

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université 8Mai 1945 – Guelma  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrotechnique et Automatique

Réf:...../2020



## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER Académique**

**Domaine:** Sciences et Technologie

**Filière:** Electrotechnique

**Spécialité:** Réseaux électriques

**Par :** MIHOUBI Soumia et KERDOUSSI Hakima

### Thème

## Décharge Couronne en Configuration Coaxiale : Application à la neutralisation des charges

Soutenu publiquement, le 03/10/2020, devant le jury composé de :

M/ KACHI Miloud	Professeur	Univ. Guelma	Encadreur
Mme/ MOUSSAOUI Aida	--	Univ. Guelma	Co-Encadreur
M/ GOUAIDIA Said	MAA	Univ. Guelma	Examinateur
M/ REMADNIA Mokdad	MCA	Univ. Guelma	Examinateur

**Année Universitaire : 2019/2020**

# Remerciements

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

Nous remercions en particulier à :

Monsieur Kachi .M notre encadreur qui nous a éclairé avec ces conseils et suggestions, merci pour votre aide précieuse.

M<sup>ème</sup> Moussaoui. A, pour l'aide, le suivi jusqu'à l'achèvement de notre travail.

A tous les enseignants qui se sont investis pour guider nos pas et pour leur disponibilité.

Nous tenons également à remercier le président et tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

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

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste mémoire de fin d'étude :*

*A toute ma famille,*

*A celle qui m'a accompagné durant cette épreuve, Hakima*

*A toute la promotion de 2<sup>ème</sup> Année Master Réseaux  
Électriques 2020,*

*A mes amis,*

*A mes collègues de travail.*

*soumia*

# *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents, qui m'ont toujours soutenu et encouragé pendant toute ma vie, qui ont sacrifié ce qu'ils avaient de cher pour me voir réussir, mes cher parent aucun mot ne pourra exprimer ma gratitude et profonde affection. Je vous dis merci mon cœur.

A mon chère mari « Braham Naser Eddin ».

A mes chers frères.

Mes sœurs, ma famille; mes chers ce qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

A toute ma grande famille.

A mon collègue de travail « Mihoubi Somia » .

A mes chers amis que dieu exauce notre prière pour que le lien qui nous a uni demeure solide.

A tous ce que j'aime.

# Hakima

## ملخص

يعد القضاء والسيطرة على الشحنات الكهربائية على سطح المواد العازلة للكهرباء موضوعاً مهماً للغاية وجزءاً ضرورياً لا غنى عنه في عملية الكهرباء الساكنة. يمكن أن تؤدي الشحنات غير المرغوب فيها الناتجة عن إحدى آليات الشحن (الاحتكاك، والتفريغ الكهربائي، والحث... الخ) إلى مخاطر بدرجات مختلفة تتراوح بين الإزعاج البسيط، مثل: رواسب الغبار على الأجسام المشحونة أو الصدمات الكهربائية لسائق السيارة عند مغادرة مقعد السائق، إلى مشكلة خطيرة للغاية، مثل: تلف المكونات الإلكترونية، وتكتل الجزيئات ولصقها في نظام ناقل، أو حتى حالات أكثر كارثية، مثل: الحريق والانفجار. إن تقليل الشحنات الكهروستاتيكية غير المرغوب فيها إلى مستوى آمن هو الهدف من أي جهاز لتحديد الشحنة الكهربائية. السلامة والكفاءة من بين الخصائص التي يجب تحقيقها من خلال تحديد الشحنات الكهربائية. تعد المحايدة على أساس تفريغ كورونا أكثر أدوات التخلص استخداماً في البيئة الصناعية. إعادة التركيب بين الشحنات الناتجة عن تأثير تفريغ كورونا وتلك المراد إزالتها هو المبدأ المادي للتحديد.

في هذه المذكرة، يتم استخدام تكوين محوري أسطواني لتحديد الجسيمات العازلة المشحونة. يتم الحصول على نتائج ممتازة مع معدلات إزالة تصل إلى 90% من الشحن الأولي. تميز القطب الأسطواني بقياسات I-V وقياس كفاءة إزالة الشحنة. كما تمت دراسة تأثير الجهد المطبق ووجود الجسيمات المشحونة داخل الاسطوانة.

## RÉSUMÉ

L'élimination et le contrôle de l'électricité statique à la surface d'un matériau diélectrique est un sujet très important et une partie nécessaire d'un processus électrostatique. Les charges indésirables créées par l'un des mécanismes de charge (frottement, décharge électrique, induction ...) peuvent entraîner des risques de différents degrés allant d'une simple gêne, comme des dépôts de poussière sur les corps chargés ou des chocs électriques du conducteur de voiture lorsqu'il quitte le pilote siège, à un problème très grave, comme l'endommagement des composants électroniques, l'agglomération et le collage de particules dans un système de convoyage, ou même des situations plus catastrophiques, comme un incendie et une explosion. Réduire les charges électrostatiques indésirables à un niveau sûr est l'objectif de tout appareil de neutralisation des charges électriques. La sécurité et l'efficacité font partie des caractéristiques à atteindre en neutralisant les charges électriques. Les neutralisants à base de décharge Corona sont les outils d'élimination les plus utilisés en milieu industriel. La recombinaison entre les charges générées par effet corona et celles à éliminer est le principe physique de la neutralisation.

Dans ce mémoire, une configuration coaxiale cylindrique est utilisée pour neutraliser les particules isolantes chargées. D'excellents résultats sont obtenus avec des taux d'élimination allant jusqu'à 90% de la charge initiale. L'électrode cylindrique a été caractérisée par des mesures I-V et par mesure de l'efficacité d'élimination de charge. L'influence de la tension appliquée ainsi que la présence de particules chargées à l'intérieur du cylindre ont également été étudiées.

## **ABSTRACT**

Elimination and control of static electricity on the surface of a dielectric material is a very important subject and a necessary part of an electrostatic process. The unwanted charges created by one of the charging mechanisms (friction, electric discharge, induction...) may cause risks of different degrees ranging from a simple annoyance, like dust deposition on charged bodies or electric shocks of car driver when he is leaving pilot seat, to a very serious problems, like damage of electronic components, agglomeration and sticking of particles in a conveying system, or even more catastrophic situations, like fire and explosion.

Reducing unwanted electrostatic charges to a safe level is the goal of any device for neutralizing electric charges. Safety and efficiency are among the characteristics to be achieved by neutralizing electric charges. Corona discharge based neutralizers are the most used elimination tools in industrial environment. The recombination between corona generated charges and those to be eliminated is the physical principal behind neutralization.

In this dissertation, a cylindrical coaxial configuration is used to neutralize charged insulating particles. Excellent results are achieved with elimination rates up to 90% of the initial charge. The cylindrical electrode was characterized through I-V measurements and charge elimination efficiency. The influence of the applied voltage as well as the presence of charged particles inside the cylinder was also studied.

## Sommaire

Introduction générale	01
<b>Chapitre I- Etude théorique de la décharge couronne</b>	
I.1.Introduction	02
I.2.La décharge couronne	03
I.3.Processus de la décharge couronne	04
I.3.1.Mécanisme au niveau macroscopique	04
I.3.2.Mécanisme au niveau microscopique	05
I.4.Mode de la décharge	07
I.4.1.Décharge couronne positive	07
I.4.2.Décharge couronne négative	08
I.5.Seuil d'apparition de la décharge couronne	10
I.6.Facteurs influençant la décharge couronne	11
I.6.1.Facteur géométrique	11
a. Rayon de courbure	11
b. Distance inter-électrode	11
c. La nature des électrodes	12
d. La forme d'électrodes	13
e. Etat de surface	15
I.6.2.Les facteur physico-chimiques	15
a. La densité de l'air	15
b. La température	15
c. L'humidité	16
d. La pression	16
I.6.3. Facteurs électriques	17
I.7. Problèmes liés aux décharges couronnes	17
a. Pertes d'énergie	17
b. Interférence radio-télévision	18
c. Bruit audible	18
d. Vent ionique	19
e. Effet chimique	19
I.8. Applications utilisant la décharge couronne	20
a. Paratonnerre	20
b. Neutralisation	20



# Sommaire

---

c. Filtre électrostatique	20
d. Séparateur électrostatique	21
<b>CHAPITRE II – Installations expérimentales</b>	
II.1. Introduction	23
II.2. Techniques de neutralisation des charges de surface	23
II.3. caractérisation électrique de la décharge couronne coaxiale	25
a. Système d'alimentation électrique	26
b. Le système d'électrode de décharge couronne coaxiale	26
c. Mesure électrique	26
II.4. Procédure de neutralisation des matériaux diélectriques par décharge couronne coaxiale	26
II.4.1. Electrode de chargement	27
II.4.2. Electrode de neutralisations	28
II.4.3. Mesure de la charge	29
II.4.4. Matériaux étudiés	29
II.4.5. Technique de mesure et procédures expérimentales	31
a. Mesure de la masse granulaire	31
b. Mesure de la température et de l'humidité relative	31
II.4.6. Protocole expérimental	32
<b>CHAPITRE III – Résultats et Discussions</b>	
III.1. Introduction	33
III.2. Caractéristiques I-V	33
III.3. Effet de la tension de neutralisation	33
III.4 : Champ électrique en configuration coaxiale	35
III.4.1 : Principe du calcul	35
III.4.2 : L'effet de la tension sans matériau chargé	37
III.4.3. Effet de la présence des particules chargées	38
III.5. Calcul de la distribution du champ par éléments finis	39
Conclusion générale	48
Bibliographie	49

# Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : schéma Zones d'ionisation et de dérive dans la décharge couronne électrode.	03
<b>Figure I.2</b> : Configurations d'électrodes pour la génération de décharges couronnes.	04
<b>Figure I.3</b> : Amorçage de la décharge.	05
<b>Figure I.4</b> : Multiplication électronique (phénomène d'avalanche électronique).	06
<b>Figure I.5</b> : Maintien de la décharge.	07
<b>Figure I.6</b> : Décharge couronne positive.	08
<b>Figure I.7</b> : Décharge couronne négative.	09
<b>Figure I.8</b> : Influence de la distance inter-électrodes sur le courant de la décharge couronne.	12
<b>Figure I.9</b> : Caractéristique courant-tension selon la nature des électrodes.	12
<b>Figure I.10</b> : distribution du champ dans un système pointe-plan.	14
<b>Figure I.11</b> : distribution du champ dans un système plan-plan.	14
<b>Figure I.12</b> : Schéma d'évolution de la décharge observée en fonction de la pression.	16
<b>Figure I.13</b> : Utilisation de la décharge couronne pour le paratonnerre.	20
<b>Figure I.14</b> : Utilisation de la décharge couronne dans le filtre électrostatique.	21
<b>Figure I.15</b> : Utilisation de la décharge couronne la séparation électrostatique.	22
<b>Figure II.1</b> : Principe de neutralisation par décharge couronne de type triode.	24
<b>Figure II.2</b> : Photographie de la décharge DBD avec grille.	25
<b>Figure II.3</b> : Installation expérimentale pour la caractérisation électrique de la décharge couronne Coaxiale fil-cylindre.	25
<b>Figure II.4</b> : Montage expérimental.	27
<b>Figure II.5</b> : Photographie (schéma) de l'électrode de couronne multipoint- plan.	28
<b>Figure II.6</b> : l'électrode de couronne coaxial :a) schémas, b) Photographie.	29
<b>Figure II.7</b> : Système de mesure décharge.	29

<b>Figure II. 8</b> : Photographie de matériau granulaire de polyéthylène.	30
<b>Figure II. 9</b> : Photographie de la balance.	31
<b>Figure II. 10</b> : photographie de l'hygromètre numérique.	32
<b>Figure III. 1</b> : Caractéristique I (V) de la décharge couronne coaxiale fil-cylindre.	33
<b>Figure III.2</b> : Variation de la charge des granules de PE après neutralisation par décharge couronne coaxiale fil-cylindre en fonction de la tension de neutralisation.	34
<b>Figure III.3</b> : Variation du taux de neutralisation en fonction de la tension de neutralisation	35
<b>Figure III.4</b> : Décharge fil-cylindre.	36
<b>Figure III. 5</b> : L'effet de la tension sur le champ électrique.	37
<b>Figure III.6</b> : l'effet de la tension sur le champ à la présence de la charge positive.	39
<b>Figure III. 7</b> : schéma de distribution de champ sans particule.	40
<b>Figure III.8</b> : distribution du champ tout au long du rayon.	41
<b>Figure III.9</b> : schéma de distribution de champ avec une seule particule avec $U=100v$ .	42
<b>Figure III.10</b> : distribution du champ tout au long du rayon.	42
<b>Figure III.11</b> : schéma de distribution de champ avec une seule particule avec $U=500v$ .	43
<b>Figure III.12</b> : distribution du champ tout au long du rayon.	43
<b>Figure III.13</b> : schéma de distribution de champ avec deux particules avec $U=100v$ .	44
<b>Figure III.14</b> : distribution du champ tout au long du rayon.	45
<b>Figure III.15</b> : schéma de distribution de champ avec deux particules avec $U=500v$ .	45
<b>Figure III.16</b> : distribution du champ tout au long du rayon.	46
<b>Figure III.17</b> : schéma de distribution de champ avec quatre particules avec $U=100v$ .	47

**Figure III.18** : distribution du champ tout au long du rayon.

47

## Liste des tableaux

**Tableau I.1** : Influence de la nature des électrodes sur la mobilité ionique en tension

Positive et négative (HR=5%,  $\varnothing_{\text{fil}}=125\mu\text{m}$ ).

13

**Tableau II.1** : Principales caractéristiques des granulaires de PE utilisés.

30

### Introduction générale

Dès les débuts de l'électrotechnique des hautes tensions, l'attention des ingénieurs et des chercheurs fut attirée par le curieux phénomène désigné par « **Effet couronne** » ou « Corona », qui est utile dans de nombreuses applications (traitement de surfaces, dépoussiérage électrique, traitement de l'eau par l'ozone, séparation électrostatique, etc...) mais qui est également nuisible dans d'autres situations (pertes d'énergie sur les lignes de transmission, perturbations radioélectriques, défauts d'isolement, etc...).

De nombreux travaux théoriques et expérimentaux ont été impulsés pour résoudre les problèmes posés par la mise au point des installations de charge électrostatique dans le domaine industriel. Plusieurs articles fondamentaux sur les mécanismes de dépôt de charge par effet couronne ont été consacrés à ce sujet.

Dans le présent mémoire, la décharge couronne en configuration d'électrode coaxiale a été étudiée en vue de l'appliquer à la neutralisation des charges à la surface de particules isolantes. Ainsi, le manuscrit est scindé en trois chapitres. Dans le premier chapitre des notions sur la décharge couronne sont présentées, telles que le domaine d'application de la décharge couronne, le seuil d'apparition de la décharge couronne, facteurs influençant la décharge couronne...etc.

Le deuxième chapitre est consacré à la description de manipulations réalisées. Celles-ci comportent : caractérisation électrique de la décharge couronne coaxiale, procédure de neutralisation des matériaux diélectriques par décharge couronne coaxiale.

Les résultats et discussions font l'objet du troisième chapitre où ces résultats sont réalisés sur deux installations expérimentales.

Le mémoire est clôturé par une conclusion générale.

# **Chapitre I : Etude théorique de la décharge couronne**

## I.1.Introduction

Les décharges électriques ce sont des phénomènes créés dans les gaz suite à une application d'une tension capable à rendre ce dernier conducteur. Selon le niveau de cette tension, le courant traversant ce milieu gazeux peut varier. Les décharges électriques peuvent être classées en trois catégories :

**a/ Les décharges naturelles** si elles sont créées spontanément dans la nature telles que la foudre avec distance de rupture de l'ordre de quelques kilomètres.

**b/ Les décharges artificielles non contrôlées** observées par exemple dans les postes de transformation sur les dispositifs de coupure, avec des distances de quelques mètres. Ce type de décharges est du généralement à des défauts de d'isolement.

**c/ Les décharges artificielles contrôlées** concernent les différentes applications telles que les décharges lumineuses (tube à néon) et les arcs à souder. [1]

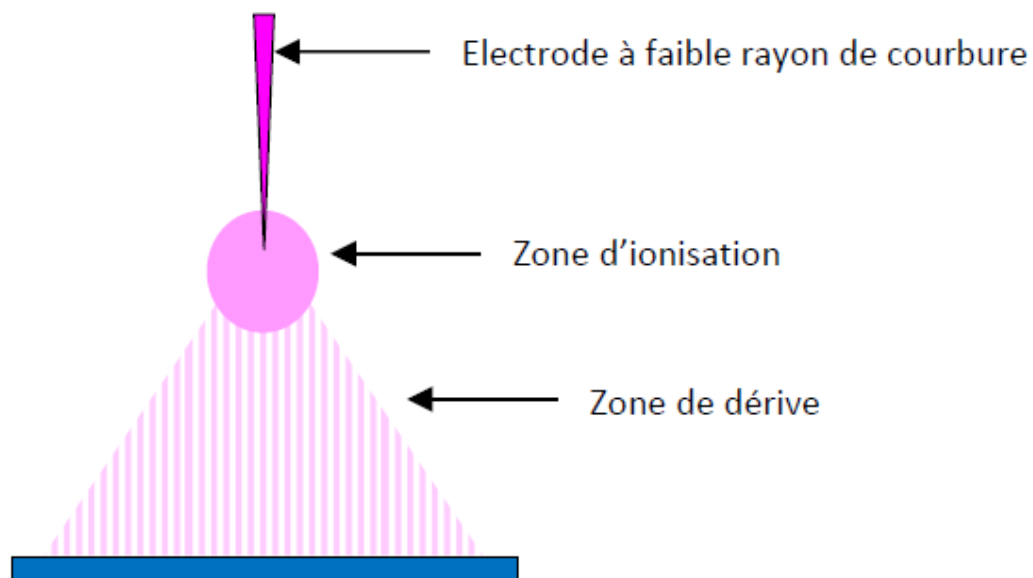
Le développement de la décharge est fortement lié à la forme des électrodes soumises à la haute tension. Particulièrement, les électrodes pointues ont le pouvoir d'augmenter le champ électrique à leurs surfaces grâce à ce qui est connu comme l'effet de pointe. Ainsi, l'application d'une tension suffisamment élevée sur une électrode pointue (faible rayon) entraîne d'abord l'ionisation du gaz autour de la pointe. Plus la tension augmente plus la zone ionisée s'élargie jusqu'à couvrir toute la distance entre l'électrode HT et celle de la masse. Dans ce dernier cas, la décharge est dite complète qui n'est autre que la dernière phase qui mène à l'arc électrique.

