

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DEL'ENSEIGNEMENTS SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE A. Mira - BEJAIA**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**

**Département de Génie Electrique**



**جامعة بجاية  
Tasdawit n Bgayet  
Université de Béjaïa**

## ***Mémoire de fin de cycle***

***En vue de l'obtention du diplôme de Master***

***Spécialité : Electrotechnique***

***Option : Technique de Haute Tension***

## ***Thème***

**Caractérisation de la Décharge Couronne dans un  
Système à Configuration Triode**

**Réalisé par :**

***Melle BEDJAOUI Tassadit***

***Mme MEDJEKDOUD Nardjes***

**Encadré par :**

***Mr ALKAMA Rezak***

***Mr KACI Méziane***

***Promotion 2017***

## Remerciements

*Nous rendons grâce à dieu de nous avoir donné le courage et la patience afin de mener ce travail à terme.*

*Arrivées au terme de notre travail, nous tenons à exprimer vivement notre profonde gratitude à notre promoteur **Mr R. ALKAMA** et notre Co-promoteur **Mr M. KACI**, pour l'aide, le suivi et l'intérêt qu'ils n'ont cessé de nous apporter jusqu'à l'achèvement de notre travail. Nous remercions **Mr H. AIT SAID** qui nous a généreusement fait profiter de ses connaissances en haute tension et pour son aide et ses conseils utiles.*

*Nous tenons également à remercier l'ensemble des membres du jury qui ont fait l'honneur de juger notre travail.*

*Enfin, nos chaleureux remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à notre formation.*

# *Dédicaces*

*Je dédié ce modeste travail à :*

*Mes chers parents qui ont toujours été derrière mes exploits, avec leur aide matérielle et morale durant tout mon cursus que Dieux les protège et les garde en bonne santé.*

*A mes chères Sœurs.*

*A mes chers frères.*

*A mes chers petits Mazigh, Sifou et chahinaz*

*A ma binôme Nardjes*

*À tous mes amis (es) sans exception et tous ceux qui me sont chers.*

*Tassadit*



# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à :*

*À la mémoire de mon très cher père qui m'a toujours soutenu et encouragé de continuer mes études, dieu vous bénis dans son vaste paradis.*

*À ma très chère mère à celle que je dois tout, qui a sacrifié tout pour nous sa santé, sa vie tout juste pour notre réussite que Dieu vous bénisse, vous apporte santé et vous garde pour nous.*

*À mon très cher mari qui a été toujours là pour moi*

*À mon très cher fils*

*À mon adorable binôme Tassadit*

*À mes sœurs Lydia, Kahina, Sissi, Souhila, Lamia, Nedjima, Hannane,  
Selma*

*À mes chers petit Tacfa, Tina, Letitia, Youva, Amar, Youdas*

*À mes beaux frères Zohair, Lounis, Hadi, Faycal et sofian*

*À tous mes amis(es) sans exception*

*À tous mes camarades et amis (es) de la promo*

*À mes cousins : Nawal, Biba, Fayçal, Fouad ainsi qu'à da Djamel et sa femme et Azeddine et sa famille*

*Et à tout ceux que je cannais*

*Nardjes*



**Liste des abréviations et symboles****Liste des figures et tableaux****Introduction générale ..... 1****Chapitre I****Généralités sur les décharges couronnes**

I.1 Introduction .....	2
I.2 Décharges électriques à pression atmosphérique.....	2
I.3 Théorie de la décharge électrique .....	2
I.3.1 Théorie de TOWNSEND .....	2
I.3.2 Théorie des streamers .....	5
I.4 Décharge couronne .....	7
I.4.1 Mécanisme de la décharge .....	8
I.4.2 Polarité positive .....	9
I.4.3 Polarité négative .....	10
I.5 Les facteurs influençant la décharge couronne .....	11
I.5.1 Facteurs géométriques .....	11
I.5.1.1 Rayon de courbure .....	11
I.5.1.2 Distance inter-électrodes .....	11
I.5.2 Facteurs physiques .....	12
I.5.2.1 La température.....	12
I.5.2.2 L'humidité .....	12
I.5.2.3 Pression .....	12
I.5.3 Facteur électrique .....	12
I.6 Conclusion .....	12

**Chapitre II****Domaines d'application de la décharge couronne**

II.1 Introduction .....	13
-------------------------	----

II.2 Utilités et domaines d'application de la décharge couronne .....	13
II.2.1 Dépollution par la décharge couronne .....	13
II.2.2 Méthode de production d'ozone .....	15
II.2.2.1 Production de la décharge couronne .....	15
II.2.3 Les précipitateurs électrostatiques .....	15
II.2.3.1 Principe de fonctionnement .....	16
II.2.4 Les électrets .....	17
II.2.4.1 Méthodes de formation d'électrets .....	18
II.2.4.2 Charge par décharge couronne .....	19
II.2.4.3 Processus de charge dans une configuration triode .....	22
II.2.5 Traitement des surfaces .....	25
II.2.6 Neutralisation .....	26
II.2.7 Rideaux électriques .....	26
II.2.7.1 Rideaux électriques multi-phases .....	26
II.2.7.2 Rideaux électriques à onde stationnaire .....	27
II.2.8 Réacteurs à DBD .....	27
II.9 Conclusion .....	29

## **Chapitre III**

### **Dispositif expérimental**

III-1 Introduction .....	30
III-2 Description du dispositif expérimental .....	30
III.3 Méthode de mesure .....	34
III.3.1. Détermination de la tension de seuil .....	36
III.3.2. Détermination de la densité de courant .....	36
III.3.3 Mesure des paramètres physiques de l'air .....	36
III.4 Conclusion .....	36

## Chapitre IV

### Résultats et discussion

IV.1 Introduction .....	37
IV.2 Caractéristique courant-tension .....	37
IV.2.1 L'effet de la variation de la distance fil-cylindre de l'électrode dual.....	37
IV.2.2 Effet de la variation du diamètre du cylindre de l'électrode duale .....	41
IV.3 Densité de courant .....	42
VI. 4 Effet de la variation de la surface des interstices des grilles flottantes .....	44
VI.5 Distribution de la densité de courant J pour différentes surfaces des interstices des grilles .....	45
VI.6 Effet de variation de la surface des interstices des grilles reliées .....	46
IV.7 Dépôt de charge .....	46
IV.7.1 Chargement de l'échantillon sans grille.....	46
IV.7.2 Chargement de l'échantillon avec grille flottante .....	47
IV.7.3 Chargement de l'échantillon avec grille reliée .....	48
IV.7.4 Comparaison du chargement de l'échantillon sans grille, avec grille flottante et avec grille reliée .....	49
IV.8 Essais de neutralisation.....	50
IV.8. Conclusion .....	53
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>54</b>

DBD : décharge à barrière diélectrique.

ESP : précipitateur électrique

MEMS: micro electro-mechanic systems

Dc : distance critique

DC :courant continu

D : distance inter- électrodes

Dt : diamètre de cylindre

d : distance du déplacement du plan du dispositif

E: champ électrique

Ei : le champ électrique à la surface du fil

g : intervalle d'air entre la sonde et l'électrode

h: distance entre le fil et le cylindre de l'électrode

H r : humidité relative

HT : haut tension

I : courant de décharge

Im : courant mesuré

Ie : courant de l'électron

Ig : courant de grille

J : densité de courant

k : interrupteur

K : constante

L c : longueur critique



L : position de la grille

$N_x$ : Nombre d'électrons.

$N_c$  : nombre critique

$N_0$  : Nombre d'électrons primaires produits pour  $x=0$ .

P : Pression atmosphérique

r: le rayon de courbure.

$R_u$  : Résistance de basse tension

$R_e$  : Résistance d'entrée

S : surface de la sonde

T : température

$V_0$  : tension seuil de l'effet couronne

V : potentiel

$\alpha$ : Premier coefficient d'ionisation de Townsend.

$\bar{\alpha}$ : Coefficient effectif d'ionisation.

$\eta$  : Coefficient d'attachement.

$\gamma$  : deuxième coefficient de Townsend

## Liste des tableaux

**Tableau IV.I** Comparaison entre les résultats des chargements à 18 kV. ....50

## Liste des figures

### Chapitre I

#### Généralités sur les décharges couronnes

**Figure. I.1** : Réalisation d'une décharge de TOWNSEND à courant continu..... 3

**Figure I.2** : Caractéristique courant –tension des décharges à pression atmosphérique..... 6

**Figure. I.3** : Différentes configurations de la décharge couronne..... 8

**Figure I.4** : Topographie de la décharge couronne volumique en configuration pointe-plan..... 9

**Figure I.5** : Processus d'une décharge électrique couronne positive..... 10

**Figure I.6** : Processus d'une décharge électrique couronne négative..... 11

### Chapitre II

#### Domaines d'application de décharge couronne

**Figure II.1** : Représentation schématique des principales étapes de la destruction des oxydes toxiques par décharge couronne.....14

**Figure II.2** – Principales étapes intervenant dans le fonctionnement d'un filtre électrostatique.....16

**Figure II.3** : Electret dipolaire.....18

**Figure II.4:** Mécanisme de génération de charge électrique.....19

**Figure II.5** : Principe de formation d'électret par décharge couronne.....20

**Figure II.6** : Dispositifs à triode de charge par effet couronne.....21

**Figure II.7** : Constructions de base d'un scorotron et d'un corotron..... 22

**Figure II.8** : Décharge couronne dans le système triode de charge..... 23

**Figure II.9:** Effet de la position de la grille sur la largeur de dépôt..... 24

**Figure II.10:** Effet de la position de la grille sur l'uniformité de dépôt..... 25

**Figure II.11:** Utilisation d'une DBD dans le traitement surfacique de plastiques..... 25

**Figure II.12 :** Section transversale d'un rideau électrique triphasé..... 26

**Figure II.13 :** Rideau électrique à onde stationnaire avec double réseau..... 27

**Figure II. 14 :** Photographies des différents réacteurs utilisés..... 28

**Figure II. 15 :** Base commune aux différents réacteurs..... 29

## Chapitre III

### Dispositif expérimental

**Figure. III.1.** Schéma détaillé du banc d'essais ..... 31

**Figure III.2 :** Photo du banc d'essais ..... 31

**Figure III.3.** Schéma de la sonde ..... 32

**Figure III.4** Schéma représentatif des grilles ..... 32

**Figure III.5** la formule chimique et la photo de polyéthylène ..... 33

**Figure III.6** Poste de charge ..... 34

**Figure. III.7** Schéma synoptique et électrique de l'installation haute tension ..... 35

## Chapitre IV

### Résultats et discussion

**Figure IV.1** Caractéristiques courant – tension en fonction de la distance entre le fil et le cylindre pour les polarités positive et négative et le cylindre de diamètre ( $D_t=2,2\text{cm}$ ) branché et non branché ..... 38

**Figure IV.2** Caractéristiques courant – tension en fonction de la distance entre le fil et le cylindre pour les polarités positive et négative et le cylindre de diamètre ( $D_t=4\text{cm}$ ) branché et non branché ..... 39

<b>Figure IV.3</b> Caractéristiques courant – tension en fonction de la distance entre le fil et le cylindre pour les polarités positive et négative et le cylindre de diamètre ( $D_t=7,7\text{cm}$ ) branché et non branché .....	40
<b>Figure IV.4</b> Caractéristiques courant – tension pour les deux polarités ( $h=5\text{cm}$ , $D_t=4\text{cm}$ )...	41
<b>Figure IV.5</b> Effet de la variation du diamètre du cylindre de l'électrode duale .....	42
<b>Figure IV.6</b> Distribution de la densité de courant au plan $J=f(d)$ pour les décharges négative et positive et pour le diamètre du cylindre ( $D_t=2,2\text{cm}$ ) .....	43
<b>Figure IV.7</b> Distribution de la densité de courant au plan $J=f(d)$ pour les décharges négative et positive et pour le diamètre du cylindre ( $D_t=4\text{cm}$ ) .....	43
<b>Figure IV.8</b> Distribution de la densité de courant au plan $J=f(d)$ pour les décharges négative et positive et pour le diamètre du cylindre ( $D_t=7,7\text{cm}$ ).....	44
<b>Figure IV.9</b> Effet de la variation de la surface des interstices des grilles flottante .....	45
<b>Figure IV.10</b> Distribution de la densité de courant $J$ pour différentes surfaces des interstices des grilles .....	45
<b>Figure IV.11</b> Effet de variation de la surface des interstices des grilles reliées .....	46
<b>Figure IV.12</b> Chargement de l'échantillon sans grille.....	47
<b>Figure IV.13</b> Chargement de l'échantillon avec grille flottante .....	48
<b>Figure IV.14</b> Chargement de l'échantillon avec grille reliée.....	48
<b>Figure IV.15</b> Comparaison entre l'absence de la grille et sa présence avec ou sans connexion.....	49
<b>Figure IV.16</b> Comparaison des caractéristiques lors du 1 <sup>er</sup> chargement avec et sans neutralisation .....	51
<b>Figure IV.17</b> Comparaison des caractéristiques lors du 3 <sup>ème</sup> chargement avec et sans Neutralisation.....	52

### Introduction générale

En électrostatique, la réponse des matériaux à la charge électrique est complexe et reste un sujet de recherche. Ces matériaux sont bien loin de pouvoir se résumer à un paramètre ou à deux, la permittivité et la conductivité. C'est le cas des phénomènes de surface qui sont déterminants pour la génération ou l'injection de la charge dans l'isolant, la charge d'espace peut se manifester sous l'effet du champ, du rayonnement ou du frottement. D'autre part, la connaissance du comportement d'un électret, la maîtrise des méthodes électrostatiques de génération de charges d'espace et l'identification des facteurs influents sur la stabilité des électrets permettront l'optimisation du processus de formation et sa mise en œuvre à l'échelle industrielle.

Notre travail consiste en la caractérisation de la décharge couronne dans un système à configuration triode. Nous devons effectuer des mesures des paramètres liés à la décharge couronne : courant de décharge, tension appliquée, tension de seuil, densité de courant. Il faudrait mettre en évidence l'influence des facteurs géométriques tels que l'espace inter-électrodes et des paramètres physiques sur cette décharge.

Pour bien cerner le sujet, nous avons structuré le mémoire en quatre chapitres.

Le premier chapitre traite de l'étude théorique de la décharge couronne avec les processus physiques et les paramètres d'influence.

Le deuxième chapitre résume les principales applications des décharges couronne. Dans le troisième chapitre, est présenté le protocole expérimental tout en exposant le matériel utilisé à cet effet, la description du dispositif expérimental, les grilles utilisées ainsi que l'échantillon.

Dans le dernier chapitre, sont rassemblés les résultats obtenus avec leurs interprétations.

## I.1 Introduction

Les phénomènes de conduction dans les isolants gazeux, en particulier l'air atmosphérique, suscitent un grand intérêt. En effet l'air est un auto-régénérant. Quand un gaz est parcouru par un courant, on dit qu'il est le siège d'une décharge électrique dont il existe plusieurs types.

Dans ce chapitre, nous allons présenter dans le cas des décharges couronne, les processus physiques qui conduisent à la production d'espèces et à leur dispersion. Ces phénomènes, qui ont largement été décrits pour des géométries pointe-plan, peuvent être généralisés à la configuration fil-cylindre, fil-plan et nappe de fils-deux plans.

## I.2 Décharges électriques à pression atmosphérique

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

## I.3 Théorie de la décharge électrique

### I.3.1 Théorie de TOWNSEND

Si on considère un diélectrique gazeux contenu entre deux électrodes, il peut exister dans ce gaz en absence de tout champ électrique appliqué, un certain nombre de particules chargées (pairs d'ions positifs - électrons négatifs) produites, soit par mécanisme naturel tels que le rayonnement ultra-violet ou radioactivité, soit par mécanisme artificiel par exemple bombardement de la surface cathodique avec une source de rayonnement pour extraire des électrons. Un électron germe accéléré par ce champ électrique acquiert une énergie et si cette énergie est suffisante à partir d'une certaine valeur du champ électrique intense appliqué, il résulte une ionisation par collision des particules neutres du gaz. De nouveaux électrons vont être créés et participent à leur tour aux mécanismes d'ionisations des molécules neutres, produisant ainsi une multiplication ou avalanche électronique, dite avalanche de TOWNSEND.

Considérons un système d'électrodes plan-plan baignant dans un gaz à basse pression et où le champ inter-électrodes  $\vec{E}$  est homogène, figure I.1. Supposons qu'il se soit formé  $N_x$  électrons à une distance  $x$  de la cathode, ils vont générer  $dN_x$  électrons sur une distance  $dx$  :

$$dN_x = \alpha N_x dx \quad (\text{I.1})$$

$\alpha$  Est appelé le premier coefficient de TOWNSEND, il exprime le nombre de paires d'ions créées par un électron parcourant une distance de un centimètre. Le coefficient  $\alpha$  dépend de la nature du gaz, du champ réduit  $E/p$  exprimant le rapport du champ électrique à la pression, il est donné alors par la relation I.2 :

$$\frac{\alpha}{p} = A e^{-B/\left(\frac{E}{p}\right)} \quad (I.2)$$

$\alpha$ : Premier coefficient d'ionisation de Townsend.

P : Pression atmosphérique.

E : Champ électrique.

La valeur de  $\alpha$  étant constante dans un champ homogène, pour un nombre  $N_0$  électrons primaire produit par extraction de la cathode, l'intégration de la relation (I.1) donne :

$$N_x = N_0 e^{\alpha x} \quad (I.3)$$

$N_0$  : Nombre d'électrons primaires produits pour  $x=0$ .

$N_x$  : Nombre d'électrons produits par l'avalanche de la distance  $x$ .

Le courant de l'électron produit à une distance  $x$  de la cathode est :

$$I_e(x) = I_0 e^{\alpha x} \quad (I.4)$$

Pour une distance inter-électrodes  $d$ , le courant mesuré à l'anode ou dans le circuit extérieur est donné par la relation I.5:

$$I = I_0 e^{\alpha d} \quad (I.5)$$

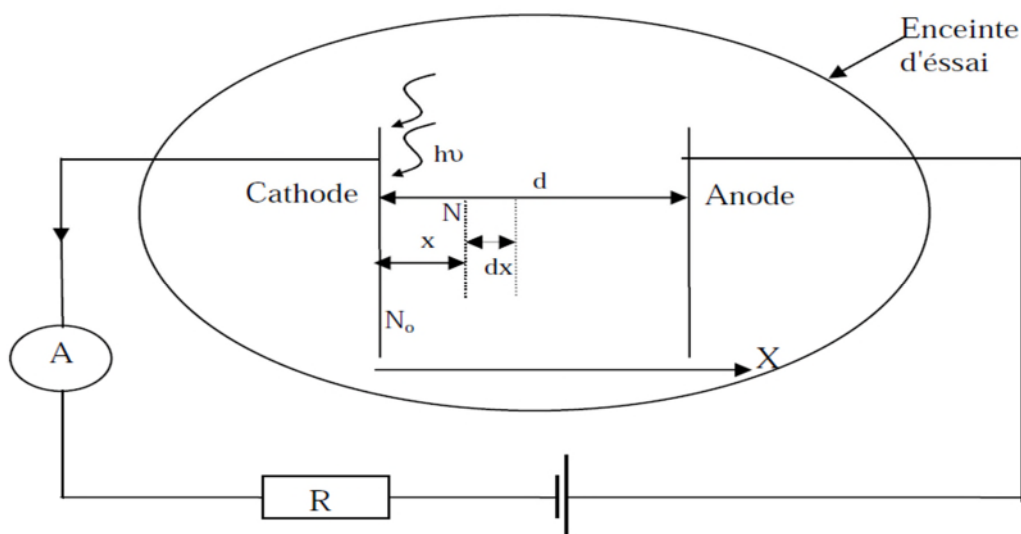


Figure. I.1 : Réalisation d'une décharge de TOWNSEND à courant continu [1]

L'étude expérimentale du courant  $I$  en fonction de la distance  $d$  effectuée par Townsend, montre que ce courant augmente plus rapidement que celui donné par la relation (I.3) ; ceci est dû au phénomène d'ionisation secondaire qui se produit près de la cathode. En effet, si un ion positif, en se déplaçant vers la cathode, acquiert une énergie cinétique suffisante, il peut extraire de la cathode un certain nombre d'électrons. Ce phénomène est caractérisé par le taux d'émissions secondaires  $\gamma$  (deuxième coefficient de Townsend), qui est le nombre d'électrons secondaires extraits de la cathode par un ion positif.

La valeur de  $\gamma$  dépend de la vitesse et de la nature des ions ainsi que de la nature de la cathode. Townsend a montré aussi que l'existence simultanée des deux phénomènes (ionisation des gaz inter électrode et ionisation en surface de la cathode par les ions positifs) peut mener à l'amorçage de la décharge autonome.

