

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira- Bejaïa

Faculté de technologie

Département D'électrotechnique

MEMOIRE DE MAGISTER

Présenté par : **M. BENNAI Fatah**

En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Electrotechnique

Option : Systèmes électro-énergétiques

Thème

Influence d'une grille conductrice sur la densité de courant de décharge couronne

Soutenu publiquement le : 17 /02 /2010 devant le jury composé de :

M. R. Saou

M. Y. Zebboudj

M. R. Boudissa

M. R. Alkama

Maitre de conférences U.A.M. Bejaia

Professeur U.A.M. Bejaia

Maitre de conférences U.A.M. Bejaia

Maitre de conférences U.A.M. Bejaia

Président

Rapporteur

Examineur

Examineur

Remerciements

Ce travail, malgré la présence d'un seul nom d'auteur sur la couverture du manuscrit, est le fruit d'une collaboration étroite entre plusieurs personnes.

Je tiens en premier lieu à exprimer toute ma reconnaissance à M. Zebboudj Youcef, professeur à l'université de Bejaia, directeur de mémoire qui a dirigé ces recherches tout en m'accordant sa confiance durant l'année pratique. Sa bonne humeur, sa grande disponibilité, ses conseils avisés et ses compétences ont permis de faire évoluer ce travail à grand pas.

Je tiens également à remercier M. Saou Rachid, maitre de conférences à l'université de Béjaia, pour avoir accepté de présider le jury de soutenance. M. Boudissa Rabah et M. Alkama Rezzak, maitres de conférences à l'université de Bejaia, m'ont fait l'honneur d'être les examinateurs de ce travail, je les en remercie vivement.

Enfin, Je n'aurai garde d'oublier ceux qui, par leur patience, leur gentillesse, leur aide, et leur sens de l'humour ont permis de mener à terme ce travail. Je voudrais qu'ils trouvent ici l'expression de toute mon amitié, notamment A. Aksas, A. Benadjaoud et M. Hassissene.

C'est avec une grande émotion que je rend hommage à celle qui n'a, à aucun moment, cessé de m'aider, de m'encourager, de me soutenir et surtout de supporter mes états d'âme : Ma femme Farida.

Dédicaces

A ma femme Farida

A mes enfants Yani, Badis et Zakari.

A la mémoire de mon père.

Je dédie ce modeste travail.

Citation

La science ne connaît qu'une loi: la contribution scientifique.

Galilée.

Nomenclature

α	Premier coefficient de Townsend
N_x	Nombre d'électrons produits à une distance x de la cathode
dx	Parcours élémentaire de l'avalanche
dN_x	Nombre d'électrons produits à une distance dx
N_0	Nombre d'électrons primaires produits par extraction de la cathode
d_i	Distance inter-électrodes
d	Distance fil-grille
h	Distance inter-électrode expérimentale
N_d	Nombre d'électrons atteignant l'anode
I	Courant récolté à l'anode
E	Champ électrique appliqué
P	Pression du gaz
γ	Deuxième coefficient de Townsend
d_c	Distance critique
$\bar{\alpha}$	Coefficient effectif d'ionisation
η	Coefficient d'attachement
x_c	Distance critique
n_c	Nombre critique d'électrons produit par l'avalanche
$h\nu$	Photon
v	Vitesse moyenne de l'électron
σ	Section efficace de collision entre un électron et une molécule
δt	Temps de parcours
N	Densité du gaz en nombre de molécules par unité de volume
n	Nombre de collisions par seconde

λ	Libre parcours moyen
V_s	Tension seuil
V_r	Tension de claquage
L_c	Epaisseur de la zone d'ionisation
E_c	Champ critique du minimum d'ionisation
E_s	Champ seuil de l'effet couronne
R	Rayon de courbure de l'électrode active
F, B, G	Constantes qui diffèrent d'un auteur à un autre
E_p	Champ dû à la charge d'espace
δ	Densité relative de l'air
H_a	Humidité absolue
A_0	Constante (0,1088)
a_0	Constante ($3 \cdot 10^{-7}$ m)
Z_0	Constante ($17 \cdot 10^{-6}$ m)
B_0	Constante (0,59)
θ	Constante ($11,4 \cdot 10^{-3}$ g/m ³)
α_H	Constante ($16,03 \cdot 10^{-3}$ (g/m ³) ^{-1/2})
T	Température du gaz

Liste des figures

- Figure I-1** : Réalisation d'une décharge de Townsend à courant continu
- Figure I-2** : Courant de décharge en fonction de la distance inter-électrodes
- Figure II-1** : Systèmes d'électrodes couramment utilisés pour la production de la décharge couronne
- Figure II-2** : Caractéristique courant-tension d'une décharge couronne dans l'air à la pression atmosphérique
- Figure II-3** : Représentation schématique d'une décharge couronne en géométrie fil-plan
- Figure II-4** : Système utilisé pour simuler le précipitateur électrostatique.
- Figure II-5** : Caractéristique $I=f(V)$ pour les deux cas : sans et avec encens.
- Figure II-6** : Précipitateur électrostatique semi-humide avec des électrodes fil vaporisatrices.
- Figure II-7** : Dispositif expérimental pour l'étude du déclin de potentiel à la surface de l'échantillon de PET.
- Figure II-8** : Courbes de déclin du potentiel obtenues sur trois valeurs du potentiel initial.
- Figure II-9** : Photographie du média non tissé (a) polypropylène et (b) polyester.
- Figure II-10** : Dispositif expérimental.
- Figure II-11** : Courbes typiques du déclin du potentiel de surface, obtenues pour des échantillons de polypropylène à différents potentiels de la grille.
- Figure II-12** : Courbes typiques du déclin du potentiel de surface obtenue pour des échantillons de polyester à différents potentiels de la grille.
- Figure II-13** : Comparaison entre les courbes typiques du déclin du potentiel de surface pour le polypropylène et le polyester et pour un potentiel de la grille égal 1 kV.
- Figure III-1** : Schéma de la sonde
- Figure III-2** : Schéma détaillé du banc d'essais
- Figure III-3** : Schéma de l'installation haute tension avec dispositif de mesure
- Figure III-4** : Aspect de la grille métallique utilisée
- Figure III-5** : Photographie du dispositif de mesure
- Figure III-6** : Photographie du banc d'essai
- Figure IV-1** : Caractéristique $I=f(V)$ (courant recueilli par la sonde)
- Figure IV-2** : Caractéristique $I=f(V)$; système fil-plan sans grille
- Figure IV-3** : Caractéristique $I=f(V)$; système fil-plan $h = 7$ cm avec grille
- Figure IV-4** : Caractéristique $I=f(V)$; système fil-plan $h = 5$ cm avec grille
- Figure IV-5** : Caractéristique $I=f(V)$; système fil-plan $h = 3,5$ cm avec grille
- Figure IV-6** : Influence de la grille sur l'intensité de la décharge
- Figure IV-7** : Distribution de la densité de courant au plan $J=f(Y)$ pour $h = 3,5$ cm
- Figure IV-8** : Distribution de la densité de courant au plan $J=f(Y)$ pour $h = 5$ cm
- Figure IV-9** : Distribution de la densité de courant au plan $J=f(Y)$ pour $h = 7$ cm
- Figure IV-10** : Graphe comparatif de $J=f(Y)$: expérimental et empirique
- Figure IV-11** : Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant pour $h=3,5$ cm - $d=2$ cm
- Figure IV-12** : Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant pour $h=3,5$ cm - $d=1,5$ cm
- Figure IV-13** : Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant pour $h=3,5$ cm - $d=1$ cm
- Figure IV-14** : Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant pour $h= 5$ cm - $d=3,5$ cm
- Figure IV-15** : Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant pour $h= 5$ cm - $d=3$ cm
- Figure IV-16** : Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant pour $h= 5$ cm - $d=2$ cm
- Figure IV-17** : Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant pour $h= 5$ cm - $d=1,5$ cm
- Figure IV-18** : Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant pour $h= 5$ cm - $d=1$ cm

- Figure IV-19** : Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant pour $h= 7 \text{ cm}$ - $d=5\text{cm}$
- Figure IV-20** : Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant pour $h= 7 \text{ cm}$ - $d=3\text{cm}$
- Figure IV-21** : Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant pour $h= 7 \text{ cm}$ - $d=2\text{cm}$
- Figure IV-22** : Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant pour $h= 7 \text{ cm}$ - $d=1,5\text{cm}$
- Figure IV-23** : Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant pour $h= 7 \text{ cm}$ - $d=1\text{cm}$
- Figure IV-24** : Potentiel de la grille en fonction de la tension appliquée pour $h = 3,5 \text{ cm}$
- Figure IV-25** : Potentiel de la grille en fonction de la tension appliquée pour $h = 5 \text{ cm}$
- Figure IV-26** : Potentiel de la grille en fonction de la tension appliquée pour $h = 7 \text{ cm}$
- Figure IV-27** : Potentiel de la grille selon d pour $h = 5 \text{ cm}$
- Figure IV-28** : Potentiel de la grille selon d pour $h = 7 \text{ cm}$
- Figure IV-29** : Graphe comparatif de $V_g = f(U)$ selon h et pour $d= 1,5 \text{ cm}$

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Notions générales sur les décharges dans les gaz	
I.1. Introduction.....	3
I.2. Décharge de Townsend.....	3
I.2.1. Ionisation et processus d'avalanche.....	3
I.2.2. Attachement électronique.....	6
I.2.3. Limites de la théorie de <i>Townsend</i>	6
I.3. Théorie des streamer.....	7
I.3.1. Critère de <i>Meek</i>	7
I.3.2. Critère de <i>Reather</i>	7
I.4. Conclusion.....	8
Chapitre II : La décharge couronne et ses applications	
II.1. Introduction.....	9
II.2. Mécanismes de développement de la décharge couronne.....	9
II.2.1. Condition d'apparition.....	9
II.2.2. Processus élémentaires et mécanismes d'activation.....	10
II.2.3. Domaine d'existence de la décharge couronne.....	11
II.2.4. La décharge couronne en géométrie fil-plan.....	13
II.2.5. Champ seuil de la décharge couronne.....	14
II.2.5.1. Travaux antérieurs.....	14
II.2.5.2. Théorie actuelle	15
II.3. Grandeurs principalement mesurées pour l'étude des décharges couronne.....	15
II.4. Utilités et domaines d'application des décharges couronne...	16
II.4.1. Introduction.....	16
II.4.2. Traitement des effluents gazeux.....	16

II.4.3. La décontamination biologique.....	19
II.4.4. Le traitement de surface.....	19
II.4.5. Conclusion.....	23

Chapitre III : Etude expérimentale

III.1. Introduction.....	24
III.2. Dispositif expérimental.....	24
III.2.1. La sonde linéaire.....	24
III.2.2. Le dispositif de mesures.....	26
III.2.3. La grille métallique.....	27
III.3. Protocole de mesure.....	27
III.3.1. Mesure de la tension appliquée à l'électrode active.....	27
III.3.2. Mesure du courant au collecteur.....	28
III.3.3. Détermination de la densité de courant sur le plan.....	28
III.3.4. Mode d'insertion de la grille.....	29
III.3.5. Mode opératoire et conclusion.....	29

Chapitre IV : Résultats et interprétations

IV.1. Introduction.....	31
IV.2. Caractéristiques courant-tension.....	31
IV.3. Distribution de la densité de courant au plan.....	35
IV.4. Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant sur le plan.....	38
IV.4.1. Influence de la grille pour $h = 3,5$ cm.....	38
IV.4.2. Influence de la grille pour $h = 5$ cm.....	41
IV.4.3. Influence de la grille pour $h = 7$ cm.....	44
IV.5. Essais de caractérisation de la grille.....	47
IV.6. Conclusion.....	50
Conclusion générale.....	51

Introduction générale

Introduction générale

Les premières informations sur la décharge couronne sont apparues à la suite d'observations sur les manifestations diverses de l'électricité atmosphérique comme le phénomène connu sous le nom de « feu saint Elme » observé par les marins de toutes les époques et qui se manifeste au sommet des mâts des bateaux, résultat d'une ionisation locale de l'air.

En fait, la décharge couronne est une décharge qui se développe dans un intervalle gazeux séparant deux électrodes fortement asymétriques entre lesquelles s'établit un champ électrique hétérogène. Le halo lumineux apparaissant au seuil de la décharge au niveau de l'électrode à fort champ est à l'origine de la dénomination générale de « décharge couronne ».

C'est à *F.W. Peek [12]* que revient la première étude sur l'effet couronne. En 1929, il a établi une loi empirique exprimant le seuil d'apparition de la lueur (loi encore en usage). Depuis lors, des progrès ont été réalisés dans la compréhension du phénomène mais les recherches sont toujours en cours, en particulier dans le domaine des applications liées à ces décharges.

Parmi les domaines où les décharges couronne trouvent leurs applications, il est nécessaire de citer la synthèse d'ozone pour le traitement de l'eau et le blanchiment du papier, le traitement de surface des matériaux comme les polymères, le dépoussiérage par précipitateurs électrostatiques d'aérosols, la xérographie, le dépôt et l'évacuation des charges électrostatiques sur les surfaces dans l'industrie du papier, du textile et des solvants et enfin dans la mesure de la radioactivité (compteur Geiger) .

Dans les recherches tendant à maîtriser la charge pour un dépôt sur les surfaces de papier, de textile ou pour le traitement de matériaux tels les polymères, il est nécessaire de veiller à ce que la charge déposée sur la surface à traiter soit uniformément répartie, faute de quoi le traitement ne sera pas efficace et donc les résultats seront peu crédibles.

Sachant que pour générer la décharge couronne, un système d'électrodes asymétrique est nécessaire, par exemple fil-plan, alors il est connu que la charge récoltée par le plan n'est pas répartie de façon homogène sur sa surface. Afin de remédier à ça, nous avons pensé introduire dans le dispositif une grille métallique. Celle-ci est intercalée entre l'électrode haute tension et le plan de collecte des charges et ceci pour étudier son influence sur cette répartition de charges

Ce dispositif, qui est en fait une sonde linéaire placée sur un même niveau de surface d'un plan mis à la terre à laquelle nous avons rajouté la grille, a servi de banc d'essai pour notre travail que nous avons scindé en quatre chapitres.

Dans le premier, nous donnons un bref aperçu de la physique des décharges dans les gaz pour ensuite enchaîner sur le phénomène des décharges couronne dans le deuxième chapitre et présenter en plus un résumé succinct et une rétrospective des recherches menées actuellement sur les applications de ces décharges dans le domaine industriel.

Dans le troisième chapitre, nous présentons tout ce qui concerne le protocole expérimental, de la méthode d'essais aux moyens utilisés pour les réaliser.

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

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

Chapitre I

Notions générales sur les décharges dans les gaz.

I.1 Introduction

Théoriquement, les gaz constituent des isolants électriques parfaits. Cela tient au fait qu'ils sont supposés ne pas contenir de particules chargées libres mais seulement des atomes ou molécules neutres.

En fait, un gaz contient toujours un certain nombre de charges libres dues à l'action de certains agents ionisants extérieurs permanents, tels que les radiations cosmiques, la radioactivité de la terre ou de celle de substances présentes dans l'atmosphère.

L'application d'un champ électrique suffisamment intense à un gaz le rend, alors, plus ou moins conducteur et les phénomènes complexes qui s'y produisent portent le vocable de décharges dans les gaz. Cette conduction prend naissance à partir d'un électron germe ou initial, qui, placé dans un champ électrique se voit accéléré et peut ioniser des atomes ou des molécules tel que : $A + e^- \rightarrow A^+ + 2e^-$. L'ionisation d'une espèce conduit donc à la formation d'une particule chargée et à la libération d'un électron supplémentaire, qui à son tour va être accéléré et acquérir ainsi une énergie suffisante pour ioniser une autre particule. Ce mécanisme d'ionisation successive est connu sous le nom « d'avalanche électronique » ou « décharge de *Townsend* ».

I.2 Décharge de *Townsend*

I.2.1 Ionisation et processus d'avalanche

Considérons un système d'électrodes plan-plan baignant dans un gaz à basse pression, (figure I-1). En absence de tout champ électrique, un certain nombre de particules chargées peut exister dans l'intervalle inter-électrode. Ces particules sont produites, soit par des mécanismes artificiels (bombardement de la cathode par une source de rayonnement aboutissant à l'extraction d'électrons), soit par des mécanismes naturels (radioactivité, rayonnements cosmiques, etc...). Dans ce cas un état d'équilibre entre la production et la disparition d'électrons existe ; cet équilibre est bouleversé par l'application d'un champ électrique.

Soumis à ce champ, les électrons sont alors accélérés et à la condition que ce champ soit assez intense, l'énergie qu'ils acquièrent devient suffisante pour provoquer l'ionisation des molécules neutres qu'ils heurtent. Il en résulte de nombreux électrons libres lesquels emportés par ce même champ, vont également ioniser des molécules et ainsi de suite ; le processus prend une allure d'avalanche, dite avalanche de *Townsend*.

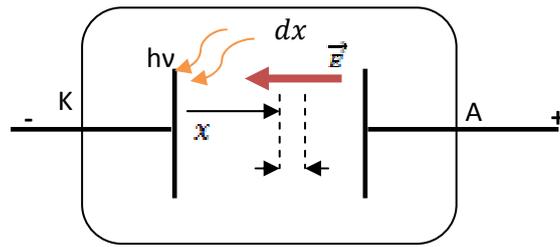


Figure I-1. Réalisation d'une décharge de Townsend à courant continu. A : anode, K : cathode, d_i : distance inter-électrode, $h\nu$: source de rayonnement

Soit N_x le nombre d'électrons formés à une distance (x) de la cathode, alors ils vont produire dN_x électrons sur une distance dx

$$dN_x = N_x \alpha dx \dots\dots\dots I-1$$

α est appelé premier coefficient de *Townsend* [1] qui exprime le nombre d'ionisations par centimètre de parcours d'un électron soumis au champ E .

La valeur de α étant constante (champ homogène), pour un nombre N_0 d'électrons primaires produit par extraction de la cathode, l'intégration de la relation I-1 donne :

$$N_x = N_0 e^{\alpha x} \dots\dots\dots I-2$$

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

$$N_d = N_0 e^{\alpha d_i} \dots\dots\dots I-3$$

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

$$eN_d = eN_0 e^{\alpha d_i} \dots\dots\dots I-4$$

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

$$I = I_0 e^{\alpha d_i} \dots\dots\dots I-5$$

Supposons maintenant qu'on fasse varier la distance d en laissant le rapport E/P constant (E : champ appliqué et P : pression du gaz). L'étude expérimentale effectuée par *Townsend* a montré qu'au-delà d'une certaine valeur de d_i , le courant se met à croître plus vite que prévu par la relation (I-5), figure (I-2)

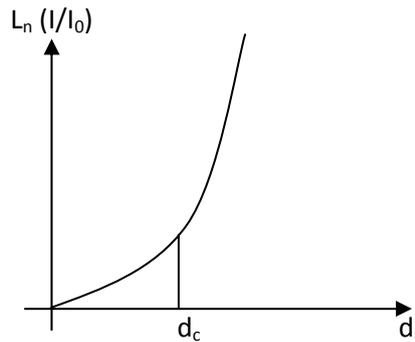


Figure I-2. Courant de décharge en fonction de la distance inter-électrode

L'interprétation donnée à ce phénomène explique que le nouveau mécanisme d'ionisation responsable de cette augmentation du courant est l'émission secondaire due aux ions positifs [2]. En effet, sous l'action du champ électrique, les ions positifs formés lors de la première avalanche sont accélérés et peuvent acquérir une énergie cinétique suffisante pour arracher des électrons supplémentaires de la surface de la cathode.