Le plus souvent, les décharges couronnes apparaissent entre deux électrodes dissymétriques dans un milieu gazeux. Tout au long de sa propagation, la décharge électrique laisse derrière elle une traînée de plasma (canal ionisé), constituée d'espèces neutres excitées ou non et des espèces chargées (électron ou ions). La décharge de type couronne a été l'objet de beaucoup d'études relatives notamment aux réseaux électriques et au chargement des diélectriques.

## I.2. La décharge couronne

Les décharges couronnes, également appelées décharges à effet corona, apparaissent généralement à pression atmosphérique. On peut définir la décharge couronne comme une décharge électrique autoentretenue non destructive dans un gaz, qui peut apparaître entre deux électrodes asymétriques, dont l'une à un faible rayon de courbure reliée à une haute tension, appelée « électrode active », et l'autre électrode, généralement plane, et reliée à la terre, appelée « électrode passive ». La dissymétrie des électrodes conduit à un champ électrique inhomogène dans l'espace inter-électrodes qui comporte deux zones : une zone active (zone d'ionisation) et une zone de dérive (**Figure I. 1**). [2]

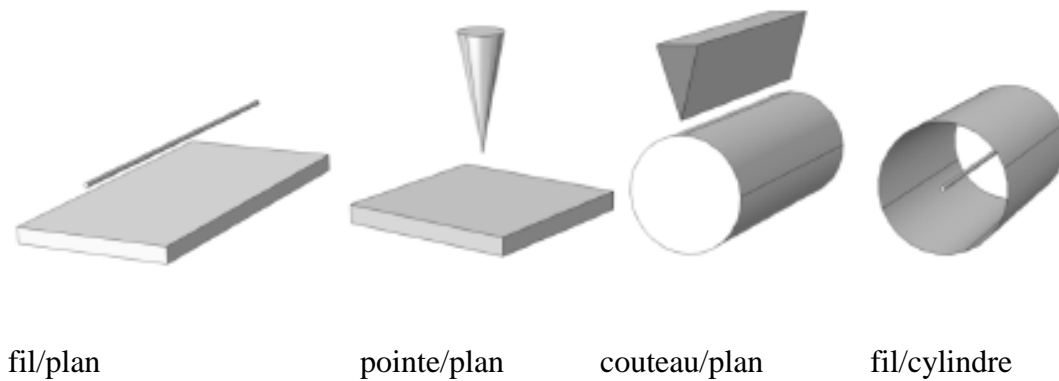
Au voisinage de l'électrode à faible rayon de courbure (zone active ou zone ionisée) le champ est suffisamment élevé, ainsi une ionisation du gaz se produit et les phénomènes d'avalanche sont limités dans l'espace par la décroissance du champ électrique. Autour de cette zone on retrouve la zone de dérive ou unipolaire où les ions du même signe que l'électrode à faible rayon de courbure dérivent jusqu'à l'autre électrode. [2]



**Figure I. 1** : Zones d'ionisation et de dérive dans la décharge couronne électrode [2]

Il existe différentes configurations d'électrodes permettant de créer des décharges couronnes. La **Figure I.2** montre les configurations les plus communément utilisées qui sont de types : fil/plan, pointe/plan, couteau/plan, et fil/cylindre.





**Figure I.2 :** Configurations d'électrodes pour la génération de décharges couronnes [1]

### I.3. Processus de la décharge de couronne

Il existe toujours dans l'air un certain nombre d'électrons libres, créés par rayonnements cosmiques ou dus à l'ionisation naturelle par les substances radioactives dans la terre. Lorsque ces électrons sont soumis à un champ électrique élevé, ils sont accélérés, et si le champ est assez intense, l'énergie qu'ils acquièrent devient suffisante pour provoquer l'ionisation des molécules neutres qu'ils heurtent. Il se crée alors de nouveaux électrons libres, lesquels soumis au même champ vont également ioniser des molécules et ainsi de suite, le processus prend une allure d'avalanche dite de Townsend. Pour qu'une telle avalanche puisse se maintenir, il faut qu'elle atteigne une taille critique, et que le champ ait une valeur suffisante.

#### I.3.1. Mécanisme au niveau macroscopique

Une décharge couronne se produit lorsqu'un courant, continu ou alternatif, se crée entre deux électrodes portées à un haut potentiel et séparées par un fluide neutre, en général l'air, par ionisation de ce fluide. Un plasma est alors créé et les charges électriques se propagent en passant des ions aux molécules de gaz neutres.

Lorsque le champ électrique en un point du fluide est suffisamment grand, le fluide s'ionise autour de ce point et devient conducteur. Le champ électrique y sera plus important qu'ailleurs (c'est le pouvoir des pointes), c'est là en général, que se produira une décharge de

Corona : le phénomène tendra à se stabiliser de lui-même puisque la région ionisée devenant conductrice, la pointe aura apparemment tendance à disparaître. Les particules chargées se dissipent alors sous l'effet de la force électrique et se neutralisent au contact d'un objet de charge inverse. Les décharges de corona se produisent donc en général entre une électrode de rayon de courbure faible (un défaut du conducteur formant une pointe par exemple) tel que le champ électrique à ses environs soit suffisamment important pour permettre la formation d'un plasma, et une autre de rayon de courbure important (une plaque métallique ou la terre).

Si la géométrie du conducteur et la valeur du champ sont telles que la région ionisée s'étend au lieu de se stabiliser, le courant peut finir par trouver un chemin jusqu'à l'électrode inverse, il se forme alors des étincelles ou un arc électrique.

### I.3.2 Mécanisme au niveau microscopique

Un atome ou une molécule neutre du fluide environnant l'électrode est ionisée par un événement extérieur (par exemple par interaction avec un photon), un ion positif et un électron sont libérés (Figure I.3).

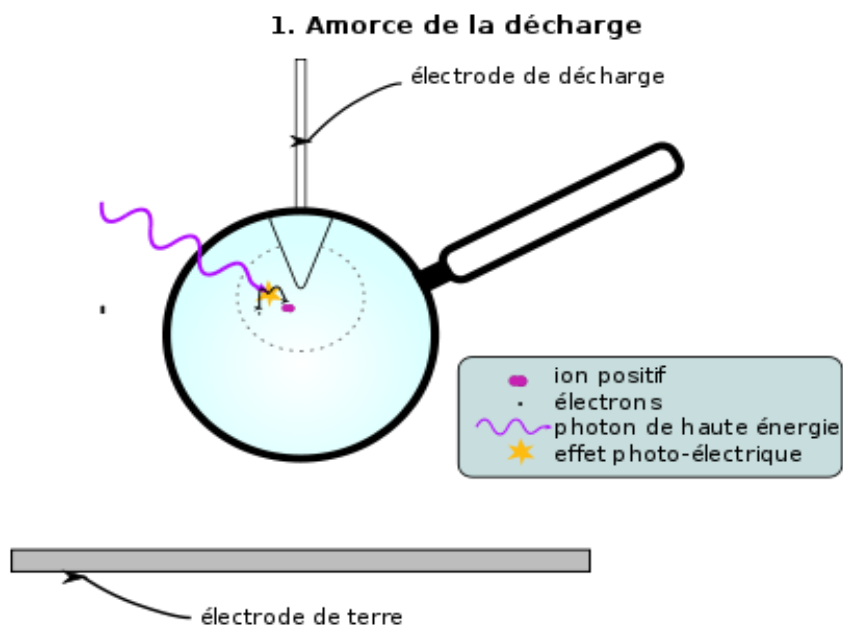
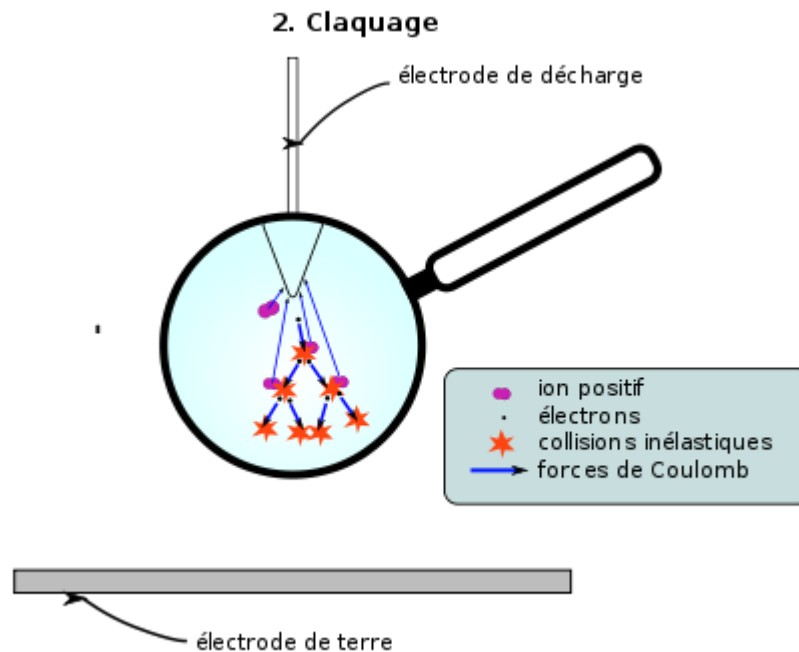