Le courant collecté à l'anode vaut alors :

$$I = \frac{I_0 e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)} \quad (\text{I.6})$$

D'après Townsend, la condition nécessaire pour que la décharge soit auto-entretenu est que le dénominateur de l'équation (I.4) soit nul. Ce critère pour lequel le courant croît vers l'infini, se traduit alors par l'existence d'une distance critique  $d_c$  tel que :

$$1 - \gamma(e^{\alpha d_c} - 1) = 0 \quad (\text{I.7})$$

Comme  $e^{\alpha d_c} \gg 1$ , le critère devient :

$$e^{\alpha d_c} = 1/\gamma \quad (\text{I.8})$$

Dans le cas où le rapport entre le champ électrique et la pression ( $E/p$ ) n'est pas constant, cas d'un champ électrique non uniforme à cause de la géométrie des électrodes (pointe-plan, pointe-pointe, ... etc.),  $\alpha$  varie et le critère de claquage s'exprime par la relation suivante :

$$\left( e^{\int_0^d \alpha dx} - 1 \right) = \frac{1}{\gamma} \quad (\text{I.9})$$

La présence des gaz ayant des atomes à ions électronégatifs, tel le  $SF_6$ , peuvent capter un électron pour former un ion négatif. Ce phénomène est caractérisé par le coefficient



d'attachement  $\eta$  qui s'oppose au processus. Le coefficient effectif d'ionisation s'écrit alors sous la forme suivante :

$$\bar{\alpha} = \alpha - \eta \quad (\text{I.10})$$

Le passage à la décharge de Townsend signifierait que chacun des électrons primaires est remplacé par au moins un électron secondaire. Ces électrons secondaires peuvent être émis soit par la cathode par effet du bombardement direct des ions positifs, soit par les molécules du gaz sous l'effet du choc des électrons [2]. Ils peuvent aussi provenir d'autres sources telles la photo-ionisation dans le gaz, induit par les photons émis lors de la désexcitation de certains atomes. Quand le nombre d'électrons dans une avalanche singulière atteint  $10^6$  à  $10^8$ , une zone intermédiaire où le champ électrique local est fortement accentué tend à se former entre les électrons à la tête de l'avalanche et les ions positifs traînant derrière. Dans cette région, les charges positives et négatives s'accumulent en nombre égal et un plasma filamentaire appelé streamer tend à se former.

La théorie avancée par Townsend s'est vue apportée par la suite de nombreux compléments et ajustements. En effet, il a été supposé que les électrons ne puissent être éjectés de la cathode que sous l'action des ions positifs. D'autres phénomènes peuvent intervenir lors de la décharge et avoir pour effet la production des électrons. Parmi ces phénomènes on peut citer l'extraction des électrons de la cathode sous l'effet de la radiation due à la décharge elle-même (effet photo-électrique). Les électrons nécessaires à l'entretien de l'avalanche peuvent également être produits dans le volume du gaz à la suite des collisions entre les atomes et les ions positifs. Pour des pressions élevées, les ions positifs sont freinés et leur énergie cinétique n'est plus suffisante pour extraire des électrons de la surface cathodique.

D'ailleurs les travaux de Fletcher confirment la non validité de cette théorie pour des pressions de gaz élevées en champ uniforme.

Le mécanisme de Townsend est valable pour un produit  $p.d$  inférieur ou égale à 200 torr.cm (  $p$  : pression du gaz et  $d$  : distance inter électrodes).

### **I.3.2 Théorie des streamers**

Pour le produit  $p.d$  supérieur à 200 torr.cm, Meek et Raether ont défini une théorie basée sur le passage de l'avalanche primaire en streamer. Raether a établi un critère basé sur le fait que l'avalanche doit atteindre une taille critique pour que le streamer puisse se développer [3]. Le critère est :

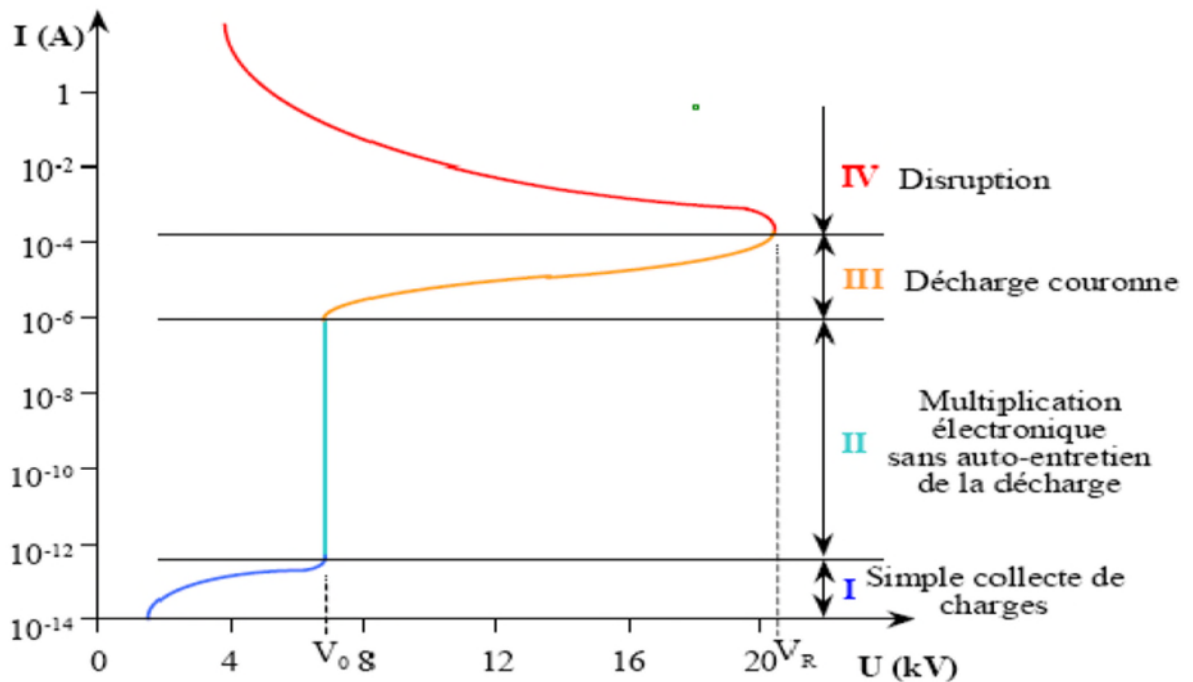
$$\int_0^{L_c} \alpha dx = \ln N_c \quad (\text{I.11})$$

Avec  $N_c$  nombre critique d'électrons en tête d'avalanche (de l'ordre de  $10^{+8}$ ).

$L_c$  est la longueur critique de l'avalanche.

La croissance d'un canal ionisé mince (les streamers) entre les électrodes s'explique par le phénomène de photo-ionisation se produisant à l'intérieur de l'avalanche primaire. Les électrons de grande énergie accélérés par le champ électrique causent l'excitation des atomes du gaz environnant en les portant à des niveaux d'énergie élevés. Ces atomes, en retrouvant leur état stationnaire, libèrent des photons. Si ces photons ont une énergie inférieure à l'énergie d'ionisation des atomes du gaz environnant, ils peuvent être absorbés par ces atomes avant d'être émis de nouveau [1]. Si leur énergie est supérieure à l'énergie d'ionisation des atomes du gaz, de nouveaux électrons peuvent être libérés. Par exemple dans l'air les molécules d'azote  $N_2$  excitées peuvent émettre des photons avec une énergie supérieure à 13 eV, susceptible d'ioniser les molécules d'oxygène dont le potentiel d'ionisation n'est que de 12.2 eV. Si les électrons ainsi produits sont situés au voisinage de l'avalanche primaire, ils vont créer de nouvelles avalanches dites secondaires.

➤ Sous influence de champ électrique appliqué, toutes les particules ainsi créées vont se déplacer dans l'espace inter-électrodes et générer un courant électrique, appelé également courant de décharge. La figure I.2 décrit le comportement du courant en fonction de la valeur de la tension appliquée la courbe permet de distinguer quatre régimes.



**Figure I.2 :** Caractéristique courant –tension des décharges à pression atmosphérique [4].

#### • Le premier régime

Consiste en la collecte des espèces chargées présentes naturellement dans le milieu. Ces espèces sont produites par l'impact de rayons cosmiques ou de particules issues de la désintégration spontanée de certains atomes (radioactivité naturelle) sur le gaz présent dans l'espace inter électrodes.

#### • Le second régime

Qui se produit à partir d'une tension seuil «  $V_0$  », traduit le déclenchement de l'avalanche électronique de Townsend mais ne répond pas encore au critère d'auto-entretien de la décharge, la décharge est qualifiée de non autonome car elle dépend de processus d'ionisation externes pour donner naissance aux électrons germes. Le courant augmente très fortement pour une très faible variation de la tension appliquée.

#### • Le troisième régime

L'ionisation du gaz par la décharge est suffisante pour ne plus nécessiter de phénomènes d'ionisation extérieurs : la décharge est auto-entretenu. C'est le régime de la décharge couronne, où apparaissent les dards, appelés aussi streamers, qui est responsable de la composante impulsionnelle du courant

**• Le quatrième régime**

Au-delà d'une tension appliquée « $V_r$ », la température du canal augmente fortement, ce qui provoque la dilatation brutale du gaz. Le champ réduit « $E/N$ » est alors suffisamment important pour que les phénomènes d'ionisation deviennent majoritaires par rapport à l'attachement électronique. Le régime d'arc est atteint, le milieu passe à l'état de plasma thermique.

**I.4 Décharge couronne**

Les décharges couronne 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 (Figure I-3). Lors de l'application d'une haute tension au niveau de l'électrode ayant le plus petit rayon de courbure, le champ électrique réduit produit dans l'espace inter-électrodes est fortement inhomogène. Il a une valeur élevée au voisinage de cette électrode puis décroît rapidement au fur et à mesure qu'on s'approche de la cathode plane. A proximité de la pointe anodique, l'amplitude importante du champ électrique réduit permet de générer des électrons avec des énergies suffisantes pour ioniser le gaz. C'est une zone où se développent les avalanches électroniques [5], 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 de la pointe les processus d'ionisation prédominent sur le processus d'attachement des électrons. En revanche, si on s'éloigne de la pointe, le champ électrique devient plus faible.



**Figure. I.3 :** Différentes configurations de la décharge couronne [5].

**I.4.1 Mécanisme de la décharge**

Les décharges couronnes se situent dans le régime III de la Figure I. 2. La décharge est classiquement établie entre une électrode active et une électrode passive (électrode reliée à la terre). L'électrode active est une pointe (ou un fil de petit diamètre) à laquelle on applique un haut potentiel électrique tandis que l'électrode passive est une plaque ou une grille (Figure I.3). On obtient alors une décharge couronne volumique [6]. La dissymétrie des électrodes conduit à un champ électrique inhomogène dans l'espace inter-électrodes. En l'absence de

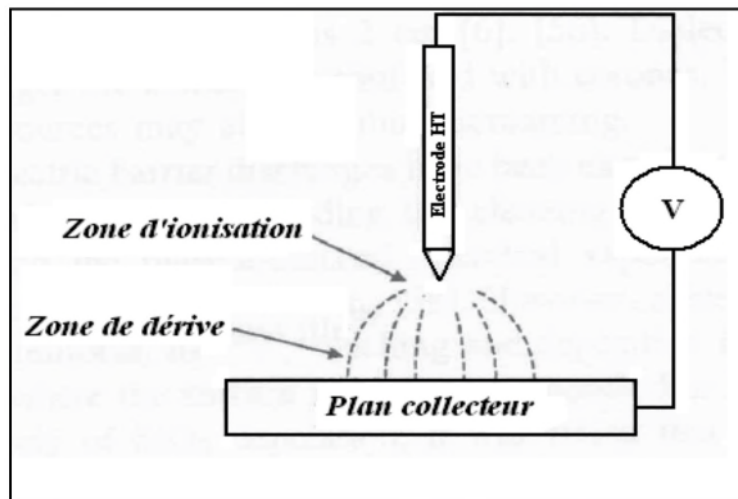
charge d'espace, **Hartmann** [7] a établi une expression du champ électrique  $E$  en fonction du potentiel appliqué à la pointe le long de l'axe de symétrie  $x$  :

$$E(X) = \frac{V}{\left(x + \frac{r}{2}\right) \ln \left[ \frac{2d+r}{r} \right]} \quad (I.12)$$

Avec  $V$  le potentiel,  $d$  la distance inter-électrodes,  $r$  le rayon de courbure de la pointe et  $x$  l'abscisse du point considéré par rapport à l'extrémité de la pointe prise comme origine. Dans une configuration fil-plaque, **Lacoste et al.** [6] ont utilisé :

$$E(x) = E_i \frac{r}{x} \quad (I.11)$$

Avec  $E_i$  le champ électrique à la surface du fil



**Figure I.4 :** Topographie de la décharge couronne volumique en configuration pointe-plan [7] [8].

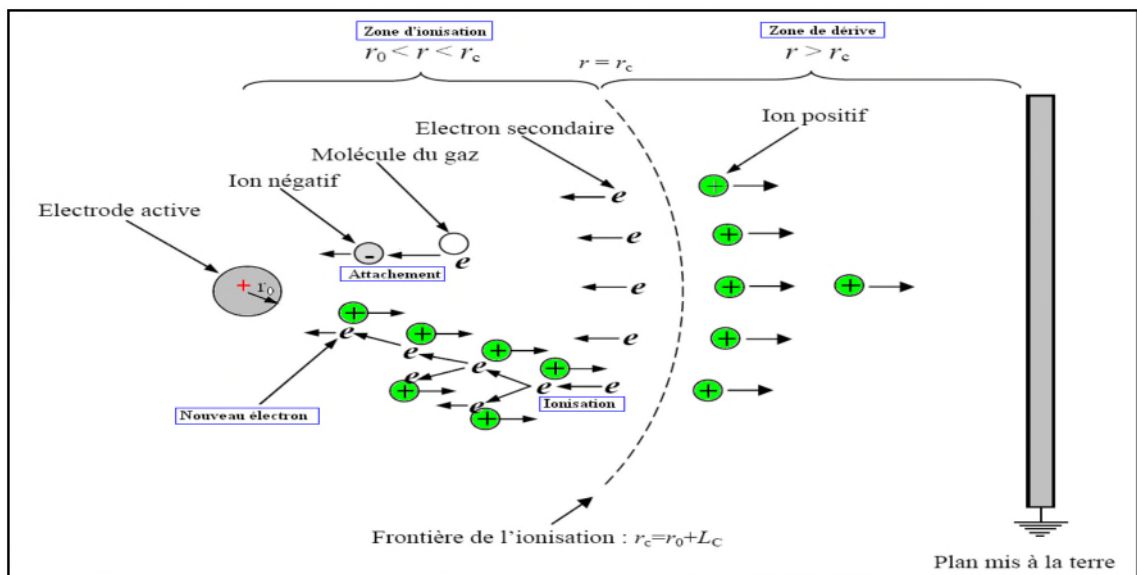
Dans cette configuration pointe-plan, le champ électrique au voisinage de la pointe est intense ce qui permet l'ionisation. La forme en couronne autour de la pointe a donc donné le nom à la décharge. Après cette zone d'ionisation se trouve une région de champ plus faible où les particules ionisées dérivent. L'électrode passive sert alors à collecter les charges. Par ailleurs, la décharge couronne est le siège d'une forte activité physicochimique.

Enfin, selon la polarité du potentiel appliqué à la pointe, on distingue la polarité positive et la polarité négative.

### I.4.2 Polarité positive

La décharge couronne positive est celle qui se produit quand la pointe est portée à un potentiel positif et la plaque à la terre. Dans ce cas, dans la zone de champ intense autour de la pointe, des électrons sont produits par photo-ionisation et sont accélérés vers l'anode (la pointe).

Autour de celle-ci, se développe alors une région de forte ionisation : zone en pointillé à la Figure I.5. Les ions positifs ainsi créés sont repoussés par l'anode, sous l'effet des forces de Coulomb, jusqu'à une distance de la pointe (inférieure au millimètre) 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 [6], est appelée région de «dérive».



**Figure I.5 :** Processus d'une décharge électrique couronne positive [11]

### I.4.3 Polarité négative

Dans le cas où la pointe est portée à un potentiel négatif, il y a toujours création d'électrons par photo-ionisation et apparition de la zone d'ionisation autour de la pointe.

**Goldman et Sigmond [9]** expliquent que les ions positifs alors créés reviennent rapidement à la cathode (Figure I.6). 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.

Le courant de cette décharge est dû à des impulsions de Trichel à une fréquence qui dépend de la tension appliquée [10]. Ces impulsions sont régulières et sont dues au champ électrique qui s'affaiblit au voisinage de la cathode. Les ions négatifs empêchent en effet la multiplication des avalanches électroniques. Une fois ces ions migrés vers l'anode, de nouvelles avalanches apparaissent. L'intervalle entre deux pics de courant, impulsions de Trichel, dépend donc du temps nécessaire aux ions négatifs à atteindre l'anode.

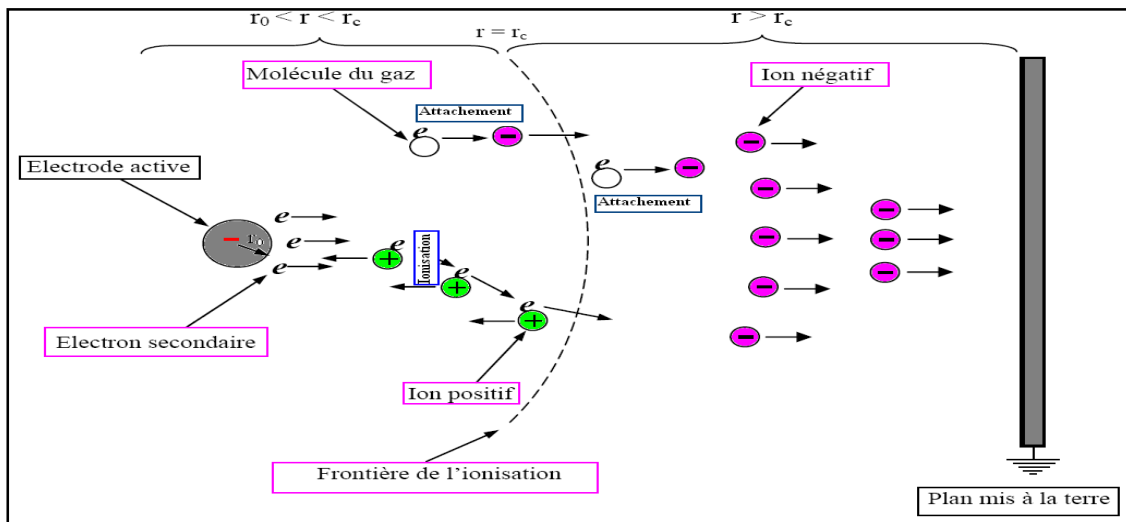


Figure I.6 : Processus d'une décharge électrique couronne négative [11]

## I.5 Les facteurs influençant la décharge couronne

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

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

### I.5.1 Facteurs géométriques

#### I.5.1.1 Rayon de courbure

L'augmentation du rayon de courbure augmente la tension de seuil d'apparition de l'effet couronne [12].

#### I.5.1.2 Distance inter-électrodes

L'influence de la distance inter-électrodes sur les paramètres de la décharge est que 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 de faibles valeurs de tension dans le cas des distances inter-électrodes petites [13].

## I.5.2 Facteurs physiques

### I.5.2.1 La température

Avec l'augmentation de la température, à la pression normale, la rigidité diélectrique de l'air diminue, ce qui favorise la décharge couronne. Cela est dû au fait que dans ce cas le libre parcours moyen augmente [14]. Par contre si l'augmentation de la température entraîne une augmentation de la pression, ceci influe donc sur le produit «pd».

### I.5.2.2 L'humidité

L'influence de l'humidité sur la rigidité diélectrique de l'air est très importante surtout dans le cas où le champ électrique est non uniforme. Ce phénomène serait lié d'une part à l'accroissement de l'attachement des électrons libres, du fait de la présence de vapeur d'eau dans l'air (grande électronégativité) et d'autre part à la plus grande absorption des photons en tête des streamers, dans la région où se produisent les avalanches secondaires par photo ionisation. Le seuil d'apparition de la décharge couronne survient à des tensions toujours plus basses pour 90% que pour 5% d'humidité relative [15]. Cette différence pourrait s'expliquer par l'augmentation de la conductivité de l'air lorsque l'humidité relative de la cellule de décharge.

### I.5.2.3 Pression

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 bar, Nouri [16] a trouvé que l'effet de la pression sur le seuil est équivalent à celui de la distance inter-électrodes. D'après la loi de Paschen, plus la pression augmente, plus le nombre de particules dans l'espace inter-électrode n'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.

## I.5.3 Facteur électrique :

L'effet couronne diffère selon qu'on applique à un système d'électrodes une tension continue ou alternative.

Les différents modes d'émission de charges qui ont été décrits 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.6 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons résumé les principes des décharges électriques et particulièrement des décharges couronnes, ainsi que le mécanisme de création de la décharge couronne. Nous avons aussi évoqué les propriétés spécifiques, les différents types de décharges et de géométrie ainsi que les facteurs influençant les décharges couronnes.

Dans le chapitre qui suit, nous allons décrire les différents domaines d'application de la décharge couronne.