Cette émission est caractérisée alors par une grandeur microscopique, γ , appelée deuxième coefficient de *Townsend*. Il est défini comme étant le rapport du nombre d'électrons émis par la cathode au nombre d'ions positifs qui y sont collectés et dépend de la nature du gaz et particulièrement du matériau constituant la cathode.

Les N_0 électrons issus de la cathode créent sur la distance d_i , $N_0(e^{\alpha d_i} - 1)$ paires d'ions-électrons. Ces ions positifs vont libérer $\gamma N_0(e^{\alpha d_i} - 1)$ nouveaux électrons initiaux.

Alors pour N_0 électrons primaires à la cathode, le nombre d'électrons parvenant à l'anode devient :

$$N_d = \frac{N_0 e^{\alpha d_i}}{1 - \gamma(e^{\alpha d_i} - 1)} \dots\dots\dots I-6$$

D'où le courant collecté à l'anode :

$$I = \frac{I_0 e^{\alpha d_i}}{1 - \gamma(e^{\alpha d_i} - 1)} \dots\dots\dots I-7$$

Dans cette dernière équation, I_0 représente le courant généré par irradiation de la cathode. En l'absence de ces radiations, ce courant s'annule provoquant l'annulation du courant à l'anode ($I=0$). Ce qui signifie que si la source $h\nu$ est supprimée, le courant de décharge s'annulerait et la décharge est alors non autonome.

D'après *Townsend*, la condition nécessaire pour que la décharge soit autoentretenu est que le dénominateur dans l'équation (I-7) devient nul. Ce critère pour lequel le courant I croit vers l'infini, se traduit alors par l'existence d'une distance critique d_c tel que :

$$1 - \gamma(e^{\alpha d_c} - 1) = 0 \dots\dots\dots I-8$$

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

$$e^{\alpha d_c} = \frac{1}{\gamma} \dots\dots\dots I-9$$

En réalité le courant I ne devient pas infini, car il est limité par le circuit extérieur. Cela signifie que lorsque la condition précédente est vérifiée, un électron primaire émis par la cathode donne ($e^{\alpha d_c} - 1$) ions qui produisent à leur tour, par bombardement,

$\gamma(e^{\alpha d_c} - 1)$ électrons secondaires, c'est-à-dire de nouveaux électrons. La décharge est alors auto entretenue, en ce sens qu'elle se maintient même si l'on supprime la source du courant primaire.

I.2.2 Attachement électronique

Il y'a lieu de noter que dans les régions à faible champ, l'attachement électronique ne peut plus être négligé. Ce phénomène est caractérisé par le coefficient d'attachement η qui s'oppose au processus α . Il est prépondérant dans les gaz comportant des atomes à électronégativité accentuée tel que le SF6 ou à un degré moindre l'oxygène. Ces atomes peuvent capter un électron.

En présence de l'attachement, on définit un coefficient effectif d'ionisation $\bar{\alpha}$ qui s'écrit :

$$\bar{\alpha} = \alpha - \eta \dots\dots\dots I-10$$

Remarquons que lorsque le champ électrique appliqué est non uniforme, comme c'est le cas dans les systèmes fil-plan, pointe-plan, sphère-plan,.... etc, son intensité et, par conséquent, le coefficient effectif d'ionisation $\bar{\alpha}$ varie le long du trajet de l'avalanche.

Le critère de claquage de *Townsend* à faible pression prend alors la forme :

$$\left(e^{\int_0^{d_i} \bar{\alpha} dx} - 1 \right) = \frac{1}{\gamma} \dots\dots\dots I-11$$

I.2.3 Limites de la théorie de *Townsend*

La théorie de *Townsend* fait intervenir tout l'intervalle inter-électrodes. Elle prévoit à des pressions élevées, de l'ordre de la pression atmosphérique, des temps de transition des charges beaucoup plus grands que le temps de formation de la décharge. Cela permet d'écarter le processus γ car les ions positifs sont freinés et leur énergie n'est pas suffisante pour extraire des électrons supplémentaires de la cathode [2].

Dans le système d'électrodes pointe-plan, la théorie de *Townsend* s'applique aux cas de la valeur faible du produit $P.d_i$ et de la basse pression. Quand $P.d_i$ est trop grand ou

trop petit, le mécanisme de décharge change et cette théorie n'est plus valable. Dès que $P.d_i > 200$ cm.mm.Hg, le mécanisme de décharge par formation de streamers remplace le mécanisme de *Townsend* [3].

I.3 Théorie des streamers

Des mesures de temps de formation de la décharge se sont révélées, dans certains cas, incompatibles avec les mécanismes suggérés par *Townsend*. Les travaux de *Fletcher* cités par certains auteurs [4] ont, en particulier, étayé cette assertion. Ce dernier, en imposant brutalement une surtension entre deux électrodes planes dans l'air, a observé l'existence de temps de formation si courts que même les électrons n'ont pas le temps de traverser l'espace inter-électrode. *Loeb* [5], *Meek* [6] et *Raether* [7] ont pu analyser ce phénomène sur des bases théoriques.

Dans certains cas, il a été observé que la décharge se manifeste par la formation de filament lumineux se propageant entre les électrodes. Ce processus est désigné sous le nom de streamer.

I.3.1 Critère de *Meek*

La transition avalanche-streamer n'est pas spontanée et ne se produit pas à tous les coups. Ceci a conduit certains auteurs [8] à des considérations théoriques sur les conditions de cette transition. Ces considérations restent cependant qualitatives. Elles se fondent, en particulier, sur la déformation axiale des lignes de champ par la charge d'espace positive laissée par l'avalanche primaire.

Cependant *Meek* a mis l'accent sur le fait que la déformation n'est pas seulement axiale, mais aussi radiale, c'est-à-dire perpendiculaire à la direction du champ appliqué. Or un facteur essentiel de la propagation des streamers est la photo-ionisation du gaz à proximité de la tête du streamer. Ces photoélectrons sont donc, non seulement accélérés, mais surtout ramenés à la tête du streamer. Ces considérations ont servi de base pour dégager un critère quantitatif de formation du streamer.

Le principe de base est le suivant : Pour que les photoélectrons, attirés par la charge d'espace positive forment une avalanche de taille suffisante pour créer un streamer, il faut que le champ de cette charge d'espace soit du même ordre de grandeur que le champ appliqué.

I.3.2 Critère de *Raether*

A la même époque, mais indépendamment de *Meek*, *Raether* a pu établir un critère empirique fondé principalement sur le fait que l'avalanche doit atteindre une taille critique

pour que la transition avalanche-streamer puisse avoir lieu. Le critère s'écrit dans le cas d'un champ non uniforme :

$$\int_0^{x_c} (\alpha - \eta) dx = \log n_c \dots\dots\dots I-12$$

Où x_c représente la distance critique et n_c le nombre critique d'électrons produit par l'avalanche. En général ce nombre est de 10^8 .

I.4 Conclusion

Dans ce chapitre, il a été décrit sommairement les processus élémentaires permettant de comprendre les phénomènes de décharge dans les gaz. Il est évident que cette description n'est pas exhaustive, mais n'est qu'une entrée en matière nous permettant de mieux comprendre les phénomènes liés à la décharge de type couronne.

Chapitre II

La décharge couronne et ses applications

II.1 Introduction

La décharge couronne est une décharge qui se développe dans un milieu gazeux situé entre deux électrodes fortement asymétriques entre lesquelles s'établit un champ électrique hétérogène, intense mais non disruptif à des pressions pouvant aller de quelques torr à quelques atmosphères.

Les premières expériences sur l'effet couronne, qui datent du début du siècle dernier, étaient réalisées à l'aide de fils minces de quelques millimètres de diamètre. Portés à une tension suffisante, il se forme autour d'eux une gaine lumineuse de couleur bleu-violet, dont l'épaisseur augmente avec la tension. Ce phénomène rappelle le halo lumineux qui apparaît lors des éclipses à la périphérie du soleil ou de la lune. C'est la présence de cette lueur qui a donné naissance à l'expression, maintenant universellement employée d'effet couronne.

Pour l'étude de ce phénomène, divers systèmes d'électrodes, représentés sur la figure (II-1), sont utilisés

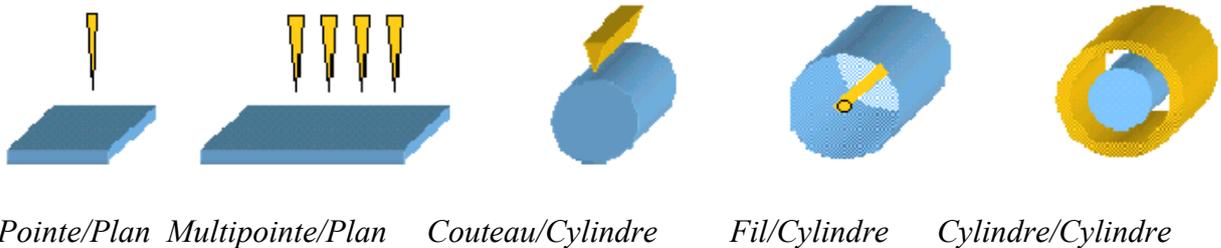


Figure II-1. Système d'électrodes couramment utilisés pour la production de la décharge couronne

La décharge couronne présente la qualité d'être facile à reproduire, dans de bonnes conditions de stabilité, ceci explique pourquoi, malgré ses nuisances sur, entre autres, les lignes de transport d'énergie électrique et les ondes radio, elle est exploitée dans de nombreuses applications techniques et industrielles comme, le traitement des effluents gazeux dont les précipitateurs électrostatiques ; la destruction des polluants, les générateurs d'ozone, le traitement des surfaces, etc.....).

II.2 Mécanismes de développement de la décharge couronne

II.2.1 Condition d'apparition.

Dans un champ électrique intense, l'excitation de certaines particules du gaz ambiant peut devenir suffisamment élevée pour ioniser ce même gaz dans une région donnée. Les électrons libres accélérés par le champ électrique sont à la base de ce processus. Lorsque leur énergie dépasse l'énergie d'ionisation des molécules du gaz, les collisions entre les électrons libres et les molécules du gaz entraînent l'ionisation de ces

dernières. De nouveaux électrons sont alors produits et soumis au même champ. Lors de l'ionisation, des photons hautement énergétiques sont aussi produits pouvant contribuer à une réaction en chaîne.

Le développement d'avalanches successives produit la décharge couronne. Les ions et les électrons ainsi créés se déplacent selon leur polarité et influencent à leur tour le champ électrique. On appelle ces groupes de charges en mouvement " Charges d'espace ".

II.2.2 Processus élémentaires et mécanismes d'activation

Les processus microscopiques impliqués dans une décharge couronne sont variés et complexes. Ils mènent à une série de régimes distincts du comportement de la décharge, dépendant de trois classes de paramètres :

- Paramètres électriques : Nature (continue ou alternative) et polarité (positive ou négative) de la tension appliquée à l'électrode active.
- Paramètres géométriques : Forme, dimensions et distance inter-électrode.
- Paramètres physiques du gaz inter-électrode : Nature, pression, température et humidité.

L'existence d'une telle décharge dépend de la possibilité de créer des particules chargées à partir des atomes ou molécules neutres constituant ce gaz. Un modèle de la décharge couronne est basé sur des processus élémentaires d'interactions clé entre électron-molécule et photon-molécule.

Les processus d'excitation et d'ionisation tendent à faire croître la décharge, notamment l'ionisation thermique et l'ionisation par choc d'un électron avec une particule neutre à condition qu'il ait une énergie supérieure à l'énergie d'ionisation. Un ion positif ou un photon suffisamment énergétique peut exciter ou même ioniser une particule neutre.

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

Nous résumons ci-dessous l'interaction clé entre particules :



Où e^- est un électron, A est une molécule neutre et $h\nu$ représente un photon.

En fait la formation d'un gaz ionisé est due à un transfert d'énergie cinétique par collision entre un électron accéléré par un champ électrique et les molécules neutres du gaz. Ces collisions peuvent être de deux types : les collisions élastiques et les collisions inélastiques. Les premières entraînent le transfert d'une certaine quantité de mouvement des électrons vers les molécules neutres qui se trouvent alors accélérées. Ces collisions ne modifient donc pas l'énergie interne des molécules en question, mais sont responsables de phénomènes thermiques (conduction et diffusion de chaleur au sein du gaz) et hydrodynamiques (vent électrique). Les collisions inélastiques sont quant à elles responsables de la fragmentation des molécules impactées ou de la modification de la distribution de l'énergie (modification de l'état vibrationnel, translationnel ou électronique). Si son énergie cinétique est suffisante, un électron peut, lors d'une collision inélastique, ioniser ou exciter la molécule neutre rencontrée.

Pour obtenir une description plus formelle de ces processus, il est intéressant de déterminer le nombre de chocs que subira l'électron par unité de temps. Nous supposons que la distribution de vitesse des molécules du gaz obéit à la loi de Maxwell-Boltzmann [9]. Si l'on admet que l'électron se déplace à une vitesse moyenne v pendant le temps δt , il parcourt alors la distance $v.\delta t$ et balaie un domaine d'espace de volume $\sigma.v.\delta t$, σ représentant la section efficace de collision entre l'électron et une molécule. Le nombre de collision est donc égal à $\sigma.v.\delta t.N$ où N : densité du gaz en nombre de molécules par unité de volume.

Le nombre de collisions par unité de temps se déduit de l'expression précédente :

$$n = \sigma.v.N \dots\dots\dots \text{II-1}$$

La notion de libre parcours moyen, qui représente la distance moyenne que peut parcourir un électron entre deux chocs successifs, découle naturellement de la relation précédente [9]:

$$\lambda = \frac{v\delta t}{n\delta t} = \frac{1}{N\sigma} \dots\dots\dots \text{II-2}$$

Cette notion est intéressante car si l'électron accéléré par le champ électrique acquiert une énergie cinétique suffisante, il pourra alors ioniser ou exciter la molécule neutre rencontrée. La réactivité du milieu plasmagène dépendra donc des paramètres suivants :

- Composition du gaz introduit : la section efficace σ varie en fonction de la nature du gaz et de son niveau d'excitation électronique (pour des molécules dans leur état fondamental, nous avons par exemple $\sigma_{N_2} = 0,43$; $\sigma_{CO_2} = 0,52$ et $\sigma_{C_6H_6} = 0,88$)
- Pression, humidité et température du gaz introduit
- Tension appliquée (responsable de l'intensité du champ électrique)
- Géométrie des électrodes (responsable de la forme des lignes de champ)

II.2.3 Domaine d'existence de la décharge couronne

La figure (II-2) représente la caractéristique courant tension d'une décharge couronne continue pour un intervalle pointe-plan dans l'air atmosphérique. A partir d'une source de tension continue, on fait croître la tension appliquée à l'intervalle gazeux de zéro à la tension de claquage. Différents régimes de charge sont alors parcourus.

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

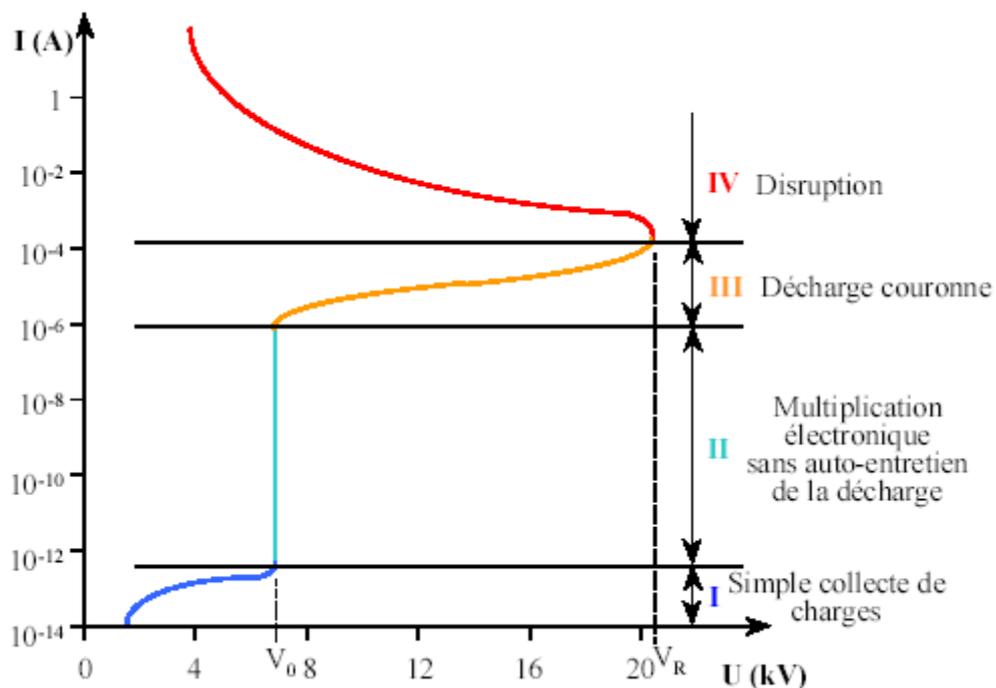


Figure (II-2). Caractéristique courant-tension d'une décharge couronne dans l'air à pression atmosphérique (configuration pointe-plan, distance inter-électrode: 13 mm) [10]

- Le second régime (Zone II), qui se produit à partir d'une tension seuil V_0 , traduit le déclenchement de l'avalanche électronique de Townsend mais ne répond pas au critère d'auto-entretien de la décharge. La décharge est qualifiée de non autonome car elle dépend du processus d'ionisation externe pour donner naissance aux électrons germes. Pour ce régime, le courant augmente très fortement pour une très faible variation de la tension appliquée.

- Pour le troisième régime (zone III), l'ionisation du gaz par la décharge est suffisante pour ne plus nécessiter de phénomène d'ionisation externe : La décharge est auto-entretenue. C'est le régime de la décharge couronne, où peuvent apparaître les streamers responsables de la composante impulsionnelle du courant et de sa transition vers l'arc électrique.
- Au delà d'une tension V_R , la température du canal augmente fortement, ce qui provoque la dilatation brutale du gaz. Le champ réduit E/P est alors suffisamment important pour que les phénomènes d'ionisation deviennent majoritaires par rapport à l'attachement électronique. Le régime d'arc (Zone IV) est atteint. Le milieu passe de l'état de plasma hors équilibre à l'état de plasma thermique.