Figure I.3 : Amorçage de la décharge [3]

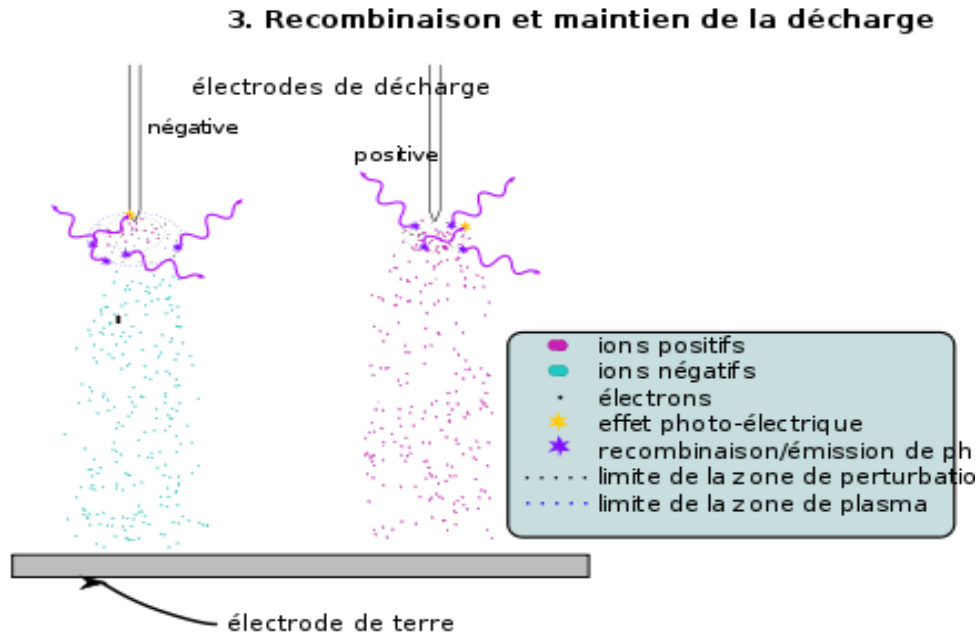
Ces deux particules étant de charges inverses, le champ électrique crée sur chacune d'elles une force électrique égale en norme mais de sens opposé et les sépare, empêchant leur recombinaison et leur apportant une énergie cinétique importante. Ceci initie le phénomène de claquage.

L'électron étant de masse beaucoup plus faible que l'ion, il est fortement accéléré, et entre en collision inélastique avec des atomes neutres, ce qui tend à créer de nouvelles paires électrons/ions positifs, qui suivront le même processus. On parle **d'effet d'avalanche** (**Figure I.4**).



**Figure I.4** : Multiplication électronique (phénomène d'avalanche électronique). [3]

Des ions ainsi créés sont attirés par la seconde électrode et permettent ainsi l'établissement d'un courant (**Figure I.5**) [3]



**Figure I.5 :** Maintien de la décharge. [3]

Pour expliquer le mécanisme du développement de la décharge couronne, les recherches ont abouti à considérer deux théories complémentaires.

- La première est la théorie de Townsend qui tient compte de tout l'intervalle inter-électrodes.
- La seconde, dite théorie Streamer élaborée pour palier certains inconvénients apparaissant sur le plan théorique. [4]

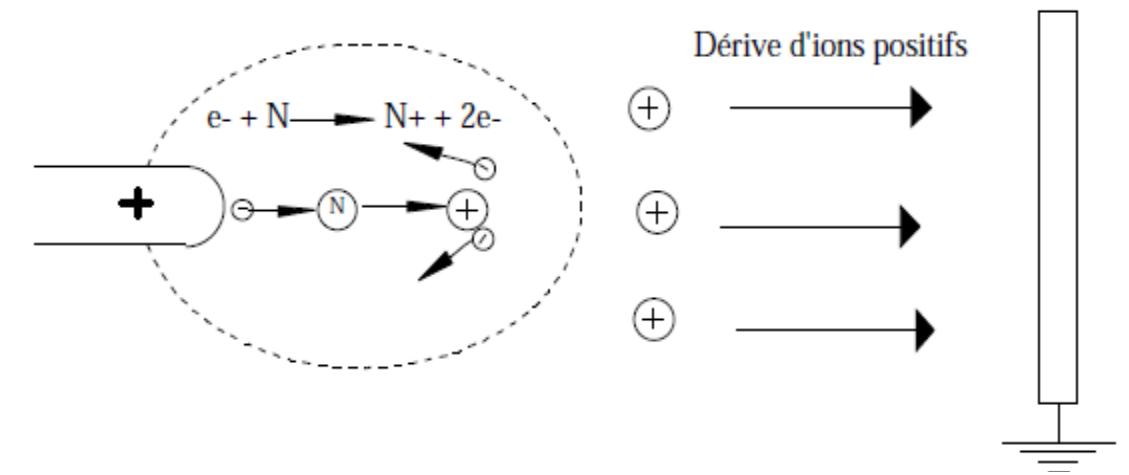
## I.4. Modes de décharge couronne

Selon la polarité de l'électrode et l'intensité du champ électrique, la décharge couronne peut être **positive** ou **négative**. On distingue, en effet plusieurs modes de la décharge couronne.

### I.4.1. Décharge couronne positive

La décharge couronne positive est celle qui se produit quand l'électrode active (ici une pointe) est portée à un potentiel positif et l'électrode passive (une plaque) à la terre. Dans ce cas, une

zone à champ intense et de forte ionisation est créée autour de la pointe, des électrons sont produits par photo-ionisation et sont accélérés vers celle-ci (zone en pointillé sur la **(Figure I.6)** ).[5]



**Figure I.6** : Décharge couronne positive. [6]

Le phénomène est plus complexe dans ce cas parce que la zone à champ électrique intense n'est pas juxtaposée à la source des électrons. Les électrons qui sont au voisinage de la pointe produisent des avalanches, mais quand les électrons arrivent sur la pointe, ils ne produisent rien qui puisse entretenir le phénomène. La cathode ne joue pas le rôle de pourvoyeuse des électrons car cette cathode est située très loin de la zone où le champ électrique est intense. Si le champ est assez fort, les électrons germes produits sous l'action du rayonnement ultraviolet émis par une avalanche créent de nouvelles avalanches. Le champ est renforcé par l'avalanche, mais la formation d'une chaîne entre électrodes est peu probable, le champ devenant trop faible au voisinage de la cathode. [6]

#### **I.4.2. décharge couronne négative.**

Dans le cas où la pointe est portée à un potentiel négatif, il y a toujours création d'électrons par photo-ionisation et apparition de la zone d'ionisation autour de la pointe. Goldman et Sigmond (1982) expliquent que les ions positifs alors créés reviennent rapidement à la cathode **(Figure I.7)**. [5]

Des électrons sont extraits de la cathode par choc, chaque électron ainsi libéré produit une nouvelle avalanche qui s'en dégage. Ces avalanches ont une extension limitée. D'une part, le champ décroît rapidement dès qu'on s'éloigne de la pointe vers le plan collecteur. D'autre part, les avalanches qui se développent laissent derrière elles les ions positifs moins mobiles qui font écran entre les électrons et la pointe. Cette deuxième cause d'affaiblissement du champ vient renforcer la première. [6]

Un nuage d'ions positifs est formé par les avalanches d'électrons. Quand le nuage positif est développé de manière suffisante, les avalanches arrêtent de se produire parce que le champ est très affaibli au-delà. Les ions positifs sont attirés par la pointe, donc ils sont neutralisés par la pointe si bien que la zone positive dont nous avons vu la formation disparaît. [5]

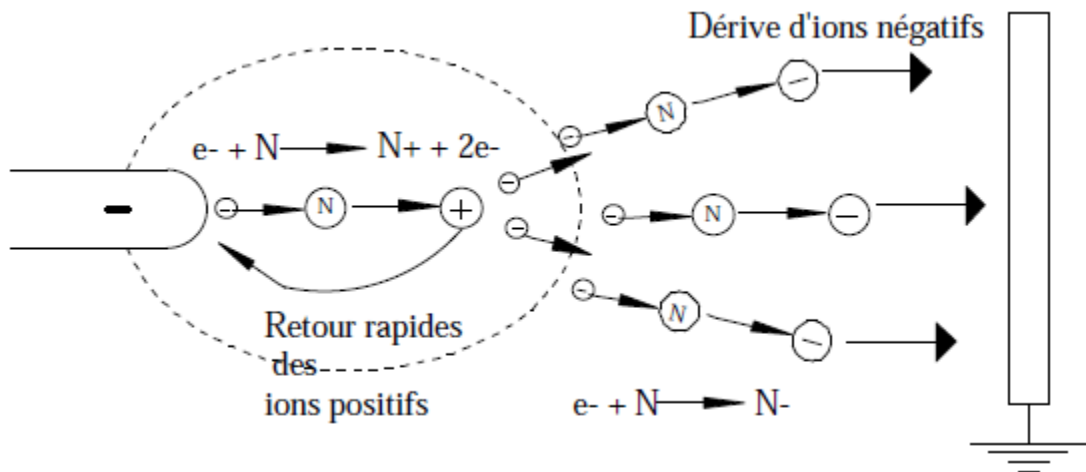


Figure 1.7 : Décharge couronne négative. [5]