## II.1 Introduction

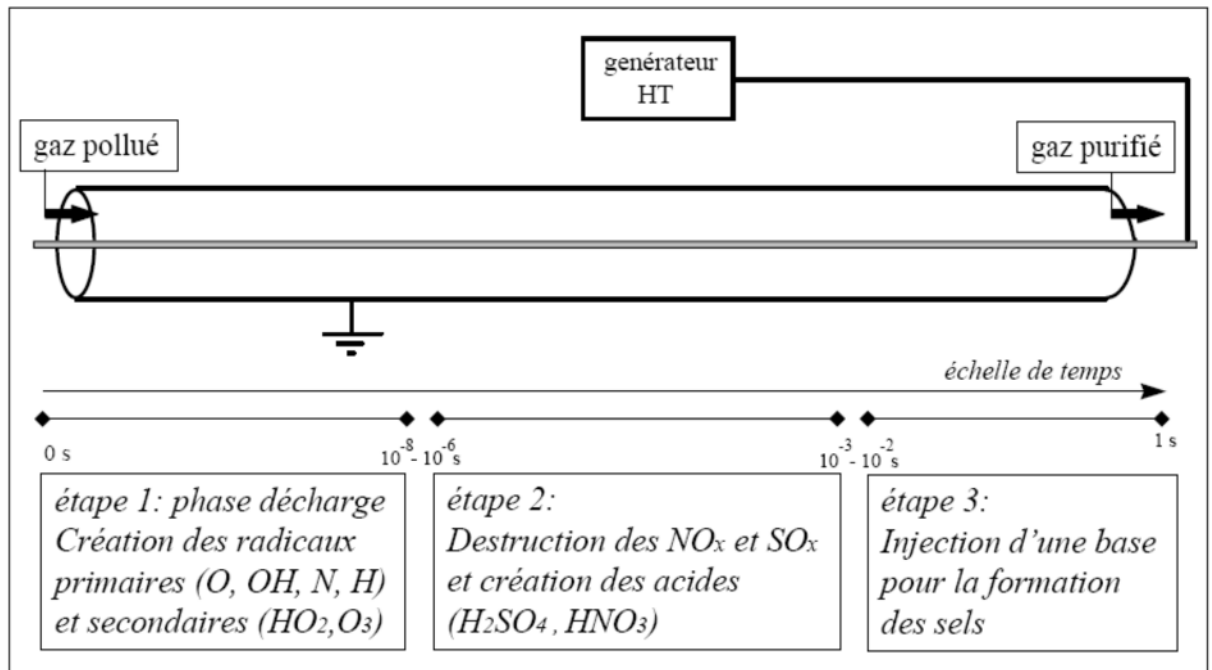
De neutralisation de charge (prévention d'incendies Les décharges couronne sont utilisées dans de nombreux domaines d'application ou remplacent des techniques souvent plus polluantes (utilisation de solvant). Les décharges couronne offrent de nombreuses possibilités pour le traitement des gaz et plus particulièrement les processus électrostatiques utilisent exclusivement les ions de la décharge, tantôt comme source de charges, tantôt comme source de transport de particules pour des procédés :

- De dépôt de charge (photocopie)
- De neutralisation de charge (prévention d'incendies d'explosion)
- D'entraînement de particules (dépolluierage, peinture, tri de particules)

## II.2 Utilités et domaines d'application de la décharge couronne

### II.2.1 Dépollution par la décharge couronne

Le traitement de gaz avec les décharges couronne se fait par des réacteurs. L'utilisation des réacteurs plasmas froids hors équilibre générés par des décharges électriques de type couronne nous permet de traiter les gaz à pression atmosphérique. Le traitement s'effectue soit en détruisant les espèces toxiques, soit en les transformant en espèces moins nocives et/ou plus facilement traitables par d'autres techniques de dépollution. Les espèces toxiques traitées peuvent être des oxydes d'azote et de soufre ou des composés organiques volatiles. Des recherches sont également en cours pour estimer le potentiel de traitement des surfaces par des dispositifs hybrides couplant les décharges couronne avec des catalyseurs. Dans certains cas, le réacteur corona peut également servir de précipitation électrostatique et piéger les poussières ou les particules lourdes. Le traitement d'un gaz d'échappement par réacteur corona s'effectue en trois principales étapes comme il est indiqué sur la figure II.1.



**Figure II.1 :** Représentation schématique des principales étapes de la destruction des oxydes toxiques par décharge couronne [17].

➤ **Etape 1**

C'est la phase de décharge en elle-même qui dure quelques centaines de ns. Pendant cette phase de décharge, il y a création de radicaux du type OH, H, N, O,  $HO_2$ ,  $O_3$ , etc. Ceci se fait par les particules majoritaires du gaz (collisions électron– neutre) puis par des réactions secondaires telles que les collisions entre les ions et les molécules majoritaires du gaz. On peut noter que les collisions électron – polluant ou ion – polluant sont, dans la plupart des cas, inefficaces dans la réduction directe des polluants à cause de la très faible concentration de ces derniers (1000 à 10000 fois plus faible que les molécules majoritaires) et donc à une très faible probabilité d'interaction.

➤ **Etape2**

C'est une phase de post décharge. Elle est décalée spatialement et/ou temporellement par rapport à la première étape et dure de quelques microsecondes à quelques millisecondes.

Durant cette phase, les radicaux qui ont été formés lors de la première étape réagissent avec les espèces polluantes pour former de nouvelles espèces stables.

➤ **Etape3**

Elle peut intervenir beaucoup plus tard dans le temps et/ou l'espace. La cinétique réactionnelle liée à cette étape fait intervenir différents processus. Par exemple, dans le cas d'une décharge couronne dans l'air humide, les acides formés précédemment vont s'entourer

de molécules d'eau et former une phase liquide. L'adjonction d'une base qui réagit avec les acides entraîne la formation de sels.

### **II.2.2 Méthode de production d'ozone**

L'ozone peut être généré par trois méthodes essentielles : décharge électrique (la méthode la plus utilisée), photochimique et électrochimique [18]. Nous nous intéressons particulièrement à la méthode par décharge couronne.

#### **II.2.2.1 Production de la décharge couronne**

Le système de décharge couronne à courant continu a été étudié comme une méthode alternative à la décharge silencieuse pour la génération de l'ozone. Dans cette décharge il n'y a pas de barrière diélectrique entre les électrodes métalliques [19]. Avec cette méthode on peut obtenir un grand rendement et une grande concentration d'ozone dans un espace inter électrode large comparé à celui d'un ozoniseur de décharge silencieuse, cette méthode a quelques avantages par rapport à la production et à la maintenance d'un ozoniseur ,cependant, une plus haute tension que celle d'une décharge silencieuse est nécessaire.

Il est difficile d'obtenir une décharge stable facilement, il peut y'avoir un développement d'un arc. La génération d'ozone dépend de la tension appliquée :

1-Dans le cas d'une tension positive, la décharge apparait entièrement dans l'espace inter électrode.

2-Dans le cas d'une tension négative, la décharge n'apparait que près de la région d'électrode active.

### **II.2.3 Les précipitateurs électrostatiques**

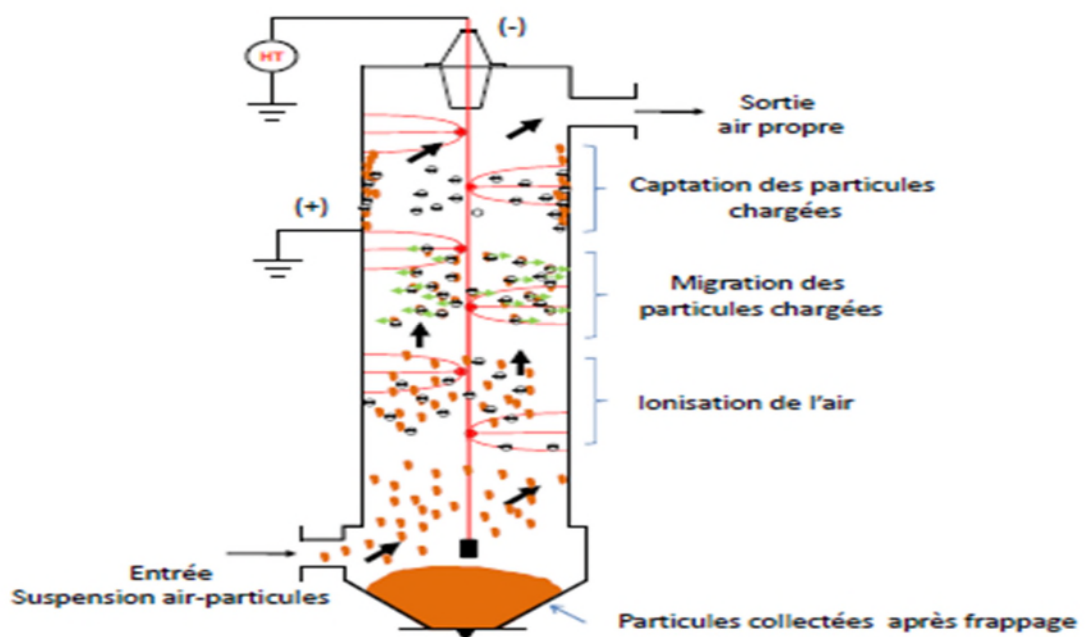
Les précipitateurs électrostatiques(ESP) sont des installations qui enlèvent de fines particules en suspension dans le gaz, en les chargeant puis en les séparant du gaz à l'aide d'un champ électrique. Ils sont généralement utilisés pour les traitements des fumées industrielles constituées par des suspensions à fort concentration de poussières (de quelques centaines de milligrammes à plusieurs dizaines de grammes par mètre cube de gaz).

La précipitation électrostatique présente un intérêt substantiel. Parmi les différents domaines d'application des précipitateurs électrostatiques, on peut citer : les cimenteries, les centrales thermiques et les installations de combustion. Actuellement ce dispositif est utilisé pour améliorer la visibilité dans un tunnel [20].

### II.2.3.1 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'un électro filtre peut être décomposé en trois phases : l'ionisation de l'air par effet couronne et la charge des particules par interaction avec les ions créés, la précipitation des espèces chargées par action d'un champ électrique et le nettoyage des surfaces de collecte [21]. Le filtre électrostatique est un dispositif dans lequel les forces électrostatiques piègent les particules contenues dans un gaz. Il est constitué d'un ensemble d'électrodes actives et d'électrodes de collecte et peut être de géométrie plane ou cylindrique. La décharge générée au sein de ce dispositif, souvent maintenue à un fort potentiel négatif, produit des ions, par attachement des électrons libres aux molécules du gaz. Lors de collisions de ces ions avec des particules, ces dernières se chargent.

Afin d'expliquer le principe de fonctionnement d'un électro filtre, prenons l'exemple d'un précipitateur électrostatique industriel de géométrie cylindrique. Il est constitué d'un cylindre métallique disposé verticalement (l'électrode de collecte) et d'un fil suspendu le long de l'axe central du cylindre (l'électrode active, figure II.2). L'électrode active est reliée à la haute tension continue tandis que l'électrode de collecte est reliée à la masse.



**Figure II.2** – Principales étapes intervenant dans le fonctionnement d'un filtre électrostatique [22].

Lorsqu'on applique une tension au-delà d'un seuil (tension d'allumage de la décharge), une décharge couronne apparaît autour du fil. Elle apparaît soit sous la forme de points

lumineux (tension négative) répartis le long du fil et appelés «spots», ou sous la forme d'une «gaine lumineuse» (tension positive). Les phénomènes lumineux représentent localement les régions ionisées du gaz à partir desquelles des ions de même polarité que l'électrode active sont émis vers l'électrode de collecte. Ces ions traversent l'espace inter-électrodes sous l'action d'un champ électrique continu, en direction de l'électrode de collecte. Lorsqu'on introduit des gaz pollués par la partie basse de l'électro filtre, ils traversent l'espace inter-électrodes en montant. Les particules qu'ils contiennent captent au passage des ions et se chargent fortement ; elles sont alors soumises à la force de **Coulomb** qui les dirigent vers la surface interne de l'électro filtre où elles se déposent.

Les gaz sortent donc dépollués par la partie haute de l'électro filtre tandis que les particules piégées s'accumulent sur sa surface interne en formant une couche de poussière. Par un procédé mécanique qui consiste à frapper les parois de l'électro filtre à l'aide d'un marteau, on fait tomber les poussières dans le fond de l'électro filtre où un dispositif prévu à cet effet permet de les évacuer.

#### II.2.4 Les électrets

Par analogie avec les aimants permanents (Magnets), le terme électret a été introduit en 1892 par Olivier Heaviside pour désigner les diélectriques à polarisation permanente. Ainsi, l'électret produit un champ électrique sans aucune source externe. Ce n'est qu'en 1919 que Mototaro Eguchi a pu donner la première confirmation expérimentale, où il réussit à fabriquer un électret par application d'un champ électrique à un échantillon de cire de Carnauba en cours de refroidissement depuis sa température de fusion. Les molécules polaires de cette cire, libres de s'orienter sous champ électrique au voisinage de la température de fusion, restaient figées avec l'orientation imposée au retour à l'état solide, bien que le champ appliqué ait été supprimé. La polarisation rémanente était comprise typiquement entre  $10^{-4}$  et  $10^{-5}$  C.m<sup>-2</sup>, et pouvait persister plusieurs années [23].

Un électret est défini comme un diélectrique qui porte une polarisation induite. Cette polarisation est quasi permanente, c'est-à-dire que le temps de déclin est plus long que la durée de son utilisation. La polarisation est due à des charges électriques réelles sur la surface ou/et dans le volume du matériau ou bien aux dipôles orientés et figés dans le volume. Les électrets sont essentiellement des matériaux désordonnés tels que les polymères et les minéraux amorphes [23] [24].

Les électrets occupent une place de choix dans les nouvelles technologies. Les techniques de formation et caractérisation de ces matériaux se sont perfectionnées, leur

utilisation est élargie aux systèmes micro-électromécaniques (MEMS) et aux applications dans le domaine biomédical. Les électrets sont utilisés soit sous forme de films minces, soit sous forme de structures fibreuses et poreuses [24] [25].

### II.2.4.1 Méthodes de formation d'électrets

Selon les modes de formation des électrets, ces derniers sont classés en deux familles : les électrets dipolaires et les électrets à charge d'espace. En effet, les charges électriques qui peuvent être créées et piégées dans un diélectrique pour former un électret sont de deux catégories majeures : des mono charges appelées *charges réelles*, et des dipôles orientés appelés *charges liées*.

Un électret dipolaire est généralement un thermo électret qui résulte de l'orientation de dipôles par application d'un champ électrique à une température élevée qui correspond à la température de fusion ou de ramollissement. L'obtention de l'état orienté figé par trempe se fait à température ambiante [26]. La figure II.3 illustre l'orientation des pôles avant et après la formation de l'électret.



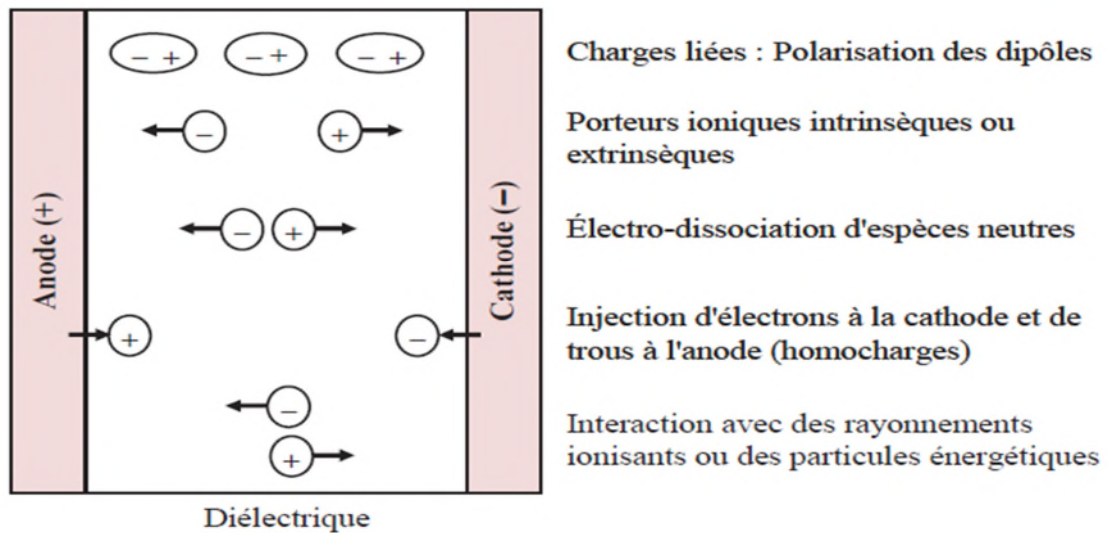
**Figure II.3 :** Electret dipolaire

Il existe plusieurs méthodes de formation des électrets à charge d'espace. La polarisation provient de charges des deux signes. Ces charges peuvent être obtenues par séparation d'hétéro charges présentes et piégées dans le matériau et/ou par injection d'homo charges au niveau des électrodes lors de l'opération de polarisation. La polarisation peut également provenir d'un excès de charges apportées par d'autres processus tels que la décharge couronne, l'implantation électronique (canon d'électrons), ou la triboélectricité (contact + frottement). La figure II.4 résume les mécanismes physiques de base pouvant expliquer la présence de charges électriques dans un diélectrique situé entre deux électrodes

de

polarités

opposées.



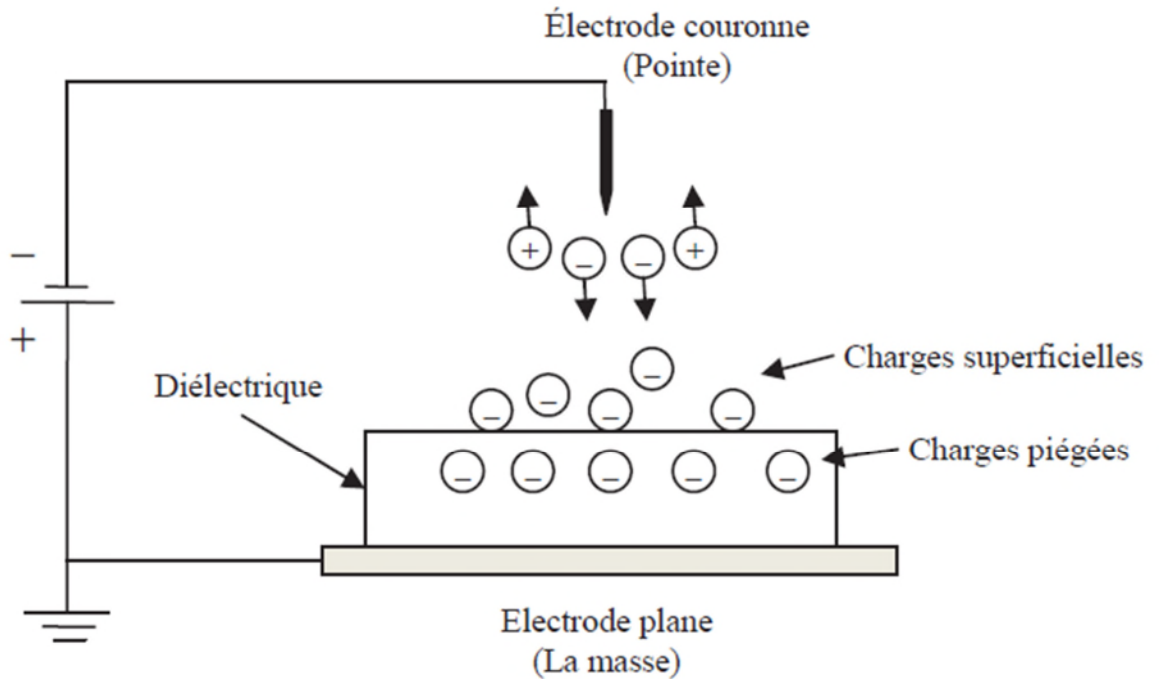
**Figure II.4:** Mécanisme de génération de charge électrique [27]

#### II.2.4.2 Charge par décharge couronne

La charge par décharge couronne est adéquate pour la formation des électrets, qu'ils soient des films ou des matériaux fibreux. Cette méthode de charge est largement utilisée dans l'industrie où la formation d'électrets est réalisée à la chaîne. Le procédé industriel est assez performant, il permet d'asservir le potentiel de surface des électrets afin de contrôler le niveau et la qualité du dépôt des charges électriques [24] [28].

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 II.5 illustre le principe de formation d'électret par décharge couronne négative.



