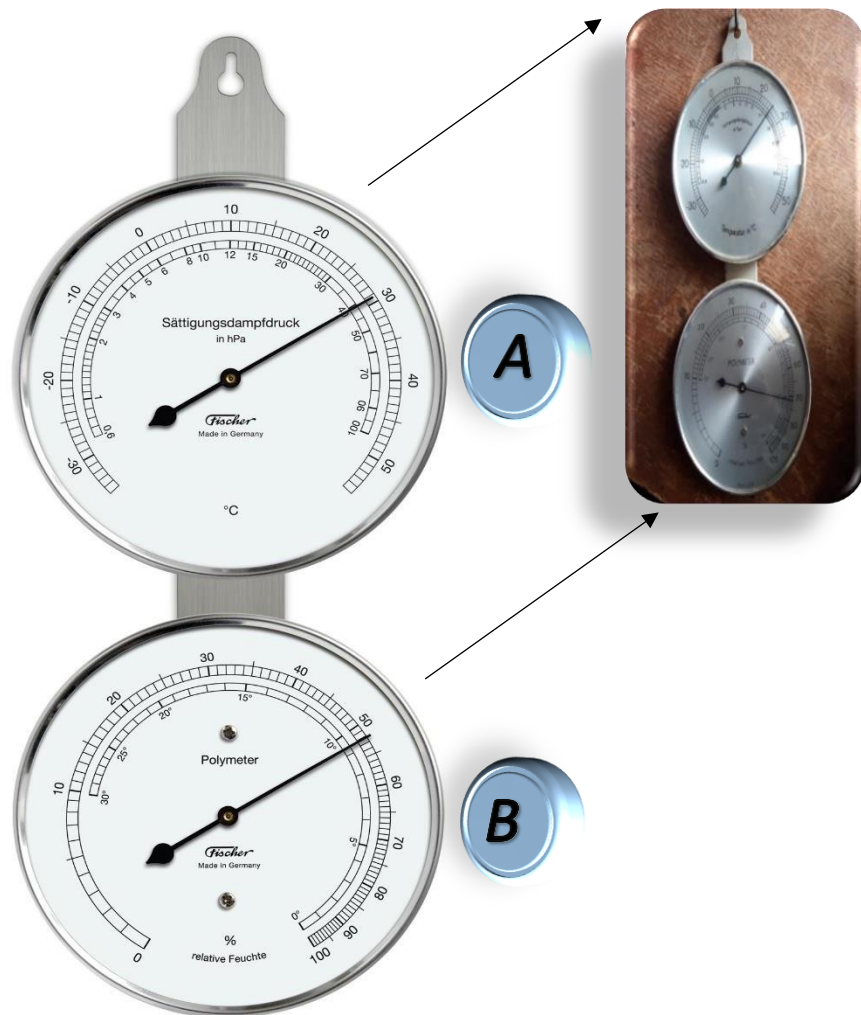
La mesure du courant de décharge (I_g) qui traverse la grille ainsi que le potentiel (V_g) de cette dernière est effectuée à l'aide d'un multimètre numérique. La grille est reliée au multimètre par câble coaxiale qui est à son tour reliée à une résistance variable R_g qui contrôle le potentiel de la grille V_g .

$$V_g = I_g * R_g \quad (\text{II.1})$$

II.3.3 Mesure des paramètres de l'air

Étant donné la sensibilité de la décharge couronne aux paramètres physiques de l'air. Il est alors nécessaire de tenir compte des conditions atmosphériques dont lesquelles les mesures expérimentales ont été prises. Et pour cela nous avons effectué durant l'étude expérimentale, des relevées, de température à l'aide d'un thermomètre à cheveux (A), et de l'humidité, à l'aide d'un hygromètre à cheveux (B), dont les plages de mesure sont $-35^\circ\text{C} < T < 55^\circ\text{C}$ et $0 < H_r < 100\%$ figure (II.8).

Les diverses séries de mesures ont été effectuées dans des conditions de température, d'humidité et de pression différentes.



*Fig II.8 : Photographies des appareils de mesure de :
a) Température (Thermomètre) ; b) Humidité (Hygromètre).*

II.3.5 Détermination de la densité du courant

Afin de déterminer la distribution de la densité du courant sur le plan, le fil (électrode active) dont la position initiale se trouve suspendue sur un support en plexiglas juste au-dessus de la sonde séparé d'une distance H .

La valeur de la densité du courant (J) est définie comme étant le courant par unité de surface, elle est calculée par l'équation (II.2) qui donne la densité du courant en fonction du courant collecté par la sonde circulaire et de la surface moyenne (S) de cette dernière figure (II.9 et II.10).

$$J = \frac{I}{S} \text{ (}\mu\text{A/mm}^2\text{)} \quad \text{(II.2)}$$

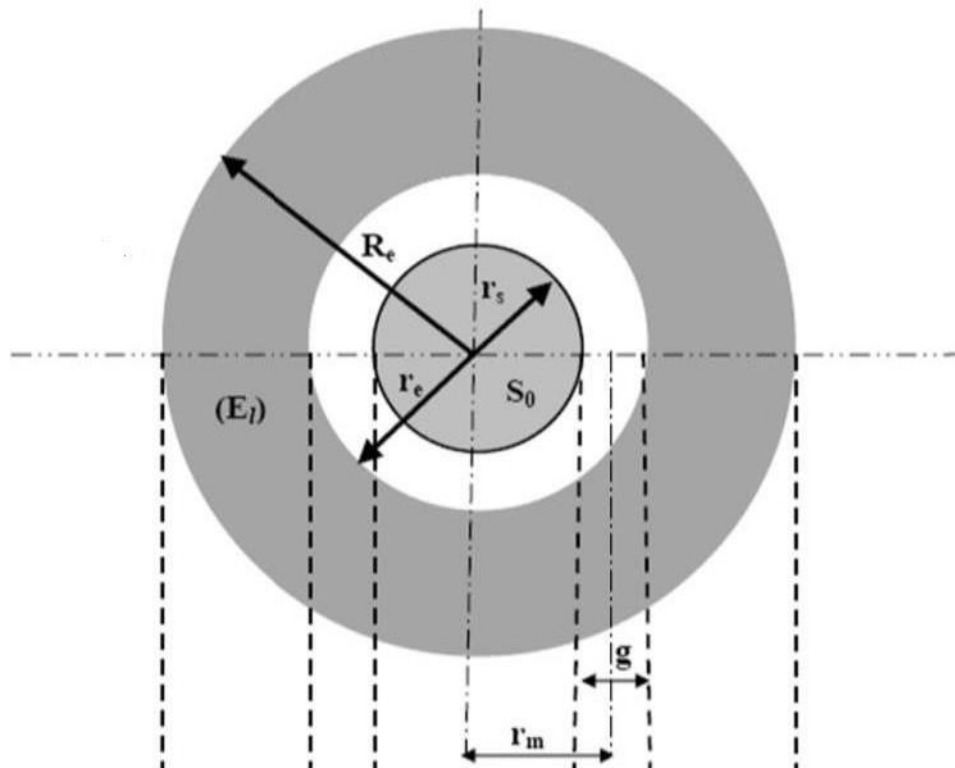


Figure II.10 : Vue de dessus de la sonde circulaire

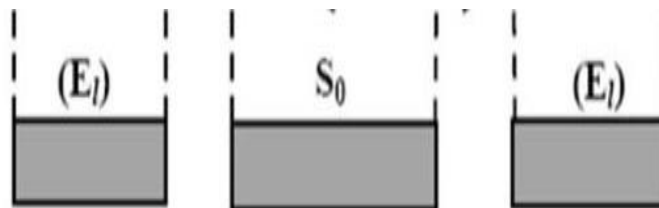


Figure II.10 : Coupe transversale de la sonde

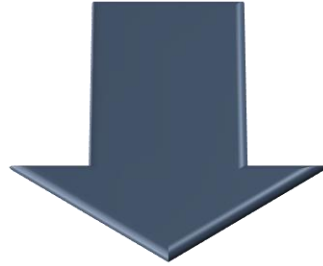
II.3.5.1 Les dimensions de la sonde

- Rayon du collecteur (sonde) $r_s=4.7/2=2.35 \text{ mm.}$
- Rayon du trou $r_e=5/2=2.5 \text{ } g=r_e-r_s.=0.15\text{mm}$
- Le rayon moyen $r_m=r_s+ (g/2)=2.425 \text{ mm}$
- La surface total de sonde $S_m=\pi.r_m^2=18.474 \text{ mm}^2$

II.4 Conclusion

Ce chapitre est consacré à la présentation du dispositif expérimental et son principe de fonctionnement. Nous avons présenté aussi la méthode de mesure des différents paramètres essentiels qui caractérisent la décharge couronne.

Dans le chapitre qui suit, nous procéderons à présentation et l'interprétation des résultats obtenus de l'étude expérimentale de la décharge couronne en géométrie nappe de fils-plan.



Chapitre III

‘Résultats et discussion’

Chapitre III

Résultats et discussion

III.1 Introduction

Ce chapitre représente 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 du courant), dans les deux types de configurations d'électrodes à savoir fils-plan et fils-grille-plan et l'influence des paramètres (nombre de fils, distance inter-fils et la distance inter-électrodes) sur ces caractéristiques ainsi que l'influence de l'insertion de la grille conductrice entre l'électrode active et passive.

Initialement, on a relevé la caractéristique 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, après on a relevé la densité du courant (J), en fixant la tension appliquée V_{app} , on relève le courant collecté par la sonde **S** pour différentes positions (\mathbf{x}) de l'électrode active. Par la suite, on insérant une grille conductrice, on refait les mêmes essais que précédemment.

III.2 Système fils-plan

III.2.1 Caractéristique courant-tension

On a étudié les caractéristiques Courant-Tension en fonction des paramètres suivants : Nombre de fils N_f , distance inter-fils (D), la distance inter électrodes (H) et la tension appliquée V_{app} .

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

- La tension appliquée pour le fil V_{app} .
- Le courant (I) collecté par la surface de la sonde (S) et le plan (P).