En résumé, la décharge couronne est un phénomène électrique qui peut se développer dans le gaz du fait de la divergence du champ électrique. Elle peut être considérée comme une superposition de deux régimes de décharges : Le premier fait intervenir l'intervalle inter-électrode tout entier, c'est le cas de la décharge de Townsend. Le second correspond à l'apparition dans l'intervalle de lueurs prenant l'aspect de filaments lors de sa transition vers l'arc électrique, ce sont les streamers.

II.2.4 La décharge couronne en géométrie fil-plan

Un système d'électrode fil-plan est constitué d'une électrode cylindrique, de faible rayon de courbure tendue parallèlement à une hauteur h d'un plan mis à la terre (figure II-3). L'espace inter-électrode est réparti en deux zones délimitées par une frontière distante de L_c de la surface de l'électrode active. Sur cette frontière le champ électrique est égal au champ critique E_c [11] du minimum d'ionisation correspondant à $\alpha - \eta = 0$. La zone d'ionisation (I) est caractérisée par une charge d'espace nulle. Par contre la zone de dérive (II) est caractérisée par une charge d'espace monopolaire positive ou négative selon la tension appliquée à l'électrode active.

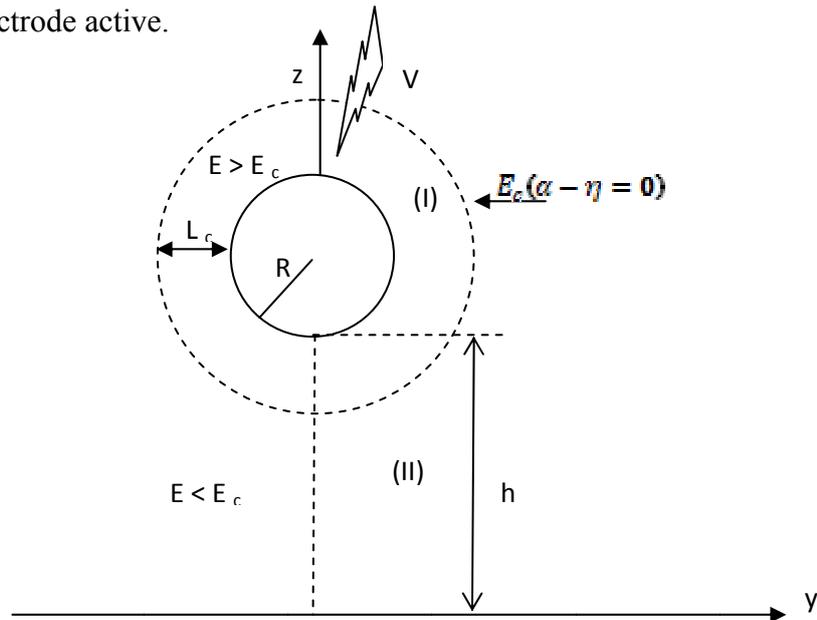


Figure (II-3). Représentation schématique d'une décharge couronne continue en géométrie fil-plan

Lorsqu'une tension V de polarité positive suffisante pour créer la décharge couronne, est appliquée à l'électrode active, celle-ci attire les électrons. Ces derniers ne peuvent ioniser le gaz inter-électrode qu'une fois ils auront acquis une énergie cinétique suffisante dû au champ existant au voisinage de cette électrode. Dans ce cas, le développement de l'ionisation du gaz par collisions électroniques commence à partir de la limite L_c en progressant vers l'électrode active. Quant aux ions positifs engendrés dans la zone d'ionisation, ils dérivent vers l'électrode mise à la terre.

Lors de la décharge couronne de polarité négative, les avalanches électroniques se développent à partir de l'électrode active vers le plan. En dépassant la frontière L_c , les électrons ne peuvent plus ioniser le gaz en raison du champ électrique qui se trouve inférieur au champ critique du minimum d'ionisation E_c . Certains électrons vont s'attacher à des atomes ou molécules neutres. Quant aux ions positifs créés dans la zone d'ionisation, ils sont accélérés dans le fort champ vers l'électrode active [11] et peuvent ainsi accélérer l'effet γ .

II.2.5 Champ seuil de la décharge couronne

II.2.5.1 Travaux antérieur

L'étude du seuil d'apparition de la décharge couronne a fait l'objet de nombreuses études. Les travaux expérimentaux sur l'évaluation du seuil consistent généralement à mesurer la tension seuil V_s à laquelle correspond un champ seuil E_s à la surface de l'électrode active.

De nombreuses formules empiriques et semi-empiriques pour l'évaluation du champ seuil E_s ont été proposées [12, 13, 14, 15]. Toutes ces formules sont données sous la forme suivante :

$$E_s = F \left(1 + \frac{G}{RB} \right) \dots\dots\dots \text{II-3}$$

Où F , G , B sont des constantes qui diffèrent d'un auteur à un autre, R est le rayon de courbure de l'électrode active.

Peek [13], en 1929, a proposé pour la première fois une loi empirique en géométrie cylindrique dans l'air en tension alternative.

L'expression qu'il a établie est valable pour des rayons de l'électrode active allant de 1 mm à quelques cm, et pour des pressions variables de quelques dizaines de torrs à quelques atmosphères.

Une approche théorique du problème a été proposée pour la première fois par *Gary* et *Hutzler* en 1972 [16]. Ils donnent une expression semi-empirique du champ seuil, où le

paramètre G est donné en fonction du deuxième coefficient de *Townsend* γ qui est mal connu dans l'air atmosphérique.

Le coefficient F a été identifié la première fois par *Waters* et *Stark* en 1975 [15] comme étant la valeur du champ critique du minimum d'ionisation. A partir d'une représentation empirique de $(\alpha - \eta)$ en fonction du champ réduit E/P et du critère de claquage de *Townsend*, ces auteurs ont également établi, en géométrie cylindrique, une loi empirique pour le calcul du champ seuil. Les travaux des divers auteurs cités reposent sur le critère de *Townsend* qui ne se justifie pas aux grandes distances inter-électrode, car le processus γ n'intervient pas.

Les auteurs utilisent une représentation de $(\alpha - \eta)$ en fonction de E/P trop restrictive, et où les valeurs utilisées sont celles de l'air sec. Ils font donc abstraction de l'humidité de l'air.

II.2.5.2 Théorie actuelle

Le champ seuil de l'effet couronne peut être défini sous réserve d'une bonne représentation de $\frac{(\alpha - \eta)}{P}$ en fonction du champ réduit E/P et du calcul de l'intégrale d'ionisation $\int (\alpha - \eta) dx$. Par ailleurs, on doit tenir compte des paramètres physiques de l'air (humidité, pression et température). *Hartmann* a proposé en 1984 [17] un modèle physico-mathématique pour le seuil de l'effet couronne et amélioré plus tard par une étude expérimentale développée avec les géométries d'électrodes fil-cylindre [18] et fil-plan [19]. Ce modèle est basé, d'une part, sur la notion de longueur critique L_c de l'avalanche et d'autre part, sur une amélioration du critère de *Meek*. Il exprime qu'à la tête de l'avalanche près de l'anode, les électrons ne peuvent se multiplier en raison des champs E_s à la surface de l'anode et E_p dû à la charge d'espace en tête de l'avalanche, qui s'opposent et dont la somme algébrique est égale au champ critique du minimum d'ionisation E_c .

$$E_s + E_p = E_c \dots\dots\dots \text{II-4}$$

En désignant par 2R le diamètre de l'électrode active, le champ seuil donné par le modèle s'exprime par :

$$E_s(R, \delta, H_a) = E_c(\delta, H_a) \left[1 + \frac{A_0}{2R} \left(\frac{2Re \left(\frac{a_0}{2R} \right) + Z_0}{\delta} \right)^{B_0} \cdot f(H_a) \right] \dots\dots\dots \text{II-5}$$

Avec : $f(H_a) = 1 + \theta \sqrt{H_a}$, $A_0 = 0,1088$, $B_0 = 0,59$, $Z_0 = 17.10^{-6} m$,
 $a_0 = 3.10^{-7} m$, $E_c(\delta, H_a) = E_c(1,0)\delta(1 + \alpha_H \sqrt{H_a})$, $\theta = 11,4.10^{-3} \left(\frac{g}{m^3} \right)$,
 $E_c(1,0) = 24,68 \left(\frac{kV}{cm} \right)$, $\alpha_H = 16,03.10^{-3} \left(\frac{g}{m^3} \right)^{-\frac{1}{2}}$.

La densité de l'air δ est donnée par l'expression suivante :

$$\delta = \frac{P}{760} \cdot \frac{293}{273+T} \dots\dots\dots \text{II-6}$$

$\delta = 1$ pour $P = 760$ mm.Hg et $T = 20$ °C.

II.3 Grandeurs principalement mesurées pour l'étude des décharges couronne

Afin d'étudier et comprendre les décharges couronne, diverses grandeurs sont mesurées. Entre autres nous citons :

- La caractéristique courant-tension pour faire ressortir la tension seuil afin de déduire le champ seuil.
- L'étude de la distribution du champ au plan est très utile aussi, en ce sens qu'elle nous renseignera sur la répartition de la charge collectée au plan.
- De la même façon l'étude de la distribution de la densité de courant sur le plan aboutira au même but.

II.4 Utilités et domaine d'application des décharges couronne

II.4.1 Introduction

Etant donné que le prolongement de notre travail s'inscrit dans le cadre des applications des décharges couronne, nous avons jugé utile de jeter un regard sur ces dernières et en citer quelque unes d'entre elles. Le traitement des effluents gazeux, la génération d'ozone, le traitement de surfaces métalliques ou polymériques, la décontamination biologique, sont parmi les principaux axes de recherche sur ces applications. A titre d'exemple nous développons dans ce qui suit certaines d'entre elles.

II.4.2 Traitement des effluents gazeux

L'évolution de la consommation d'énergie pose des problèmes fondamentaux car les activités industrielles produisent des rejets qui contiennent des produits nocifs. Les principaux polluants liés à ces activités sont le dioxyde de soufre (SO_2), les oxydes d'azote (NO_3), l'ozone (O_3), les composés organiques volatils (COV), le monoxyde de carbone (CO), les poussières et les métaux toxiques. Afin de remédier à ce problème, divers procédés ont été étudiés. Les décharges couronne qui sont l'une des formes rentrant dans les plasmas froids ou plasmas non thermiques sont parmi les axes les plus exploités par les scientifiques actuellement.

Les précipitateurs électrostatiques, dont il en existe plusieurs types et qui sont l'une des applications liées au traitement des effluents gazeux, appelés aussi électrofiltres, font partie des systèmes de dépollution des fumées industrielles.

Leur principe est de charger les particules présentes dans les fumées qui s'écoulent dans les cheminées à l'aide d'une électrode active, et de les attirer vers une électrode de collecte. Le système est composé d'une ou plusieurs électrodes actives, c'est-à-dire portées à un potentiel électrique, et d'électrodes collectrices le plus souvent reliées à la masse. Les électrodes actives peuvent être de différentes formes allant du simple fil à des géométries plus complexes tels que des tubes recouverts de pointes [20, 21].

L'application d'une haute tension entre les deux électrodes génère un écoulement appelé : vent ionique. Son origine s'explique par le mouvement des porteurs de charge entre les électrodes drainant avec eux les molécules neutres de l'air [22, 23].

A titre d'exemple et dans le but de faire la lumière sur les recherches effectuées ces dernières années sur les précipitateurs électrostatiques nous présentons dans ce qui suit un résumé du travail effectué par *Noureddine Zouzou* et al [24] concernant un prototype de précipitateurs dans une configuration pointe-plan. A cet effet le modèle utilisé, présenté sur la figure (II-4), est composé d'une électrode active et d'une électrode passive. L'électrode active est de faible rayon de courbure ($\sim 100 \mu\text{m}$), elle est entourée par une zone de champ intense où l'ionisation a lieu, puis par une zone de champ plus faible où les particules chargées dérivent. La distance inter-électrode (h) est variable entre 10 et 50 mm. Le volume fermé est constitué d'une enceinte transparente en verre avec une forme cubique ($25 \times 25 \times 25 \text{ cm}^3$). L'électrode passive, qui sert à collecter les porteurs de charges, est composée d'une grille métallique afin de limiter le phénomène de contamination des électrodes par les particules de fumée. Il a été utilisé de la fumée générée par la combustion naturelle de l'encens pour simuler la présence de particules solides dans l'espace inter-électrode. La taille moyenne de telles particules est d'environ 0,3 μm .

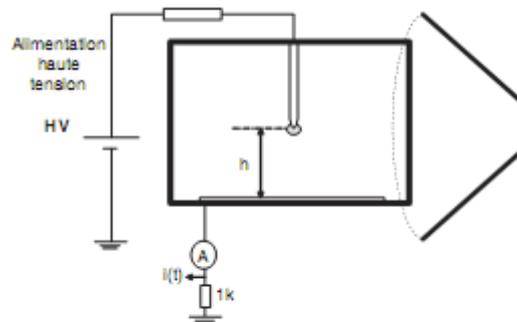


Figure (II-4). Système utilisé pour simuler le précipitateur électrostatique

Pour étudier l'efficacité d'un tel système dans la collecte des particules d'encens, l'auteur a utilisé une décharge couronne continue positive et négative, et a mesuré, entre autres, le courant de décharge en fonction de la tension appliquée, pour le cas sans fumée et pour celui avec fumée (figure II-5).

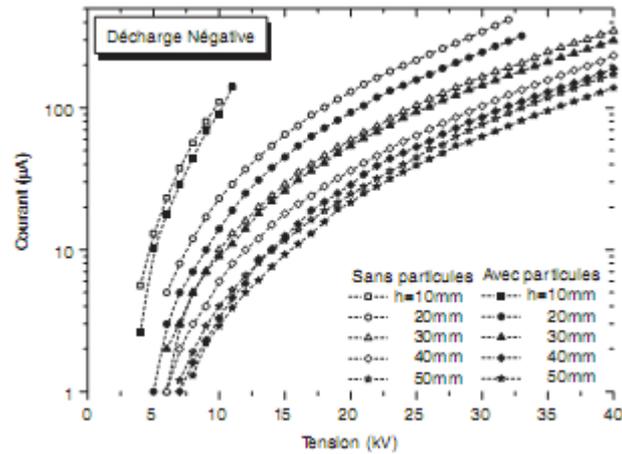


Figure (II-5). Caractéristique $I=f(V)$ pour les deux cas : sans et avec encens

Il en est ressorti que la présence de l'encens provoque une atténuation de la dynamique de la caractéristique courant/tension ce qui induit la diminution du courant de décharge [24]. D'autres résultats ont été présentés dans ce travail, mais notre souci était juste de montrer un aspect de cette application qui rentre dans le traitement des effluents gazeux.

Un autre type de précipitateur électrostatique est celui présenté par *Dexuan Xu* et al [25]. Il s'agit d'un prototype semi-humide avec des électrodes filamenteuses vaporisatrices. Ce système a été construit par les mêmes auteurs dont un schéma est donné en figure (II-6).

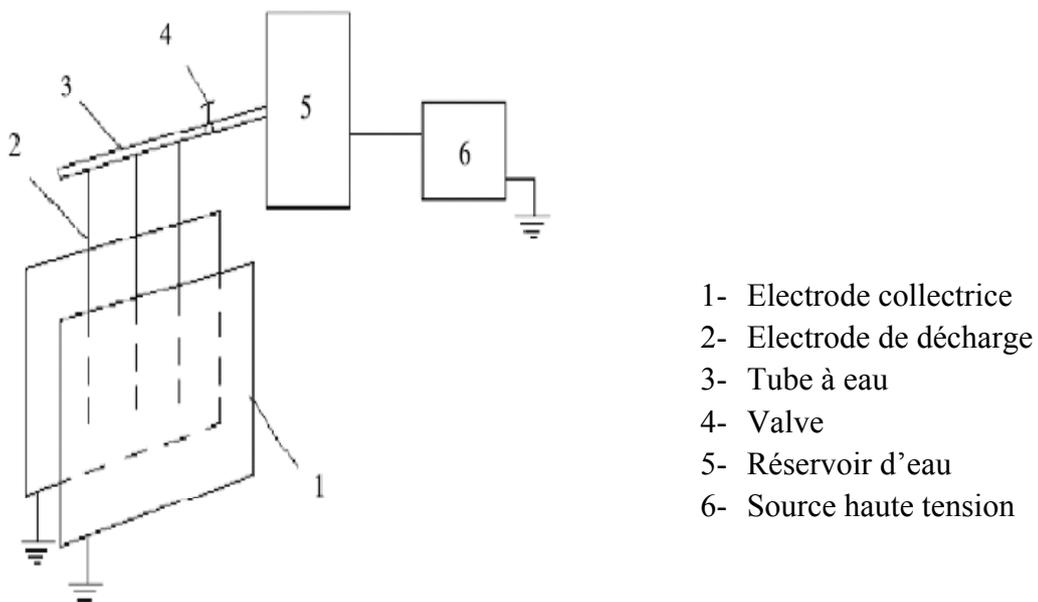


Figure (II-6). Précipitateur électrostatique semi-humide avec des électrodes fil vaporisatrices

Dans un premier temps, l'eau dans le réservoir va circuler le long des fils de décharge du précipitateur qui était auparavant vaporisée. La vapeur chargée va passer à travers la fumée et la poussière, avec une grande vitesse et arrosent alors les électrodes collectrices pour former une membrane d'eau qui va ensuite s'écouler vers le bas de ces électrodes.

Voici les paramètres expérimentaux de ce précipitateur : Tension appliquée 72 kV, distance inter-électrode 360 mm, intensité linéaire du courant 0,8 mA/m, consommation en eau 0,15-0,25 l/m³, quantité d'eau éjectée par les fils 4,4 g/m/s, efficacité du précipitateur 99,2 % .

II.4.3 La décontamination biologique

Les premiers tests sur la décontamination biologique par les plasmas non thermique en utilisant les décharges couronne ont vu le jour pour la première fois au début des années 90 du siècle dernier et leur but était de trouver une technologie alternative pour la stérilisation de matériaux sensibles à la chaleur [26 - 29]. Les résultats étaient très prometteurs en comparaison avec les méthodes employant des gaz toxiques [30].

Cependant deux exigences étaient nécessaires avant de passer à l'application industrielle. La première concerne le protocole et les conditions expérimentales et la deuxième, la résistance des micro-organismes et l'effet désiré [31].

En 1997 *Morar et al* [32] rapportent la première description sur l'effet de l'air chargé par effet couronne sur deux parasites qu'on trouve généralement sur les plantes : *Tetranychus Urticae* et *Phorodum Humuli*. Ils notèrent que l'exposition directe à la décharge ou l'incubation dans de l'air préalablement traité par décharge couronne provoquait plusieurs effets de détérioration, parmi lesquels une mobilité défectueuse, des dysfonctionnements digestifs, déshydratation et paralysie. Dans 80% des cas, ces altérations étaient mortelles en 48 h. Cette mortalité atteignait 99 % en 72 h.