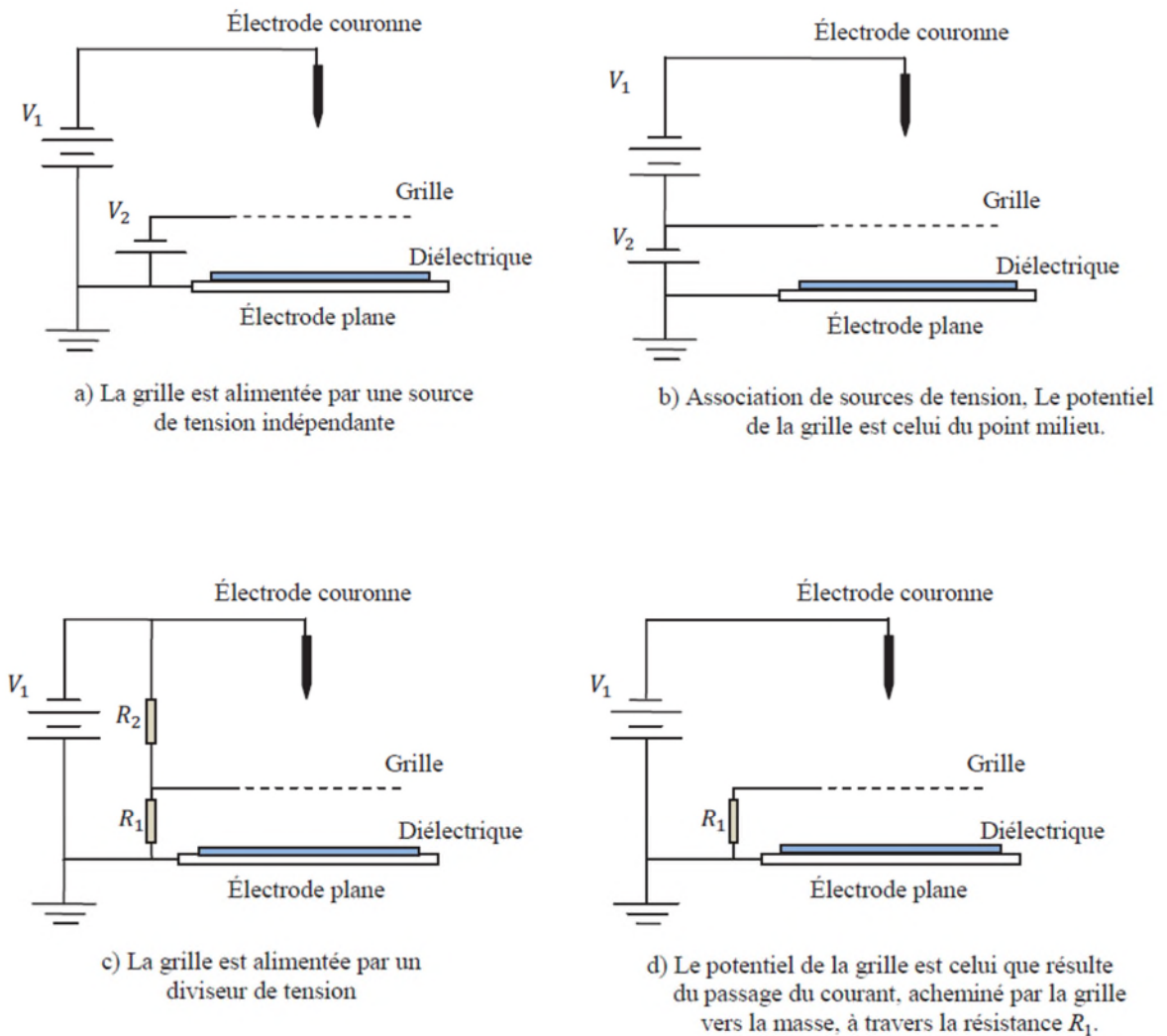


**Figure II.5 :** Principe de formation d'électret par décharge couronne [27].

Si la décharge couronne se produit à partir d'une électrode de polarité négative dans l'air à pression atmosphérique et à une humidité relative comprise entre 40% à 60%, des ions négatifs seront formés tels que  $\text{CO}_3^-$  et  $\text{O}_2^-$ . Une fois ces ions atteignent la surface libre du diélectrique, ils seront neutralisés en cédant leurs électrons et une couche d'électrons piégés est formée juste en dessous de la surface libre du diélectrique. Par contre, des ions positifs seront formés tels que  $(\text{H}_2\text{O})_{\text{nH}}^+$ ,  $\text{NO}^+$  et  $\text{NO}_3^+$  lorsque la polarité des électrodes couronne est positive. Ces ions seront neutralisés en acceptant des électrons lorsqu'ils atteignent le diélectrique, laissant ainsi une couche de trous piégés en dessous de la surface libre du matériau [24].

Le contrôle du dépôt de charges par le dispositif primaire de la figure II.5 est extrêmement difficile, voire impossible. L'insertion, entre le diélectrique et l'électrode couronne, d'une grille conductrice portée à un potentiel plus faible et de même polarité que le potentiel appliqué à l'électrode active permettra le contrôle du niveau du potentiel de surface et l'obtention d'un dépôt uniforme. Dans cette configuration d'électrode, appelée configuration *triode*, les charges issues de l'ionisation de l'air sont accélérées sous action du champ électrique, passent à travers la grille et viennent se déposer sur la surface libre du diélectrique. Le potentiel de surface du diélectrique croît jusqu'au niveau du potentiel de la grille. A partir de ce moment-là, le champ entre la grille et la surface du diélectrique est nul.

Les ions ne traversent plus la grille. Ainsi le potentiel de surface est limité par le potentiel de la grille. Il existe plusieurs dispositifs à triode pour la formation contrôlée d'électrets. La figure II.6 résume ces dispositifs à triode de charge par décharge couronne.



**Figure II.6 :** Dispositifs à triode de charge par effet couronne [27].

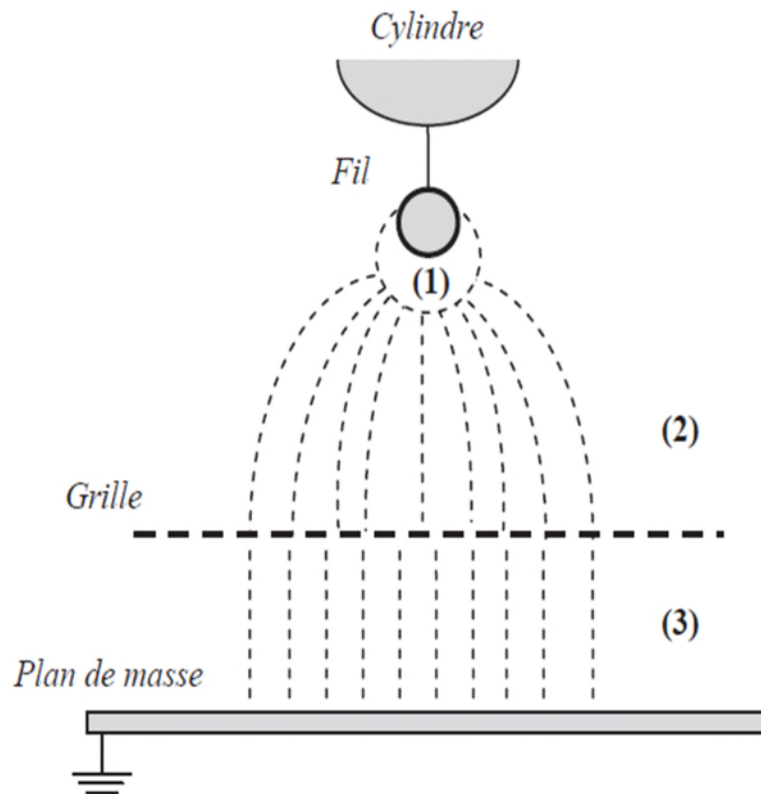
Ces ions (positifs ou négatifs selon la polarité de la pointe) peuvent se déposer sur une surface isolante placée à proximité. Il en résulte une densité superficielle de charge sur cette surface. Cette méthode de charge d'une surface est plus facile à maîtriser et la charge est plus uniforme que celle obtenue par frottement.

D'autres dispositifs de charge par effet couronne sont utilisés à la fois pour étudier le comportement des électrets et dans des applications industrielles, à savoir le *scorotron* et le *coroton*. La figure II.7 présente les configurations de ces deux dispositifs.

Dans le dispositif à scorotron, la décharge est plus stable par la présence des armatures métalliques et les ions se diffusent d'avantage à travers la grille. Le niveau du potentiel de



électrique, la 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 réparti en trois zones telles qu'elles sont illustrées sur la figure II.8.



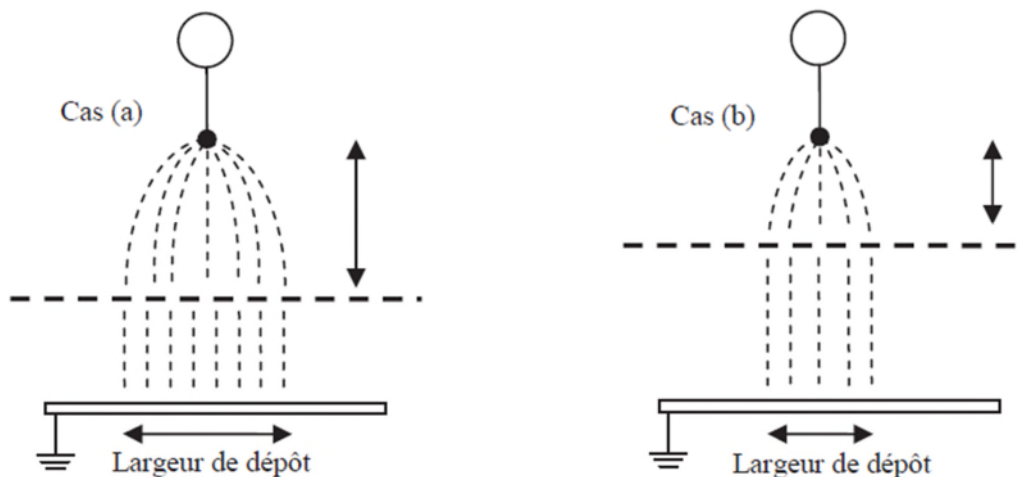
**Figure II.8 :** Décharge couronne dans le système triode de charge [26].

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, ainsi le champ électrique satisfait les équations de Laplace. L'utilisation de l'électrode duale dans des procédés électrostatiques permet l'orientation de la décharge couronne dans une zone bien définie de l'espace. Cette classe d'électrodes est caractérisée par l'injection non uniforme de charge autour de l'élément ionisant [28] [29].

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 et s'écoulent à travers la résistance vers la masse. La tension produite aux bornes de la résistance fixe le potentiel de la grille.

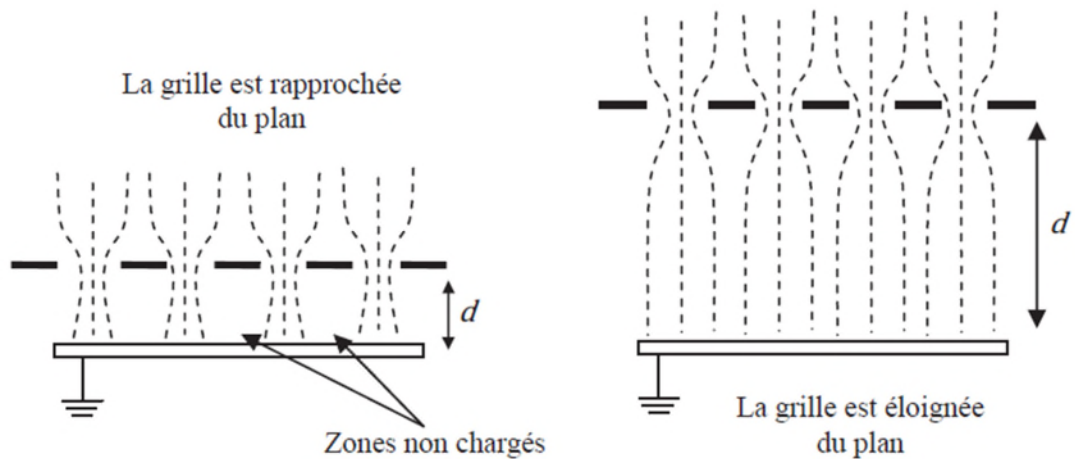
En présence d'un matériau diélectrique posé sur le plan de masse, les charges qui traversent la grille sont attirées vers la masse sous l'action du champ électrique et interceptées par ce diélectrique. Ainsi la surface libre du matériau subit un dépôt de charges sous l'action du champ électrique dû à 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. La figure II.9 illustre l'influence de la position de la grille sur la largeur de la surface chargée qui se rétrécit lorsque la grille est très proche de l'électrode couronne



**Figure II.9:** Effet de la position de la grille sur la largeur de dépôt [26].

Si la grille est très proche de la masse, telle qu'elle est présentée à la figure II.10, l'inhomogénéité du champ électrique dans la zone (3) s'accroît et il apparaît des zones non chargées. En effet, les dimensions des mailles de la grille ne sont plus négligeables par rapport à la distance  $d$  relativement petite, alors l'uniformité de dépôt n'est plus garantie.

Ainsi, il faut maintenir une distance minimale entre la grille et le plan de masse afin que l'ensemble grille-plan soit semblable à une configuration plan-plan et pour éviter, lors de la charge du média fibreux non tissé, tout contact entre la grille et les fibres du matériau.

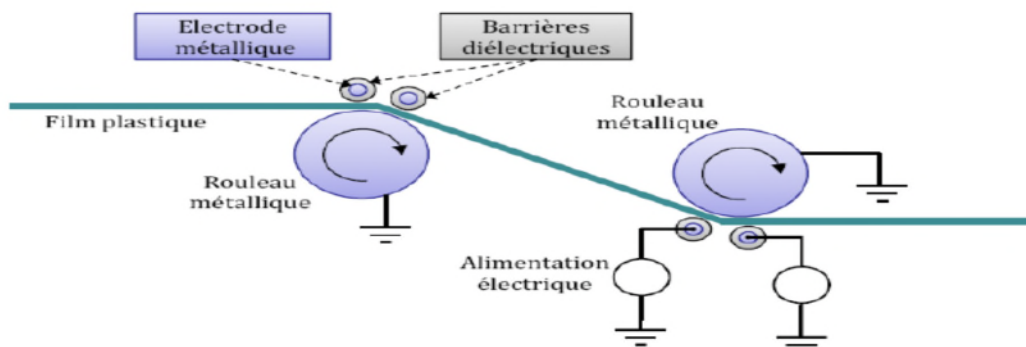


**Figure II.10:** Effet de la position de la grille sur l'uniformité de dépôt [26].

### II.2.5 Traitement des surfaces

Le traitement des surfaces est le deuxième domaine d'utilisation des plasmas froids produits par décharge couronne. Le premier secteur à les avoir adoptés couramment est la micro électronique pour la fabrication des circuits intégrés et des circuits imprimés. En raison de leurs caractéristiques et de leurs qualités intrinsèques, ils se diffusent dans d'autres secteurs comme la métallurgie et la mécanique (durcissement superficiel et protection anti corrosion des pièces et outillages), la plasturgie (préparation de la surface à une enduction ultérieure, nettoyage et dégraissage, élaboration de fonctions sélectives sur membranes, modification du coefficient de frottement, création d'un effet barrière, notamment pour les emballages alimentaires), le textile (anti-mouillabilité, anti glisse), ou encore l'optique et l'optoélectronique (dépôts organo métalliques multicouches).

La figure II.11 représente un exemple d'utilisation de la décharge à barrière diélectrique pour le traitement d'une surface de plastique.



**Figure II.11:** Utilisation d'une DBD dans le traitement surfacique de plastiques [28].

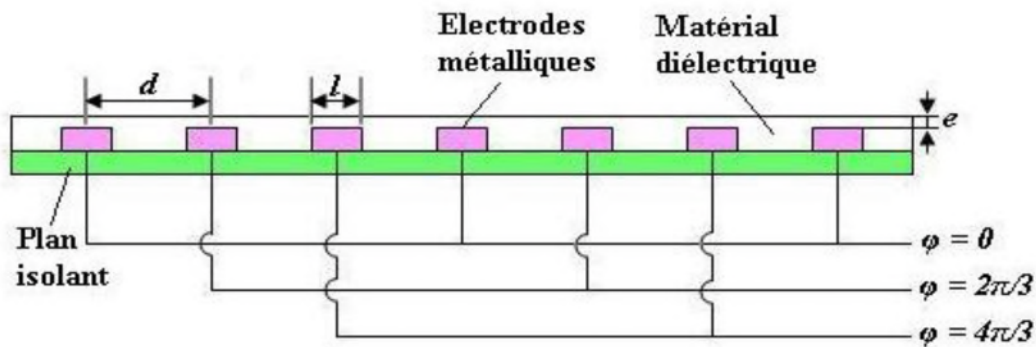
### II.2.6 Neutralisation

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

### II.2.7 Rideaux électriques

#### II.2.7.1 Rideaux électriques multi-phases

Pendant les années 1970 Masuda et ses collègues ont effectué de nombreuses études sur une technique appelée « rideau électrique » pour le confinement et le transport d'aérosols chargés. Le dispositif typique du rideau électrique comporte des séries d'électrodes rectilignes, parallèles, toutes placées dans un plan horizontal et noyées dans une couche plane d'isolant. Dans le dispositif triphasé (Figure II.12), les électrodes sont connectées et réalisent un ensemble de trois « peignes » intercalés alimentés par des tensions périodiques ayant un déphasage de  $2\pi/3$  et qui génèrent un champ progressif dans la direction perpendiculaire aux axes des électrodes [29].

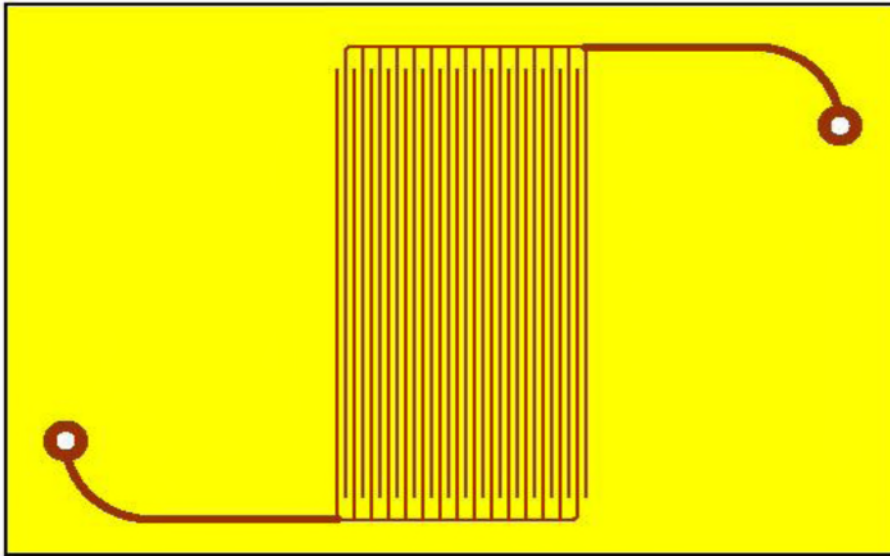


**Figure II.12 :** Section transversale d'un rideau électrique triphasé.

En un point dans l'air au-dessus de la surface de l'isolant, le rideau électrique multi phases a un champ électrique tournant. On pourrait s'attendre à un mouvement cyclique des particules chargées. Mais le champ électrique diminue avec la distance au plan des électrodes de façon que le cycle ne soit pas fermé ; sur une période du champ alternatif, l'analyse du mouvement d'une particule chargée a établi que la force exercée sur la particule a une composante verticale qui peut compenser la force de gravitation et une composante horizontale dont la direction dépend du signe de la charge. La force résultante est proportionnelle à la charge de la particule et au champ électrique et dépend aussi du gradient de champ. Ceci explique le balayage horizontal des particules chargées qui sortent ainsi de la zone soumise au champ.

### II.2.7.2 Rideaux électriques à onde stationnaire

Masuda a également examiné le cas plus simple où deux « peignes » intercalés sont alimentés par une tension monophasée (Figure II.13), l'un est connecté à la tension alternative et l'autre est relié à la masse.



**Figure II.13 :** Rideau électrique à onde stationnaire avec double réseau

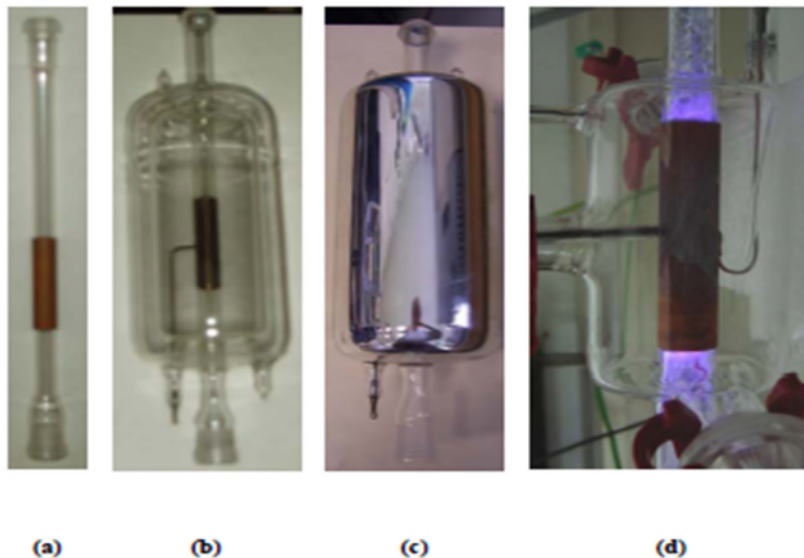
Dans ce cas, le champ électrique est oscillant et, en un point, le champ a une direction définie et une amplitude oscillant à la période imposée. Une particule chargée unique a donc un mouvement oscillatoire. Pour le dispositif horizontal, il apparaît une force résultante verticale qui peut repousser la particule chargée ; mais, pour une amplitude suffisamment faible du mouvement des particules, la composante horizontale moyennée spatialement est nulle et une particule unique devrait être piégée dans la région autour de la position initiale, entre les deux électrodes les plus proches. Si l'amplitude du champ est plus élevée, le mouvement peut être beaucoup plus complexe et nous avons observé un déplacement assez aléatoire de particules finissant par quitter la zone soumise au champ. Dudzicz [30] a suggéré que le processus pourrait être utilisé pour étudier et construire de nouveaux types de précipitateurs et de séparateurs électrostatiques.

### II.2.8 Réacteurs à DBD

Différents types de réacteurs, présentés sur la Figure II.14, ont été utilisés afin de mieux comprendre les phénomènes régissant la thermique d'un réacteur à Décharge à Barrière Diélectrique (DBD). Sur la figure II.14. (a) est représenté un réacteur à DBD simple non isolé



thermiquement. Sur la figure II.14. (b) est représenté un réacteur à DBD muni d'une double enveloppe en verre dans laquelle le vide a été fait, afin de diminuer les pertes par convection naturelle. Sur la figure II.14. (c) est représenté un réacteur à DBD muni d'une double enveloppe en verre sur laquelle a été déposée de la peinture argentée afin de diminuer les pertes par rayonnement et enfin sur la figure II.14. (d) est représenté un réacteur à DBD avec double enveloppe dans laquelle circule de l'azote à un débit de 890 ml/min.