III.2.1.1 Influences de la polarité de la tension appliquée

Les courbes de la figure (III.1) représentent les caractéristiques Courant-Tension en fonction de la polarité de la tension appliquée pour un nombre de fils allant de (1 à 3 fils), la distance inter fils $D=8cm$ et la distance inter électrode $H=3cm$ et on mesure le courant collecté par le plan.

Pour obtenir la polarité négative on a inversé la diode de haute tension (G270).

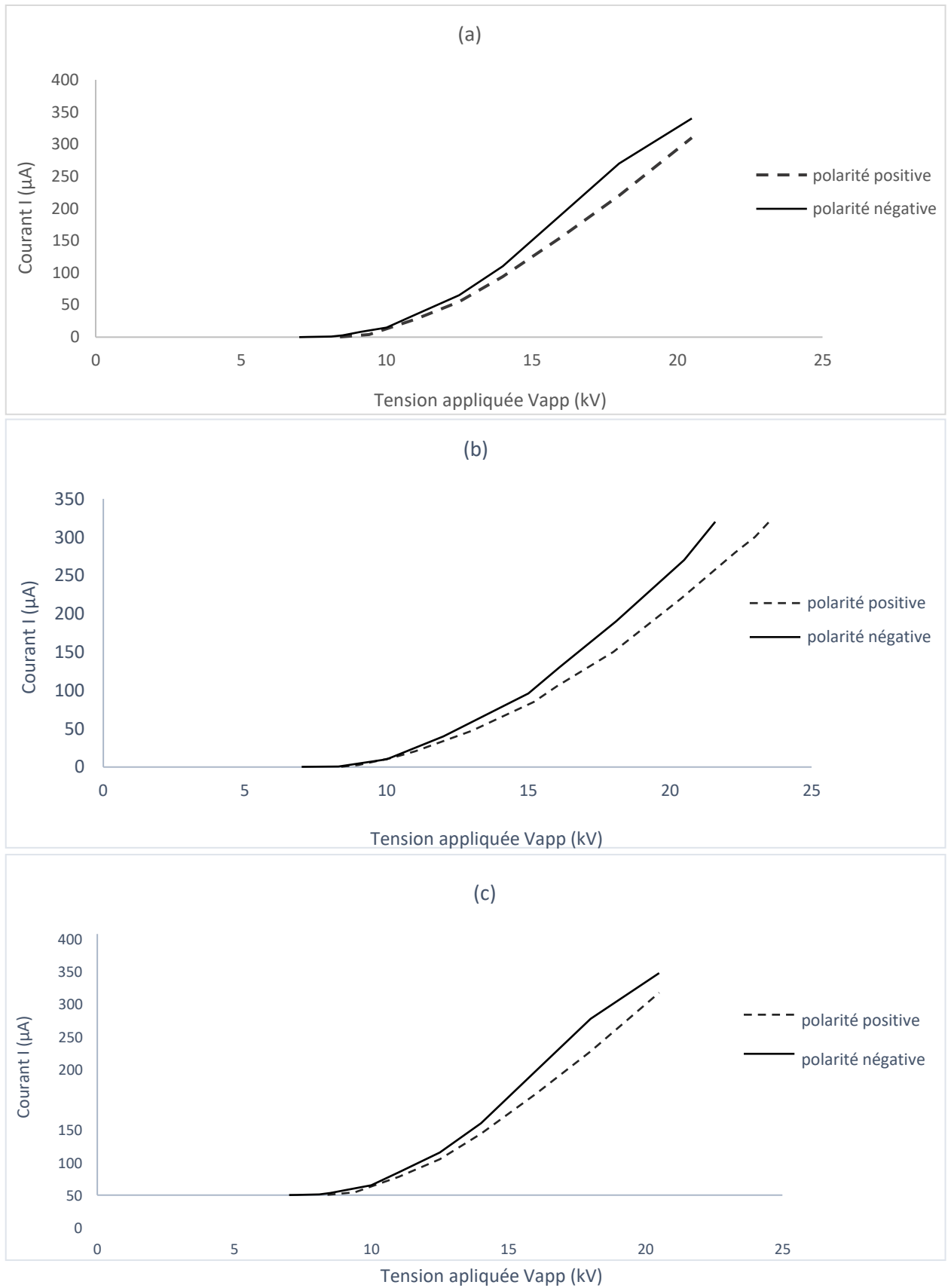


Fig III.1 : Influence de la polarité sur les caractéristiques Courant-Tension pour les configurations d'électrodes a) 3 fils-plan b) 2 fils-plan c) fil-plan, pour les différentes tensions appliquée ($D=8\text{cm}$, $H=3\text{cm}$).

Les courbes montrent que la décharge augmente avec la tension appliquée V_{app} lorsque elle dépasse une certaine valeur V_s (tension seuil d'apparition de l'effet couronne) et ce jusqu'au claquage. Les caractéristiques Courant-Tension ont une forme quadratique (comme la loi de Townsend), la tension d'apparition de la décharge négative est petite devant celle de la positive, ainsi que le courant de décharge en polarité négative est supérieur à la positive pour la même valeur de la tension appliquée, ceci peut être expliqué par la différence de mobilité des ions négative et positive.

Durant ces séries d'expériences, on constate que la décharge positive est plus stable que la décharge négative.

III.2.1.2 Influence du nombre de fils

La figure (III.2) représente la variation du courant de décharge en fonction du nombre de fils allant de (1 à 3 fils), la distance fils-plan est fixée à $H=3\text{cm}$ et la distance inter-fils pour les deux systèmes d'électrodes 2 fils-plan et 3 fils-plan à $D=8\text{cm}$. 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.

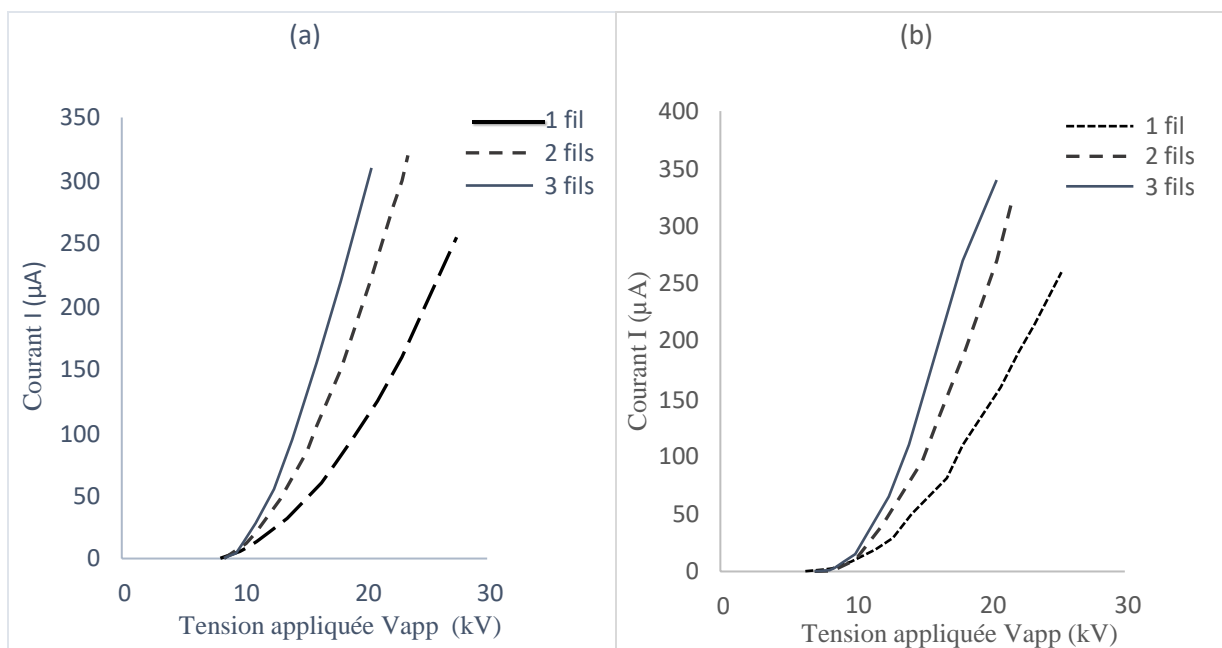


Fig III.2 : Caractéristiques Courant-Tension en fonction de nombre de fils pour : (a) polarité positive (b) polarité négative.

Les courbes montrent que le courant de décharge croît pour la même valeur de tension appliquée V_{app} à chaque fois que le nombre de fils augmente, ceci peut être expliquée par l'augmentation du nombre de région ionisé autour de chaque fil.

III.2.1.3 Influence de la distance inter-fils

Pour le système d'électrodes *3 fils-plan* et une distance inter électrodes constante $H=3\text{cm}$, on a fait varier la distance inter-fils, et on mesure le courant collecté par le plan en fonction de différentes tensions V_{app} . Et cela pour les deux polarités positive et négative.