### I.5. Seuil d'apparition de la décharge couronne

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. . [4]

Lorsqu'un conducteur est soumis à une tension croissante, le champ critique de l'effet de couronne est défini par l'apparition brusque d'une importante conductivité de l'air dans son voisinage immédiat. Selon F.W. Peek, pour une configuration cylindrique, l'apparition de l'effet de couronne est fonction du champ superficiel, du rayon du conducteur, et de la densité de l'air selon la relation suivante : [7]

$$E_C = E_S \delta \left( 1 + \frac{K}{\sqrt{\delta \cdot r}} \right) \quad (I.1)$$

où :  $E_C$  est le champ critique, en **kV/cm** ;

$E_S$  est le champ superficiel,  $E_S = 30 \text{ kV/cm}$  ;

$K$  est le coefficient,  $K = 0.308 \frac{P}{T}$  ;

$r$  est le rayon du conducteur, en cm ;

$\delta$  est la densité relative de l'air =  $3.92P / (273 + t)$ ,

Dans les conditions normales ( $P=76 \text{ cm Hg}$  et  $t=25^\circ\text{C} \Rightarrow \delta=1$ )

$t$  est température ambiante,  $t = 25^\circ\text{C}$ ,

$T$  est la température =  $273^\circ\text{C} + t$ , en  $^\circ\text{C}$ ,

$P$  est la pression de l'air, en cm Hg. [8]

## I.6. Facteurs influençant la décharge couronne

Plusieurs facteurs peuvent influencer le seuil et les caractéristiques de la décharge couronne. On distingue trois facteurs essentiels : [9]

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

### I.6. 1. Facteurs géométriques

#### a. Rayon de la courbure

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

#### b. Distance inter-électrodes

L'influence de la distance inter-électrodes sur les paramètres de la décharge est montrée sur la (**figure I.8**).

Il apparaît clairement que le courant est plus important et croît plus rapidement avec la tension appliquée pour de faibles distances inter-électrodes. De plus, les seuils de décharge couronne apparaissent pour des valeurs de tension inférieures dans le cas de faibles distances inter-électrode. [10]



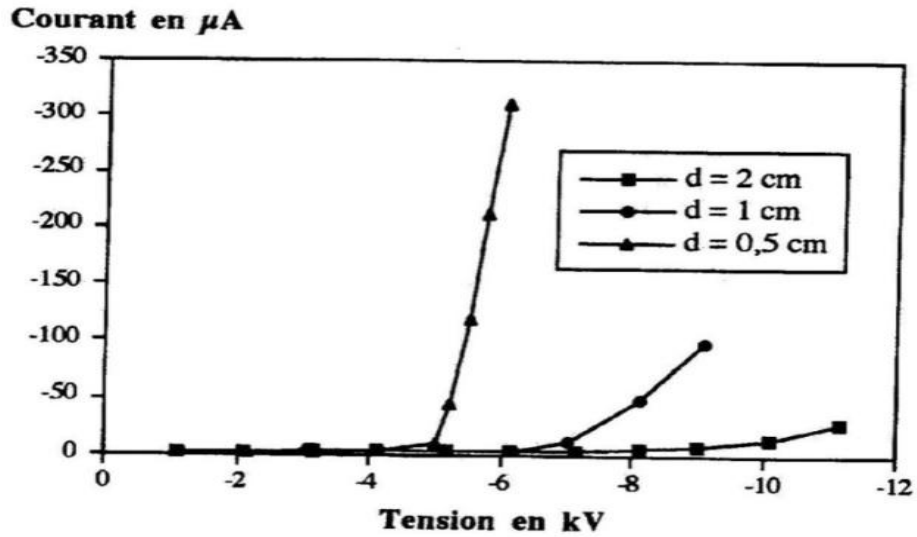


Figure 1.8 : Influence de la distance inter-électrodes sur le courant de la décharge couronne. [10]

c. La nature des électrodes

La caractéristique courant-tension est représentée selon la nature des électrodes (cuivre, aluminium, et acier) sur la (figure I.9).

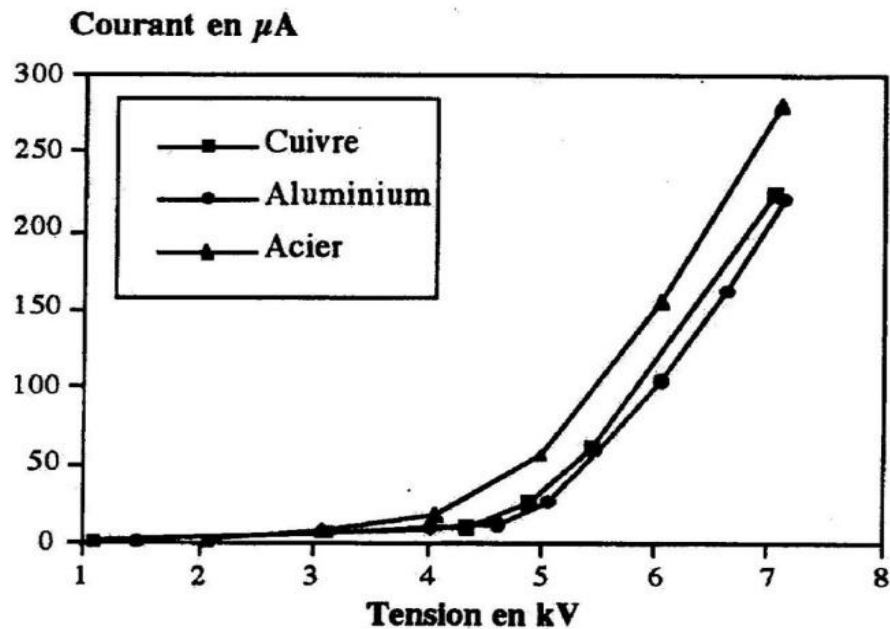


Figure I.9 : Caractéristique courant-tension selon la nature des électrodes. [10]

La nature des électrodes et la tension appliquée influent sur la mobilité ionique comme le montre le tableau I.1

**Tableau I.1** : Influence de la nature des électrodes sur la mobilité ionique en tension positive et négative ( $H_R=5\%$ ,  $\varnothing_{fil} = 125\mu\text{m}$ ). [11]

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

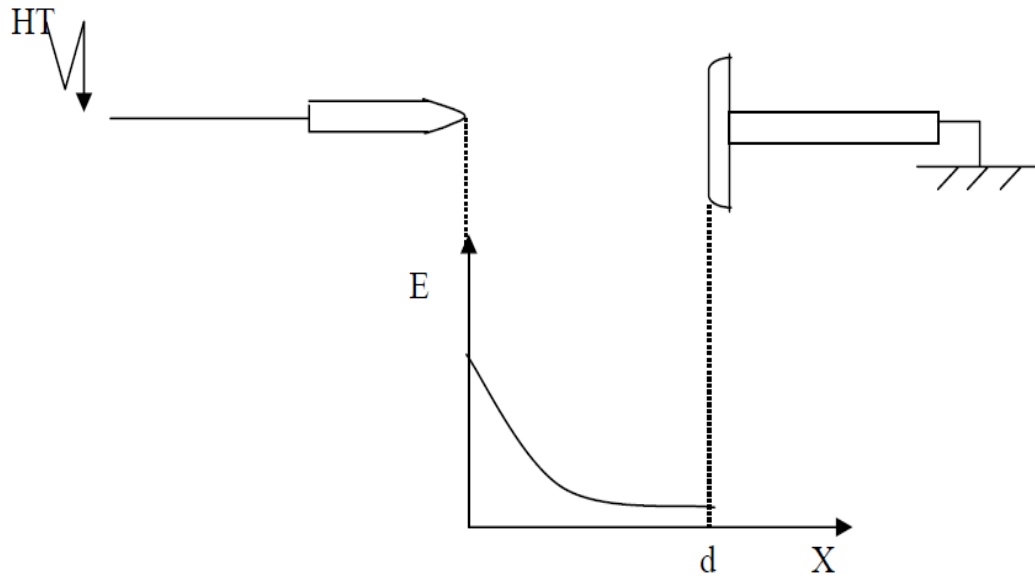
Nous observerons une grande mobilité ionique avec des électrodes en acier qu'avec des électrodes en aluminium quelle que soit la polarité de la tension appliquée. [11]