**Figure II. 14 :** Photographies des différents réacteurs utilisés [31].

Tous sont des réacteurs cylindriques constitués sur la même base. Un tube en pyrex de diamètre intérieur 12,4 mm et d'épaisseur 1,8 mm constituent la barrière diélectrique. A l'intérieur du tube est placé de manière concentrique une tige en inox creuse jouant le rôle d'électrode interne. Cette électrode reliée à la haute tension, mesure 350 mm, et est positionnée entre l'entrée des gaz et la sortie de la zone plasma. L'électrode étant creuse, il est possible de mesurer l'évolution de sa température lorsque le plasma est actif. L'électrode externe reliée à la masse, est un tube en cuivre ou en inox d'épaisseur 1 mm et de longueur 80mm. La distance inter électrodes ainsi que le volume dans lequel se produit la décharge sont respectivement de 6,4 mm et  $9 \text{ cm}^3$ . Une coupe du réacteur avec les différentes dimensions sont données sur le schéma de la figure II.15

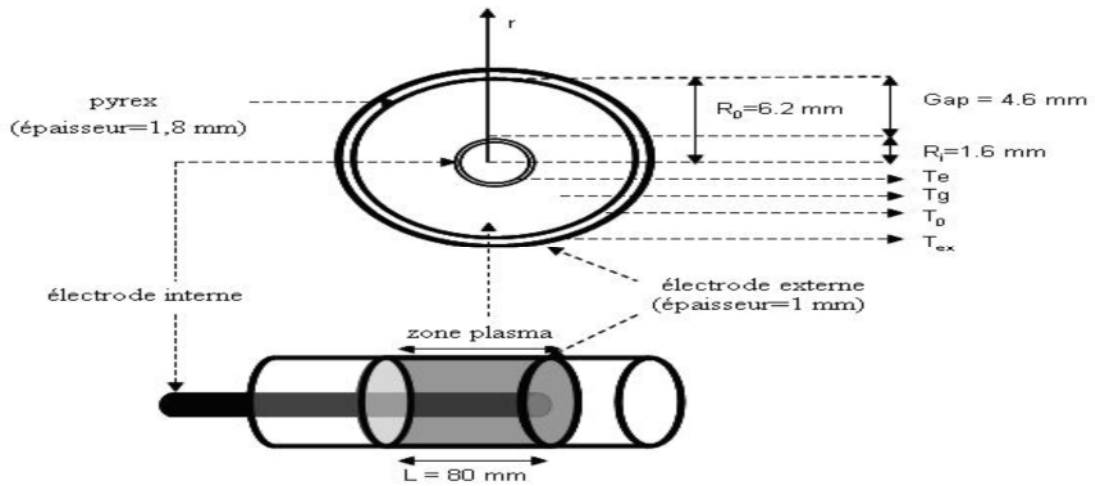


Figure II. 15 : Base commune aux différents réacteurs [20].

## II.9 Conclusion

Les systèmes de charges via la décharge couronne se classent en deux catégories suivant le nombre d'électrodes utilisé. On peut trouver des systèmes à deux électrodes, une électrode haute tension et une autre connectée à la masse ou bien un système triode. Dans ce dernier, une grille est placée entre les électrodes précédentes. Dans cette configuration d'électrode, les charges issues de l'ionisation de l'air sont accélérées sous l'action du champ électrique, passent à travers la grille et viennent se déposer sur la surface libre du diélectrique.

Après l'étude théorique de la décharge couronne et les mécanismes de fonctionnement, nous avons présenté trois facteurs essentiels d'influence : géométriques, physico-chimiques et électriques.

Parmi les domaines d'application de la décharge couronne, nous avons étudié la dépollution par la décharge couronne, les précipitateurs électrostatiques avec leur principe de fonctionnement, les électrets avec leur mode de formation, le traitement de surface, la neutralisation, les rideaux électriques et les réacteurs à Décharge à Barrière Diélectrique (DBD).

### III-1 Introduction

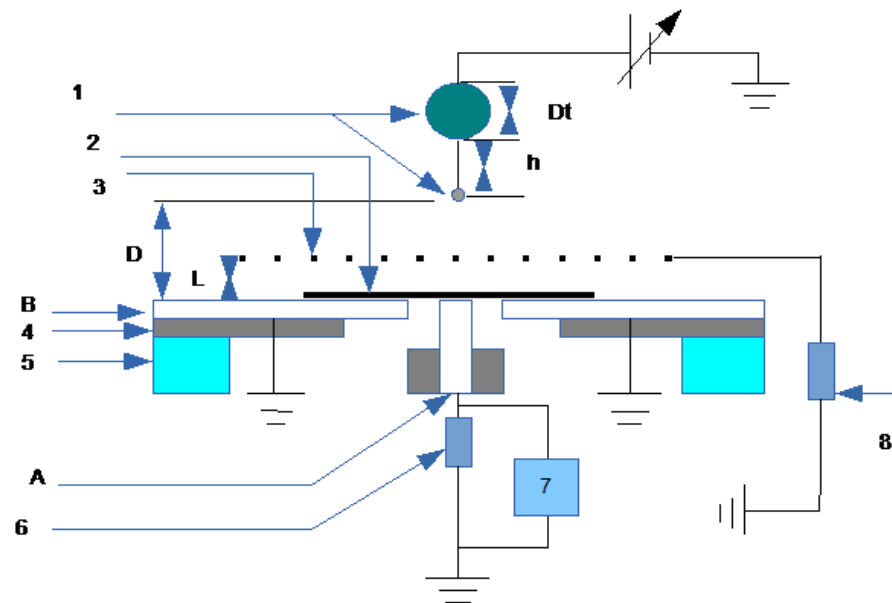
Cette partie est réservée à la description du dispositif expérimental, des méthodes de mesure et des différents paramètres (tension de seuil, densité de courant et mesure des paramètres physiques de l'air).

### III-2 Description du dispositif expérimental

Le dispositif représenté sur la figure III.1 est composée de l'électrode duale constituée d'un fil en cuivre de diamètre 0.1 mm placé à une distance de 5cm du plan en inox relié à la terre. Elle est utilisée pour tous les essais. Elle est tendue par un support isolant en plexiglas et un cylindre en aluminium (inox) avec trois diamètres différents ( $D_t=2,2\text{cm}$ ,  $D_t=4\text{cm}$ ,  $D_t=7,7\text{cm}$ ). Le cylindre se déplace en vertical à travers des étages. L'ensemble est relié à la source de haute tension continue variable. Nous avons utilisé deux sources différentes. La première délivre une tension allant de 0 à 20 kV pour deux types de polarités (positive ou négative), elle est représentée sur la figure III. 7. La deuxième délivre une tension variable de 0 à 135 kV mesurée à l'aide d'un voltmètre de crête (MU11) pour deux types de polarités (positive ou négative).

La sonde linéaire a été réalisée à l'université de Bejaïa. Elle est constituée principalement de deux plaques (B) mises à la terre, entre lesquelles se loge une lame rectangulaire de faible surface, le collecteur (A). 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 pour éviter les effets de bords (Figure III. 3).

Le dispositif de mesure, muni des appareils de mesure, est représenté sur la figure III.1.



A-collecteur, B- Plan de mesure 1- Electrode duale ,2- échantillon ,3- Grille métallique, 4- Support isolant ,5- support en bois, ,6-Résistance (150k $\Omega$ ) ,7-multimètre numérique8- Résistance (50k $\Omega$ )

**Figure. III.1.** Schéma détaillé du banc d'essais



**Figure III.2 :** Photo du banc d'essais

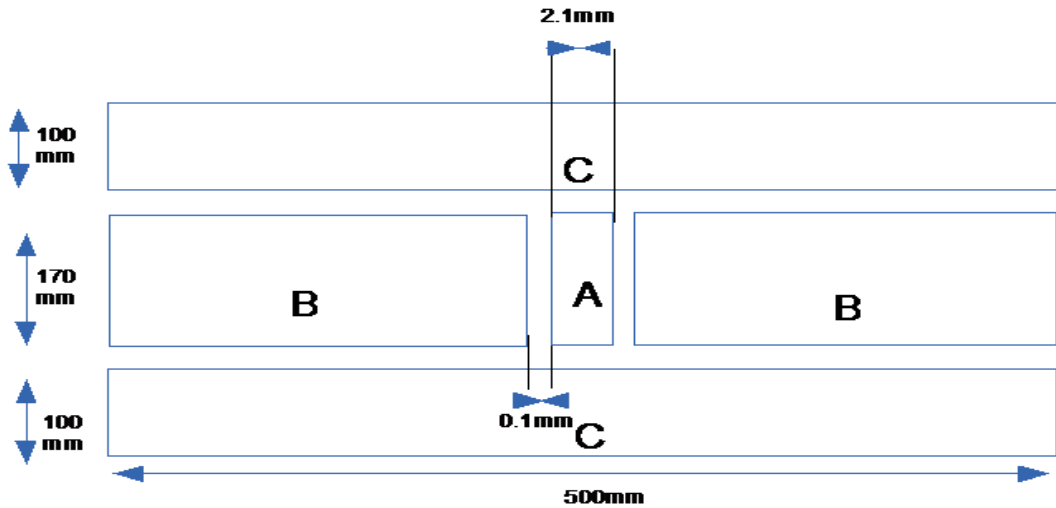


Figure III.3. Schéma de la sonde

Les grilles utilisées dans notre étude expérimentale sont insérées entre l'électrode active et la sonde par une distance de 1cm pour tous les essais. La première grille a un fil de tresse avec un diamètre de 1.18 mm et les interstices sont des losanges dont la surface est de  $6,4 \times 4 \text{ mm}^2$  et l'épaisseur égale à 0,8mm. La deuxième a un fil de tresse avec un diamètre de 0,1mm et les interstices sont des carrés dont la surface est de  $1 \times 1 \text{ mm}^2$ . La troisième a une surface de  $4 \times 4 \text{ mm}^2$ . Elles sont représentées sur la Figure. III. 4.

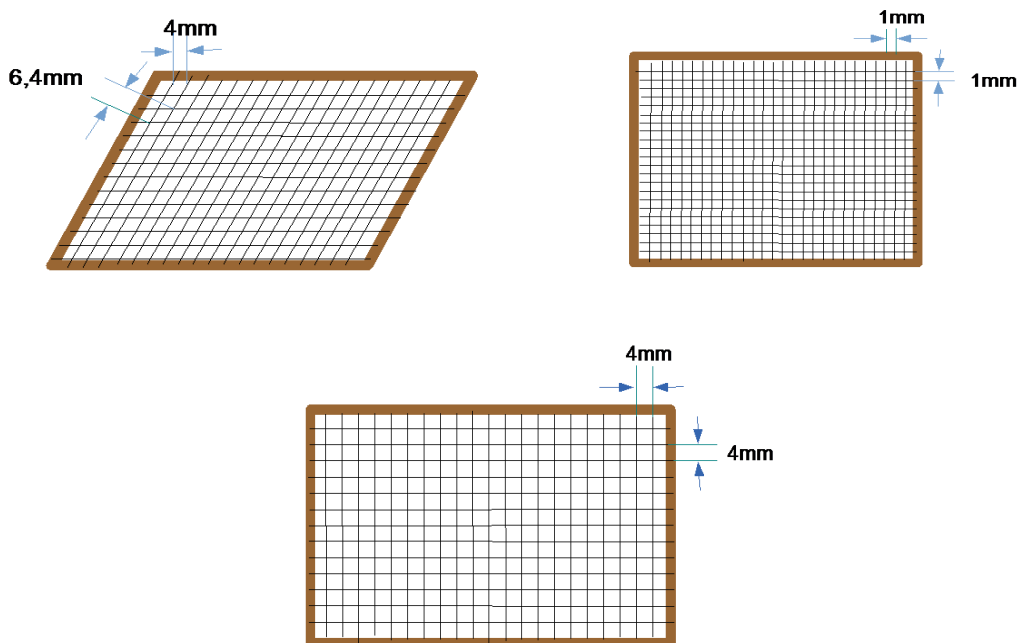
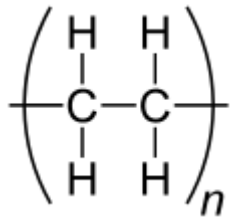


Figure III.4 Schéma représentatif des grilles

Pour le dépôt de charge l'échantillon que nous avons utilisé est le polyéthylène. C'est un polymère thermoplastique formé chimiquement par la polymérisation de l'éthylène  $C_2H_4$ . Il présente en général, une bonne rigidité diélectrique et il garde la charge, sa formule chimique est schématisée sur la figure III.5.



**Figure III.5** la formule chimique et la photo de polyéthylène

La figure III.6 montre le poste de charge que nous avons utilisé pour charger notre échantillon. L'échantillon a été placé sous la grille sur un plan en inox connecté à la terre. Le dépôt de charge électrique sur la surface de l'échantillon est effectué par un système triode. L'électrode active est de type dual constituée d'un fil en cuivre de diamètre 0.1mm tendu par un support isolant en plexiglas. Nous avons mis des gaines en PVC sur les extrémités du fil pour avoir l'égalité entre la longueur du fil et la largeur de l'échantillon et un cylindre en inox de diamètre 4cm. La distance entre le fil et le cylindre est de 5 cm, l'ensemble est porté à un potentiel continu de polarité positive ou négative, fournie par une source haute tension continue.

Une grille avec des mailles de forme losange, est interposée à une distance de 1cm de la surface du plan. La distance entre le fil et le plan est de 5cm. L'interrupteur k est placé avant la résistance, si k est ouvert, le potentiel de grille est flottante et si k est fermé la grille est reliée à la terre à travers une résistance de 50 k $\Omega$ .

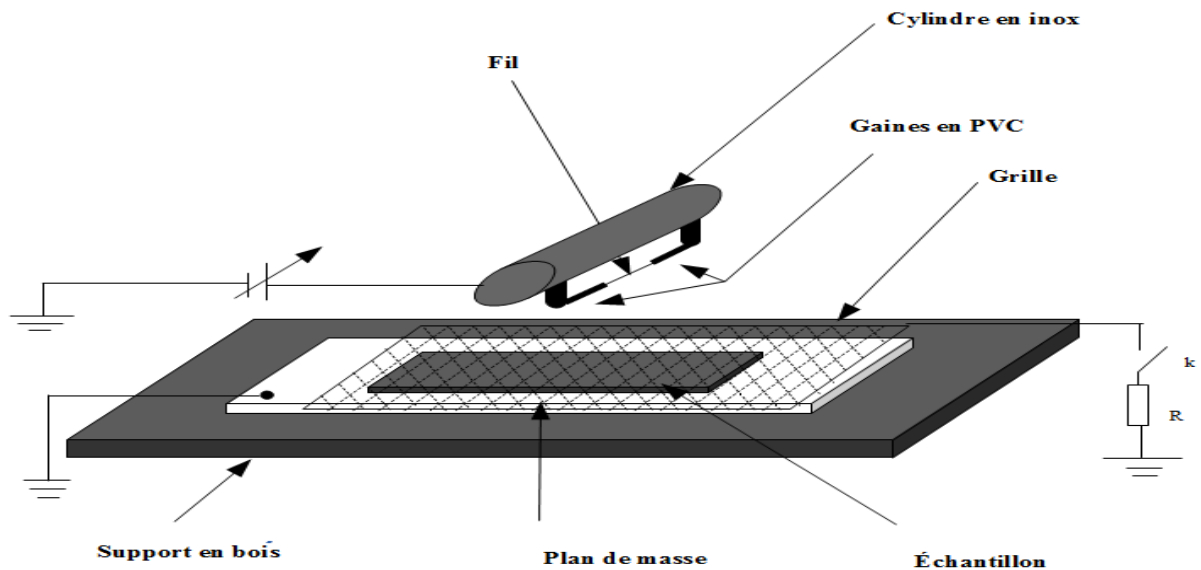
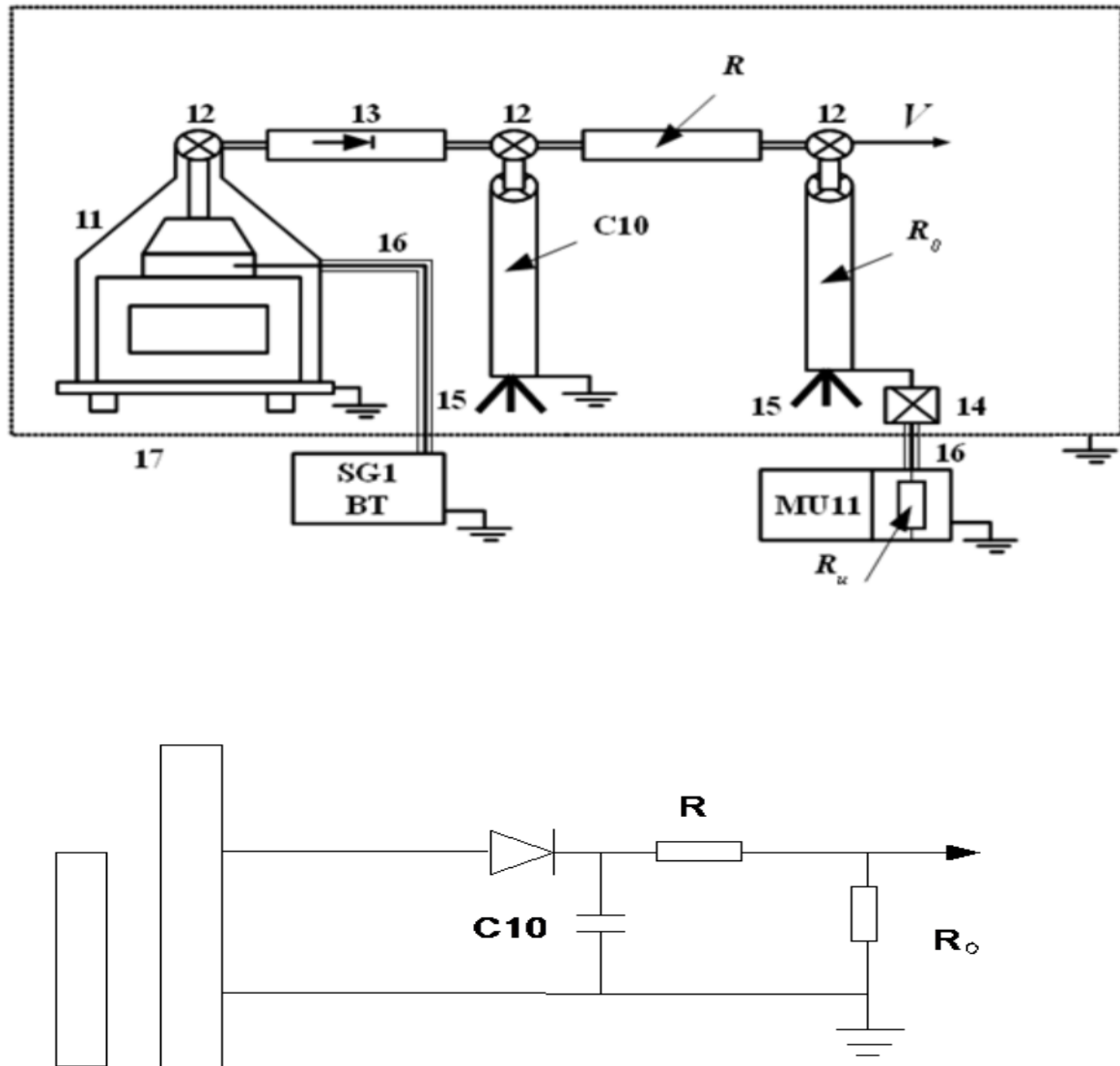


Figure III.6 Poste de charge

### III.3 Méthode de mesure

La mesure de la tension continue  $V$ , est effectuée à l'aide d'un voltmètre de crête (MU11) et d'un diviseur résistif. Le diviseur est composé de la résistance haute tension  $R_0$  de 250 M $\Omega$  et de la résistance basse tension  $R_u$  de valeur 501 k $\Omega$  à la quelle il faut associer en parallèle la résistance du voltmètre de crête MU11 de valeur  $R_e = 4.24$  M $\Omega$ . Les résistances  $R_e$  et  $R_u$  sont reliées par un câble coaxial blindé (voir la figure III.7). Le voltmètre de crête (MU11) mesure la tension  $u$  aux bornes de la résistance basse tension et affiche numériquement la valeur de la tension appliquée  $V_{app} = k \cdot u$  où  $k$  est le rapport du diviseur de tension:

$$k = \left( \frac{R_0 + (R_e // R_u)}{R_e // R_u} \right) = \frac{R_0 R_e + R_0 R_u + R_u R_e}{R_u R_e} = 555.62$$



**11** Transformateur haute tension (T100), **12** Nœuds de liaison, **13** Diode haute tension (G270), **14** Boite de connexion, **15** Support d'éléments, **16** Câble coaxial, **17** Grille de protection, **SG1** Alimentation basse tension, **MU11** Voltmètre de crête, **C10** Condensateur de lissage, **R** Résistance d'amortissement, **R<sub>0</sub>** Résistance haute tension, **R<sub>u</sub>** Résistance basse tension

**Figure. III.7** Schéma synoptique et électrique de l'installation haute tension



### III.3.1. Détermination de la tension de seuil

La tension de seuil  $V_0$  de l'effet couronne est obtenue en traçant la caractéristique courant-tension. Pour cela, nous avons utilisé la méthode de variation pas à pas de la tension et du courant de décharge simultanément. Nous pouvons aussi déterminer le seuil de la décharge par la méthode théorique, en traçant la caractéristique  $I/V=f(V)$  [35,36], qui est tirée de la formule de Townsend [1,38].