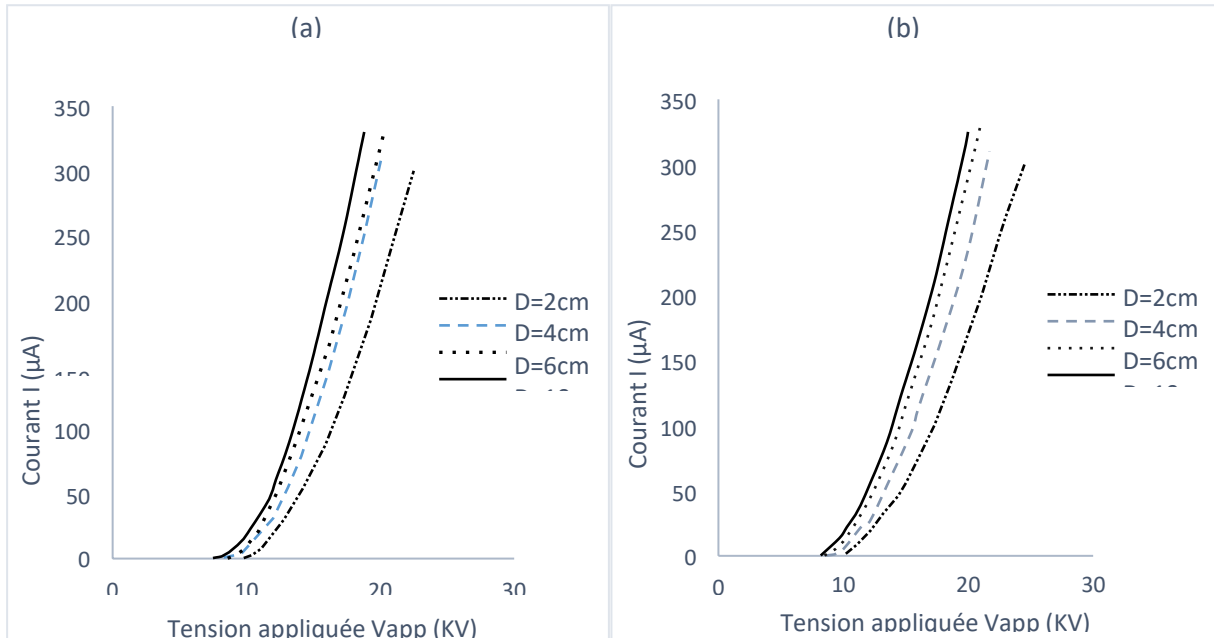


Fig III.3 : Caractéristiques Courant-Tension en fonction de la distance inter-fils pour la configuration *3 fils-plan* a) polarité positive b) polarité négative ($H=3\text{cm}$)

Les courbes représentées sur la figure (III.3) montrent l'influence de la distance inter fils sur la décharge couronne pour le système d'électrodes (*3 fils-plan*), nous constatons que les courants mesurés varient en fonction de la distance inter-fils (D) pour les mêmes tensions appliquées. En effet, l'augmentation continue de la distance (D) fait augmenter le courant de décharge, cela peut être justifié par l'interaction mutuelle entre les décharges générées par les fils qui diminue avec l'augmentation de (D).

III.1.2.4 Influence de la distance inter électrodes

Ces essais consistent à faire varier la distance inter électrodes ($H=2, 3, 4$ et 5cm), pour le système d'électrode (*3 fils-plan*) tout on mesurant le courant collecté par le plan en fonction de différentes valeurs de tensions appliquées V_{app} en polarité positive et négative. On a obtenu les résultats obtenus sont représentés sur les figures (III.4 et III.5). On constate que le courant de décharge diminue avec l'augmentation de la distance inter électrodes, cela est dû à l'affaiblissement du champ électrique moyen situé entre les électrodes. Nous remarquons aussi que le seuil d'apparition de l'effet couronne est d'autant plus faible que la distance est réduite, ce qui nous apparaît d'ailleurs prévisible.

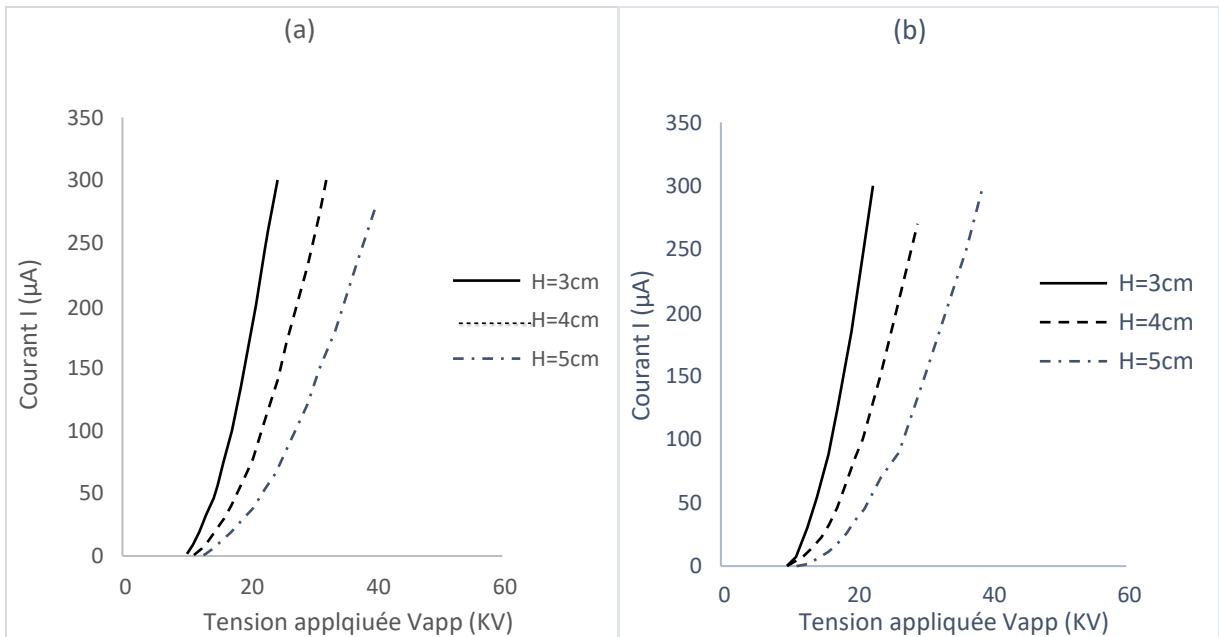


Fig III.4 : Caractéristiques Courant-Tension en fonction de la distance inter-électrodes pour le système 3 fils-plan a) polarité positive b) polarité négative, ($D=2\text{cm}$)

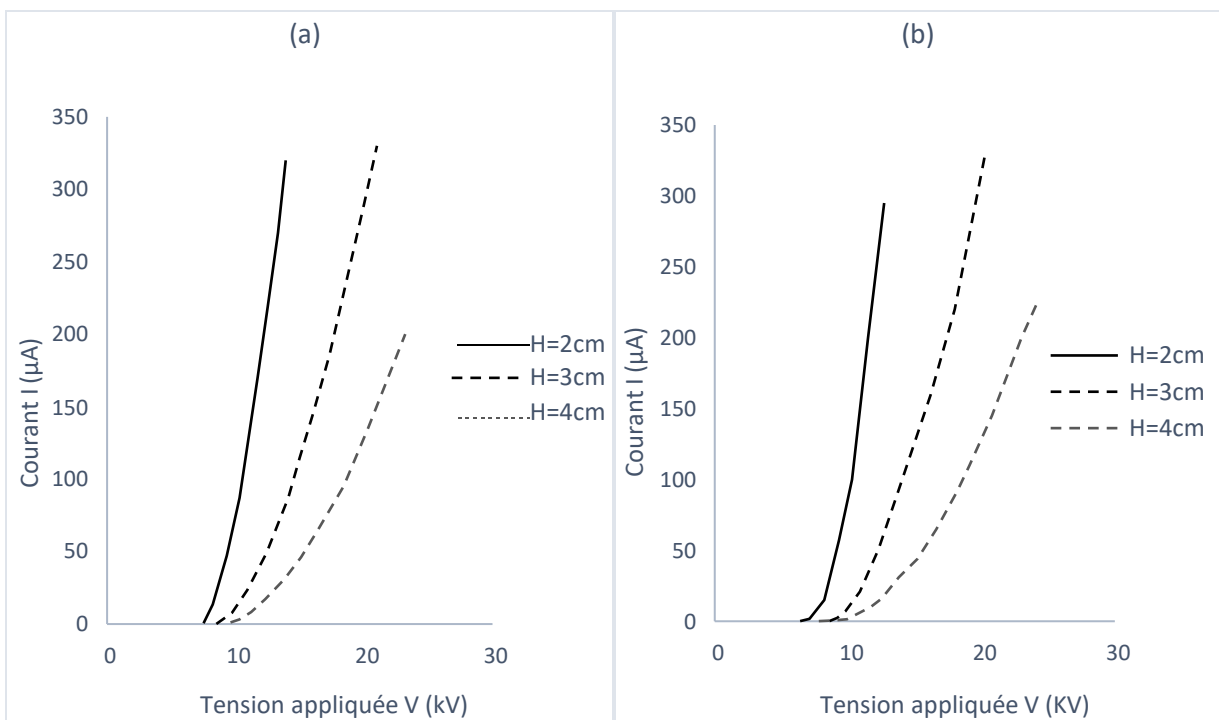


Fig III.5 : Caractéristiques Courant-Tension en fonction de la distance inter-électrodes pour le système 3 fils-plan a) polarité positive b) polarité négative, ($D=6\text{cm}$).