Une étude sur l'effet bactéricide des décharges couronne a été initiée par *Kuzmichev et al* [33] ou ils ont comparé l'effet de différents gaz (air, O₂, N₂ et Ar) sur *B.Stearothermophilus* et ont obtenu une réduction de 3 à 4 log unités.

II.4.4 Le traitement de surface

Les polymères isolants synthétiques sont largement utilisés dans l'industrie électrique et ceci pour leurs excellentes propriétés électriques, thermiques et mécaniques [34]. Dans beaucoup de cas ces polymères travaillent dans des environnements hostiles. Alors, leurs propriétés sont sujettes à des détériorations et un vieillissement prématuré.

Les décharges couronne occupent une large place dans la recherche sur les applications industrielles de ces polymères. Aussi bien la charge des couches photosensibles et des particules du toner dans les photocopieurs, les imprimantes laser, la

modification de l'hydrophobie des films en plastique et le conditionnement des filtres à air, entre autres [35], ont fait l'objet de divers travaux de recherche.

Il est à signaler que le traitement des décharges couronne s'applique aussi bien aux surfaces polymériques qu'à celles en métal. Nous ne présentons dans ce qui suit que quelques résultats des travaux sur les polymères tant fibreux que sous forme de couches minces.

Une étude des facteurs influents sur le déclin du potentiel de surface de film mince de polyéthylène téréphtalate (PET) a été initiée par *Lazhar Herous* et al. [34]. Ses auteurs ont utilisé un dispositif expérimental composé de deux parties : un de charge du film par décharge couronne continue et négative et un autre de mesure du potentiel.

Les échantillons étaient chargés par exposition de leur surface libre à une décharge couronne générée par une électrode pointue située au dessus d'un plan métallique mis à la terre et connectée à une source haute tension continue et négative donnant V_p (figure II-7). Une grille connectée à une autre source continue négative à un potentiel V_g a été intercalée entre les deux électrodes précitées. Ainsi un champ raisonnablement uniforme peut être généré dans l'intervalle d'air entre la grille et la surface de l'échantillon de PET.

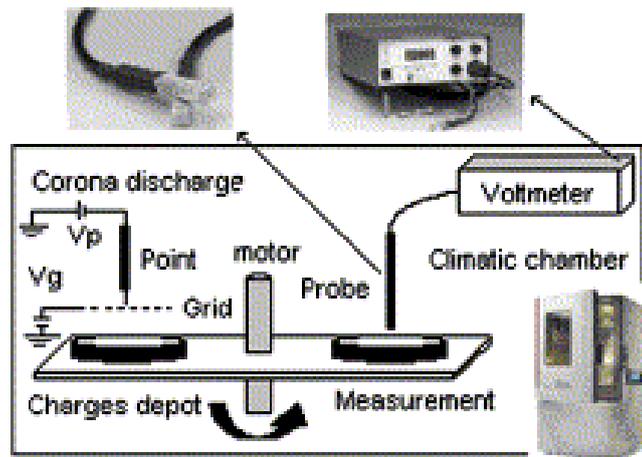


Figure (II-7). Dispositif expérimental pour l'étude du déclin de potentiel à la surface de l'échantillon de PET

Après la charge, l'électrode plane a été retirée pour être transférée au poste de mesure, où une sonde reliée à un voltmètre électrostatique collecte la valeur du potentiel. L'enregistrement continu des valeurs est assuré par un ordinateur.

Les essais ont été effectués sous les conditions suivantes : Potentiel de surface initial (polarité négative) : $V_{0min}=1000$ V ; $V_{0max}=1800$ V, Température ambiante : $\theta_{min} = 20^{\circ}\text{C}$; $\theta_{max} = 50^{\circ}\text{C}$, Humidité relative de l'air : $Rh_{min} = 50\%$; $Rh_{max} = 80\%$.

Pour les résultats, les auteurs ont noté que, concernant les courbes de potentiel en fonction du temps $V(t)$ à des potentiels de grilles différents (figure II-8), un rapide déclin

du potentiel au début a été constaté. En outre, les échantillons chargés initialement à des potentiels importants ont vu leur potentiel de surface décliner plus rapidement que ceux faiblement chargés. L'explication donnée à cet état de fait propose que ceci est probablement dû à l'injection partielle des charges déposées dans le volume de l'échantillon.

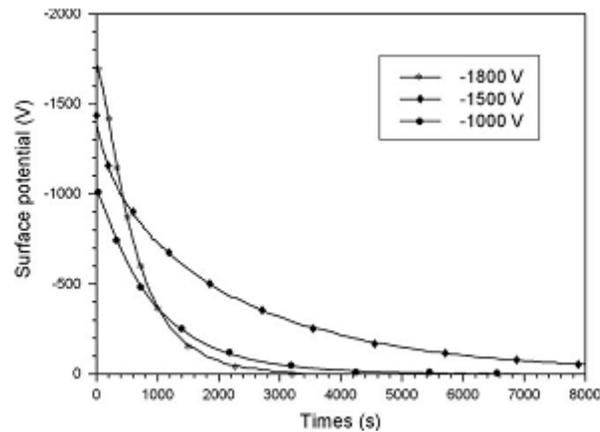


Figure (II-8). Courbes de déclin du potentiel obtenues sur trois valeurs du potentiel initial

La méthodologie présentée dans ce travail à savoir le suivi du potentiel de surface, est largement utilisée dans d'autres processus comme ceux concernant la charge de médias non tissés pour les filtres à air. Dans le cas de ce groupe particulier d'applications, les décharges couronne sont employées pour la charge des filtres dans l'esprit d'augmenter l'efficacité de la collecte de charges par les forces de Coulomb.

D'autres travaux ont été menés dans le même sillage concernant la charge des médias. *Angela Antoniu* et al [36] ont examiné la décharge accélérée de structures non tissées, préalablement chargées par décharge couronne, en utilisant pratiquement le même procédé expérimental que précédemment sur des échantillons de polypropylène et de polyester (figure II-9) dans des conditions climatiques ambiantes.

Les échantillons ont été chargés pendant 10 secondes en utilisant un système à trois électrodes (figure II-10) constitué d'une électrode haute tension (fil cylindrique) positionnée au dessus d'une électrode plane reliée à la terre et d'une grille métallique portée à un potentiel commandé et insérée entre les deux.

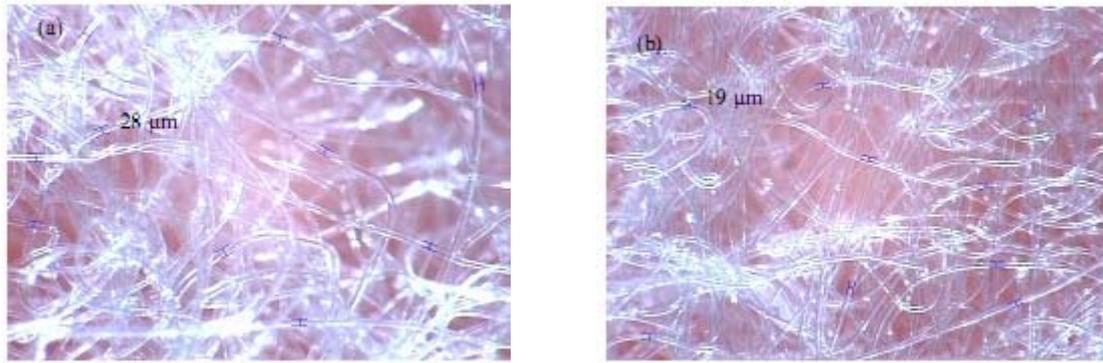


Figure (II-9). Photographie du média non tissé (a) polypropylène et (b) polyester

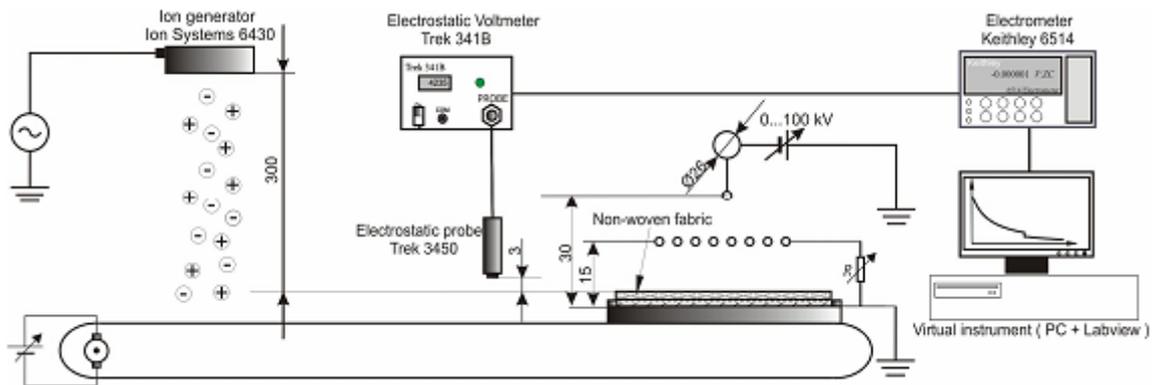


Figure (II-10). Dispositif expérimental

Les résultats (figures II-11, II-12, II-13) ont pratiquement montré les mêmes allures de déclin du potentiel, nonobstant des différences liées à la nature du média et aux paramètres d'essais concernant le niveau de charge (tension appliquée) et le potentiel de la grille.

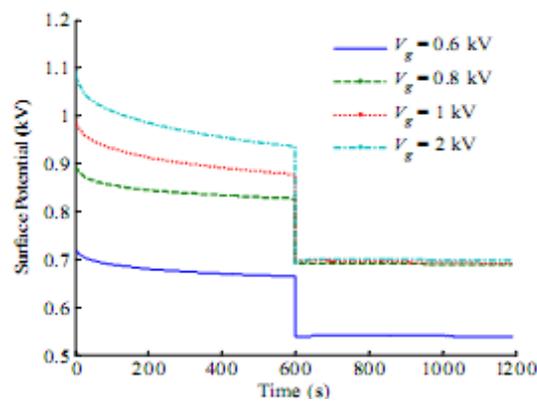


Figure (II-11). Courbes typiques du déclin du potentiel de surface, obtenues pour des échantillons de polypropylène à différents potentiels de la grille

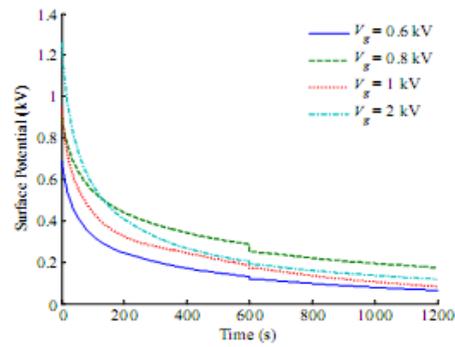


Figure (II-12). Courbes typiques du déclin du potentiel de surface obtenue pour des échantillons de polyester à différents potentiels de la grille

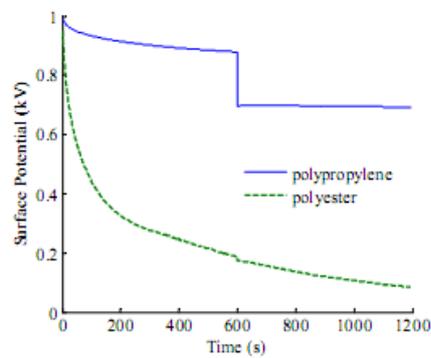


Figure (II-13). Comparaison entre les courbes typiques du déclin du potentiel de surface pour le polypropylène et le polyester et pour un potentiel de la grille égal 1 kV

II.4.5 Conclusion

Il est évident que la présentation des différentes applications inhérentes aux décharges couronne n'est pas complète, mais nous avons voulu donner un aperçu de l'étendue des recherches menées et à poursuivre concernant celles-ci.

Chapitre III

Etude expérimentale

III.1 Introduction

Le but de notre travail étant de faire ressortir l'influence d'une grille métallique sur la distribution de la densité de courant sur le plan d'un système d'électrodes fil-plan lors d'une décharge couronne monopolaire positive, nous avons, pour ce faire, utilisé un banc d'essais réalisé au laboratoire de haute tension de l'université A. Mira. Ce banc inclut une sonde pour la mesure de la densité de courant.

Dans un premier temps nous avons utilisé cette sonde, pour mesurer les caractéristiques courant-tension pour différentes hauteurs h (distances inter-électrode) puis les caractéristiques courant-tension pour les mêmes hauteurs en mesurant cette fois-ci le courant de décharge recueilli par tout le plan au lieu de celui de la sonde uniquement. Nous avons effectué aussi la même mesure en introduisant par la suite une grille métallique entre l'électrode haute tension (fil) et le plan, formant ainsi un système appelé triode et ceci dans le but de faire ressortir son influence sur l'intensification de l'effet couronne ou non.

Dans un autre temps nous avons utilisé cette sonde pour mesurer la densité de courant au plan sans et avec la grille.

III.2 Dispositif expérimental

III.2.1 La Sonde linéaire

La sonde linéaire a été réalisée au laboratoire de haute tension de l'université de Bejaia. Elle est constituée principalement de deux plaques de polarisation (B) dont leur fonction n'est pas nécessaire pour nos mesures et mises à la terre, entre lesquelles loge une lame rectangulaire de faible surface, le collecteur (A), figure III-1. Ce dernier est isolé des plaques (B) par un intervalle g . La sonde est incorporée dans un même niveau de surface entre deux plans de gardes (C) mis à la terre. Lorsque la tension appliquée est suffisamment grande pour créer la décharge couronne, un courant I circule entre l'électrode active et la sonde. La valeur du courant divisé par la surface de la sonde nous donne la valeur de la densité du courant de charge.

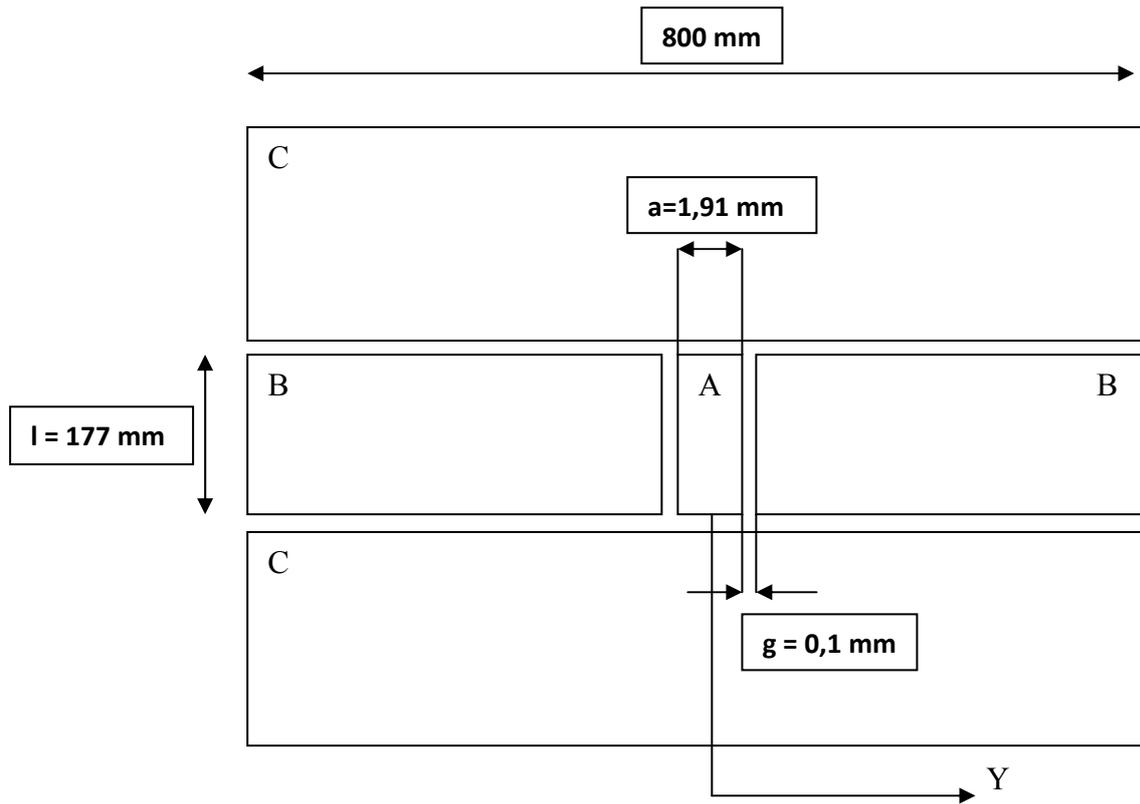


Figure III-1. Schéma de la sonde

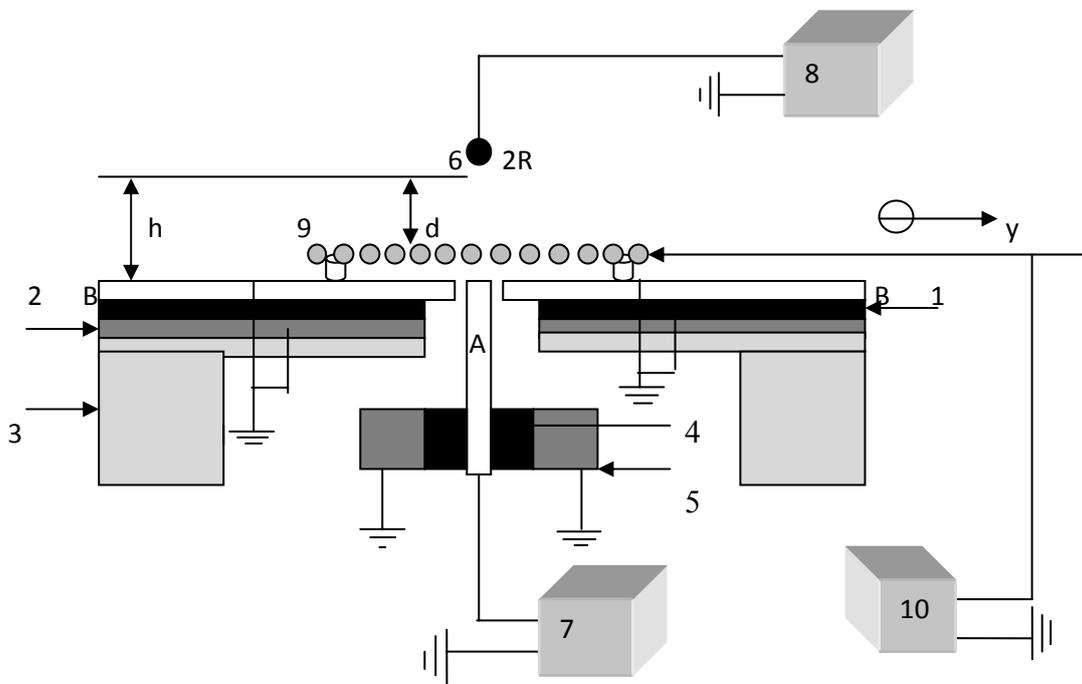


Figure III-2. Schéma détaillé du banc d'essais

- Avec :
- | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| 1 et 4- Supports isolants | 7- Multimètre numérique |
| 2- Plaques en cuivre | 8- Source haute tension continue |
| 3- Supports en bois | 9- Grille métallique |
| 5- Ecran | 10- Voltmètre électrostatique |
| 6- Electrode active | A- Collecteur |
| B- Plan en acier inoxydable | C-Plan de garde en acier inoxydable |

III.2.2 Le dispositif de mesures

Le dispositif de mesure, muni des appareils de mesure, est représenté sur la figure III-3. L'électrode active (1), de diamètre 0.8 mm pour tous les essais, est tendue par des supports isolants en plexiglas (2), elle est reliée à l'installation haute tension délivrant une tension allant de 0 à 135 kV. Cette dernière est fournie après redressement mono alternance composé d'une diode haute tension (3) au silicium pouvant supporter une tension de 270 kV et d'un condensateur de lissage C10 (4) de capacité 10 nanofarad. Une résistance R_a de 106 k Ω reliant le redresseur au système d'électrodes a pour rôle d'amortir le courant protégeant ainsi la diode de surintensités.