### III.3.2. Détermination de la densité de courant

La densité du courant est obtenue à partir du courant mesuré que l'on divise par la surface de la sonde  $S$  :

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

Où :

$I$  : le courant mesuré en A

$S$  : la section de la sonde en  $m^2$

$J$  : la densité de courant en  $A/m^2$

### III.3.3 Mesure des paramètres physiques de l'air

Durant l'étude expérimentale, nous avons effectué les mesures de la pression à l'aide d'un baromètre, de la température à l'aide d'un thermomètre à mercure, et de l'humidité à l'aide d'un hygromètre. Les relevés de ces trois paramètres ont été effectués systématiquement avant chaque essai.

### III.4 Conclusion

Cette partie décrit la démarche expérimentale entreprise et le matériel que nous avons utilisé durant les essais. La fiabilité des résultats repose sur la maîtrise de chaque procédé et technique utilisées. Le prochain chapitre est réservé à l'étude expérimentale et à la présentation des différents résultats obtenus.

## IV.1 Introduction

Dans notre travail expérimental, nous avons caractérisé le phénomène de la décharge couronne, en mesurant les courants de la décharge ( $I$ ) en fonction de la tension de source ( $V$ ) appliquée en choisissant un seul paramètre géométrique à varier et en gardant les autres fixes.

Les paramètres sont : le diamètre du cylindre ( $D_t$ ), distance entre le fil et le cylindre ( $h$ ), la distance inter électrode (électrode duale et le plan de mesure) ( $D$ ) et la nature de la tension appliquée  $V_+$ ,  $V_-$ .

Nous avons étudié la distribution de la densité de courant et l'influence des distances entre le fil et le cylindre et la nature de la tension appliquée pour trois cylindres de diamètres différents et pour différentes surfaces des interstices des grilles.

## IV.2 Caractéristique courant-tension

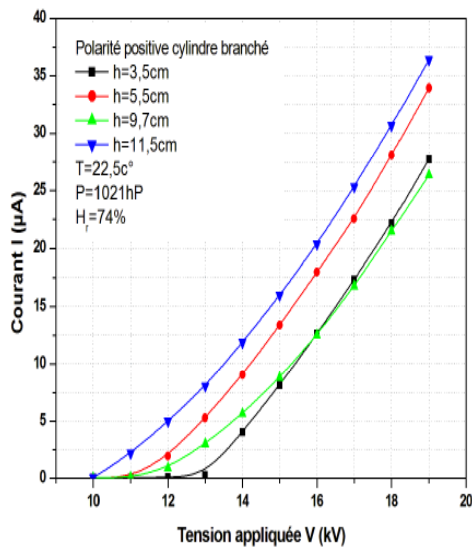
La caractéristique courant-tension est obtenue en mesurant les courants de la décharge ( $I$ ) en fonction de la tension de source ( $V$ ) appliquée  $V_+$  et  $V_-$ .

Les mesures ont été faites avec trois diamètres du cylindre ( $D_t = 2,2 ; 4$  et  $7,7$  cm) et pour quatre distances entre le fil et le cylindre. La tension appliquée varie de 0 à 19 kV. Le nombre moyen d'essais est de 10 pour chaque caractérisation.

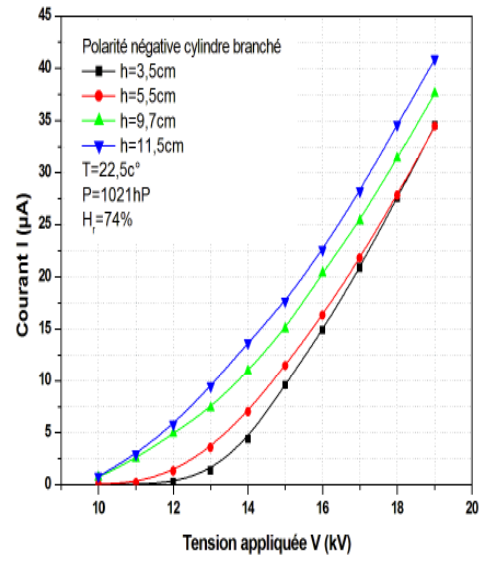
### IV.2.1 L'effet de la variation de la distance fil-cylindre de l'électrode dual

La spécificité de la décharge DC positive ou négative est l'existence d'une zone de dérive des ions qui agit comme une impédance en série avec la zone d'ionisation et donne aux décharges couronne leur stabilité [8] [38]. Dans le cas d'une décharge négative, les ions positifs créés par ionisation peuvent revenir à la cathode assez rapidement, alors que les ions négatifs créés par attachement d'électrons migrent dans la zone de dérive où le champ est plus faible. Avec une décharge positive, les ions positifs sont directement créés dans la région d'ionisation et migrent ensuite dans tout l'espace inter – électrodes.

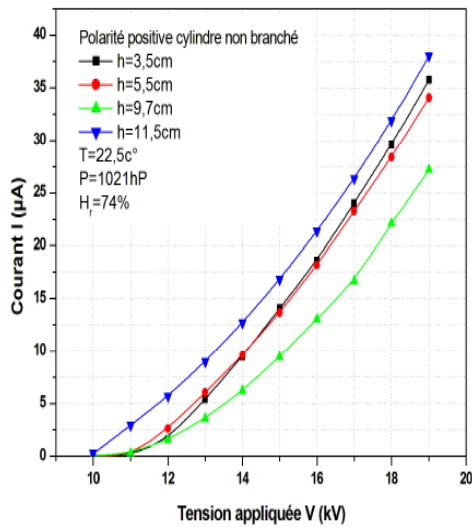
Les figures IV.1, IV.2 et IV.3 montre les allures des caractéristiques courant-tension pour les deux types de polarité positive et négative et le cylindre branché ou non branché.



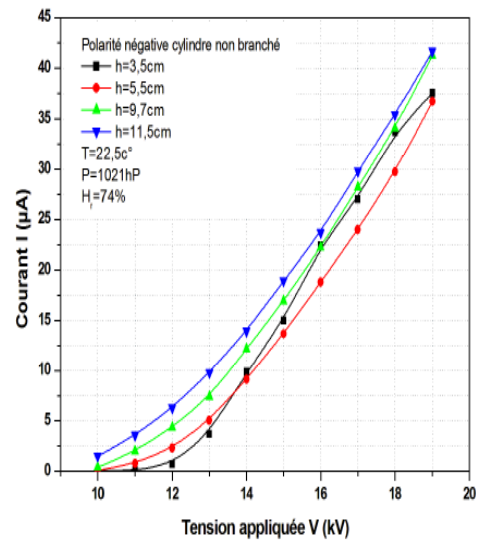
(a)



(b)



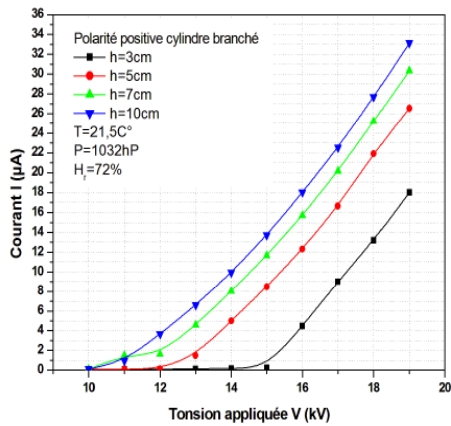
(c)



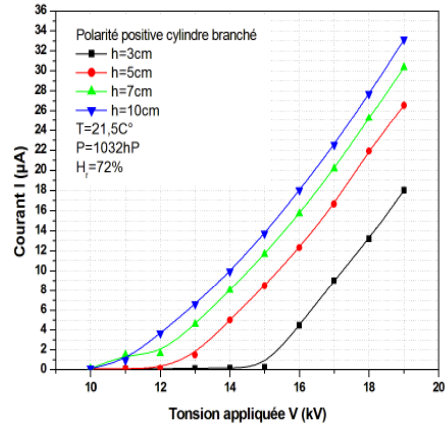
(d)

**Figure IV.1** Caractéristiques courant – tension en fonction de la distance entre le fil et le cylindre de l'électrode dual pour les polarités positive et négative et le cylindre de diamètre ( $D_t=2,2\text{cm}$ ) branché et non branché

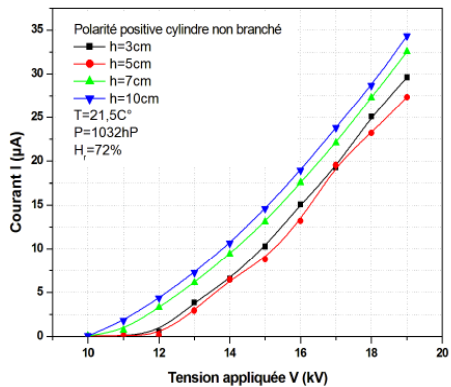
Nous avons constaté que le courant augmente graduellement avec la tension appliquée. Le courant continu qui traverse l'espace inter-électrodes est une fonction non linéaire de la tension appliquée.



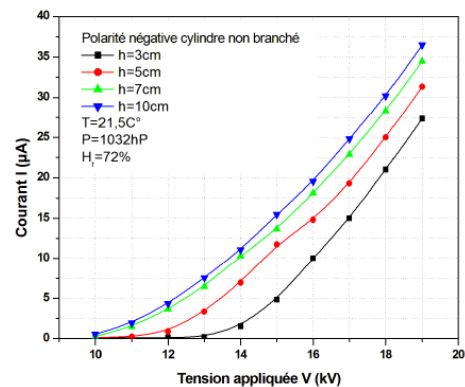
(a)



(b)



(c)

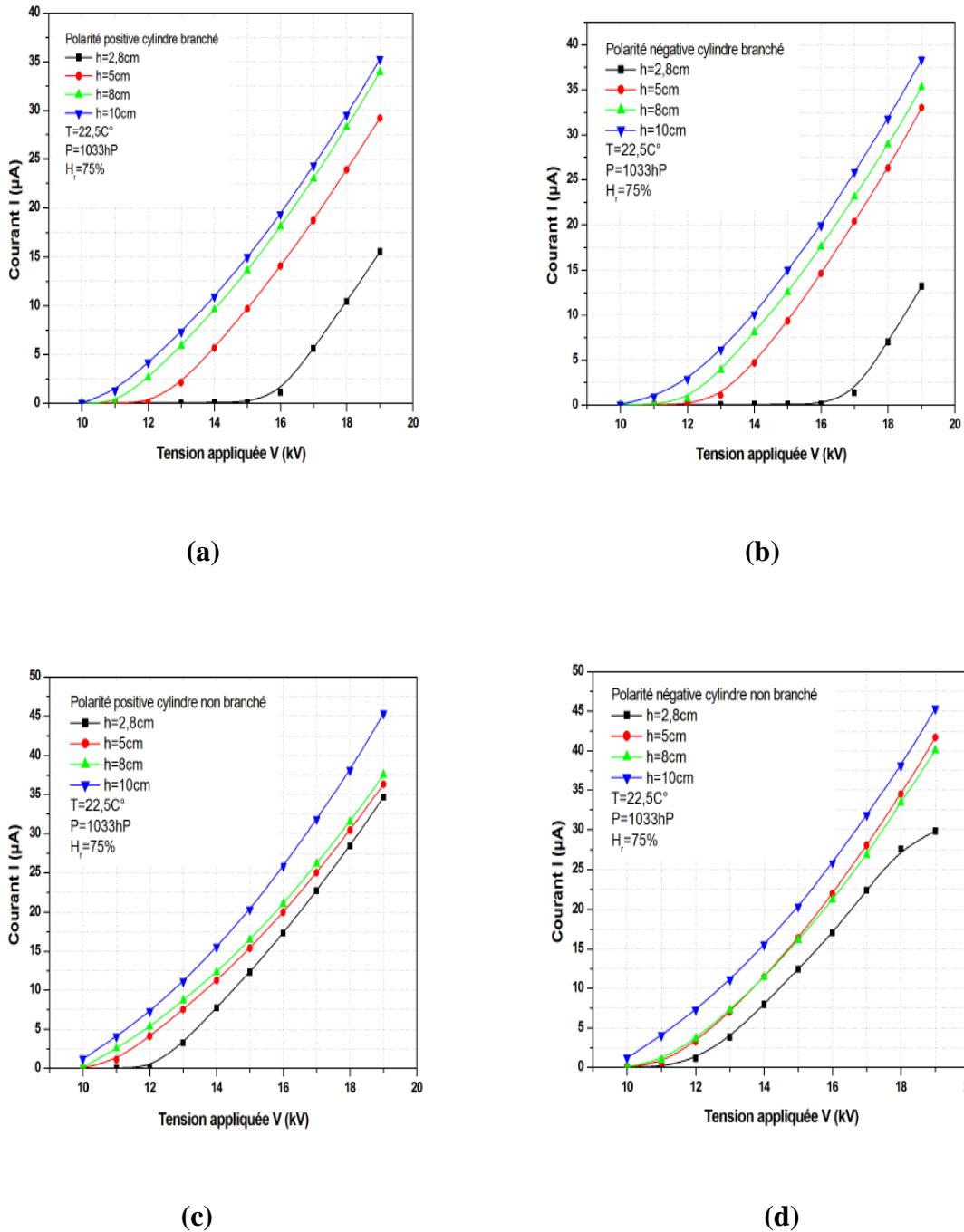


(d)

**Figure IV.2** Caractéristiques courant – tension en fonction de la distance entre le fil et le cylindre de l'électrode dual pour les polarités positive et négative et le cylindre de diamètre (Dt=4cm) branché et non branché

Lorsque le cylindre est branché à la haute tension et éloigné par rapport au fil, l'augmentation de h engendre l'augmentation du courant de décharge, cela s'explique par l'orientation des lignes de champ vers la deuxième électrode (plan de masse). Lorsque le cylindre n'est pas branché, nous remarquons la diffusion des lignes de champ c'est-à-dire

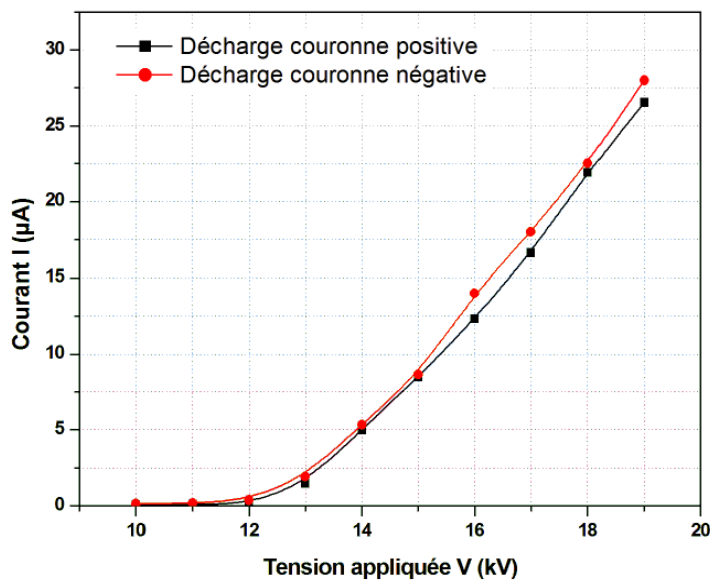
l'existence d'un corps étranger modifie les lignes de champ. A chaque fois qu'on augmente les distances  $h$ , les tensions de seuils diminuent.



**Figure IV.3** Caractéristiques courant – tension en fonction de la distance entre le fil et le cylindre de l'électrode dual pour les polarités positive et négative et le cylindre de diamètre ( $D_t=7,7\text{cm}$ ) branché et non branché

La caractéristique  $I = f(V)$  a une forme quadratique et confirme la loi de Townsend. La tension seuil  $V_0$  diminue avec l'augmentation de la distance entre le fil et cylindre.

Pour une électrode active négative, comme les électrons s'attachent très rapidement aux atomes ou molécules neutres, des ions négatifs sont formés et tout se passe comme si des ions de même polarité que l'émetteur étaient émis au plan de collecte sous l'effet de l'ionisation. C'est pour ça, dans la majorité des cas, on utilise la décharge couronne négative, ce qui nous emmène à faire une comparaison entre la décharge couronne négative et la décharge couronne positive [40]. Sur la figure IV.4, on peut identifier l'effet de la polarité sur la courbe  $I = f(V)$ .



**Figure IV.4** Caractéristiques courant – tension pour les deux polarités ( $h=5\text{cm}$ ,  $Dt=4\text{cm}$ )

Il apparaît clairement que le courant de décharge est plus important lors de la polarité négative. Par exemple pour une tension appliquée constante  $V=19\text{ kV}$ , le courant de décharge  $I=26,5\text{ }\mu\text{A}$  pour la polarité positive, et  $I=28\text{ }\mu\text{A}$  pour la polarité négative.

#### IV.2.2 Effet de la variation du diamètre du cylindre de l'électrode duale

Au regard de la figure IV.5, les courants mesurés augmentent avec l'augmentation du diamètre du cylindre  $Dt$  et la tension appliquée.

Cela nous amène à dire que l'augmentation du diamètre favorise l'orientation de plus de lignes de champ vers le plan de masse.

A des valeurs plus grandes du diamètre du cylindre, le champ a tendance à être de plus en plus uniforme puisque on se rapproche de plus en plus d'une configuration plan-plan où la décharge couronne s'affaiblit.

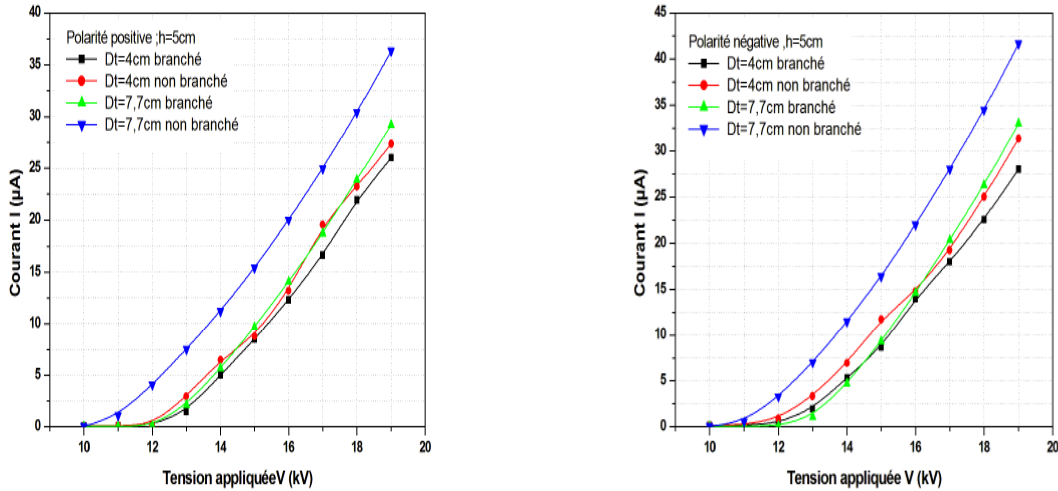


Figure IV.5 Effet de la variation du diamètre du cylindre de l'électrode duale

### IV.3 Densité de courant

Pour le calcul de la densité de courant on utilise la loi suivante :

$$J=I/S \tag{IV.3}$$

Tel que :

I est le courant collecté par la sonde A lorsque les plaques B sont reliées à la terre. S représente la surface de la sonde A.

La densité de courant est proportionnelle au courant de décharge I. Elle est maximale aux points d= 0 (situés sur la ligne de projections du fil HT sur le plan de masse) et diminue progressivement en s'éloignant de ce point jusqu'à l'annulation [29] [41].

Les figures. IV.6, IV.7 et IV.8 montrent que l'augmentation de la distance d engendre la diminution du maximum et l'allongement de la courbe J.