III.2.2 Densité du courant J

La mesure de la densité du courant électrique (J) est effectuée à l'aide d'une sonde circulaire, en divisant le courant collecté par la sonde sur sa surface. Ces mesures ont été effectuées dans l'air ambiant en fonction de plusieurs paramètres à savoir :

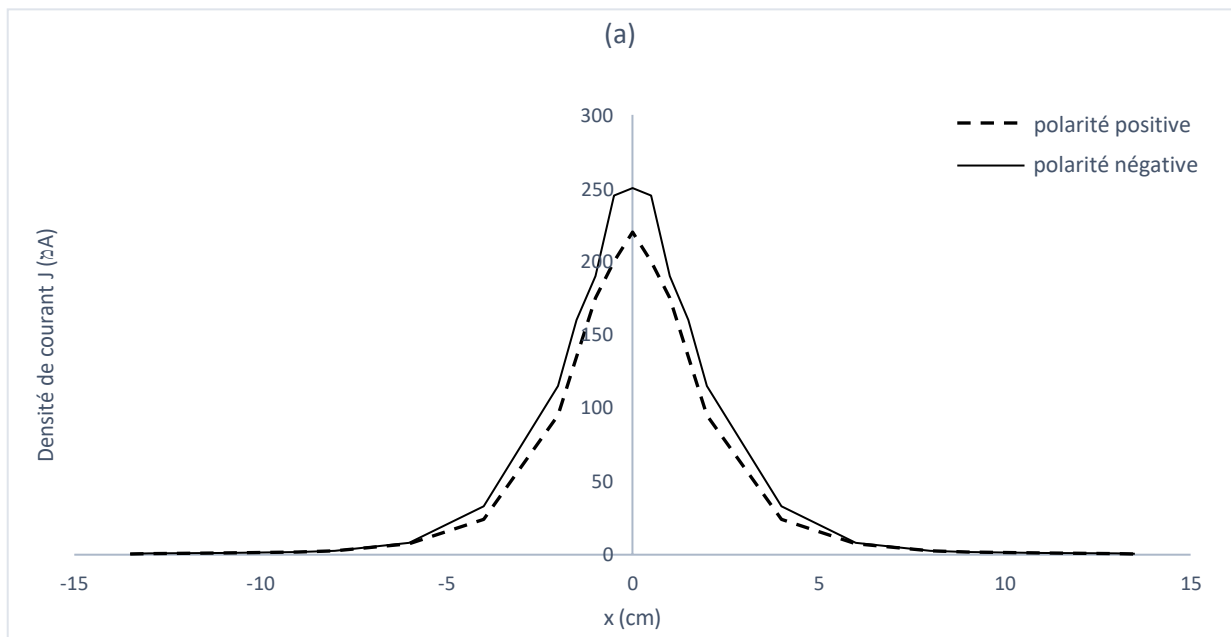
- Le nombre de fils N_f .
- Le niveau de la tension appliquée V_{app} .
- La distance inter-fils D .
- la distance inter-électrodes H .

III.2.2.1. Distribution de la densité du courant sur le plan

Dans cette partie, les mesures de la densité du courant ont été obtenus en faisant déplacer la position des fils par un pas de ($x=1\text{ cm}$) horizontalement par rapport à l'axe de la sonde, jusqu'à ce que le courant s'annule, et cela, pour de différentes valeurs de la tensions appliquées en polarité positive et négative.

III.2.2.2 Influence du nombre de fils

Les courbes sur la figure (III.6) représentent la variation de la densité du courant en fonction de nombre de fils ($N_f=1, 2, 3$ fils). La distance inter-électrodes est fixée à $H=3\text{ cm}$, pour les configurations (2 fils-plan) et (3 fils-plan) et la distance inter-fils est fixée à $D=8\text{ cm}$.



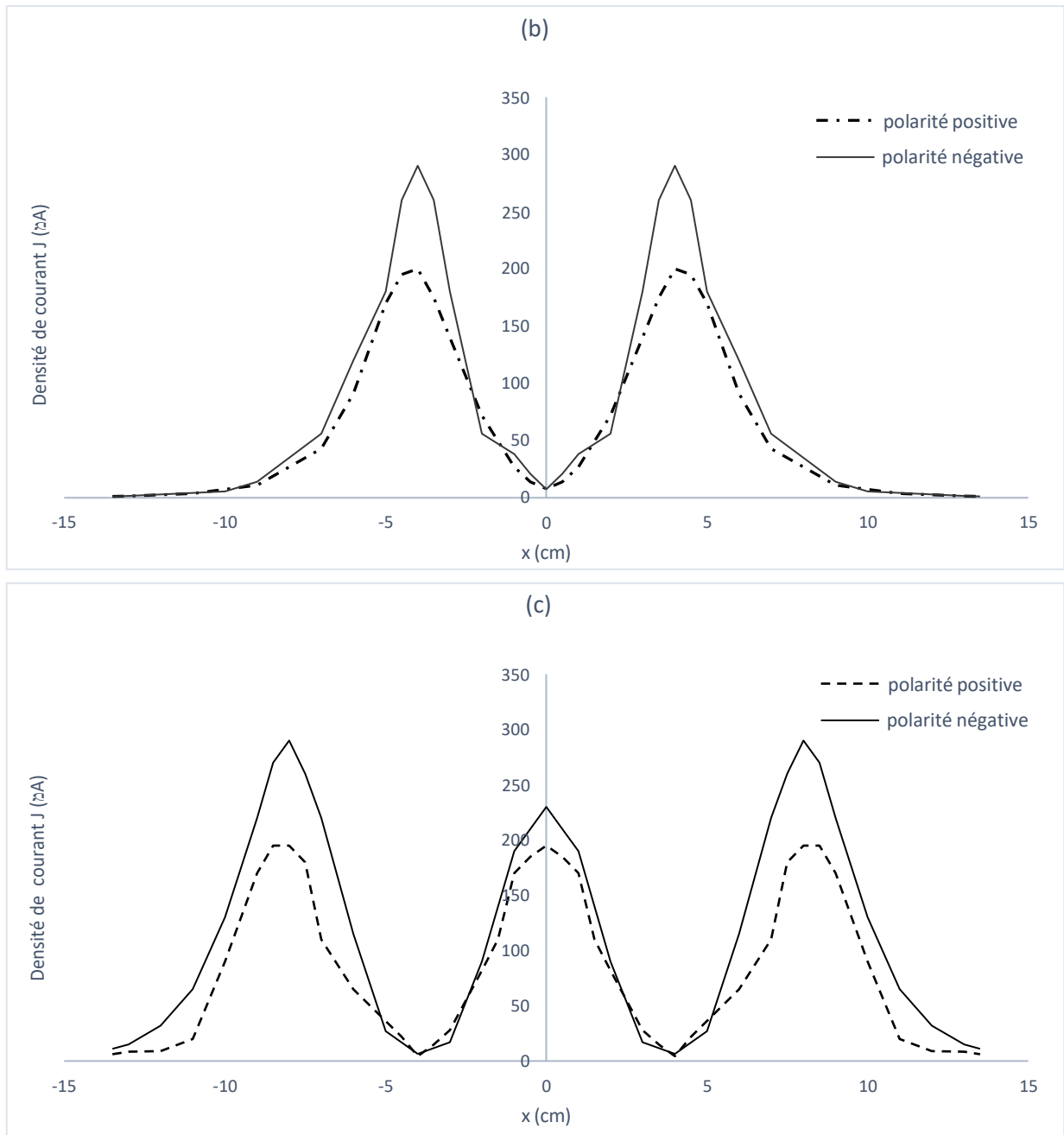


Fig III.6 : Densité du Courant en polarité positive et négative pour les configurations d'électrodes a) fils-plan b) 2 fils plan c) 3fils-plan ($H=3\text{cm}$, $D=8\text{cm}$ et $V_{app}=16\text{kV}$).

On constate que pour la configuration d'électrode *fil-plan* {figure (III.6 (a))}, la densité de courant atteint sa valeur maximale au niveau de la position zéro (qui correspond à la position du fil), puis diminue au fur et à mesure qu'elle s'éloigne d'elle. En effet, pour les configurations *nappe de fils-plan* ($N_f=2$ et 3) représenté dans les figures (III.6, (b) et (c)), on voit que les courbes de la densité du courant ont une allure ondulatoire, avec des valeurs maximales du courant au-dessus des fils et des valeurs minimales au milieu de chaque deux fils voisins.

Pour tous ces essais on constate que le courant de décharge en polarité négative est toujours plus élevé qu'en polarité positive comme on a déjà expliquée dans la section (III.2.1.1).

III.2.2.3 Influence de la variation de la tension appliquée V_{app}

Les courbes représentées sur les figures (III.7 et III.8), montrent l'influence de la variation de la tension appliquée V_{app} sur la densité du courant de la décharge couronne. Pour le système nappe de fils-plan avec N_f (allant de 1 à 3 fils), on a fixé les distance inter-fils $D=8cm$ et inter-électrodes $H=3cm$, puis on a variée la tension appliquée ($V_{app}=12kV$ et $V_{app}=16kV$) pour les deux polarités de tension positive et négative.

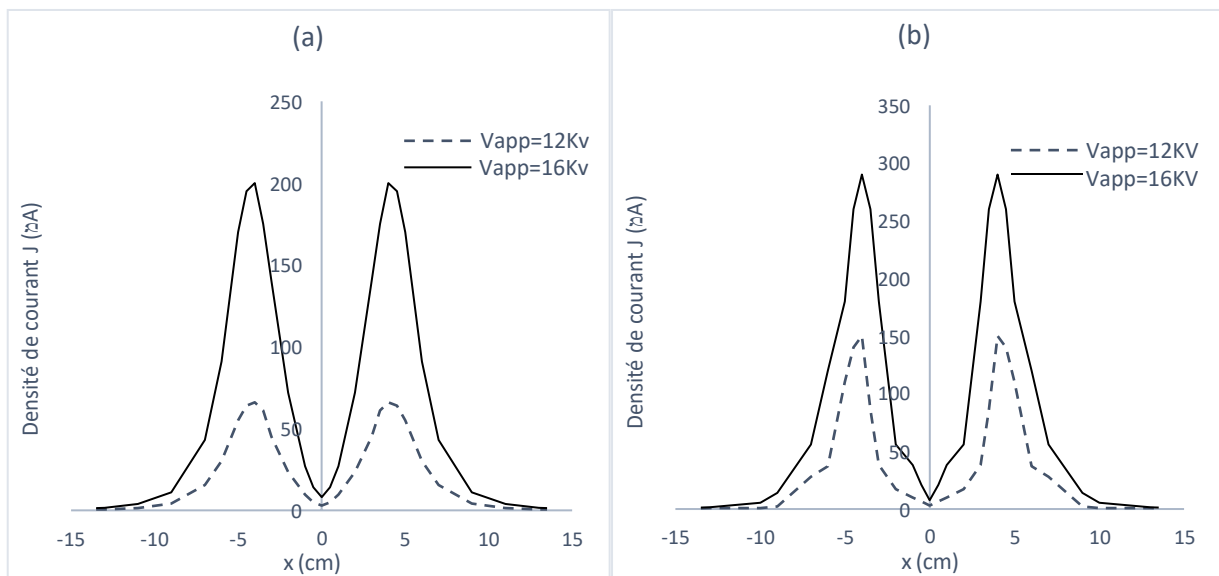


Fig III.7 : Influence de la tension appliquée V_{app} sur la densité du courant a) polarité positive b) polarité négative ($N_f=2$ fils, $H=3cm$ et $D=8cm$).