La tension alternative d'origine est générée par amplification d'une basse tension variable appliquée au primaire d'un transformateur élévateur dont le secondaire est relié à la diode. La mesure du courant de décharge est effectuée par le biais d'un multimètre numérique connecté au collecteur (A) au moyen d'un câble coaxial.

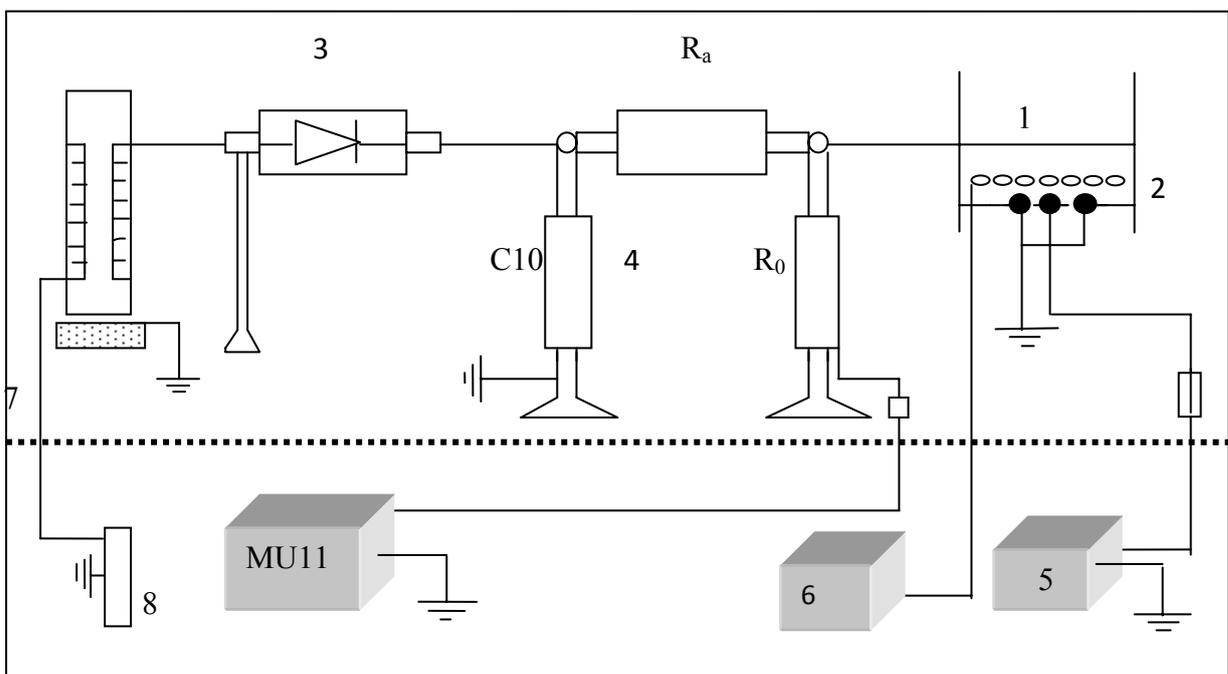


Figure III-3. Schéma de l'installation haute tension avec dispositif de mesure

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| Avec : 1- électrode haute tension | 5- multimètre numérique |
| 2- Support isolant | 6- voltmètre électrostatique |
| 3- diode haute tension | 7- grille de protection |
| 4- condensateur de lissage | 8- alimentation basse tension |

III.2.3 Grille métallique

La grille utilisée dans notre étude expérimentale et insérée entre le fil et la sonde est une grille en aluminium galvanisée de 250x250 mm² dont le fil de tresse a un diamètre de 1,18 mm et les interstices sont des losanges dont la surface est de 6,4x4 mm² (figure III-4).

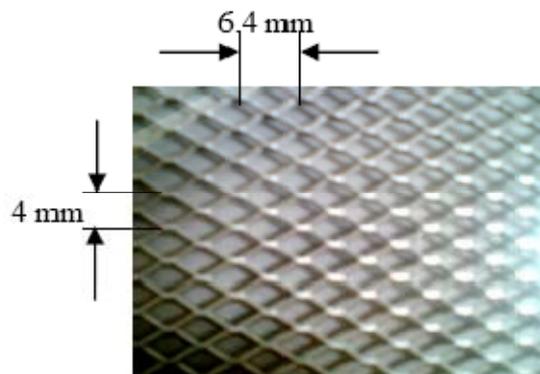


Figure III-4. Aspect de la grille métallique utilisée

III.3 Méthode de mesure

III.3.1 Mesure de la tension appliquée à l'électrode active.

La tension continue U est mesurée au moyen d'un voltmètre de crête (MU11) via un diviseur résistif composé d'une résistance haute tension R_0 de 248,5 M Ω et d'une résistance basse tension R_u de valeur 501 k Ω , de plus le (MU11) présente une résistance d'entrée R_e de 4,24 M Ω . Le voltmètre de crête mesure la tension u aux bornes de la résistance basse tension et affiche numériquement la valeur de la tension appliquée $U = k.u$ (figure III-5). Où k est le rapport du diviseur de tension :

$$k = \left(\frac{R_0 + (R_e \parallel R_u)}{(R_e \parallel R_u)} \right) = \frac{R_0 R_e + R_0 R_u + R_u R_e}{R_u R_e} = 555,4$$



Figure III-5. Dispositif de mesures

III.3.2 Mesure du courant au collecteur

Le courant collecté par la sonde ou collecté sur le plan entier (s'agissant de la caractéristique fil-plan) a été déterminé par la mesure de la chute de tension aux bornes d'une résistance insérée en série avec le câble coaxial au moyen d'un multimètre numérique. Après chaque série de mesures, les éléments de la sonde sont systématiquement nettoyés avec de l'acétone pour parer à toute éventualité de présence de poussière qui se serait accumulée. La position de la sonde (coplanitude et espace d'air g) est à chaque fois vérifiée et ceci afin que les résultats restent comparables.

III.3.3 Détermination de la densité de courant sur le plan

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

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

Avec : $J(\mu\text{A}/\text{m}^2)$ la densité de courant sur la plan, $I(\mu\text{A})$ le courant collecté par la sonde et $S(\text{m}^2)$ la surface du collecteur, elle est donnée par : $S = \left(a + \frac{2g}{2}\right) l = 355,77 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

Avec : $a = 1,91 \text{ mm}$; $g = 0,1 \text{ mm}$; $l = 177 \text{ mm}$.

III.3.4 Mode d'insertion de la grille

La grille est insérée dans le dispositif parallèlement au plan (figure III-6), elle repose sur des pastilles circulaires en caoutchouc isolantes de 5 mm d'épaisseur, ce qui nous a permis de faire varier la position de la grille (d) par rapport à l'électrode haute tension de façon précise. Nous précisons que le potentiel de la grille a aussi été relevé pour chaque point de mesure au moyen d'un voltmètre électrostatique.

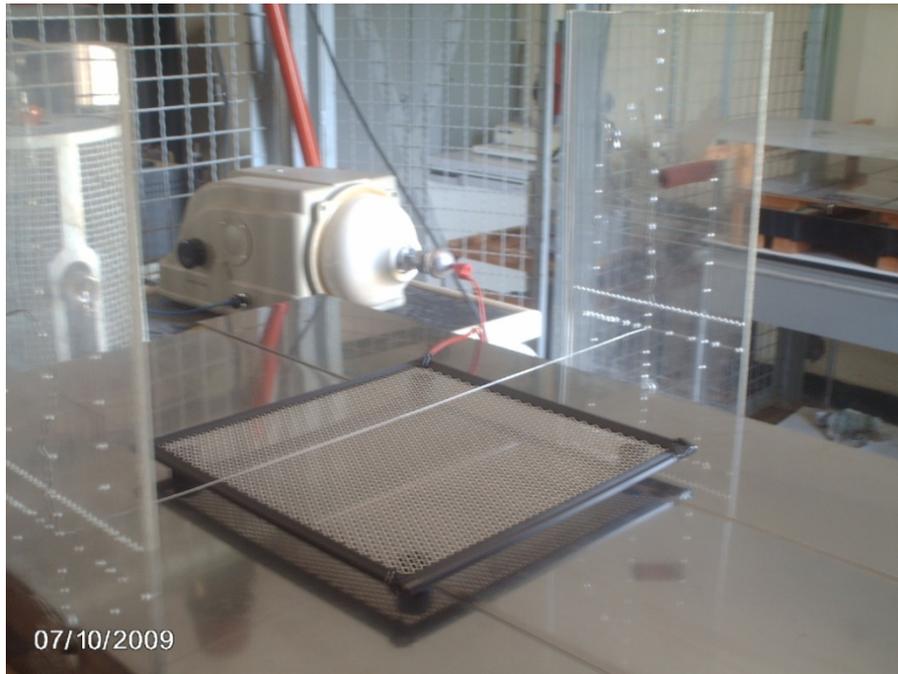


Figure III-6. Banc d'essais.

III.3.5 Mode opératoire et conclusion

Afin de déterminer la distribution de la densité de courant sur le plan, le fil (électrode haute tension) dont la première position se situe au droit du collecteur, est par la suite éloigné de cette position en le déplaçant à chaque fois d'un centimètre suivant l'axe y , étant fixé au moyen de trous incorporés sur les deux support en plexiglas et à la hauteur h choisie. Et pour chaque position de ce fil suspendu à une hauteur h , la position de la grille est variée en hauteur (d = distance fil-grille) aussi.

Nous avons à préciser que, sachant que les paramètres physiques sont très influents concernant les décharges dans les gaz en général et le phénomène des décharges couronne en particulier, les données climatiques à savoir : la température, la pression de l'air et l'humidité relative, ont été systématiquement contrôlées et relevées. Dans tous les essais que nous avons réalisés et par soucis de stabilité et de reproductibilité du phénomène, nous avons tenu à travailler dans des conditions les plus similaires possibles concernant ces paramètres. Ainsi tous nos résultats ont été obtenus dans des fourchettes allant :

- de 25°C à 27°C pour ce qui est de la température.
- de 45% à 55% pour ce qui est l'humidité relative.
- de 1015 hPa à 1017 hPa pour ce qui est de la pression.

Chapitre IV

Résultats et interprétations

IV.1 Introduction

Le but de notre travail est de faire un état des lieux de l'influence d'une grille métallique sur la distribution de la densité de courant au plan d'un système fil-plan lors d'une décharge couronne, nous avons pour ce faire, effectué divers essais, en essayant de rester crédible concernant le choix de ces essais.

Nous avons dans ce cadre, agencé ce travail expérimental en quatre volets dont le premier traite de la caractérisation du phénomène de décharge couronne pour notre configuration en traçant les caractéristiques courant-tension pour différentes hauteurs (distances inter-électrode) du fil et pour deux cas de figures : sans et avec grille intercalée. Nous avons en outre tracé la caractéristique courant-tension dans le cas où le plan est mis à la terre donc le courant est seulement recueilli par le collecteur (sonde).

Le deuxième volet concerne la distribution de la densité de courant en fonction de la position du fil par rapport à la sonde dans le cas sans grille pour les mêmes hauteurs.

Dans le troisième nous avons travaillé sur l'influence de la grille concernant cette distribution de la densité de courant pour différents cas de figures mettant en jeu la distance inter-électrode h et la distance fil-grille d .

Le quatrième porte sur la caractérisation de la grille pour laquelle nous avons tracé les graphes de son potentiel en fonction de la tension appliquée et de la distance d .

IV.2 Caractéristiques courant-tension

Dans ce qui suit nous présentons l'aspect des caractéristiques courant-tension, $I(V)$ dans le cas fil-sonde (figure IV-1), fil-plan sans grille (figure IV-2) et fil-plan avec grille (figures IV-3, IV-4 et IV-5) ainsi qu'un graphe comparatif entre les deux cas pour une distance d quelconque.

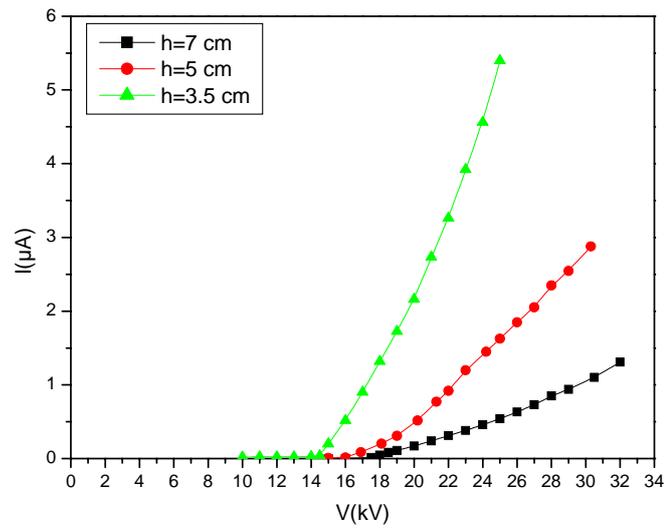


Figure IV-1. Caractéristique $I=f(V)$ (courant recueilli par la sonde)

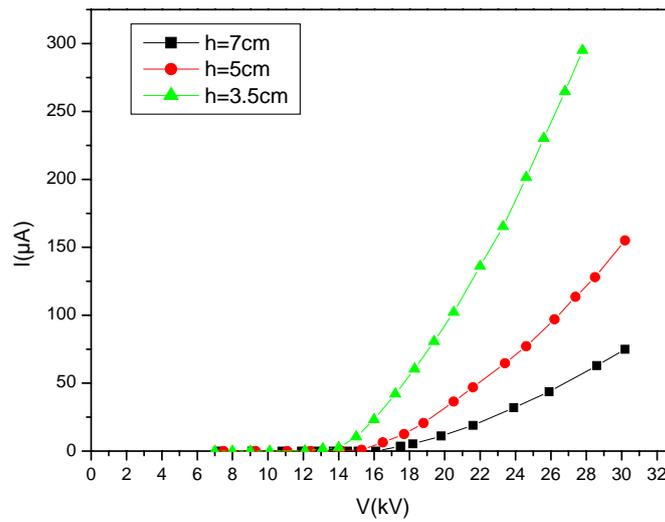


Figure IV-2. Caractéristique $I=f(V)$; système fil-plan sans grille

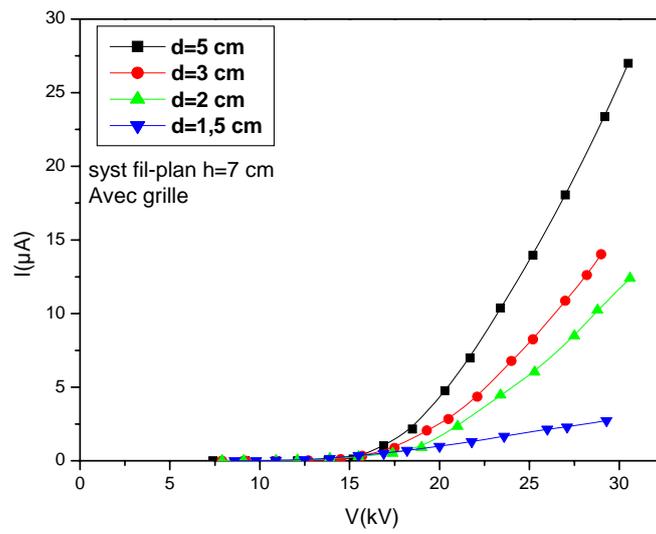


Figure IV-3. Caractéristique $I=f(V)$; système fil-plan $h=7$ cm avec grille

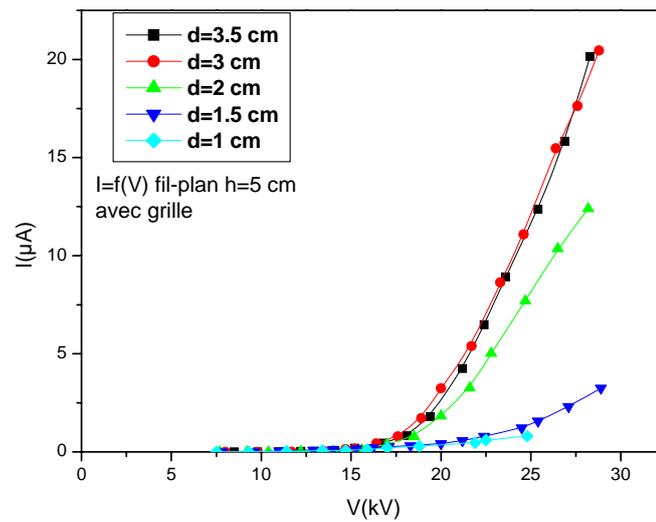


Figure IV-4. Caractéristique $I=f(V)$; système fil-plan avec grille pour $h=5$ cm

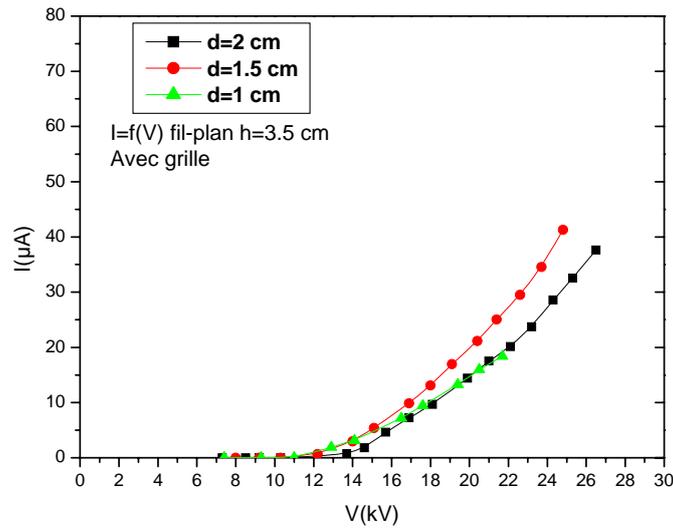


Figure IV-5. Caractéristique $I=f(V)$; système fil-plan avec grille pour $h=3,5$ cm

Il en ressort que, concernant la caractéristique $I(V)$ fil-sonde, pour les trois hauteurs, le courant recueilli par le collecteur augmente avec la tension appliquée ce qui est normal car le champ devient plus intense. Par ailleurs, nous constatons aussi que la décharge est d'autant plus sévère que la distance inter-électrode est faible et que la tension seuil de la décharge couronne augmente avec la hauteur h . En fait le courant suit, comme prévu, la loi quadratique de Townsend $I=f(V^2)$ [1].