#### d. La forme d'électrodes

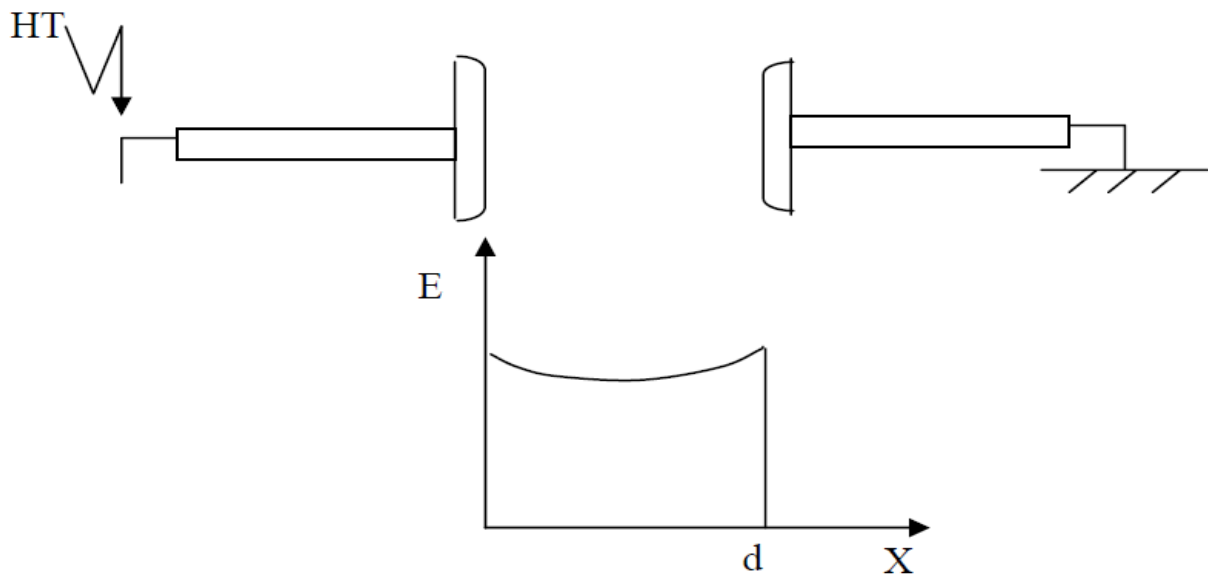
Dans les systèmes d'électrodes utilisées, la distribution du champ électrique dans l'espace inter électrode, avant amorçage de la décharge, dépend de la configuration géométrique des électrodes.

En champ non homogène, comme c'est le cas en géométrie pointe-plan (**figure I.10**), la décharge couronne présente une zone de stabilité. Ce type de décharge est caractérisé par une tension seuil  $U$  de son apparition est une tension  $U_a$  de sa transition vers l'arc électrique.

Par contre, en champ homogène (**figure I.11**), dès son apparition, la décharge transite rapidement vers l'arc électrique, autrement dit, la décharge couronne est inexistante et les tensions  $U$  et  $U_d$  sont confondues. [12]



**Figure I.10** : distribution du champ dans un système pointe-plan. [12]



**Figure I.11** : distribution du champ dans un système plan-plan. [12]

### e. Etat de surface

L'état de surface des conducteurs est un paramètre important par le fait que, plus il se dégrade plus les pertes augmentent et plus le champ perturbateur est élevé. Parmi les facteurs de dégradation, la pollution végétale ou industrielle, voir suintement en surface de graisse de toronage, jouent un rôle important, mais malheureusement difficilement maîtrisable. Plus encore, la pluie, en raison des aspérités que constituent les gouttes d'eau suspendues aux conducteurs, multiplie le nombre d'aigrettes génératrices de l'effet couronne. [13]

## I.6. 2. Les facteurs physico-chimiques

### a. La densité de l'air

Les paramètres climatiques et particulièrement la densité de l'air influencent la tension d'amorçage des intervalles d'air.

La tension  $U_a$  est proportionnelle à la densité de l'air :

$$U_{dn} = \frac{U_d K_h}{\delta} \quad (I.2)$$

$U_{dn}$  : Tension de claquage dans les conditions normales.

$K_h/\delta$  : Correction à apporter pour avoir les conditions normales.

### b. La température

Avec l'augmentation de la température, à la pression normale, la rigidité diélectrique de l'air diminue, ce qui favorise la décharge couronne. Cela est dû au fait que dans ce cas le libre parcours moyen augmente. [12]

### c. L'humidité

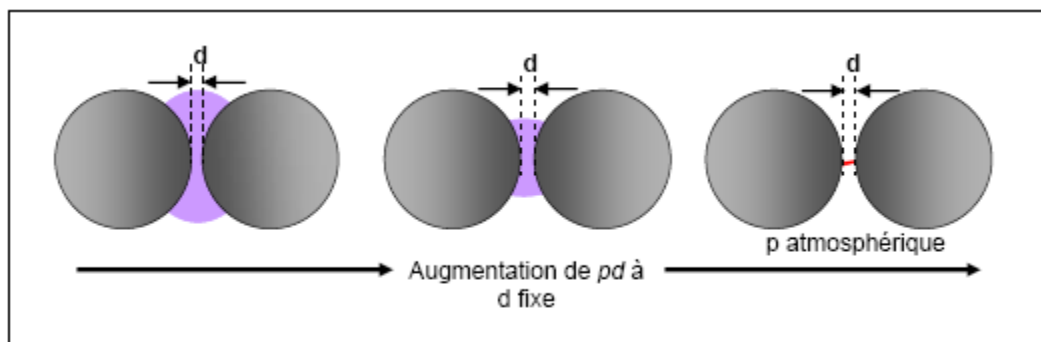
L'influence de l'humidité sur la rigidité diélectrique de l'air est très importante, surtout dans le cas où le champ électrique est non uniforme. Ce phénomène serait lié d'une part à l'accroissement de l'attachement des électrons libres, du fait de la présence de vapeur d'eau dans l'air (grande électronégativité) et d'autre part la plus grande absorption des photons en tête des streamers, dans la région où se produisent les avalanches secondaires par photo-ionisation [14].

Le seuil d'apparition de la décharge couronne survient à des tensions toujours plus basses pour 90% que pour 5% d'humidité relative. [10]

Cette différence pourrait s'expliquer par l'augmentation de la conductivité de l'air lorsque l'humidité relative de la cellule de décharge augmente.

### d. La pression

A partir de la tension atmosphérique, l'effet de la pression est proportionnel à la tension d'amorçage et inversement proportionnel au courant. La figure I.9 montre l'effet de la pression sur la décharge (**Figure I.12**). [15]



**Figure I.12** : Schéma d'évolution de la décharge observée en fonction de la pression. [13]

### I.6. 3. Facteurs électriques

L'effet couronne diffère selon qu'on applique à un système d'électrodes une tension continue ou alternative. Les différents modes d'émission de charges qui ont été décrits en tension alternative sont observés également en tension continue, la seule différence est que l'effet couronne en tension alternative implique que la concentration des émissions de charges correspond à la crête de la sinusoïde du courant, tandis qu'en continu l'émission de charges est permanente. [16]

### I.7. Problèmes liés aux décharges couronne

Au niveau du transport de l'énergie électrique et sur les composantes des lignes de transmission à haute tension, l'effet couronne peut apparaître de façon indésirable, où il représente : [17]

#### a. Pertes d'énergie

Les pertes d'énergie annuelles causées par effet couronne sont relativement faibles. C'est surtout lors de mauvais temps que ces pertes deviennent passagèrement importantes.

Les pertes maximales pendant des courtes périodes perturbées, par exemple sous la pluie ou la neige, peuvent même atteindre des centaines de kW/km. Cette augmentation des pertes a une influence négative sur la livraison d'énergie, surtout pendant les périodes de pointes. Les pertes entraînées par effet de couronne augmentent avec le niveau de tension. En vue de réduire les pertes d'énergie très élevées, les concepteurs des lignes de transport déterminent les diamètres des conducteurs en fonction du champ critique  $E_0$ .

En pratique, des abaques basés sur  $E_0$  et l'intensité des précipitations (moyenne et maximale) permettent d'estimer facilement les pertes par effet de couronne.

**b. Interférences radio - télévision**

Lors des décharges par effet de couronne, les charges électriques (électrons, ions positifs, ions négatifs, photons) se déplacent au voisinage des conducteurs. Ce déplacement des charges est à l'origine des inductions électromagnétiques.

Les courants induits peuvent être transmis par les transformateurs ou conduits par le conducteur neutre pour atteindre les récepteurs (radio et TV) et créer des perturbations appelées interférences radio – télévision.

Ces interférences peuvent être également captées par les antennes des récepteurs qui se trouvent proches des lignes de transport d'énergie. Il est même probable que l'énergie de ces charges peut se propager et se réfléchir sur les structures métalliques et les grilles dans l'air libre pour se rendre aux antennes éloignées. Cette possibilité est encore plus probable en temps perturbé. Outre l'effet de couronne, il y a aussi des étincelles ou des petits arcs électriques qui sont surtout responsables des interférences TV. Ces arcs électriques se produisent dans les petits espaces entre les objets chargés et la masse. Ces espaces se trouvent aux attaches entre les conducteurs et les isolateurs des lignes de H.T.

**c. Bruit audible**

Il est connu depuis longtemps que l'effet de couronne pendant la pluie donne des impressions acoustiques de crépitement et de sifflements. Cependant, les responsables des lignes de transport d'énergie n'ont reçu des plaintes, relatives aux gênes acoustiques, que depuis la mise en service des lignes dont la tension dépasse 500 kV. En-deçà de cette tension, les interférences radiophoniques sont plus importantes, de sorte que si les conducteurs sont choisis pour assurer un niveau acceptable d'interférence radiophonique, les bruits audibles ne devraient pas être un problème.

Au-dessus de 500 kV les bruits audibles constituent un problème aussi important que les interférences radiophoniques et dans certains cas, ils constituent un paramètre cause majeur dans la détermination du type et de la dimension des conducteurs.