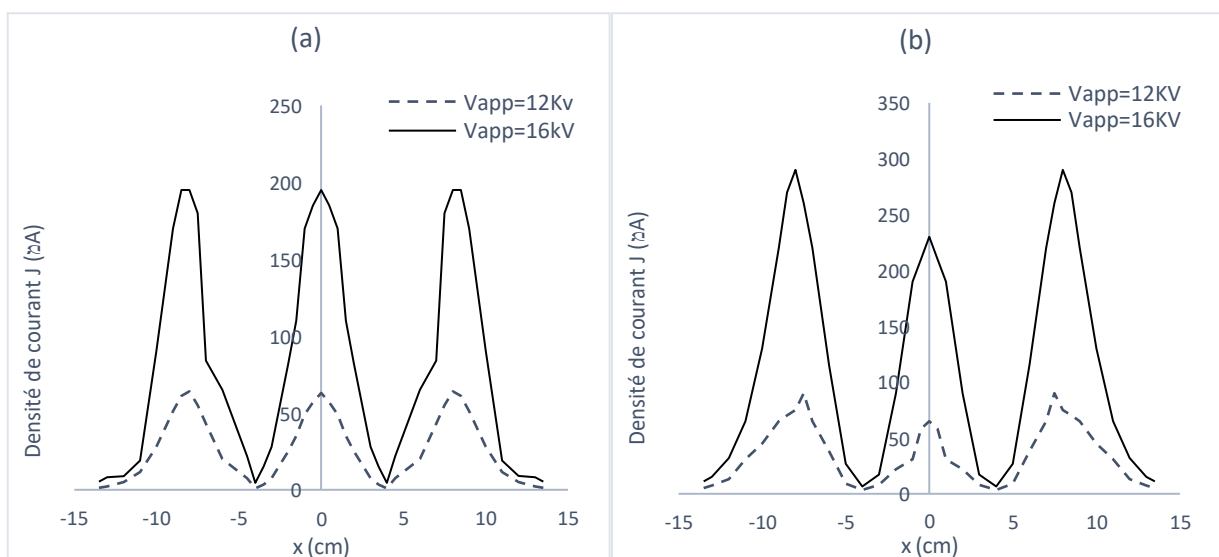


Fig III.8 : Influence de la tension appliquée V_{app} sur la densité du courant a) polarité positive b) polarité négative ($N_f=3$ fils, $H=3cm$ et $D=8cm$).

D'après les courbes on constate que ce courant augmente avec l'augmentation de la tension appliquée V_{app} , car le champ moyen dans l'espace inter-électrodes devient plus intense.

III.2.2.4 Influence de la distance inter-fils D

Dans cette série d'essais on a fixé la tension appliquée à $V_{app}=12kV$ et la distance inter-électrodes est fixé à $H=3cm$, puis on a procédé à la variation de la distance inter-fils ($D=4, 6$ et $8cm$) pour le système d'électrode (3 fils-plan). On a mesuré la densité du courant collecté par la sonde en faisant varier la position des fils horizontalement par un pas de $x=1cm$.

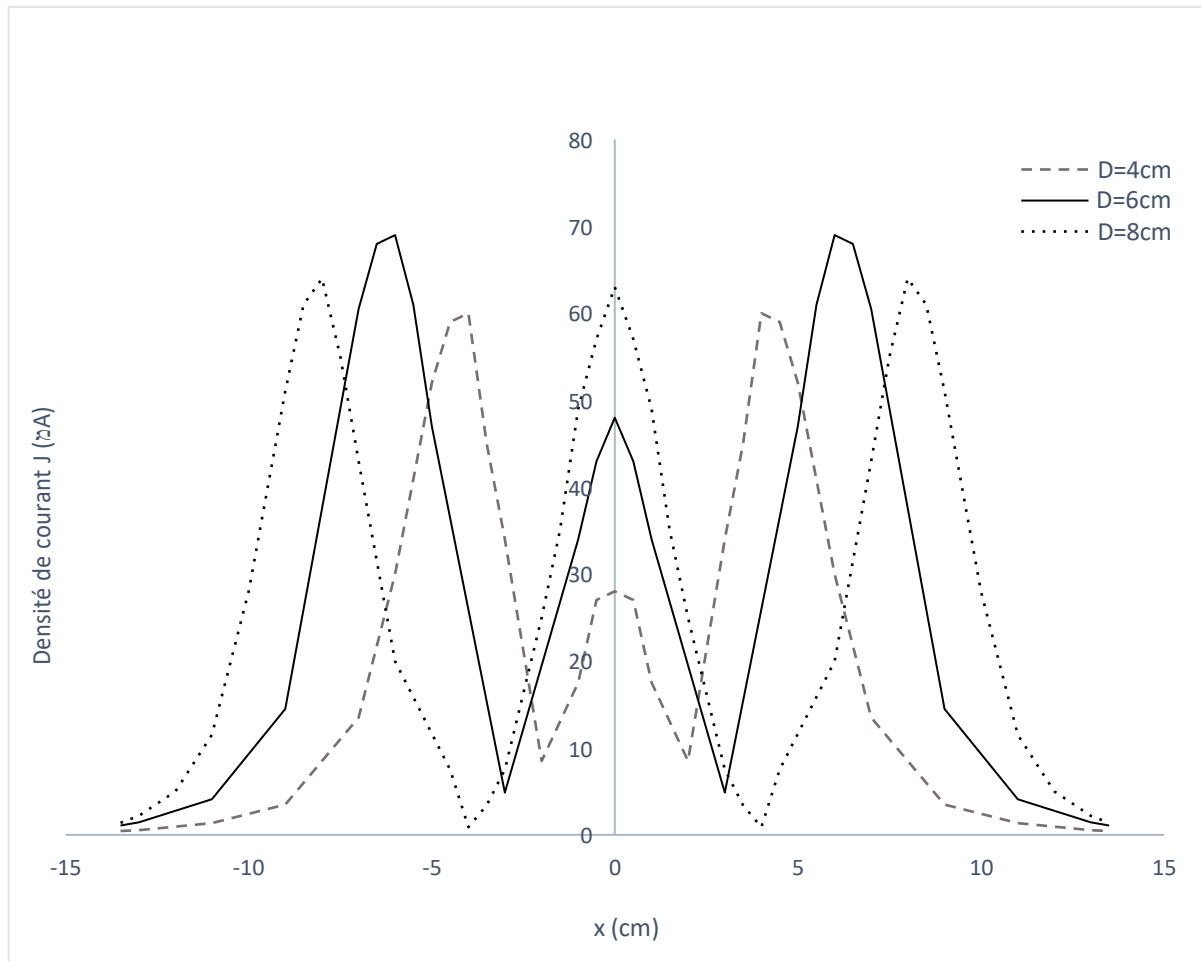


Fig III.9 : Influence de la distance inter-fils pour une tension appliquée $V_{app}=12kV$ sur la densité du courant ($N_f=3$ fils, $H=3cm$, polarité positive).

Nous remarquons d'après les courbes représentées sur la figure (III.9), que plus la distance inter-fils D augmente plus les zones de charge s'élargissent, et si elle diminue, les charges autour des fils s'étouffent surtout celle du milieu, et cela est dû aux interactions mutuelles entre les fils.

III.2.2.5 Influence de la distance inter-électrodes H

Dans cette série d'essais on a utilisé un système d'électrodes (*3 fils-plan*), on a fixé la distance inter fils à $D=8\text{cm}$ et varié la distance inter-électrodes H ($H=3$ et 5cm), cela pour deux valeurs de tension positive appliquées ($V_{app}=12\text{kV}$ et $V_{app}=16\text{kV}$).