Sur la figure IV-2, la caractéristique $I(V)$ fil- plan montre les mêmes profils de courbe. De ce fait, les mêmes remarques et explications sont à apporter à la différence que la surface du plan étant beaucoup plus vaste que celle du collecteur, le courant ainsi recueilli est logiquement plus grand.

Pour les caractéristiques $I(V)$ fil-plan avec grille, nous constatons que la logique de la sévérité de la décharge couronne est respectée : les courants recueillis sont d'autant plus forts que la hauteur est faible.

D'autre part et pour tous les cas de figure, le courant de décharge croît plus vite quand la grille est éloignée du fil et se rapproche du plan. Ceci pourrait trouver son explication dans le fait que lorsque la grille s'éloigne du plan pour se rapprocher du fil, celle-ci agit comme un autre plan formant ainsi un système plan-plan. Or dans une configuration pareille, le champ devient homogène, d'où les faibles valeurs du courant recueilli.

Afin de voir et/ou confirmer ce qui visuellement devrait apparaître sur les caractéristiques avec et sans grille à savoir que les valeurs des courants recueillis par le plan sont plus importantes pour le cas sans grille que pour le cas avec grille, nous avons réuni dans un même graphe les caractéristiques des deux cas pour les trois hauteurs avec $d=2$ cm (figure IV-6). Nous constatons effectivement que les caractéristiques pour le premier cas sont au-dessus de celles du deuxième cas. On conclue que la décharge couronne diminue en intensité avec l'insertion de la grille métallique dans le dispositif.

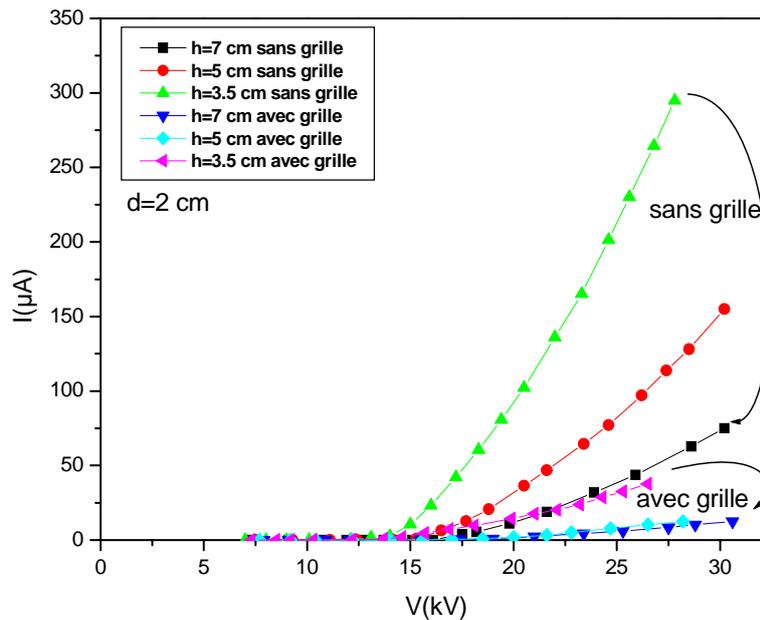


Figure IV-6. Influence de la grille sur l'intensité de la décharge couronne

IV.3 Distribution de la densité de courant au plan

Les graphes de la distribution de la densité de courant sur le plan pour les différentes distances inter-électrodes h ont été tracés en faisant déplacer le fil par pas de 1 cm horizontalement à partir de la position 0 au droit de la sonde. Cela se voit sur les figures (IV-7, IV-8 et IV-9) qui suivent.

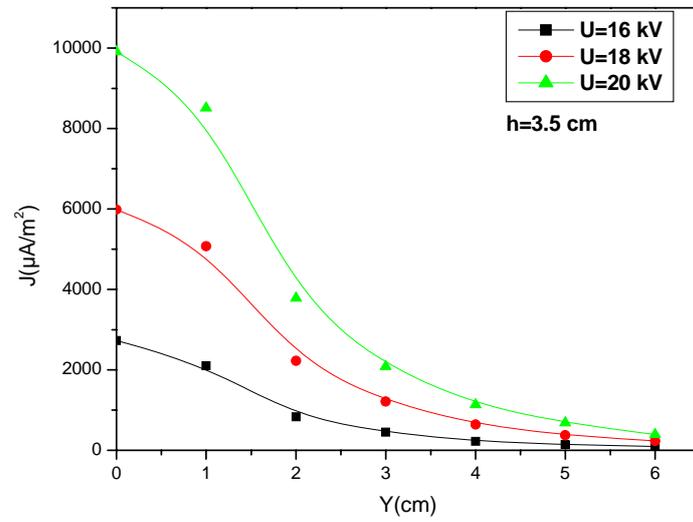


Figure IV-7. Distribution de la densité de courant au plan $J=f(Y)$

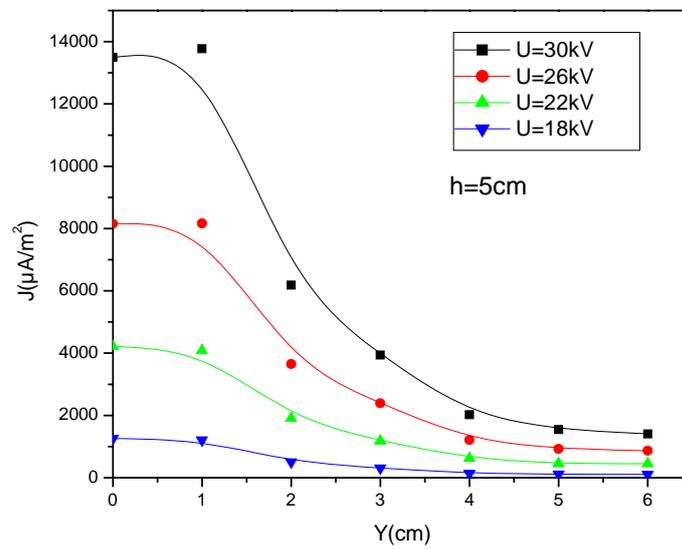


Figure IV-8. Distribution de la densité de courant au plan $J=f(Y)$

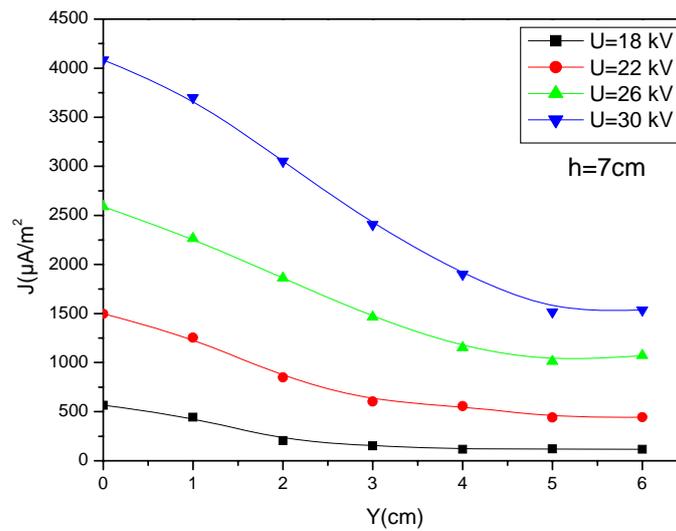


Figure IV-9. Distribution de la densité de courant au plan $J=f(Y)$

Nous constatons que les courbes donnent une image réaliste de ce qui se passe durant le phénomène de l'objet de notre étude, à savoir que la densité de courant, qui est l'image des espèces récoltées par la sonde suite à l'ionisation du gaz, augmente avec la tension appliquée et en même temps diminue quand nous nous éloignons de la sonde. Par ailleurs la densité de courant est plus importante avec la diminution de la distance inter-électrode ce qui est tout à fait logique puisque le champ y est plus intense.

Enfin, nous remarquons que la forme de ces courbes tendent à répondre à la loi de Warburg [37], mais avec des différences liées à la distance inter électrode, laquelle loi se présente sous la forme :

$$J(\theta) = J(0)\cos^p(\theta) \dots\dots\dots\text{IV-1}$$

Où θ est l'angle de distribution de lignes de champ par rapport à l'axe normal fil-plan et l'exposant p variant d'un auteur à un autre. A titre d'exemple, pour une configuration fil-plan Hara et al [38] ont donné $p = 4,8$, alors que Carreno [39] a trouvé, à des hauteurs très faibles ($h \leq 16 \text{ mm}$), la même loi empirique pour la densité de courant avec p variant de 4,20 à 5,98. D'autre part Zebboudj [40] a mesuré la densité de courant pour le même système mais pour des rayons de courbures de l'électrode haute tension de 0,10 – 0,155 – 0,20 et 0,40 mm et a obtenu une même loi pour tous les cas qui répond de la façon suivante :

$$J(\theta) = J(0)\cos^{4,5}(\theta) \dots\dots\dots\text{IV-2}$$

Pour notre part nous avons voulu vérifier cette assertion en faisant coïncider l'une des courbes à savoir $J=f(Y)$ pour $h=3,5$ et $U=20$ kV avec la courbe empirique, p variant de 4 à 6, ce qui nous a donné un résultat proche de ce qui a été donné dans la littérature c'est-à-dire $p = 5$. Ce chiffre donne la coïncidence la plus probable des deux courbes (figure IV-10).

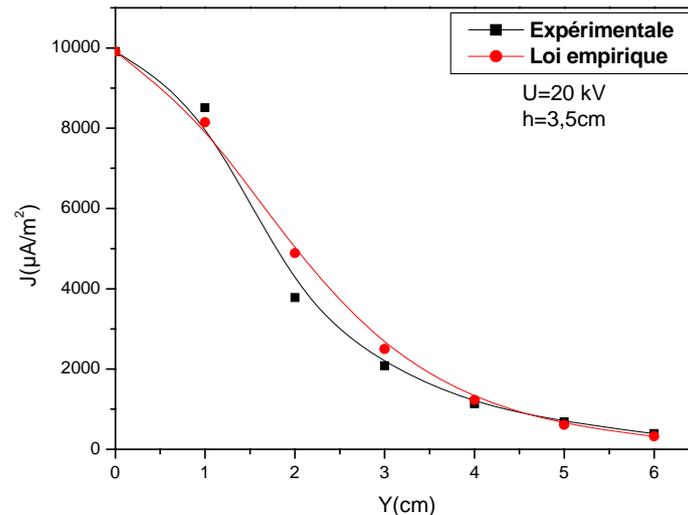


Figure IV-10. Graphe comparatif de $J=f(Y)$: expérimental et empirique

IV.4 Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant sur le plan

Afin de voir dans quelle mesure l'insertion d'une grille métallique entre l'électrode haute tension et le plan va changer la distribution de la densité de courant sur le plan, nous avons effectué plusieurs essais de mesure de cette densité en procédant de la même façon que précédemment à la différence que cette fois-ci pour chaque hauteur h et pour chaque niveau de tension, la grille est déplacée à partir du plan en montant jusqu'au fil, la distance d étant la distance qui sépare la grille du fil.

IV.4.1 Influence de la grille pour $h=3,5$ cm

Les figures IV-11, IV-12 et IV-13 montrent la distribution de la densité de courant pour différentes distances d . La première constatation que nous pourrions faire est que la forme de ces courbes a légèrement changé par rapport au cas sans grille. Par contre la corrélation intensité de la décharge- niveau de tension appliqué, est respectée c'est-à-dire que la densité de courant augmente avec le niveau de tension appliqué à l'intervalle d'air et ceci dans tous les cas de figure.

Par ailleurs nous remarquons que le niveau de la densité de courant est plus important au droit du fil quand on rapproche la grille de celui-ci. Ceci est logique puisque le potentiel de la grille, que nous avons systématiquement relevé pour chaque point de mesure et qui sera consigné dans des courbes que nous tracerons plus loin, augmente quand la grille se rapproche du fil.

Enfin, concernant l'influence de la grille, nous relevons que la distribution de la densité de courant est plus homogène quand on rapproche la grille du fil et à titre d'exemple, la densité de courant est quasi-constante pour $d=1$ cm sur la plus grande partie du plan. Ce résultat est très utile si l'on veut charger par le phénomène de la décharge couronne, un média non tissé par exemple pour poser un film ou pour faire un traitement de surface ... etc.

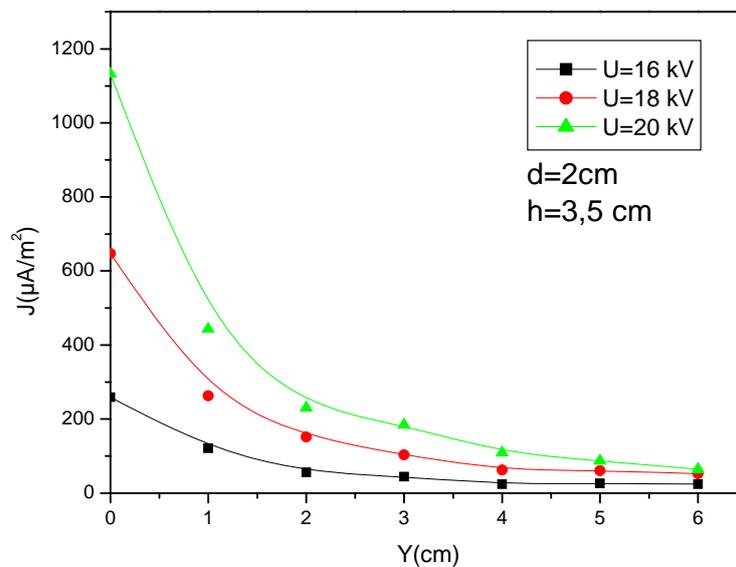


Figure IV-11. Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant

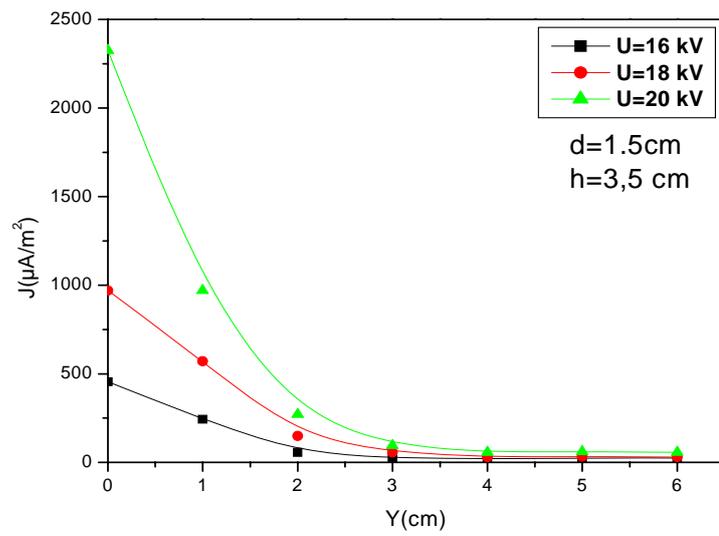


Figure IV-12. Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant

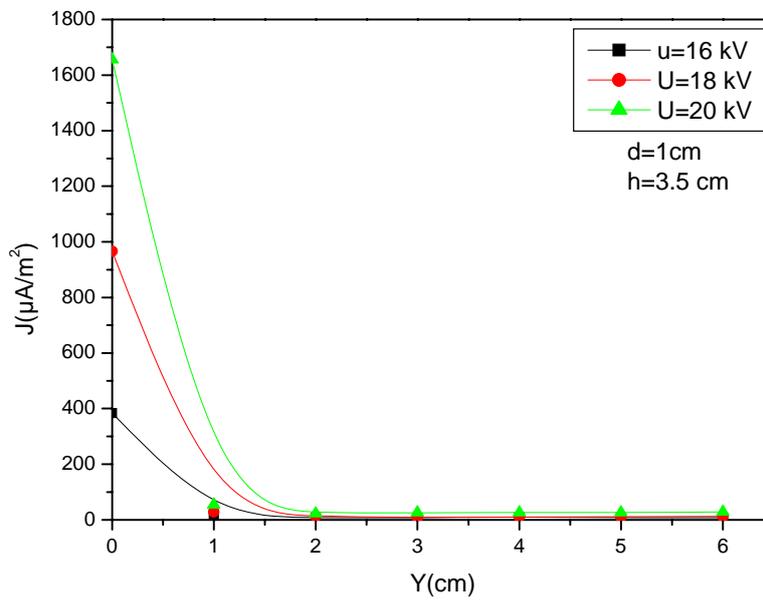


Figure IV-13. Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant

IV.4.2 Influence de la grille pour $h=5$ cm

Certaines des constatations précédemment avancées restent valables pour ce cas (figures IV-14, IV-15, IV-16, IV-17, IV-18), hormis le fait que la forme des courbes, cette fois-ci, répondent quelque peu à la loi de Warburg contrairement au premier cas. Cependant, nous noterons que le niveau de décharge symbolisé ici par la densité de courant, augmente avec le déplacement en hauteur de la grille jusqu'à $d=2$ cm pour ensuite diminuer. Ceci peut s'expliquer par le glissement des charges sur le plan de façon latérale puisque lorsque la grille arrive aux faibles distances par rapport au fil portant la haute tension, cette dernière est perçue par le plan comme un autre plan lui faisant face, formant ainsi un système plan-plan où le champ est presque homogène. Ce qui explique pourquoi la densité de courant est aussi homogène sur le plan (figure IV-18). Cette dernière a été tracée en ôtant la courbe pour $U=30$ kV, afin de rendre le graphe plus lisible. Pour ce cas où $h=5$ cm, la meilleure configuration pour une répartition homogène de la charge sur le plan a été obtenue pour deux cas ($d=1$ cm, $U=18$ kV) et ($d=1$ cm, $U=22$ kV).