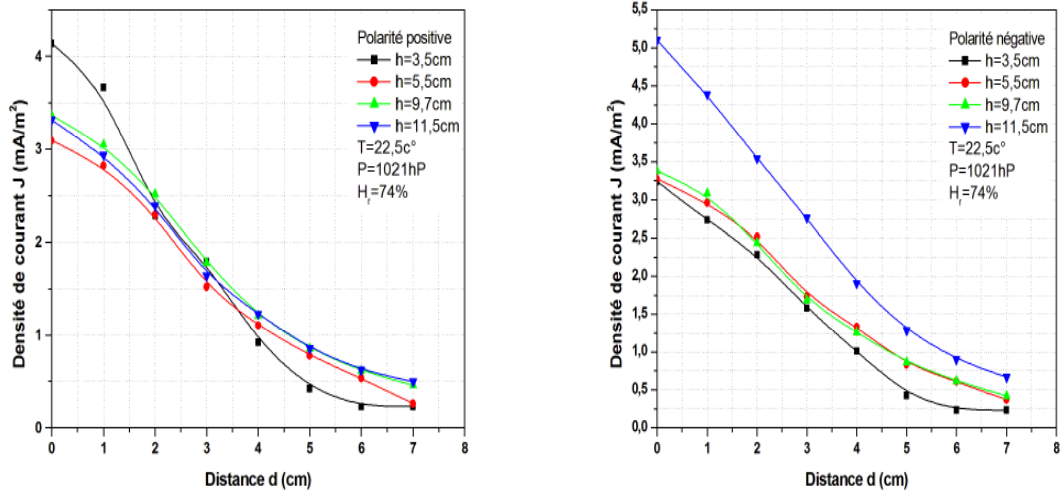


Figure IV.6 Distribution de la densité de courant au plan  $J=f(d)$  pour les décharges négative et positive et pour le diamètre du cylindre ( $Dt=2,2cm$ )

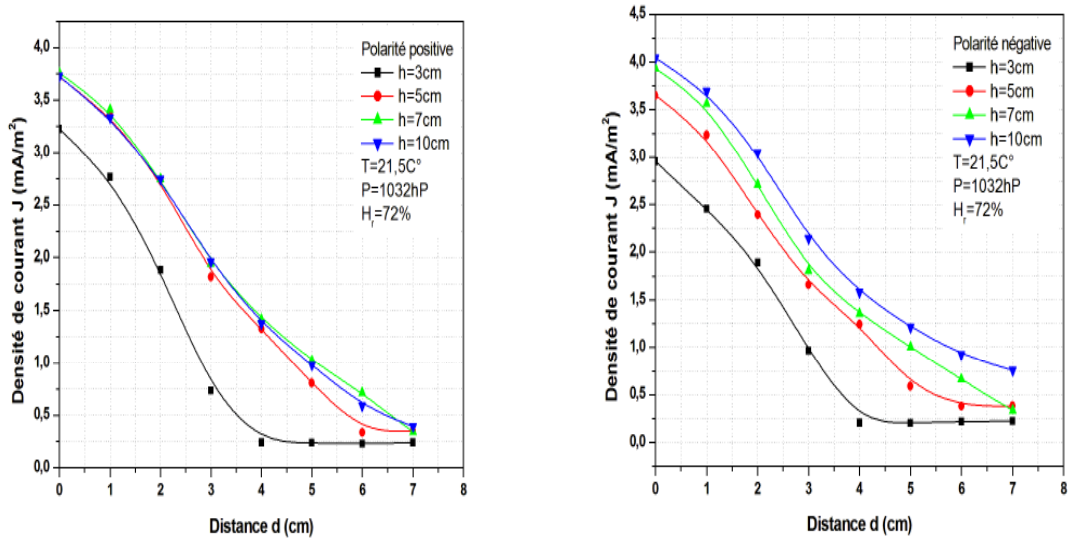
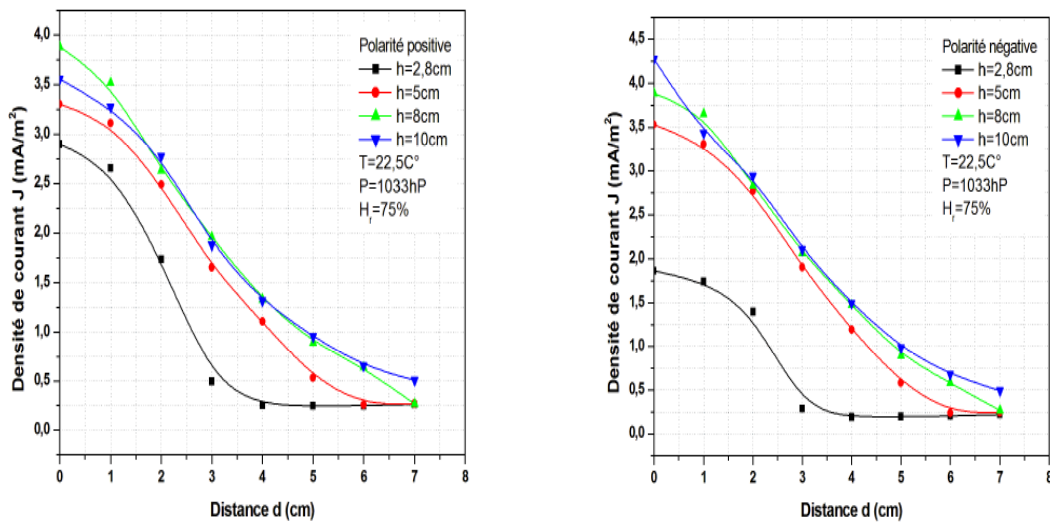


Figure IV.7 Distribution de la densité de courant au plan  $J=f(d)$  pour les décharges négative et positive et pour le diamètre du cylindre ( $Dt=4cm$ )





**Figure IV.8** Distribution de la densité de courant au plan  $J=f(d)$  pour les décharges négative et positive et pour le diamètre du cylindre ( $D_t=7,7\text{cm}$ )

Nous constatons aussi que, à chaque fois qu'on augmente le diamètre du cylindre ( $D_t$ ) la densité diminue pour les deux polarités. Néanmoins, pour certains points ( $d$ ), la densité de courant reste quasiment la même. Par exemple, sur la figure VI.7 où on a le cylindre de diamètre ( $D_t=4\text{cm}$ ), à une tension fixe ( $U = 18\text{ kV}$ ) et pour la polarité positive, entre ( $h= 5$ ,  $h= 7$  et  $h=10\text{ cm}$ ) la densité de courant est la même.

#### VI. 4 Effet de la variation de la surface des interstices des grilles flottantes

La figure IV.9 illustre l'effet de la variation des interstices de la surface des grilles flottantes ( $S$ ), en gardant les paramètres ( $D$ ,  $D_t$ ,  $h,L$ ) fixes.

Nous remarquons que le courant de grille ( $I_g$ ) augmente avec l'augmentation de la tension appliquée ( $V$ ). De même, le courant de la grille de surface  $4*4\text{ mm}^2$  est plus élevé par rapport au deux autres pour les deux polarités et pour des tensions importantes.

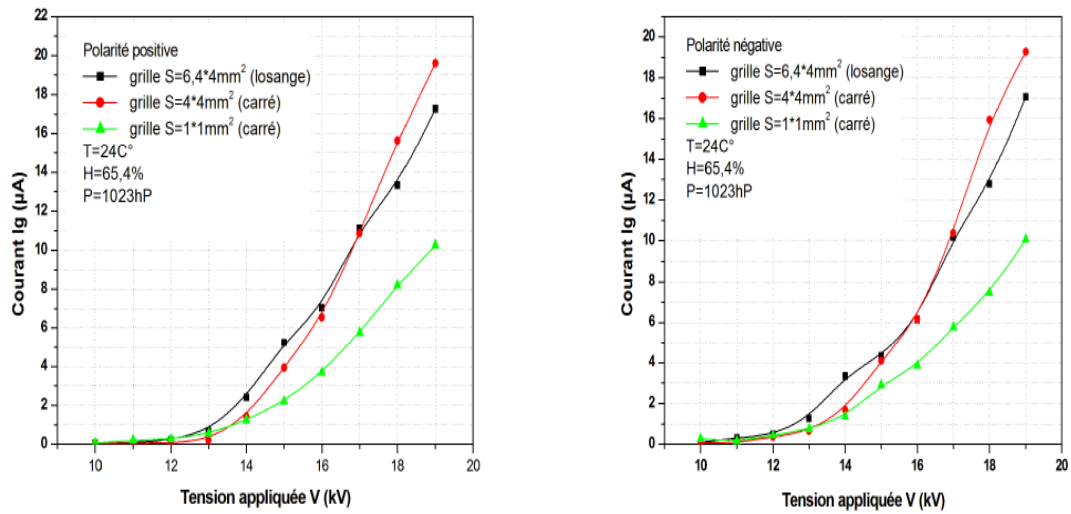


Figure IV.9 Effet de la variation de la surface des interstices des grilles flottantes

### VI.5 Distribution de la densité de courant J pour différentes surfaces des interstices des grilles

Nous constatons, sur la figure IV.10, qu'à chaque fois que la surface (S) des interstices de la grille diminue la densité de courant diminue. Elle diminue aussi avec l'augmentation de la distance (d).

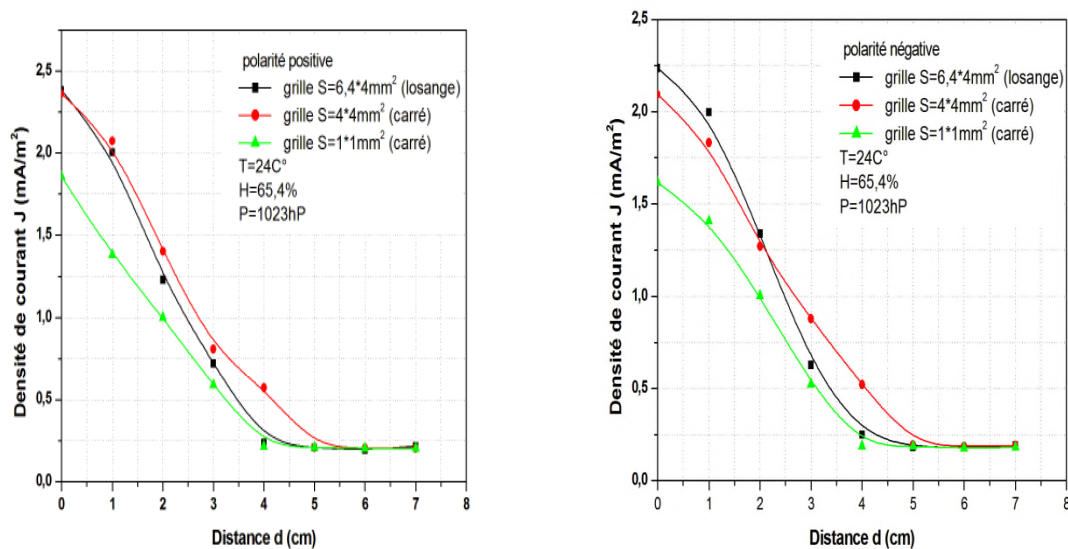


Figure IV.10 Distribution de la densité de courant J pour différentes surfaces des interstices des grilles

### VI.6 Effet de variation de la surface des interstices des grilles reliées

Sur la figure IV.11, nous remarquons que le courant de grille augmente significativement avec l'augmentation de la surface des interstices des grilles.

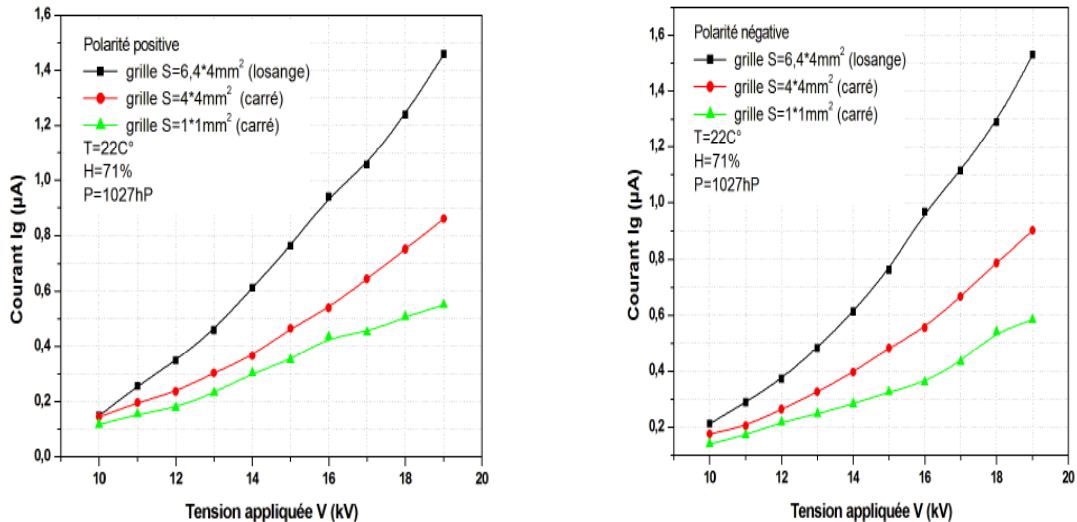


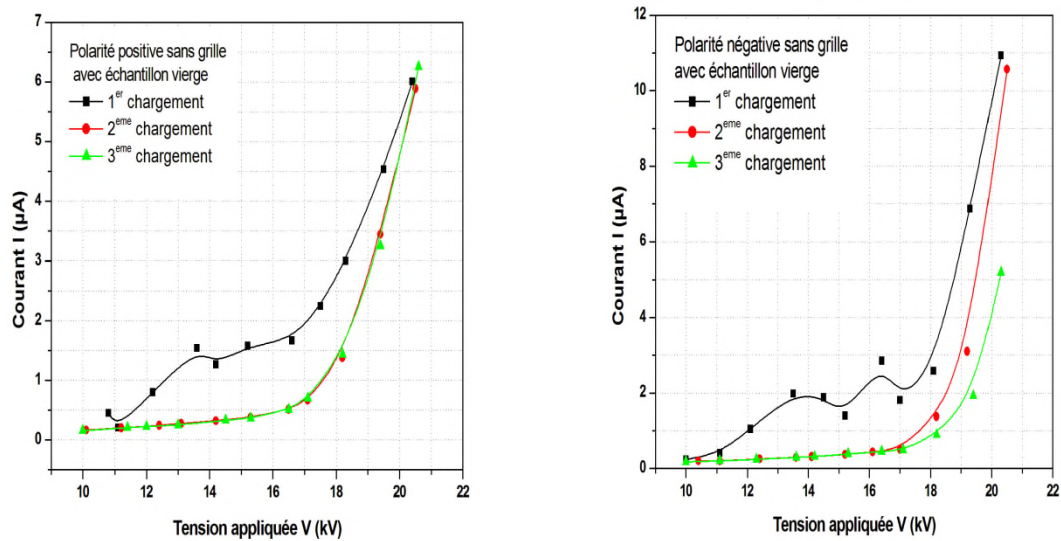
Figure IV.11 Effet de variation de la surface des interstices des grilles reliées

Nous remarquons qu'à chaque fois que la surface des interstices est grande, il y'a plus de lignes de champ qui tombent sur cette surface.

### IV.7 Dépôt de charge

#### IV.7.1 Chargement de l'échantillon sans grille

Pour étudier ce chargement, nous avons utilisé l'électrode-dual pour générer la décharge couronne. Nous avons mis les gaines en PVC sur les extrémités du fil pour avoir l'égalité entre la longueur du fil et la largeur de l'échantillon (14,5cm). L'échantillon est placé au dessus du fil de façon que la projection de l'axe du fil partage l'échantillon en deux. La figure IV.12 montre les allures du premier, du deuxième et du troisième chargement de l'échantillon.



**Figure IV.12** Chargement de l'échantillon sans grille

Nous avons constaté dans la figure précédente que quand l'échantillon est vierge dans le premier chargement, les courants de fuites sont importants. En revanche, les deux autres chargements présentent la même caractéristique. Cela veut dire que les courants de fuites diminuent avec le nombre de chargements de l'échantillon.

#### IV.7.2 Chargement de l'échantillon avec grille flottante

Nous remarquons sur la figure IV.13, que le courant augmente avec l'augmentation de la tension appliquée et que les allures des trois chargements ont presque la même caractéristique. Ceci est dû à la présence de la grille.

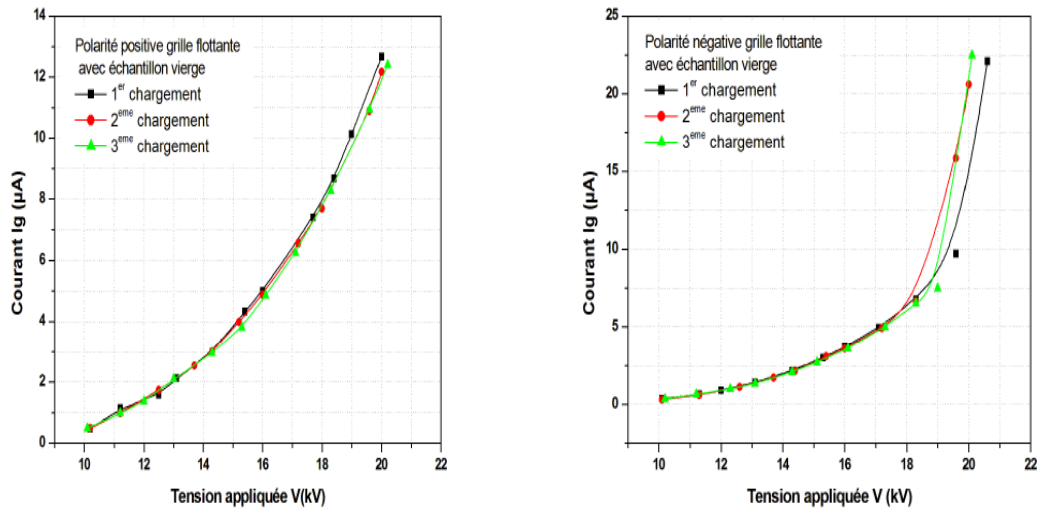


Figure IV.13 Chargement de l'échantillon avec grille flottante

### IV.7.3 Chargement de l'échantillon avec grille reliée à la terre

La figure VI.14 représente le chargement de l'échantillon avec la grille connectée à la terre où nous constatons que le courant augmente avec l'augmentation de la tension appliquée. A chaque fois qu'on ajoute un chargement, le courant diminue légèrement et la caractéristique reste presque la même pour les deux polarités.

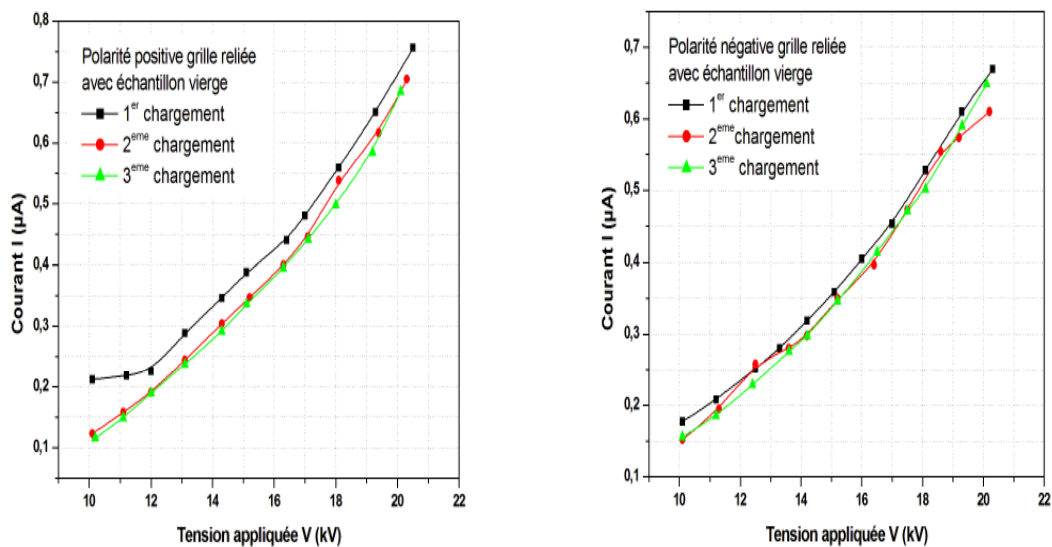


Figure IV.14 Chargement de l'échantillon avec grille reliée a la terre

IV.7.4 Comparaison du chargement de l'échantillon sans grille, avec grille flottante et avec grille reliée

Sur la figure IV.15, nous pouvons comparer entre l'absence de la grille et sa présence avec ou sans connexion. Elle peut être connectée à la terre via une résistance ou non connectée (flottante). Quand la grille est connectée à la terre via une résistance, il y'a un meilleur contrôle du dépôt de charge pour les polarités positive et négative.