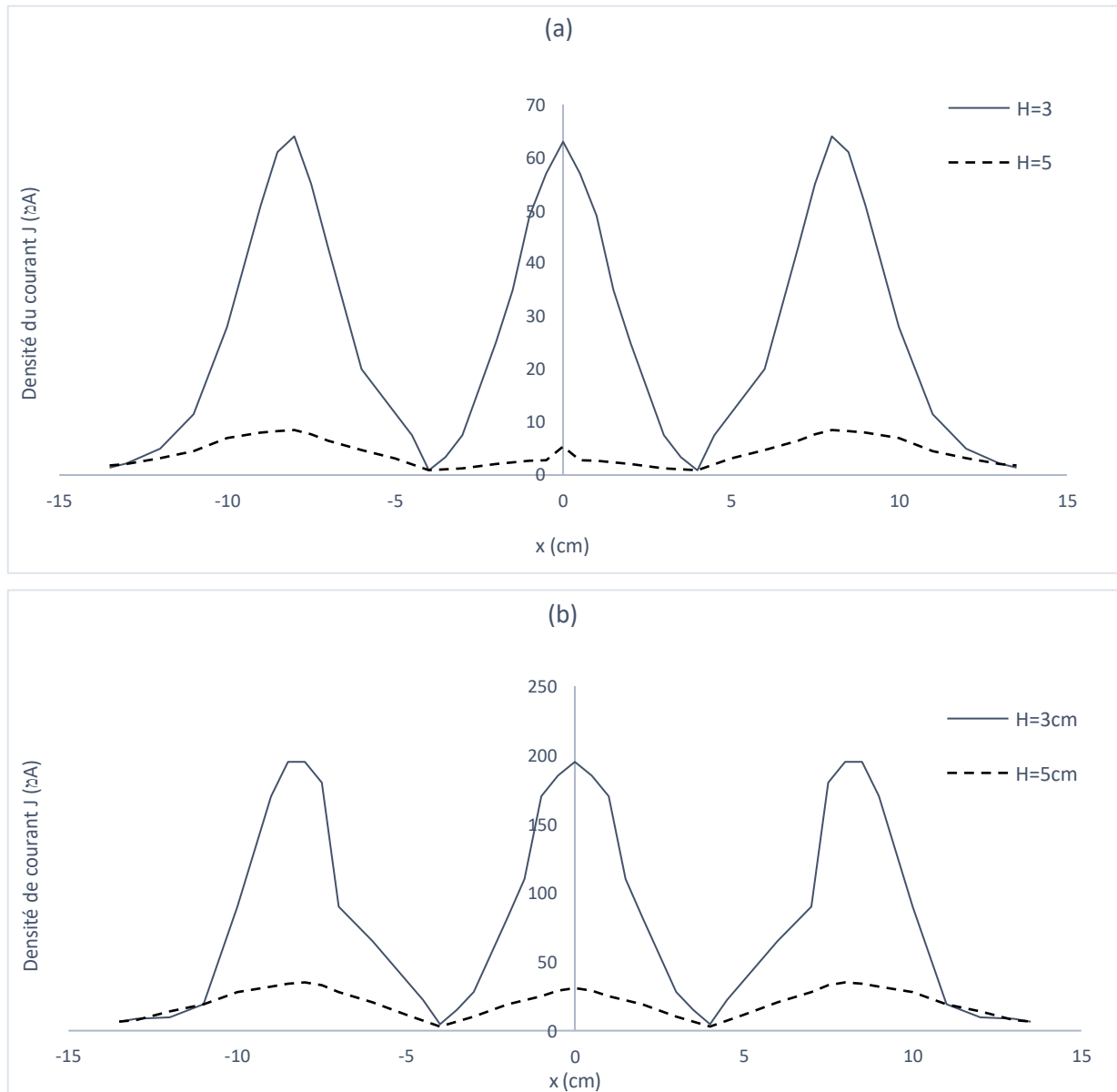


Fig III.10 : Influence de la distance inter électrodes H sur la densité du courant a) $V_{app}=12\text{kV}$ b) $V_{app}=16\text{kV}$ ($N_f=3$ fils, $D=8\text{cm}$, polarité positive).

D'après les courbes représentées sur la figure (III.10), nous remarquons que plus la distance inter électrode augmente plus l'entendu de la décharge s'élargie mais la densité du courant diminue, et cela est dû à l'affaiblissement du champ électrique moyen dans l'espace situé entre l'électrode active et passive.

III.3. Système nappe de fils-grille-plan

Pour le système de configuration illustré dans la figure (III.11), nous avons utilisé les mêmes dispositifs expérimentaux que précédemment, avec l'ajout d'une grille conductrice figures (III.4). qu'on insère entre l'électrode active et passive. Puis on a procédé à la variation des paramètres suivant :

- h_g distance entre la grille et le plan,
- h_p distance entre fil et grille,
- R_g et I_g sont respectivement la résistance et le courant de la grille qui permettent de Contrôler le potentiel de grille qu'on appelle V_g .

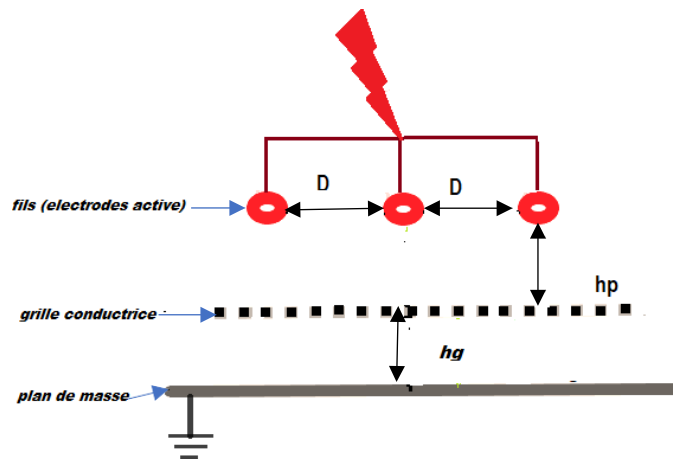


Fig III.11 : Configuration du système de décharge nappe de fils-grille-plan

III.3.1. Caractéristique Courant-Tension

Dans cette section on a étudié les effets d'insertion d'une grille conductrice entre les deux électrodes. Pour cela on a fait varier la distance grille-plan h_g pour le système de configuration d'électrodes (3 fils-plan), avec une résistance de grille fixée à $R_g=100M\Omega$.

Et notre travail consiste à faire évaluer l'influence de la grille sur la caractéristique $I=f(v)$.

III.3.1.1 Influence de la grille

Dans cette série d'essais, on a fixé la distance entre les fils à $D=8cm$ pour un système d'électrodes (3 fils-plan), la résistance de la grille a été fixée à $R_g=100M\Omega$, la distance fil-grille $h_p=1.5cm$ et la distance grille plan, $h_g=1.5cm$, puis on a mesuré le courant de grille ainsi que le courant absorbé par le plan pour différentes tensions appliquées en polarité positive et négative.

Puis, on a comparé les mesures obtenues avec système grille à celle, sans grille, sachant que les paramètres (humidité et température) sont presque les mêmes pour les deux séries d'essais.

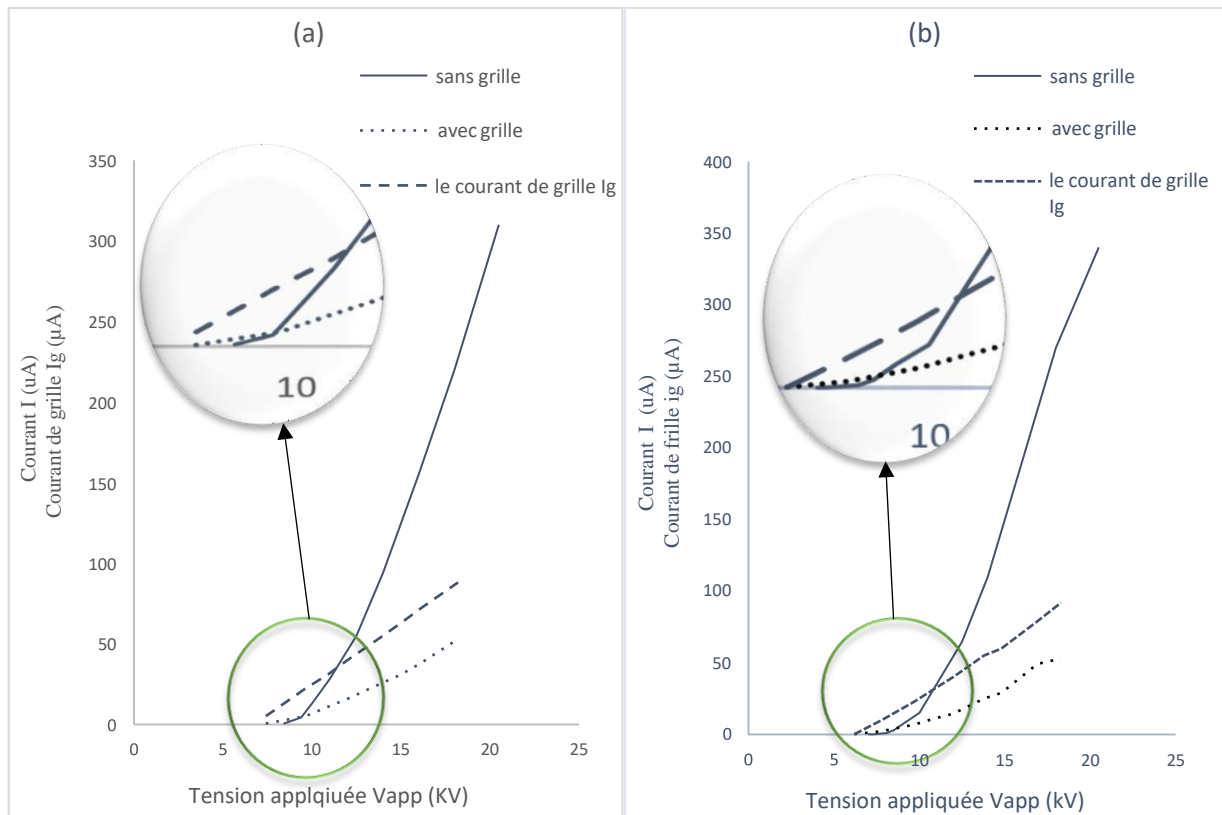


Fig III.12 : Caractéristiques Courant-Tension pour le système 3 fils-plan en présence d'une grille conductrice a) polarité positive b) polarité négative ($D=8\text{cm}$, $h_g=1.5\text{cm}$)

D'après la figure (III.12), les caractéristiques Courant-Tension ont une forme quadratique (comme la loi de Townsend), et les courants collecté par le plan et de la grille, sont proportionnelle a la tension appliquée [9].

Les résultats montrent aussi que pour la même distance inter électrodes, la tension seuil d'apparition d'effet couronne en présence de grille est plus faible comparé à celle sans grille. Pour les faibles tensions, le courant collecté par le plan dans le système sans grille est plus faible à celui collecté en configuration avec grille puis la tendance s'inverse, donc la présence de la grille modifie l'intensité et la topologie du champ électrique.