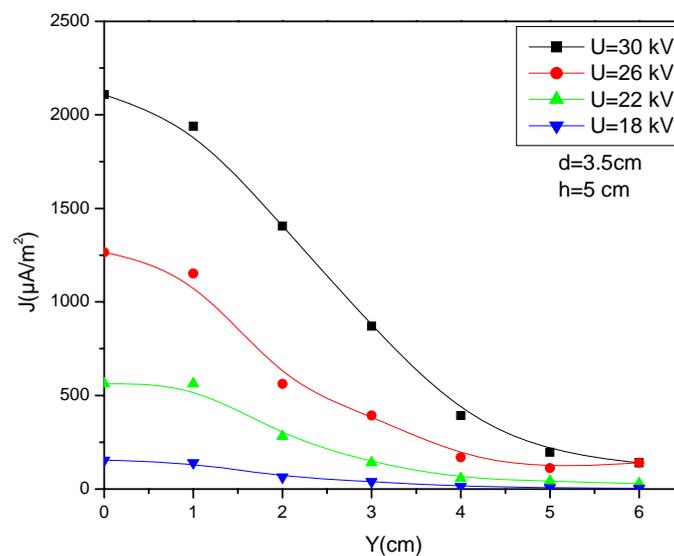


Figure IV-14. Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant

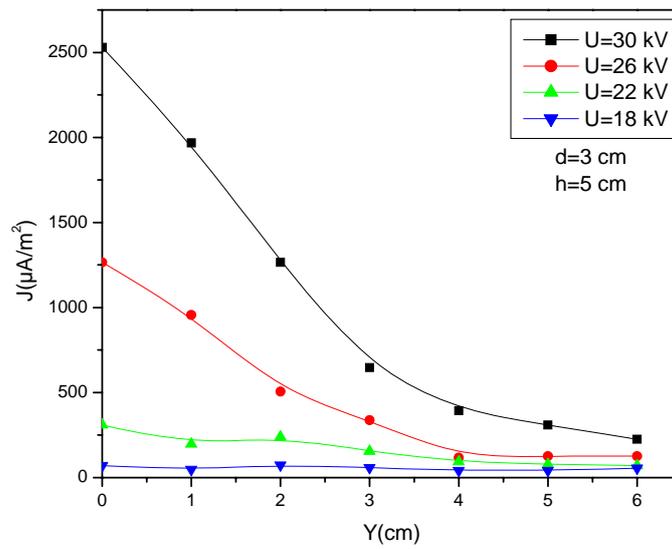


Figure IV-15. Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant

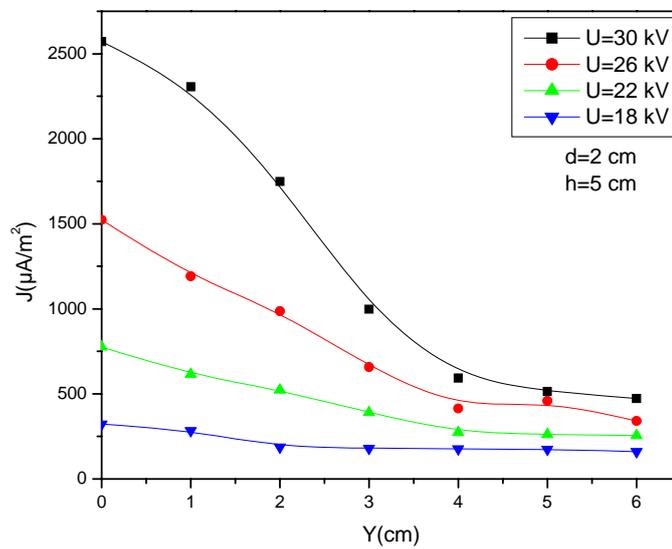


Figure IV-16. Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant

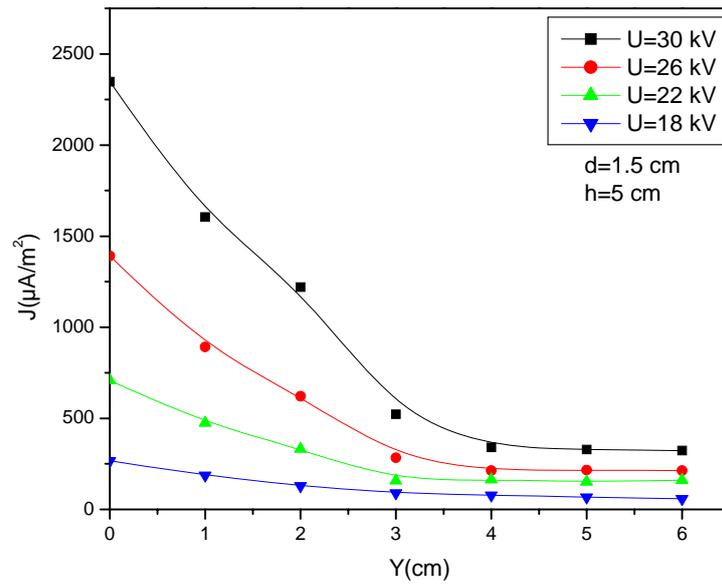


Figure IV-17. Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant

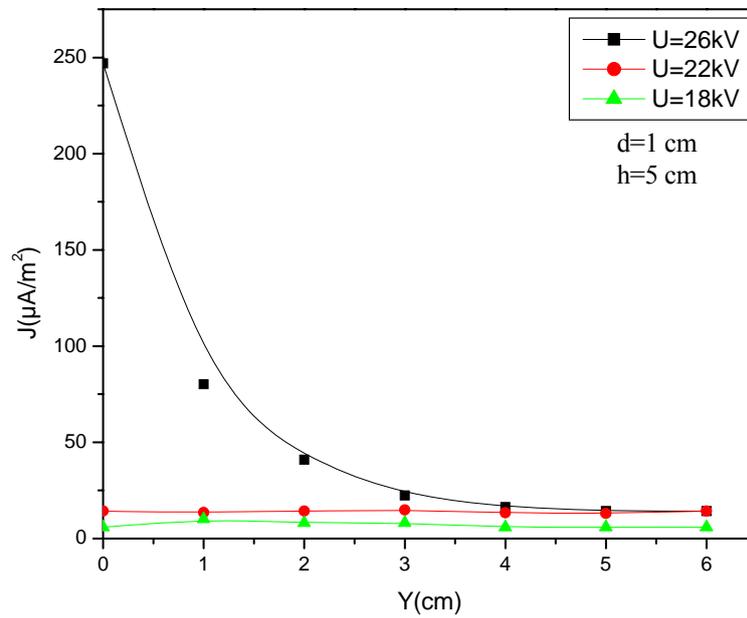


Figure IV-18. Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant

IV.4.3 Influence de la grille pour $h=7$ cm

Au regard de ce qui a été avancé précédemment, nous devrions normalement, aboutir aux mêmes constatations à quelque différences près pour ce cas (figures IV-19, IV-20, IV-21, IV-22, IV-23). Cependant, nous remarquons que, l'intensité de la décharge a légèrement augmenté alors qu'elle devrait diminuer, l'intervalle d'air étant plus grand. Ce phénomène ne peut s'expliquer que par l'influence des éléments climatiques qui ont légèrement fluctué par rapport aux cas $h=5$ cm et $h=3,5$ cm. Par ailleurs nous constatons que la densité de courant a augmenté avec le rapprochement de la grille du fil haute tension. Enfin la distribution de la densité de courant suit toujours la même logique : elle s'homogénéise de plus en plus au fur et à mesure que la grille est rapprochée du fil (figure IV-23). La configuration la plus favorable pour ce cas est $d=1$ cm et $U=18$ kV.

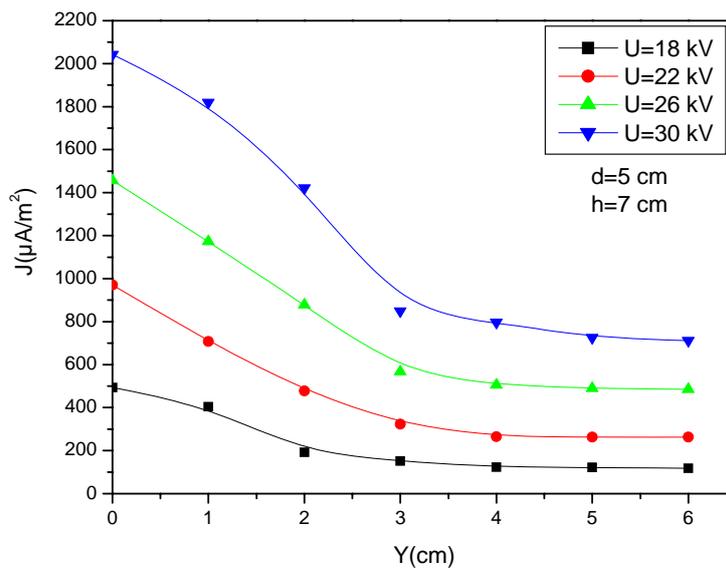


Figure IV-19. Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant

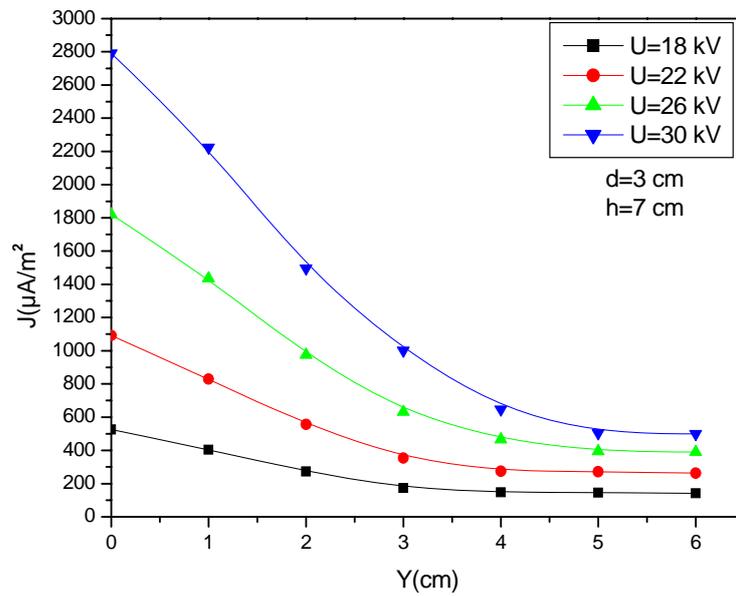


Figure IV-20. Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant

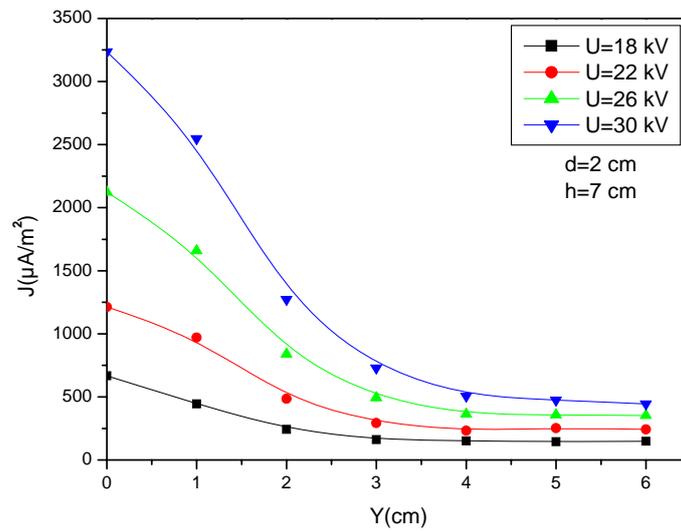


Figure IV-21. Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant

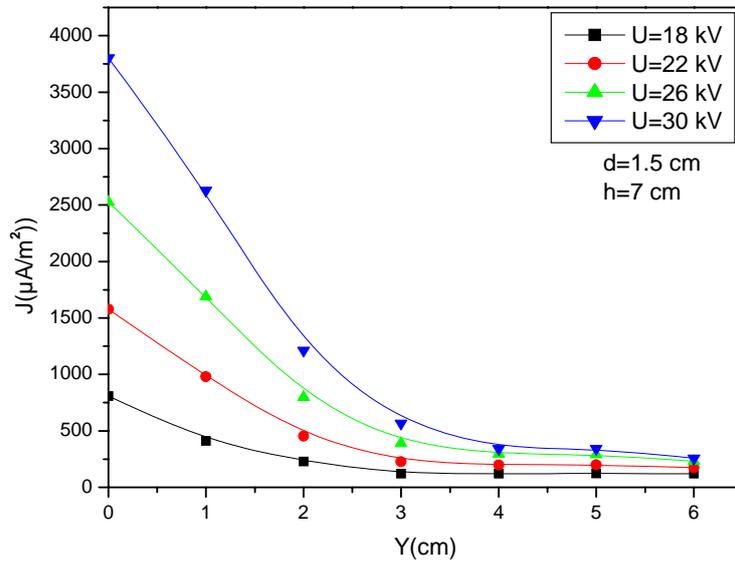


Figure IV-22. Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant

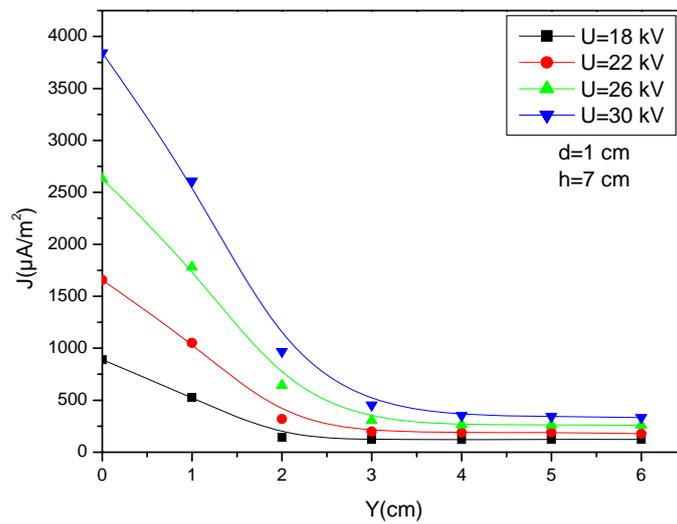


Figure IV-23. Influence de la grille sur la distribution de la densité de courant

IV.5 Essais de caractérisation de la grille

Nous avons voulu, dans ce qui suit, voir comment évolue le potentiel flottant de la grille par rapport à la tension appliquée à l'électrode active et à sa position dans l'intervalle inter-électrode. Pour ce faire, nous avons dans un premier temps tracé $V_g=f(U)$ (figures IV-24, IV-25, IV-26) pour les différentes hauteurs h puis dans un autre $V_g=f(d)$ (figures IV-27 et IV-28) pour deux hauteurs. Enfin, nous avons tracé un graphe (figure IV-29) faisant ressortir un état comparatif de la courbe $V_g=f(U)$ pour $h=5$ cm et $h=7$ cm.