#### d. Vent ionique

Les collisions élastiques entre deux particules sont des collisions qui laissent inchangée l'énergie cinétique totale du système et aussi, par conséquent, son énergie interne. Ces collisions sont pratiquement les seules qui se produisent dans un gaz neutre où elles permettent l'établissement de l'équilibre thermodynamique. Dans les gaz ionisés, elles contribuent efficacement à l'établissement du régime permanent.

Si les collisions élastiques ne modifient que la vitesse des particules, les collisions inélastiques entraînent des changements de l'énergie interne ou de la nature des particules.

Lorsqu'on applique un champ électrique à un gaz, les électrons libres se déplacent dans le sens opposé au champ appliqué. Ils entrent en collision élastique avec les molécules du gaz et grâce à ces collisions élastiques, l'énergie cinétique et par conséquent la vitesse des électrons augmentent. Lorsque l'énergie cinétique des électrons devient importante, elle peut produire des collisions inélastiques avec les atomes neutres du gaz.

Après une telle collision, il reste en général un électron et un électron rapide qui emporte la majeure partie de l'énergie cinétique non consommée dans la réaction. Cette possibilité qu'ont les électrons d'accumuler l'énergie cinétique entre plusieurs chocs conduit à une ionisation par impact entre électrons et molécules dans un champ électrique ayant une intensité relativement faible.

Une des conséquences des décharges de couronne est la création du vent ionique. Les ions créés par ces décharges sont accélérés par le champ électrique. La vitesse est transférée aux molécules du gaz ambiant par la collision, lui donnant un mouvement de la pointe de l'aspérité vers le milieu du gaz. [8]

#### e. Effet chimique

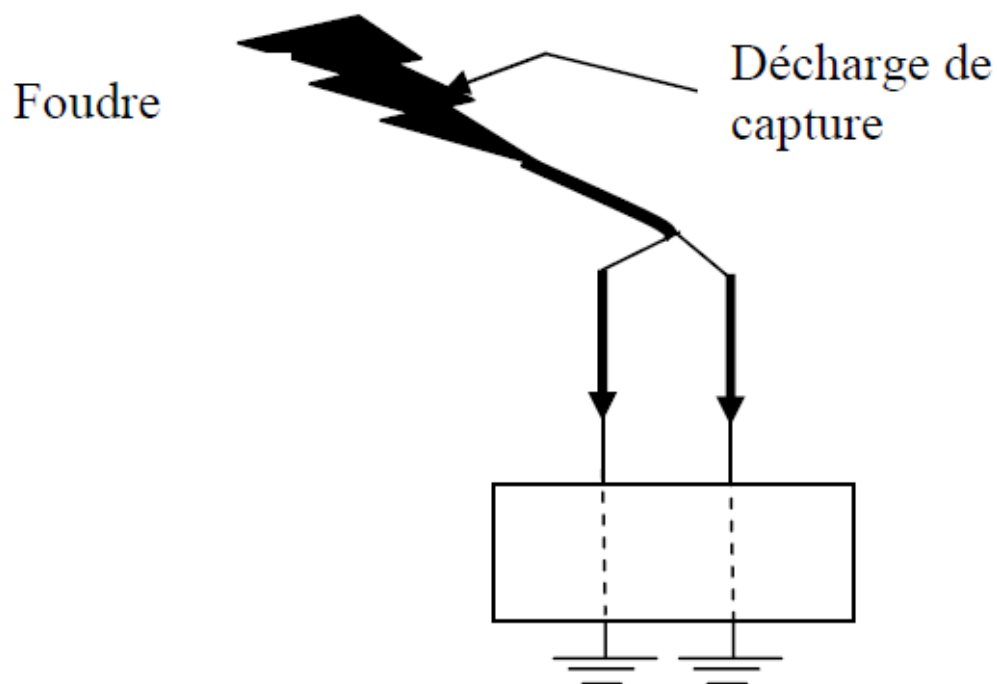
Nous assistons, suivant la polarité de la décharge, à la naissance de certaines espèces chimiques dérivées du gaz ambiant, par exemple dans le cas de l'air, à la naissance d'autres d'oxydes d'azote ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ), de radicaux ( $\text{HO}$ ) et ( $\text{HO}_2$ ) ainsi que l'ozone ( $\text{O}_3$ ) qui est un gaz instable, pouvant dégrader beaucoup de matières. [18]



## I.8 Applications utilisant la décharge couronne

### a. Paratonnerre

L'effet couronne augmente la conductivité de l'air autour de la pointe ; le canal de la foudre qui opte pour le chemin le moins résistant est capté par le paratonnerre (**Figure I.13**).



**Figure I.13** : Utilisation de la décharge couronne pour le paratonnerre [19]

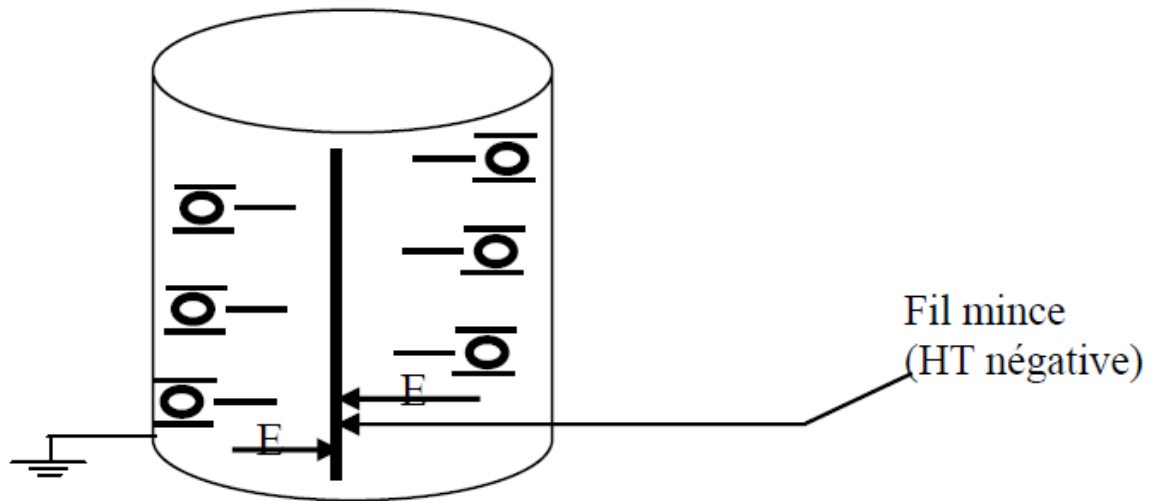
### b. Neutralisation

La surface de l'avion se charge par frottement avec l'air. Les charges créées par effet couronne produites par des flèches disposées sur les ailes de l'avion éliminent par neutralisation les charges surfaciques. [19]

### c. Filtre électrostatique

Le fil central produit par effet couronne des charges électriques négatives. Les grains de poussière qui se chargent négativement sont attirés et captés par le cylindre qui les empêche

de ressortir. Le cylindre joue le rôle d'un filtre de poussières, lequel une fois saturé sera remplacé par un nouveau filtre (**Figure I.14**). [19]

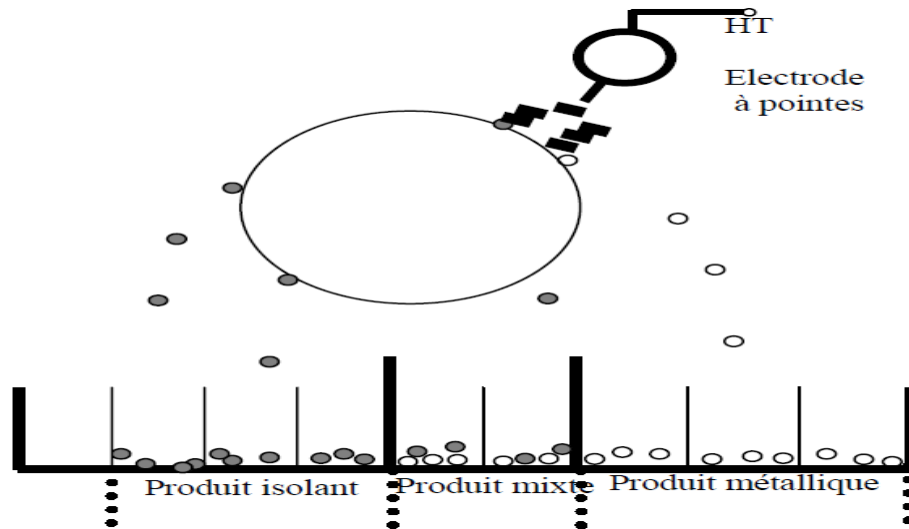


**Figure I.14** : Utilisation de la décharge couronne dans le filtre électrostatique. [19]

#### d. Séparateur électrostatique

Un mélange de particules granuleuses acquiert des charges électriques créées par effet couronne grâce à une électrode à pointes reliée à une source de haute tension négative.

Ces particules se comportent différemment selon qu'elles sont isolantes ou métalliques et tombent dans des endroits différents (**Figure I.5**). [19]



**Figure I.15 :** Utilisation de la décharge couronne la séparation électrostatique. [19]

Les décharges couronnes ont de nombreuses autres applications commerciales et industrielles tels que :

Production d'ozone ;

Traitement de surface de certains polymères ;

Photocopieur ;

Laser à azote ;

Refroidissement de composants électroniques (la migration des particules ionisées génère

Un flux qui expulse l'air chaud) ;

Coloration des véhicules.