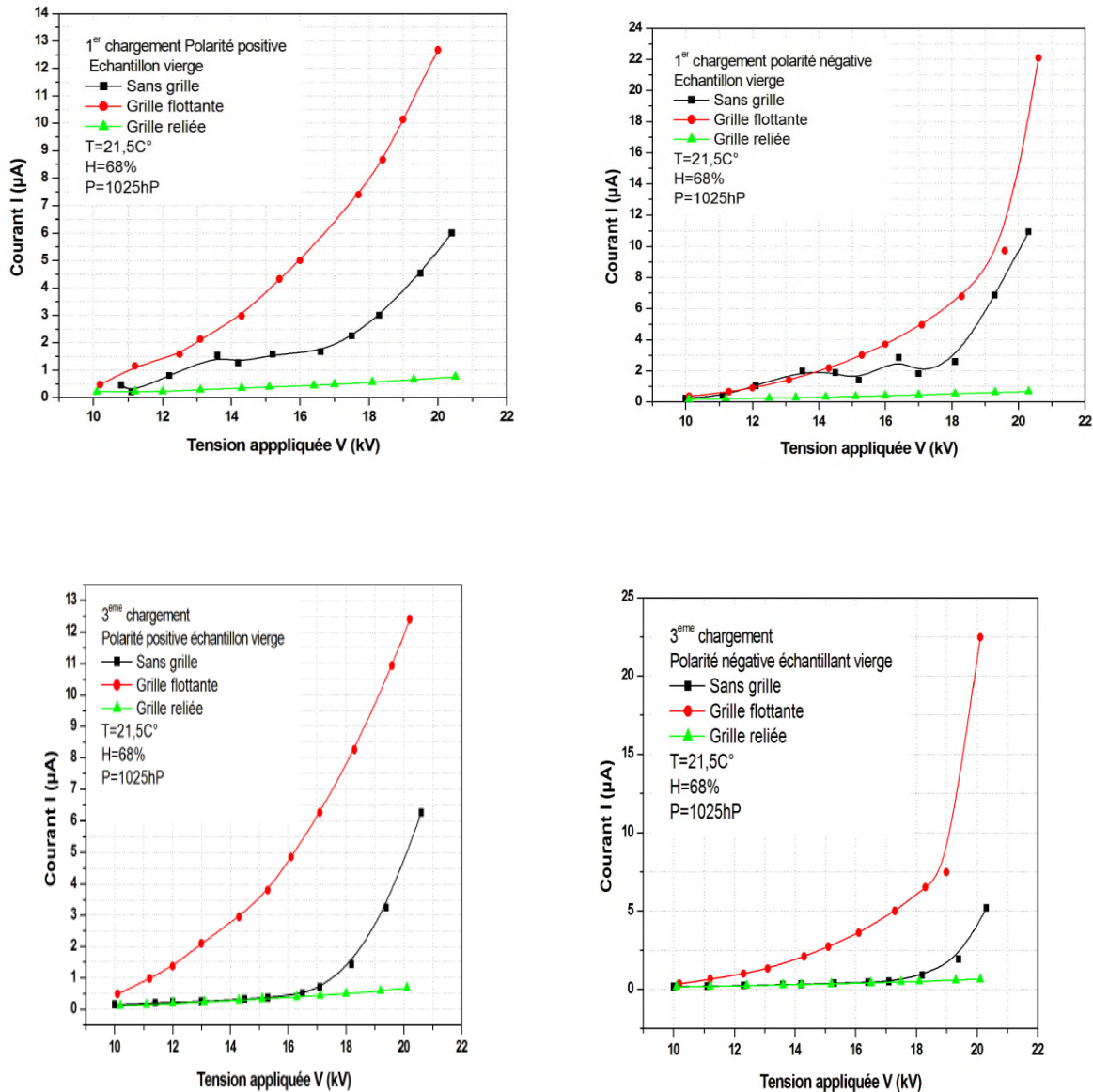


Figure IV.15 Comparaison entre l'absence de la grille et sa présence avec ou sans connexion

Nous constatons que les courants de fuite dans la polarité positive, dans tous les cas des systèmes de charge, sont plus grands par rapport à la polarité négative et à chaque fois qu'on ajoute un chargement, les courants de fuite diminuent. Nous avons donné un exemple

de comparaison dans le tableau IV.1, pour une tension appliquée de 18 kV. Avec la grille reliée à la terre via une résistance, les courants de fuite sont très faibles.

	1 <sup>er</sup> chargement		3 <sup>eme</sup> chargement	
	Polarité positive	Polarité négative	Polarité positive	Polarité négative
Sans grille	3,01 $\mu$ A	2,68 $\mu$ A	1,43 $\mu$ A	0,91 $\mu$ A
Grille flottante	8,62 $\mu$ A	6,83 $\mu$ A	8,32 $\mu$ A	6,39 $\mu$ A
Grille reliée à la terre via une résistance	0,59 $\mu$ A	0,49 $\mu$ A	0,498 $\mu$ A	0,448 $\mu$ A

**Tableau IV.1** Comparaison entre les résultats des chargements à 18 kV

#### IV.8 Essais de neutralisation

Nous avons utilisé une tension continue de signe inverse pour neutraliser la charge de l'échantillon.

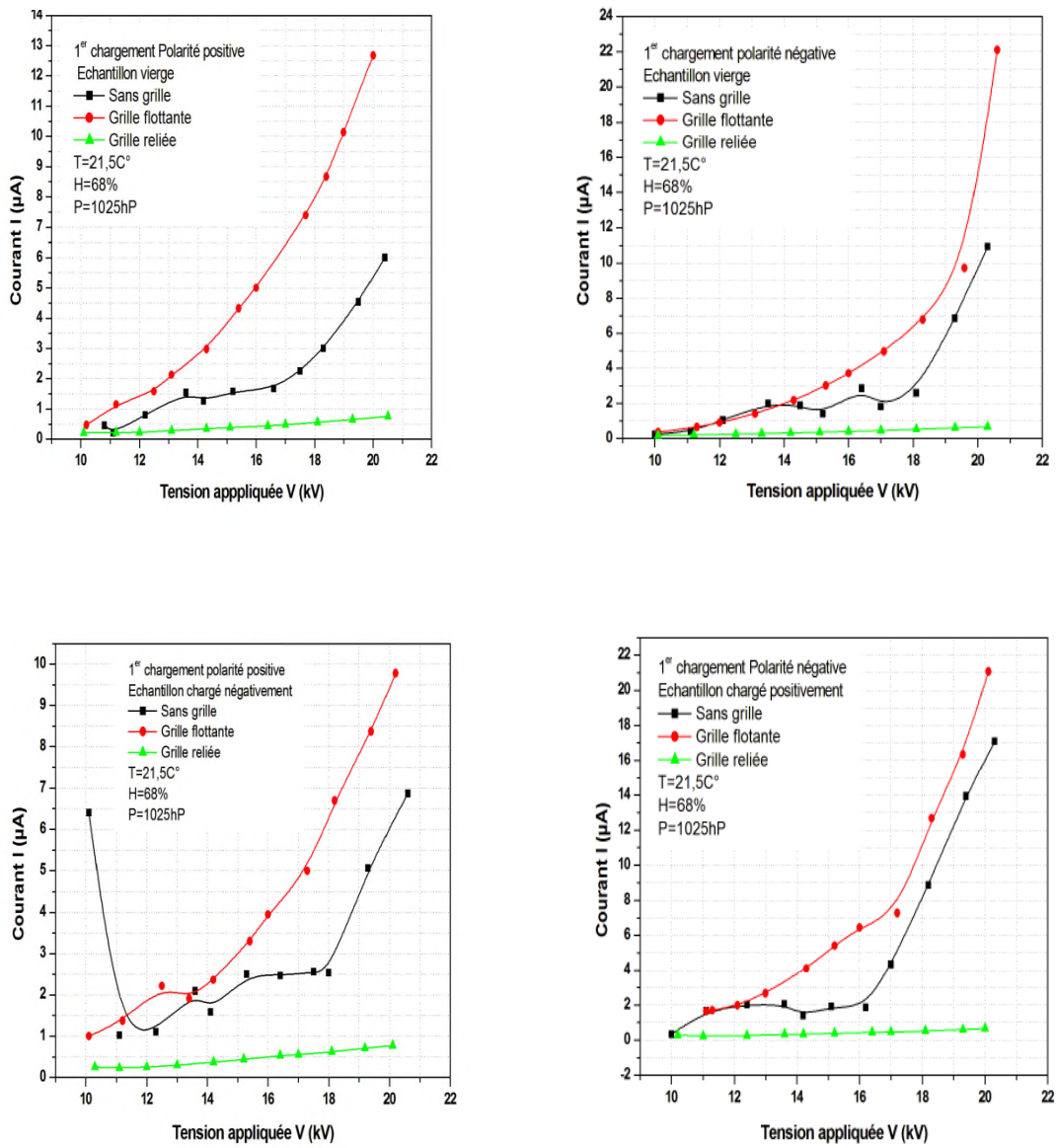
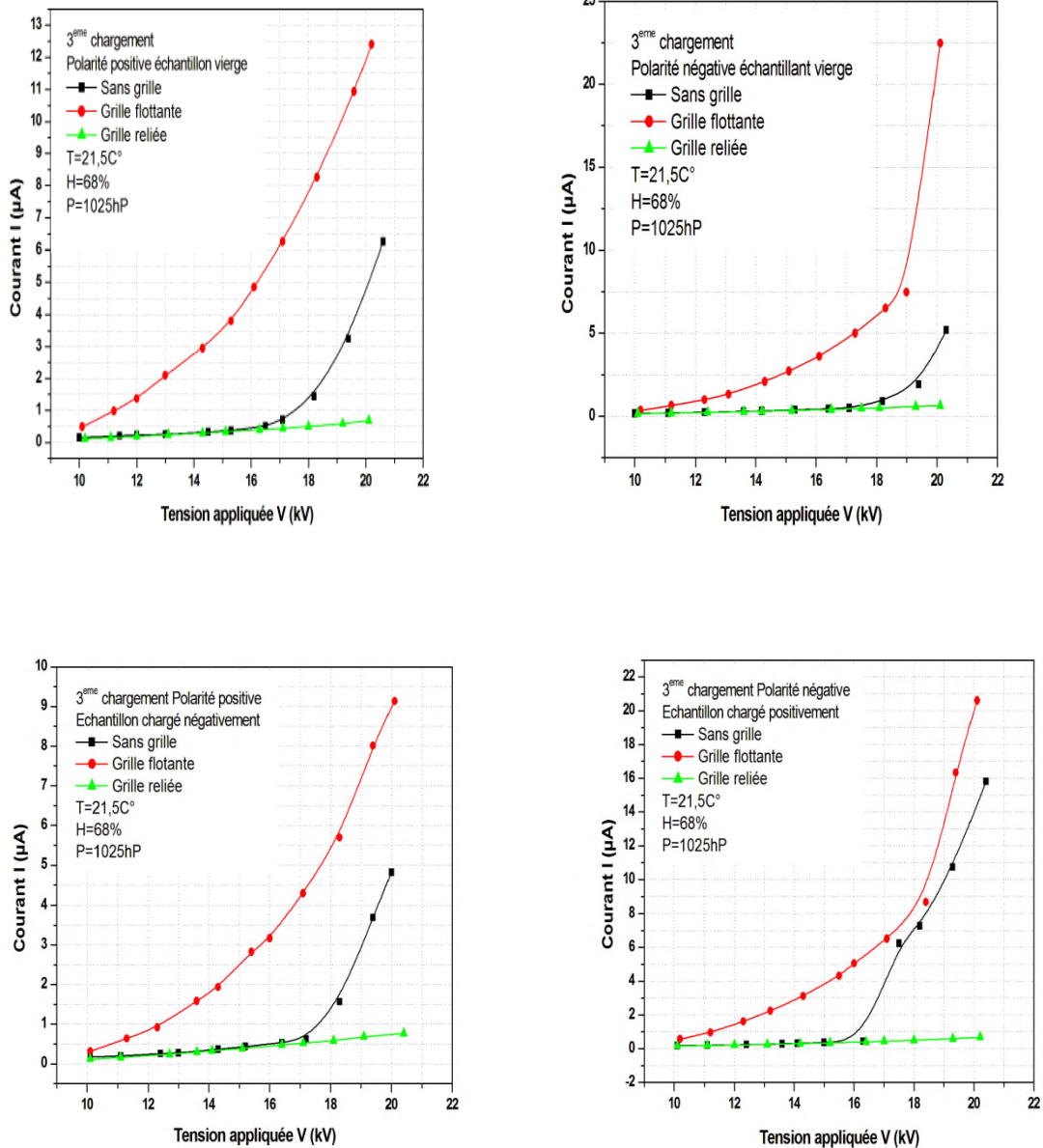


Figure IV.16 Comparaison des caractéristiques lors du 1<sup>er</sup> chargement avec et sans neutralisation

Le chargement de l'échantillon présente le même comportement des caractéristiques avec et sans neutralisation et ce pour tous les cas des systèmes de chargement (grille flottante, absence de la grille et grille reliée). Nous constatons une faible diminution des courants de fuite avec la neutralisation, comme illustré par les figures IV.16 et IV.17.



Lors de la neutralisation d'échantillon chargé négativement, nous remarquons un grand courant de fuite au démarrage. Ceci peut être dû au mécanisme de la décharge couronne positive.



**Figure IV.17** Comparaison des caractéristiques lors du 3<sup>ème</sup> chargement avec et sans neutralisation

Le pic des courants de fuite au démarrage n'apparaît plus dans le 3<sup>ème</sup> chargement avec neutralisation.

#### IV.8. Conclusion

Les caractéristiques courant – tension relevées ont montré que le courant augmente graduellement avec la tension appliquée. La variation peut être approximée par la relation empirique courant-tension de Townsend.

Le courant de décharge est plus important lors de la polarité négative. Les courants mesurés augmentent avec l'augmentation du diamètre du cylindre et la tension appliquée.

L'augmentation de la distance  $d$  et du diamètre du cylindre, engendre la diminution du maximum et l'allongement de la courbe de la densité de courant.

Le courant de grille augmente avec l'augmentation de la tension appliquée et de la surface des interstices des grilles.

Un meilleur contrôle du dépôt de charge sur un échantillon est obtenu lorsque la grille est connectée à la terre via une résistance.

Le chargement de l'échantillon présente le même comportement des caractéristiques avec et sans neutralisation et ce pour tous les cas des systèmes de chargement.

### Conclusion générale

L'objectif principal de notre travail, est la caractérisation de la décharge couronne dans un système triode. Nous avons exploré les différents paramètres influençant la caractéristique courant- tension, la densité de courant et le dépôt de charge.

Après l'étude théorique du principe des décharges électriques et particulièrement des décharges couronnent et le mécanisme de leur génération, nous avons évoqué les propriétés spécifiques, les différents types de décharges et de géométrie ainsi que les facteurs influençant les décharges couronnent. Les différents domaines d'application de la décharge couronne ont été passés en revue.

Nous avons décrit la démarche expérimentale entreprise et le matériel utilisé durant les essais. Le dispositif réalisé permet d'effectuer des essais avec trois cylindres de diamètres différents (2,2 ; 4 et 7,7 cm) et pour quatre distances entre le fil et le cylindre de l'électrode. La tension appliquée varie de 0 à 19 kV. Le nombre moyen d'essais est de 10 pour chaque caractérisation.

La fiabilité des résultats repose sur la maîtrise de chaque procédé et technique utilisés.

Les caractéristiques courant – tension relevées expérimentalement ont montré que le courant augmente graduellement avec la tension appliquée. La variation peut être approximée par la relation empirique courant-tension de Townsend.

Le courant de décharge est plus important lors de la polarité négative. Les courants mesurés augmentent avec l'augmentation du diamètre du cylindre et la tension appliquée. L'augmentation de la distance  $d$  et du diamètre du cylindre, engendre la diminution du maximum et l'allongement de la courbe de la densité de courant. Le courant de grille augmente avec l'augmentation de la tension appliquée et de la surface des interstices des grilles.

Les essais effectués ont montré qu'un meilleur contrôle du dépôt de charge sur un échantillon est obtenu lorsque la grille est connectée à la terre via une résistance.

Le chargement de l'échantillon présente le même comportement des caractéristiques avec et sans neutralisation et ce pour tous les cas des systèmes de chargement.

En perspective, la mesure du déclin du potentiel de surface de l'échantillon chargé est souhaitable.

- [1]: J.S, Townsend, « Electricity in gases », Oxford University Press, 1914.
- [2]: A. Goldman, R. Haug, R. V. Latham, « Electrical Breakdown and Gas Discharge Part B », Journal of Applied Physics, USA, pp.56, 1981.
- [3] : C. Gary, « Effet couronne sur les réseaux électriques aériens », Technique de l'ingénieur, D4440, pp. 1-25.
- [4] : Jérôme JOLIBOIS, Etude et développement d'un actionneur plasma a décharge à barrière diélectrique –Application au contrôle d'écoulement sur profil d'aile, Thèse de doctorat de l'université de potier, décembre 2008
- [5] : A. Alyen, « Etudes expérimentales des décharges couronne pour la dépollution des gaz », Thèse de doctorat de l'université de Toulouse, 2009.
- [6]: A. Lacoste, D. Pai, C. Laux, « Ion wind effect in a positive DC corona discharge in atmospheric pressure air », AIAA, PP, 354, Reno, 2004.
- [7] : G. Hartmann, « Spectrographie de la décharge couronne : étude des mécanismes de collisions dans le dard », Thèse doctorat de l'université de Paris XI, 1977.
- [8]: Y. Zebboudj, G. Hartmann, « Current and electric field measurements in coaxial system during the positive DC corona in humid air », Eur. Phys. J. AP 7, pp, 167-176, 1999.
- [9]: M. Goldman, R.S. Sigmond, « Corona insulation », IEEE Trans. Elec. Ins. EI. 12/2, PP, 90 – 105, 1982.
- [10]: L. Dascalescu, « An introduction to ionized gases, theory and applications », Toyohashi University of Technology, 1993.
- [11] : A. Kasdi, « Etude théorique et expérimentale de la décharge couronne bipolaire », Thèse de doctorat de l'université de Bejaia, Algérie, 2007.
- [12] :M. Rezzouga, A.Tilmatine, R.Gouri, k.Medles, L.Dascalescu, « Experimental modiling of high-voltage corona discharge using design of experiments », front, electr, electron, eng, 2, pp, 139-143, 2007.

- [13] : M.P. Panaget, « Etude en laboratoire des effets physico-chimiques induits par les pertes de transport à haute tension », Thèse de doctorat de l'université Paris 6, 1997.
- [14]: K. Hamoumeche, Étude de l'interaction entre une barrière de papier et une décharge couronne en géométrie pointe-plan, Thèse de magister, UMMTO, décembre 2009.
- [15]: 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.
- [16]: H .Nouri, Influence des paramètres physiques de l'air sur le précipitateur électrostatique d'aérosols, Thèse de doctorat, université de Bejaia ,2010.
- [17] : M. Benyamina, *Etude de la production de l'ozone dans les décharges couronne*, Thèse de doctorat université d'Oran ,2014.
- [18]: R. G Rice, Ozone, Guide Electric power Research Institute, St Louis, MO (1996).
- [19]: F. Hegeler, H.Akyama, Ozone Generation by positive and Negative Wire-to-plate Stremer Discharges, J.J.App.Phys.Vol.36, part1, No.8, pp. 5335, August1997.
- [20]: N.Thallinger, Emballage en non tissé, CNRT Emballage conditionnement, fiche technique N°27, 2005.
- [21] : B. BENAMAR, « La faisabilité de l'électrofiltration d'une atmosphère chargée en poussières de bois », Thèse de doctorat de l'université Henri Poincaré, Nancy, 2008
- [22] : B. Dramane , précipitation électrostatique de particules submicroniques par décharge à barrière diélectrique- étude électrique, granulométrique aérodynamique ; Thèse de doctorat université de Poitier, 2009.
- [23] : F.Micheron, Electrets ; Techniques de l'ingénieur, E1893, pp .1-12
- [24]: K. C. Kao, Dielectric phenomena in solids, elsevier *Academic Press*, ISBN: **0-12-396561-6, 2004.**
- [25]: G.M Sessler, recent developments journal of Electrostatics, vol 51-52, PP.137-145, 2001.
- [26]: C. Menguy, Electricité statique principales, problèmes. Application Techniques de l'ingénieur, D1035, PP .1.25

- [27] : B. Tabti, Contribution à la caractérisation des filtres à électret par la mesure du déclin de potentiel de surface, Thèse de doctorat université de Poitiers, 2011.
- [28] :T.T Chau, K.C Kao, G.Blanc, F. Madrid, Microwave plasma for low temperature dryterilization, Biomaterials , Vol 17,pp.1273-1277,1996.
- [29] : A. Bendaoud, A. Tilmatine, K. Medles, M. Blajan, M. Rahli, L. Dascalescu, « Caractérisation expérimentale des électrodes couronne de type « dual ». », Journal of Electrostatics, Vol.64, pp.431-436, 2006.
- [30]: L. M. Dumitran, L. Dascalescu, P.V. Notinghera, P. Atten, « Modelling of corona discharge in cylinder-wire-plate electrode configuration », Journal of Electrostatics, Vol.65, pp.758-763, 2007.
- [31]: D. Saad; Effet de la décharge couronne sur les surface isolantes et les surface métalliques ; mémoire de magistère ; université de TIZI –OUZOU, 2011.
- [32]: S. Masuda and T. Kamimura, Approximate methods for calculating a non-uniform Travelling field, Journal of Electrostatics, Vol. 1 pp. 351-370, 1975.
- [33]: Z. Dudzicz, Electrodynamics of charged particles and repulsion force within plane type Electri curtain, J. Electrostat , Vol. 51-52, pp. 111-116, 2001.
- [34]: N. DUBUS, Contribution à l'étude thermique d'un réacteur à décharge à barrière diélectrique, Thèse de doctorat université de Poitiers, 2009.
- [35]: M. F. Frechette,S. I. Kamel, «DC corona discharge in SF6: Evidence of an electronic component for the negative polarity», Proc. IEEE Int. Symp. On Electrical Insulation, Boston, USA 1988.
- [36]: X. Meng, H. Zhang, J. Zhu, « A general empirical formula of current–voltage characteristics for point-to-plane geometry corona discharges », J. Phys. D: Appl. Phys. 41, 065209, 2008.
- [37]: J. M Townsend, « Electron in gases », Hutchinson. London, 1948.
- [38] : N. Zouzou, E. Moureau, G. Touchard, « Précipitation électrostatique dans une configuration pointe-plan », Jour. Electrostatic, 64, pp, 537-542, 2006.
- [39]: B. L. Henson, « A space-charge region model for microscopic steady coronas from points », J. Appl. Phys.52, pp, 709–15, 1981

[40]: M. Kaci ,H. Ait Said, A. Laifaoui, M. Aissou, H. Nouri, Y. Zebboudj, Investigation on the Corona Discharge in Blade-to-Plane Electrode Configuration, Braz J Phys.45 (2015) .

[41] :A. Bouteffaha, A. Bendaoud, A. Tilmatine, K. Medles, M. C. Plopeanu, L. Dascalescu, Experimental and numerical characterization of corona discharge generated by a triode electrode system, IEEE Ind. Appl. Society Annual Meeting, 2013.



# *Sommaire*



# **Introduction générale**



# Chapitre I

# Chapitre II

# Chapitre III



# **Chapitre IV**

# **Conclusion générale**

# **Référence bibliographiques**