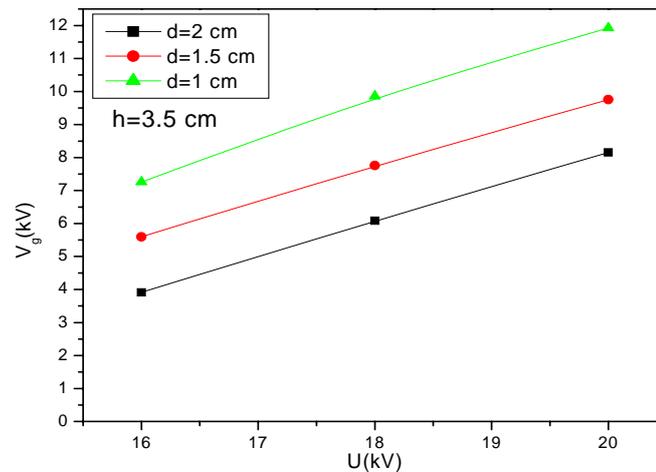


Figure IV-24. Potentiel de la grille en fonction de la tension appliquée

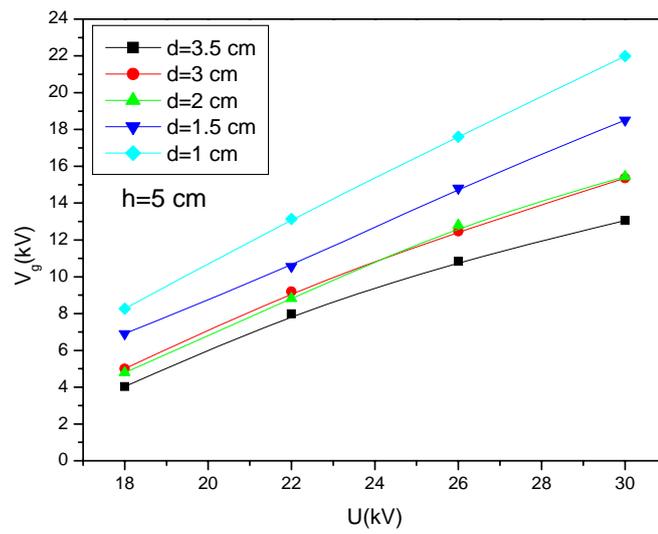


Figure IV-25. Potentiel de la grille en fonction de la tension appliquée

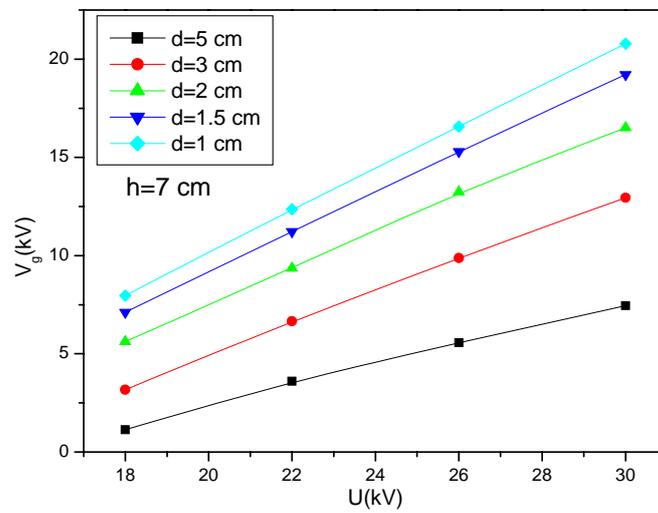


Figure IV-26. Potentiel de la grille en fonction de la tension appliquée

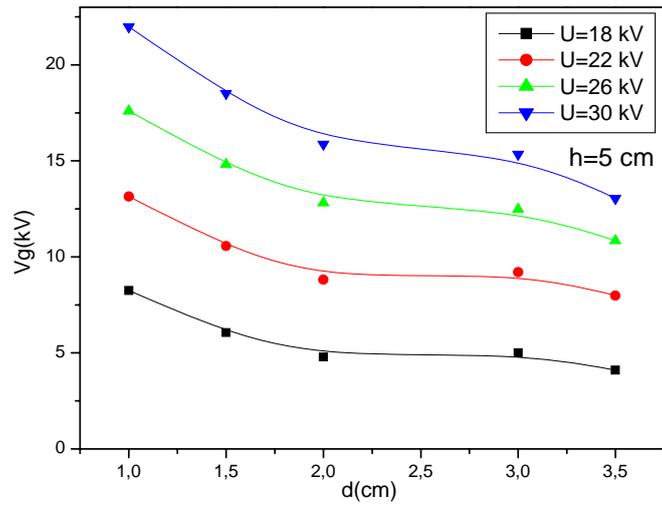


Figure IV-27. Potentiel de la grille selon d

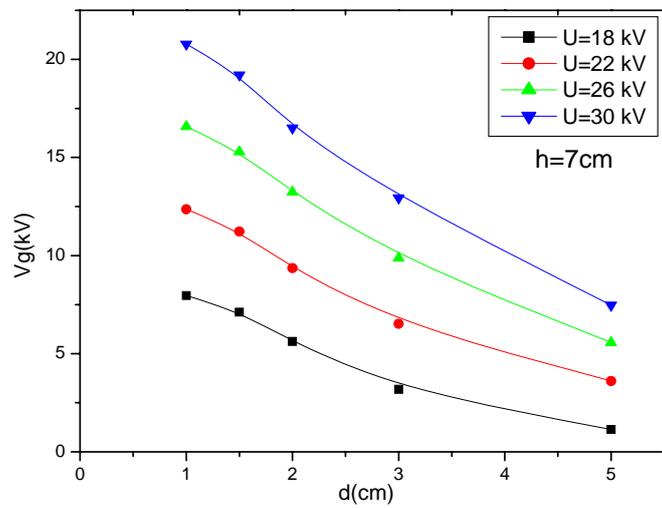


Figure IV-28. Potentiel de la grille selon d

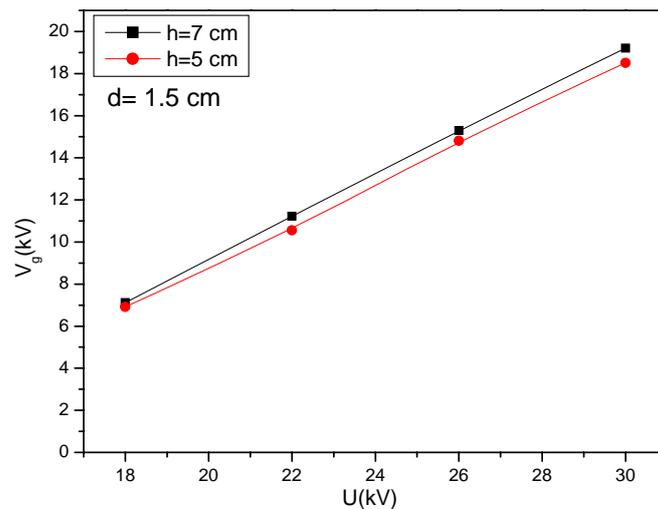


Figure IV-29. Graphe comparatif de $V_g = f(U)$ selon h pour $d = 1.5$ cm

Les trois premiers graphes montrent des courbes quasi-linéaires c'est-à-dire que le potentiel de la grille en fonction de la tension d'application est une droite ce qui laisse supposer qu'il n'y a pas de distorsion des lignes de champ puisque les surfaces équipotentielles sont parallèles. Ce résultat est d'autant plus vraisemblable puisque dans la dernière figure, on constate que les deux droites donnant le potentiel de la grille en fonction de la tension d'application pour les deux hauteurs consignées sont pratiquement confondues. En d'autre terme, le potentiel de la grille n'est pas dicté par la distance inter-électrode mais plutôt la surface équipotentielle sur laquelle se trouve insérée la grille. Ce résultat est fort important à nos yeux car cela veut dire qu'il est possible de savoir à quel niveau il faut placer la grille dans un système fil- plan pour commander son potentiel, ce qui pourrait servir à d'autres expériences.

Les figures IV-26 et IV-27 montrent un aspect attendu des courbes de potentiel de la grille en fonction cette fois-ci de la distance d . En effet, on constate que ce potentiel décroît à chaque fois que la grille s'éloigne du fil et se rapproche du plan ce qui corrobore avec ce qu'on a trouvé dans le deuxième volet à savoir que la décharge s'accroît (la densité de courant augmente) quand on approche la grille de l'électrode haute tension.

IV.6 Conclusion

Les résultats obtenus montrent l'importance de l'insertion de la grille dans le dispositif de mesure de la décharge couronne. Son influence sur l'intensité de la décharge et la distribution de la densité de courant au plan est certaine.

Conclusion générale

Conclusion Générale

Dans ce travail nous avons voulu, dans un premier temps, vérifier certains paramètres caractérisant la décharge couronne et dans un autre, lever le voile sur l'influence d'une grille métallique insérée dans le dispositif d'essai sur ces mêmes paramètres.

Aussi bien la caractéristique courant- tension pour les différentes distances inter-électrodes que la distribution de la densité de courant au plan pour les différents cas de figures ont produit des résultats similaires à ceux avancés dans la littérature en général.

En effet, le courant de la décharge couronne suit une forme quadratique par rapport à la tension appliquée à l'intervalle d'air comme stipulé par la théorie de Townsend et l'intensité de la décharge, dont le paramètre révélateur est le courant collecté par la sonde, évolue pour toutes les configurations de façon ascendante quand la distance inter-électrode décroît.

Concernant la densité de courant, sa distribution sur le plan suit la loi de Warburg en général comme rapporté par d'autres travaux, hormis le fait que pour notre cas le paramètre puissance de la fonction cosinus peut différer d'une configuration à une autre. D'autre part nous avons montré que cette densité de courant est maximale au droit du fil portant la haute tension pour décroître ensuite quand on s'éloigne de cette position. Quand à la corrélation, intensité de la densité de courant- distance inter-électrode, elle est respectée dans le sens que, comme prévu, plus on diminue cette dernière plus la décharge est plus forte pour un certain niveau de tension.

L'insertion d'une grille métallique entre le fil portant la haute tension et le plan a révélé différents aspects de la décharge couronne.

Dans un premier temps le tracé de la caractéristique courant- tension montre une nette régression de l'intensité du courant récolté par la sonde et ceci pour toutes les positions de la grille par rapport au cas "sans grille" ce qui veut dire que la grille a un pouvoir atténuateur sur la décharge couronne, en d'autres termes, ce ne sont pas toutes les espèces produites par la décharge qui arrivent au plan (cathode) mais seulement une partie.

Ce pouvoir atténuateur est fonction de la position de la grille par rapport au plan, car plus la grille s'éloigne du plan pour se rapprocher du fil portant la haute tension moins la décharge est intense. Ce qui s'apparente à une convergence vers un système plan-plan.

Dans un deuxième temps et suite à l'analyse des courbes de distribution de la densité de courant sur le plan, il a été constaté que les allures de celles-ci sont à peu près dans le même schéma que celles du cas sans grille, mais sont par contre en dessous de leurs niveaux d'intensité. Ce qui corrobore avec ce qui est avancé précédemment.

En fait, en regardant de plus près ces courbes, nous remarquons que la distribution de cette densité de courant devient de plus en plus homogène à chaque fois que la grille est rapprochée le plus possible du fil portant la haute tension et ceci pour les trois cas de distance inter-électrodes. Ce résultat est à nos yeux très significatif d'autant plus que pour un cas bien précis ($h=5\text{cm}$, $d=1\text{cm}$, $U=22\text{ kV}$) la densité de courant sur le plan est quasi constante.

Sachant que dans les recherches portant sur la charge de polymères en particulier ou de médias non tissés en général par décharges couronne, il importe beaucoup de connaître la répartition des charges ainsi déposées sur le film à traiter, une étude plus poussée et plus globale sur le procédé de charge est à envisager à l'avenir.

Afin de compléter notre étude, nous avons tracé une série de courbes mettant en jeu le potentiel de la grille avec la tension appliquée d'une part et le potentiel de la grille avec la distance d . Celles-ci n'ont fait que confirmer les conclusions tirées sur l'influence de la grille sur la décharge couronne en général et la distribution de la densité de courant en particulier.

Comme perspectives, nous souhaitons que ce modeste travail soit poursuivi dans le sens à aboutir à une formulation chiffrée des trois paramètres influents que sont la tension appliquée U , la distance inter-électrode h et la distance fil-grille d . Une fois fait, les études inhérentes à la charge de matériaux non tissés par décharges couronne auront un paramètre influent en moins à identifier : l'homogénéité de la répartition des charges sur le matériau.

Bibliographie

- [1] **J.S. Townsend** « Electricity in gases » Oxford university press, USA, 1914.
- [2] **C. Gary** « Les propriétés diélectriques de l'air dans les hautes et très hautes tensions » Editions Eyrolles, 1984.
- [3] **A.M. Pointu** « Décharges électriques » Technique de l'ingénieur, D322, 1980.
- [4] **B. Senouci ; J.Jouaire ; J.P.Urbain** « Propriétés diélectriques du SF6 : synthèse des principales connaissances théoriques » Notes techniques EDF : HM/82/647, 1982.
- [5] **L.B. Loeb** « Fundamental processes of electrical discharges in gases » John Wiley and Sons, Inc., New York, 1939.
- [6] **J.M. Meek** « A theory of spark discharge » Physical review, vol57, p 722, 1940.
- [7] **H. Raether** , *Zeit. Physik*, vol117, pp 375-524, 1941.
- [8] **L.B. Loeb; A.F. Kip** « Electrical discharges in air at atmospheric pressures » Journal of applied physic, vol10, p142, 1939.
- [9] **B. Div; C. Guthmann; D. Lederer; B. Roulet** « Eléments de physique statistique » Editions Hermann (Paris) , 1989. »
- [10] **R.S. Sigmond; M. Goldman** « Corona discharge: physics and applications in electrical breakdown and discharges in gases » Part B, NATO ASI serie B89-B, 1989.
- [11] **H. Yala; A. Kasdi; Y. Zebboudj** « Analysis of current and electric field distribution beneath a positive DC wire-to-plane corona » European physic journal applied, vol21, pp 45-52, 2003.
- [12] **F.W. Peek** « Dielectric phenomena in HV engineering» Mc Graw- Hill New-York, pp 52-80, 1929.
- [13] **L. B. Loeb** « Statistical Factors in Spark Discharge Mechanisms ». Reviews of Modern Physics, vol20, pp 151-160, 1948.
- [14] **E. Nasser; M. Heitzler** « Mathematical-physical model of the streamer in non-uniform fields » Journal of Applied Physic, vol45, p 3396, 1974.
- [15] **R.T. Waters; W.B. Stark** « Characteristics of the stabilized glow discharge in air » *Journal of Physic D: Applied Physic*, Vol 8, pp 416-426, 1975.
- [16] **C. H. Gary; B. Hutzler; J.P. Schmidt** « Peek's Law generalisation. Application to various field configurations » IEEE Summer Meeting, Paper C, pp 72-549, 1972.
- [17] **G. Hartmann** «Theoretical evaluation of Peek's Law », *IEEE Trans. IAS* **20**), pp. 1647–1651, 1984.

- [18] **Y. Zebboudj** «Thèse de doctorat de l'université paris 6 », 1988.
- [19] **Y. Zebboudj; G. Hartmann** « Champ seuil de la décharge couronne positive et application du modèle physico-mathématique de la loi de Peek. », CNHT Algérie, pp 7-12, 1995
- [20] **P. Tochon** « Etude numérique et expérimentale d'électrofiltres industriels » Phd thesis, Joseph Fournier University, Grenoble, France, 1997.
- [21] **D. Brocilo ; J.S. Chang ; R.D. Findlay** « Modeling of electrode geometry effects on dust collection efficiency of wire-plate electrode static precipitators », International Conference on Electrostatic Precipitators (ICESP VIII), Birmingham, Alabama, pp1-18, 14-17 May, 2001.
- [22] **M. Robinson** « Movement of air in the electric wind of the corona discharge », AIEE Trans 80, pp 143-150, 1961.
- [23] **J.A. Cross** « Electrostatic, principles, problems and applications », Adam Hilger, Bristol, UK, 1987.
- [24] **N. Zouzou; E. Moreau; G. Touchard** « Précipitation électrostatique dans une configuration pointe-plan » Journal of electrostatics vol64, pp 537-542, 2006
- [25] **Dexuan Xu ; Jie Li ; Yan Wu ; Linhui Wang ; Dawei Sun ; Zhongyang Liu ; Yanbin Zhang** « Discharges characteristics and application for electrostatic precipitation of direct current : Corana with spraying discharges electrodes » Journal of electrostatics, vol57, pp 217-224, 2003.
- [26] **R.E. Baier; J.M. Carter; S.E. Sorenson ; A.E. Mayer ; B.D. Mc Gowan ; S.A Kasprzak** « Radiofrequency gas plasma (glow discharges), disinfection of dental operative instruments, including hand pieces », Journal of oral implantology, vol18, pp 236-242, 1992.
- [27] **N. Griffiths** « Low temperature sterilization using gas plasma » Medicine device technology, pp 37- 40, 1993.
- [28] **M. Laroussi** « Sterilization of contaminated matter with an atmospheric pressure plasma », IEEE trans plasma science, vol24, pp 1189- 1191, 1996.
- [29] **T.T. Chau; K.C. Kao; G. Blanc; F. Madrid** « Microwave plasma for low temperature dry sterilisation », Biomaterials, vol 17, pp 1273- 1277, 1996.
- [30] **A. Kolman; M. Chovanec; S. O-Golkar** « Genotoxic effects of ethylene oxide, propylene oxide, epichlorhydrin in humans, update review » Journal of mutation research vol 512, pp362-368, 2002.
- [31] **T.I.J. Goodenough; P.W. Goodenough; S.M. Goodenough** « The efficiency of corona wind drying and its application to food industry » Journal of food engineering vol 80 pp 1233-1238, 2007.

- [32] **R. Morar; I. Suarasan; S. Budu; I. Guhizdav; M.Porca; L. Descalescu** « Corona discharge effects on some parasitical insects of cultured plants » Journal of electrostatics vol 40-41, pp 669-673, 1997.
- [33] **A.I. Kuzmichev; I.A. Soloshenko; V.V. tsiolko; V.I. Kryzhanovsky; V.Y. Bazhnov; I.L. Mikhno; V.A. Khomomich** « Features of sterilization by different type of atmospheric pressure discharges » In proceeding of the International symposium on hight pressure, low temperature plasma chemistry, Hakone VII, Greifswald, Germany pp 402-406, 2000.
- [34] **L. Herous; M. Nemamcha; M. Remadnia; L. Descalescu** « Factors that influence the surface potential decay on a thin film of polyethylene terephthalate (PET) » Journal of electrostatics vol 67, pp 198-202, 2009.
- [35] **B. Tabti, L. Descalescu; M. Plopeanu ; A. Antoniu ; M. Mekideche** « Factors that influence the corona charging of fibrous dielectric materials » Journal of electrostatics vol 67, pp 193-197, 2009.
- [36] **A. Antoniu; B. Tabti; M.Plopeanu ; L. Descalescu** « Accelerated discharge of corona charged non-woven fabrics », Electrostatics joint conference- session 6 , Materials; paper 6.3, 2009
- [37] **A. Ieta; Z. Kucerovsky; W.D. Greason** « Laplacian approximation of Warburg distribution » Journal of electrostatics, vol 63, pp 143-154, 2005.
- [38] **M. Hara; N. Hayashi; K. Shiotsuki; M. Akazaki** « Influence of wind and conductor potential on distributions of electric field and ion current density at ground level in DC high voltage line to plane geometry » IEEE Trans power apparatus and system vol 101, p 803, 1982.
- [39] **F. Carreno** « On wire-to-plane positive corona discharge » Journal of physic D: Applied physics, vol 27, pp 2136 - 2144, 1994.
- [40] **Y. Zebboudj** « Measurements of current and electric field distributions beneath a positive DC wire-to-plane corona using a linear biased probe » Science, Measurement and Technology, IEE Proceedings, Vol 147, Issue 2, pp74 – 80, Mar 2000.

Résumé

La décharge couronne apparaît au voisinage d'une électrode de faible rayon de courbure lorsqu'elle est soumise à une haute tension. L'une des applications technologiques de ce type de décharge est la charge de médias non tissés utilisés dans la filtration d'air. La configuration géométrique la plus simple utilisée au laboratoire afin de charger le média par effet couronne est le système fil-grille conductrice-plan.

Notre travail consiste à générer une décharge couronne continue positive dans un système fil-plan et d'étudier l'influence de la grille conductrice sur la distribution de la densité de courant mesurée à l'aide d'une sonde linéaire placée dans un même niveau de surface sur le plan mis à la terre. Notre étude comporte trois parties complémentaires.

Nous avons relevé la caractéristique courant – tension pour les deux configurations d'électrodes fil-plan et fil-grille-plan et ceci pour différentes distances inter-électrodes et pour différentes positions de la grille par rapport au plan. La distribution de la densité de courant sur le plan a été mesurée dans les mêmes configurations d'électrode que précédemment. Le relevé systématique du potentiel flottant de la grille, durant les essais précédents nous a permis de suivre l'évolution de ce potentiel en fonction de la tension appliquée à l'électrode active pour différentes positions de la grille.

L'analyse de ces résultats montre que l'insertion de la grille dans le dispositif atténue de façon conséquente la charge d'espace ainsi que sa distribution sur le plan. En outre, la distribution de la densité de courant s'homogénéise de plus en plus à chaque fois que la grille est rapprochée le plus possible du fil portant la haute tension. Par ailleurs, le potentiel de la grille croît linéairement avec la tension appliquée.

Mots clé : Décharge couronne, densité de courant, grille conductrice, potentiel flottant.

Abstract

Corona discharge appears in the vicinity of an electrode with weak radius of curvature when it is subjected to a high voltage. One of the technological applications of this type of discharge is the load of non-woven media used in the filtration of air. The geometrical configuration simplest used at the laboratory in order to charge the media by corona effect is the system wire-grid conducting-plan.

Our work consists in generating a positive and continuous corona discharge in a wire-plan system and to study the influence of the conducting grid on the distribution of the current density measured using a linear probe placed in the same surface level put at the ground. Our study comprises three complementary parts.

We raised the characteristic voltage for the two configurations of electrodes wire-plan and wire-grid-plan and this for various distances inter-electrodes and various positions of the grids compared to the plan. The distribution of the current density on the plan was measured in the same configurations of electrode as previously. The systematic statement of the grid potential floating, lasting the preceding tests enabled us to follow the evolution of this potential according to the active electrode tension applied for various positions of the grid.

The analysis of these results shows that the insertion of the grid in the device attenuates in a consequent way the space charge like its distribution on the plan. Moreover, the distribution of the current density is homogenized more and more with each time the grid is brought as much as possible closer to the wire carrying the high voltage. In addition, the potential of the grid believes linearly with the tension applied.

Keywords: Corona discharge, current density, conducting grid, floating potential.