III.3.1.2 Influence de la distance grille-plan

Afin de déterminer l'influence de la distance grille-plan sur la caractéristique Courant-Tension, on a utilisé un système d'électrodes (3 fils-plan) avec une distance inter fils constante

($D=8\text{cm}$), et une distance inter électrodes fixe ($H=3\text{cm}$), puis on a fait varier la distance entre la grille et le plan ($hg=1, 1.5\text{cm et }2\text{cm}$). Les résultats obtenus sont illustrés sur la figure (III.13)

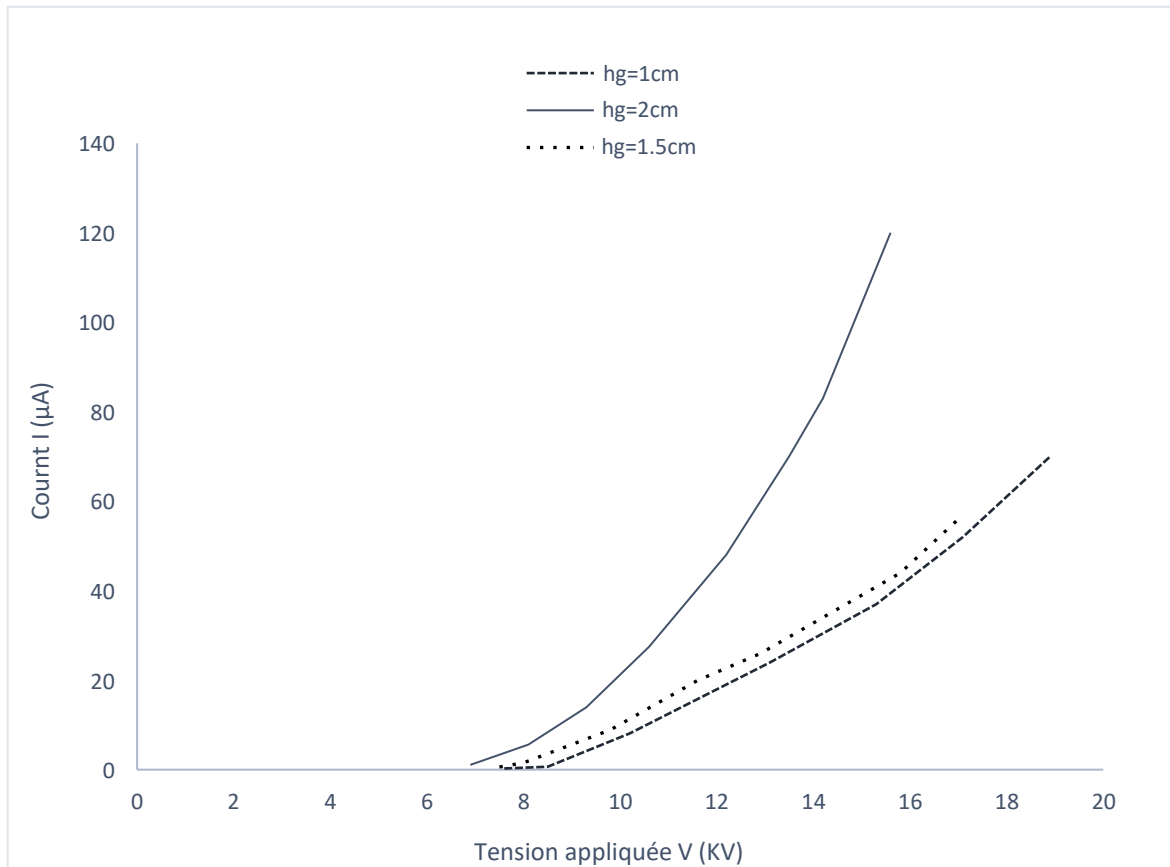


Fig III.13 : Influence de la distance grille-plan sur la caractéristique Courant-Tension en polarité positive.

D'après ces courbes on constate que le courant de la décharge est plus petit pour les petites valeurs de (hg).

Dans une configuration avec grille la zone de dérive est composée de la zone (1) qui est la distance entre le fil et la grille, et la zone (2) représente la distance entre la grille et le plan, si l'espacement hg diminue, cela signifie que l'espacement h_p augmente cela cause l'affaiblissement du champ électrique dans la zone 1 (fils-grille) qui se traduit par la réduction de l'intensité de la décharge et peu de charge sont entraînée vers le plan.

III.3.2 Densité du courant J

III.3.2.1 Distribution de la densité du courant

Afin de pouvoir déterminer l'effet de l'insertion d'une grille conductrice entre les deux électrodes (active et passive), sur la répartition de la densité du courant, on a effectué une série d'expériences pour un nombre de fils $N_f=1$ et 2, et on a fixé le potentiel de la grille constant pour

quelques série d'expérience afin de pouvoir contrôler le courant de la grille (en jouant sur la résistance de grille R_g vu l'équation II.1).

Nous avons également varié la distance entre le plan de mesure et la grille, afin de déterminer l'influence de cette dernière sur la distribution de la densité du courant.

III.3.2.2 L'influence de la grille

Dans cette section on va étudier l'effet de la grille sur la distribution de la densité du courant, pour les systèmes d'électrodes nappe de fils-grille-plan avec ($N_f=1$ ou 2 fils), pour ce faire, on a fixé la distance entre la grille et le plan a $h_g=1.5cm$, la distance fils-plan $h_p=3cm$, et le potentiel de grille fixé à $V_g=3.7KV$.

Les courbes de la figure (III.14) montrent l'influence de la grille sur la distribution de la densité du courant comparées avec les essais qu'on a effectué précédemment sans grille (les facteurs physique comme l'humidité et la température était presque les mêmes).

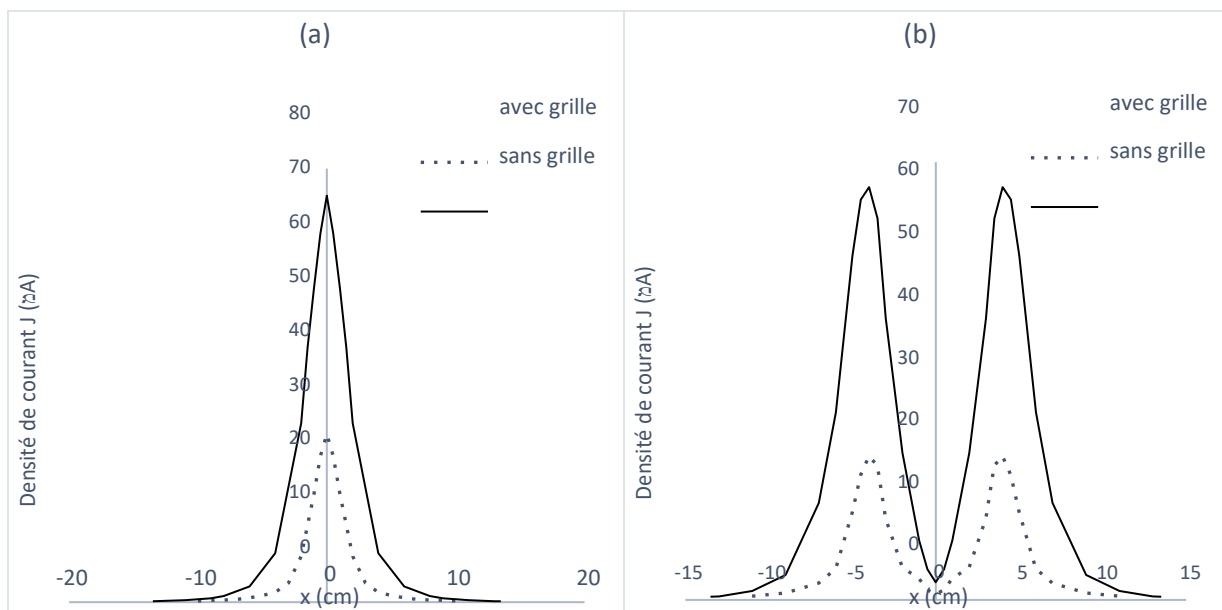


Fig III.14 : Distribution de la grille sur la densité du courant a) fil-grille-plan b) 2 fils-grille-plan, ($V_{app}=12KV$ en polarité positive, $h_g=1.5cm$, $D=8cm$).

On constate que la densité du courant diminue en présence de grille, parce-que une partie du courant délivré par la source est dirigé vers le plan de masse à travers de la grille.

III.3.2.3 influence de la distance grille-plan

Pour un système d'électrodes (3 fils-plan), on a fixé une distance inter fils à $D=8\text{cm}$, la résistance de grille à $R_g=100\text{M}\Omega$, puis on a fait varié la distance grille plan ($hg=1, 1.5, 2\text{cm}$) pour une tension positive $V_{app}=14\text{KV}$.

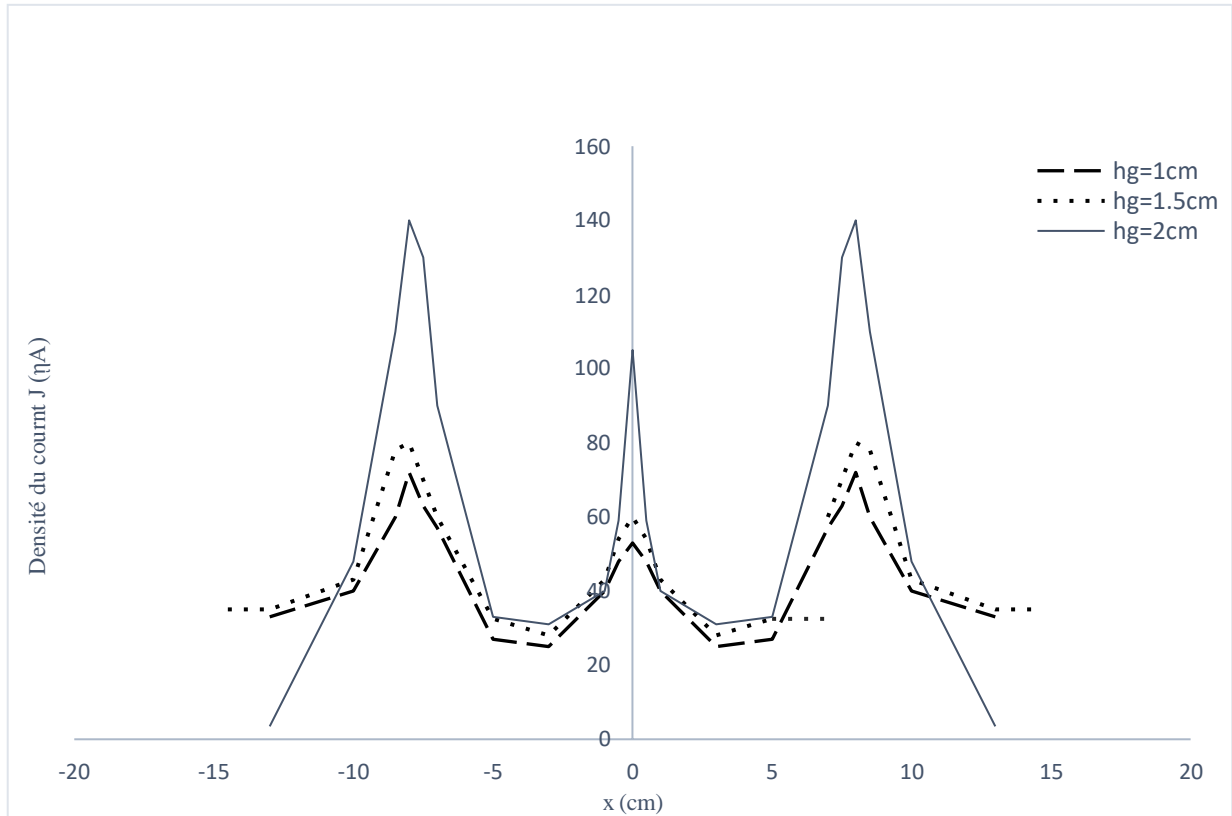


Fig III.15 : Influence de la distance grille-plan sur la densité du courant pour ($N_f=3$ fils, $V_{app}=14\text{kV}$ en polarité positive).

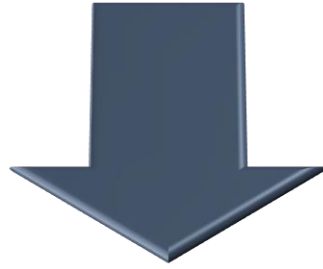
D'après la figure (III.15), on a étudié que l'augmentation de la distance grille-plan, provoque la diminution de l'étendue de la décharge couronne et l'augmentation de la densité du courant, car la zone de charge de la décharge couronne se rétrécit lorsque la grille est proche de l'électrode active et le champ moyen devient plus intense dans la zone fil-grille (voir la section III.3.1.2)

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, on a étudié les caractéristiques Courant-Tension et la densité du courant de la décharge couronne dans les systèmes d'électrodes nappe de fils-plan en polarité positive et négative. Plusieurs paramètres géométriques et électrique sont pris en considération, à savoir le nombre de fils utilisé, la distance inter fils, la distance inter électrodes, la polarité de la tension appliquée et l'intensité de la tension appliquée.

Dans la seconde partie de ce chapitre, on a rajouté une grille conductrice afin de pouvoir évaluer son influence sur le champ électrique situé entre les électrodes.

D'après les résultats obtenus, on conclue que le nombre de fils et la distance inter-fils sont des paramètres qui ont une grande influence sur la décharge couronne générée par les systèmes d'électrodes étudiés. De même la distance inter-électrode et la polarité de la tension appliquée et la position de la grille sont aussi des paramètres importants qui ont un effet sur les valeurs des résultats obtenus.



‘Conclusion générale’

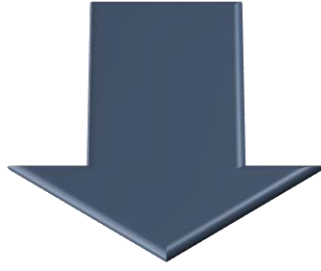
Conclusion générale

La décharge couronne est largement utilisée dans plusieurs processus industriels tel que traitement de surface, chargement des matériaux, etc... De nombreuses études ont été réalisées pour caractériser la décharge couronne afin d'améliorer ses diverse applications.

Dans notre modeste travail, on a caractérisé les systèmes d'électrodes nappe de fils. Les résultats obtenus lors des différents essais, réalisés dans des conditions de température et d'humidité ambiantes, ont permis d'évaluer l'influence de certains paramètres sur le courant de la décharge comme : le nombre de fils, la distance inter-fils, la distance inter-électrodes et la polarité de la tension appliquée, afin de pouvoir caractériser la décharge couronne. D'après les résultats obtenus on a pu tirer les conclusions suivantes :

- La distribution de la densité du courant sur l'électrode plane présente une forme d'onde avec une valeur plus élevée sous chaque fil et une valeur inférieure à mi-chemin de deux fils voisins. Ces valeurs sont influencées par la tension appliquée
- Les valeurs du courant mesurées sous Tension négative sont supérieures à celles mesurées sous la tension positive. L'augmentation de nombre de fils et de la distance inter-fils fait augmenter le courant et l'étendue de la décharge mais l'augmentation de la hauteur des fils fait diminuer les valeurs du courant.
- L'insertion d'une grille conductrice est utilisée pour le contrôle du dépôt de charge, malgré que sa présence fait diminuer le courant de la décharge car une partie est dirigé vers la terre à travers cette grille. La position de la grille est importante car elle influe sur le courant et l'étendue de la décharge.

Cette étude a offert une perspective évaluative sur les recherches expérimentales de la décharge couronne en géométrie nappe de fils-plan, il montre une concordance très prometteuse pour continuer dans le futur l'implantation des modèles dynamiques avec plus d'améliorations dans la mise en considération d'autres processus de développement de la décharge.



‘Références bibliographiques’

Références bibliographiques

- [1]- J. He. X. Zhang, P. Yang. S. Chen. R. Zeng, «Attenuation and deformation characteristics of lightning impulse corona traveling along bundled transmission line », *Electric Power Systems Research*, Vol. 118, pp. 29-36, 2015
- [2]- R. D. MEDINA « Alimentation de puissance d'une lampe exciplexe à décharge à barrière diélectrique, en vue du contrôle du rayonnement ». Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2008
- [3]- T. G. Olivera, « Étude expérimentale du contournement des isolateurs recouverts de glace sous tensions de foudre et de manœuvre, » Mémoire d'Ingénieur, Université de Québec, 2004.
- [4]- C. Gary, M. Moureau, “ L’effet de couronne en tension alternative ”, Edition EYROLLES, 1976.
- [5]- M. HAIROUR, « Étude diélectrique d’une isolation hybride gaz-solide pour appareillage haute tension ». Thèse de doctorat, Université Montpellier II – Sciences et Techniques du Languedoc, 2007.
- [6]- S. MOUHOUBI : «Étude de l’influence d’une barrière dans un intervalle pointe – plan, par la mesure de la tension disruptive, du champ électrique et des décharges partielles». Thèse de doctorat, École Nationale Polytechnique, Laboratoire de Recherche en Électrotechnique, 2008
- [7]- A. ABAHAZEM « Études expérimentales des décharges couronne pour la dépollution des gaz ». Thèse de doctorat, Université de Toulouse III – Paul Sabatier, 2009.
- [8]- A. Labergue « Étude des décharges électriques dans l’air pour le développement d’actionneurs plasmas – Application au contrôle de décollements d’écoulements », Thèse de doctorat de l’université de Poitiers, 2005.
- [9]- J. M. Townsend, 1914, *Electricity in gases*, Oxford University Press
- [10]- L. Parissi, « Étude d’un procédé de traitement d’air chargé en composés organiques volatiles par décharge moyenne fréquence avec barrière diélectrique : mécanisme mis en œuvre et recherche d’optimisation », Thèse de doctorat de l’université de Paris VI, 1999
- [11]- M. Goldman, R.S. Sigmond, « Corona insulation », *IEEE Trans. Elec. Ins.* EI. 12/2, PP, 90
- [12]- L. B. Loeb, « *Fundamental Processes of Electrical Discharge in Gases* », John Wiley

& Sons, Inc., New York. 1947.

[13]- H. Raether, Zeit. Phys., vol. 117, pp. 394-524, 1941 – 105, 1982.

[14]- N. Felici, «Diélectriques», Institut Polytechnique, Grenoble, 1966.

[15]- M. Kachi, L. Dascalescu « Corona discharges in asymmetric electrode configurations »,

[16]- A. Kasdi, « Étude théorique et expérimentale de la décharge couronne bipolaire », Thèse de doctorat de l'université de Bejaia, Algérie, 2007

[17]- L. L. Grigsby, « The Electric Power Engineering Handbook," Electr. Power Gener. Transm. Distrib, 3rd Ed., 2012.

[18]- J. F. Loiseau, J. Batina, F. Noël, R. Peyrous « Hydro-dynamical simulation of the electric wind generated by successive streamers in a point-to-plane reactor », J. Phys. D: Appl.

[19]- C. Gray, «Les propriétés diélectriques de l'air et les très hautes tensions», Édition, Eyrolles, Paris 1986.

[20]- B. Khaddour « Modélisation du champ électrique modifié par la charge d'espace injectée », Thèse de doctorat de L'INPG, Grenoble, 2006.

[21]- M. P. Panaget « Étude en laboratoire des effets physico-chimique induits par les pertes électriques des lignes de transport à haute tension». Thèse de doctorat de l'université Pierre et Marie Curie 1997.

[22]- L. Dascalescu, « An introduction to ionized gases, theory and applications », ToyohashiUniversity of Technology, 1993

[23]- F. W. Peek « Dielectric phenomena in High voltage engineering," SCHENECTADY, N. Y, 1915.

[24]- P. Molinié « Charge injection in corona-charged polymeric films: potential decay and current measurements », J. Electrostatics, 45, pp, 265-273, 1999.

Résumé

La décharge couronne est utilisée dans plusieurs processus industrielle et commerciale tel que la séparation électrostatique, production d'ozone ...etc. De nombreuses études expérimentales et numériques ont été consacrées à l'étude et à la compréhension du mécanisme de développement de la décharge couronne dans plusieurs types de configuration à savoir : fil-cylindre, fil-plan, pointe-plan.

Notre travail porte sur l'étude de la décharge couronne en géométries (nappe de fils-plan et nappe de fils-grille-plan). Pour la caractérisation de ces électrodes, les mesures Courant-tension aident à déterminer les tensions de seuil de la décharge et l'intervalle du travail, par contre, la mesure de la densité du courant donne une idée sur le dépôt de charge et l'étendue de la surface chargé.

L'ajustement des paramètres géométriques (le nombre de fils, distance inter-fils, distance inter-électrodes, position de la grille) permet d'améliorer le système de décharge. L'utilisation de la grille est un moyen pour le contrôle du dépôt dans le système triode (nappe de fils-grille-plan).