## Chapitre II : Installations expérimentales

## II.1. Introduction

Ce chapitre décrit les installations et les méthodes expérimentales utilisées durant notre étude. Il est structuré en deux parties : La première est consacrée à l'étude de la caractérisation électrique de la décharge couronne coaxiale fil-cylindre. La deuxième partie est consacrée au contrôle de l'état de charge des matériaux diélectriques par la décharge couronne coaxiale fil-cylindre.

## II.2. Techniques de neutralisation des charges de surface

L'élimination et le contrôle des charges électriques à la surface des matériaux diélectriques est un sujet très important et un élément indispensable pour un processus électrostatique. Les charges indésirables créées par l'un des mécanismes de charge (frottement, décharge électrique, induction, etc.) peuvent entraîner des risques plus ou moins graves, tels que l'endommagement de composants électroniques, l'agglomération et le collage de particules dans un système de convoyage, ou même des situations plus catastrophiques, comme un incendie ou une explosion. [2]

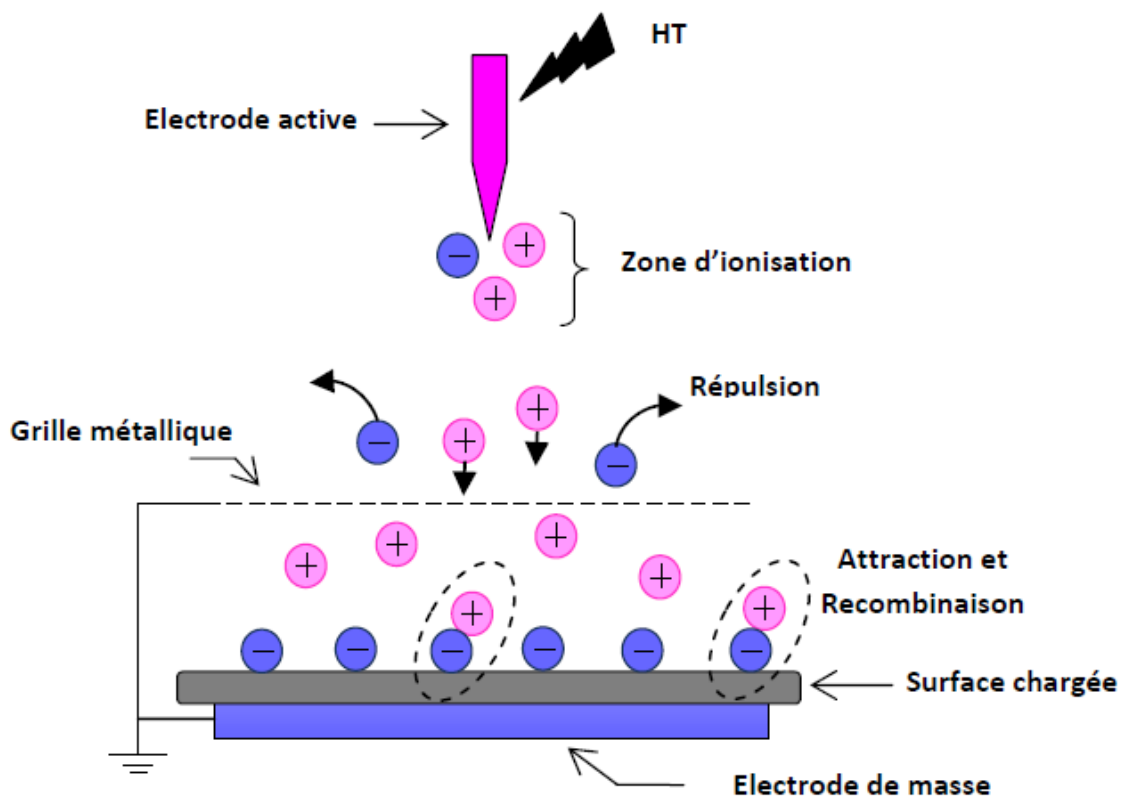
On pratique, la création des charges sur la surface des isolants polymères peut être réalisée par plusieurs procédés : décharge couronne, triboélectricité, piézoélectricité ou par faisceaux d'électrons. Dans la plupart des applications électrostatiques actuelles, le chargement est réalisé soit par décharge couronne soit par triboélectricité, en raison de leur simplicité, sûreté et faible coût. [20]

Les charges de surface peuvent être réduites et éliminées par plusieurs procédés et techniques. En général, les procédures de neutralisation de charge électrique peuvent être classées en deux catégories : les techniques d'évacuation, et les techniques basées sur la recombinaison [2]

Le principe des techniques d'évacuation consiste à évacuer vers la terre les charges non désirées accumulées à la surface. Ces méthodes constituent un moyen simple d'empêcher l'apparition de charges électrostatiques mais elles sont souvent inappropriées [2]

De l'autre côté, les techniques basées sur la recombinaison consistent à créer des charges de polarité opposée à celles à éliminer. Cette classe de techniques utilise souvent un ioniseur basé sur une décharge couronne pour générer les charges opposées, ce qui rend la fonction de neutralisation tributaire des caractéristiques de la décharge et des conditions ambiantes. [2]

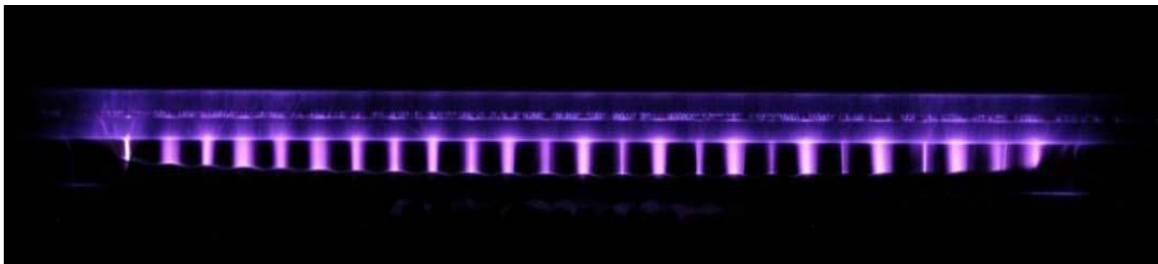
Par ailleurs, plusieurs études récentes ont été consacrées à la neutralisation des charges électrostatiques par décharge couronne de types triode. Le principe de fonctionnement du système triode est basé sur l'insertion d'une grille métallique entre les deux électrodes (l'électrode active et le plan de masse), qui peut être portée à une tension ou reliée à la masse (**Figure II.1**).



**Figure II.1** : Principe de neutralisation par décharge couronne de type triode. [2]

En effet, les charges produites durant la phase d'ionisation de l'air dans la zone active sont accélérées sous l'action du champ électrique vers l'électrode de masse, alors qu'une partie de ces ions traverse les pores de la grille.

Des études récentes ont également montré l'efficacité de la neutralisation des charges électrostatiques moyennant une décharge à barrières diélectriques (**Figure II.2**). Les mesures montrent que cette technique est capable d'éliminer jusqu'à pratiquement 100% des charges de surfaces si des tensions ou des fréquences suffisantes sont appliquées.



**Figure II.2** : Photographie de la décharge DBD avec grille. [2]

### II.3. Caractérisation électrique de la décharge couronne coaxiale

Dans cette section nous présentons le banc expérimental conçu pour la caractérisation électrique de la décharge couronne coaxiale fil-cylindre. A cette fin, des mesures de courant de décharge ont été réalisées.



**Figure II.3** : Installation expérimentale pour la caractérisation électrique de la décharge couronne coaxiale fil-cylindre. [2]

Dans cette étude, l'installation expérimentale comporte trois blocs (**Figure II.3**), à savoir :

- Le système d'alimentation électrique ;
- Le système d'électrodes de décharge couronne coaxiale ;
- Le système de mesures électriques.

#### **a. Système d'alimentation électrique**

Le système d'alimentation utilisée est une source HV négative.

#### **b. Le système d'électrodes de décharge couronne coaxiale ;**

La décharge couronne coaxiale a été générée en utilisant le même système de neutralisation par décharge couronne, décrit en détail dans la section suivante (**Figure II.6**).

#### **c. Mesures électriques.**

Pour la mesure du courant de décharge un électromètre (Keithly 6514) relié en série avec l'électrode de masse de décharge couronne à l'aide d'une sonde d'oscilloscope.

## **II.4. Procédure de neutralisation des matériaux diélectriques par décharge couronne coaxiale**

Dans cette section nous présentons un banc expérimental conçu pour l'étude de l'élimination des charges électrostatiques à la surface des matériaux diélectriques granulaires par décharge couronne coaxial.

L'installation expérimentale comporte essentiellement de trois postes (**Figure II.4**), à savoir : poste de chargement, poste de mesure de la charge et un poste pour la neutralisation des charges.

Le poste de chargement contient les éléments suivants :

- Le système d'électrodes de chargement ;



- L'alimentation électrique (Fug Modèle HCP 140-12500, + 12,5 kV, 10 mA) ;

Le poste de neutralisation des charges électriques est composé des éléments suivants :

- Les systèmes d'électrodes de neutralisation ;
- L'alimentation électrique ;

Le poste de mesure de la charge électrique est composé des éléments suivants :

- Un électromètre (Keithly 6514), doté d'unseau de faraday.

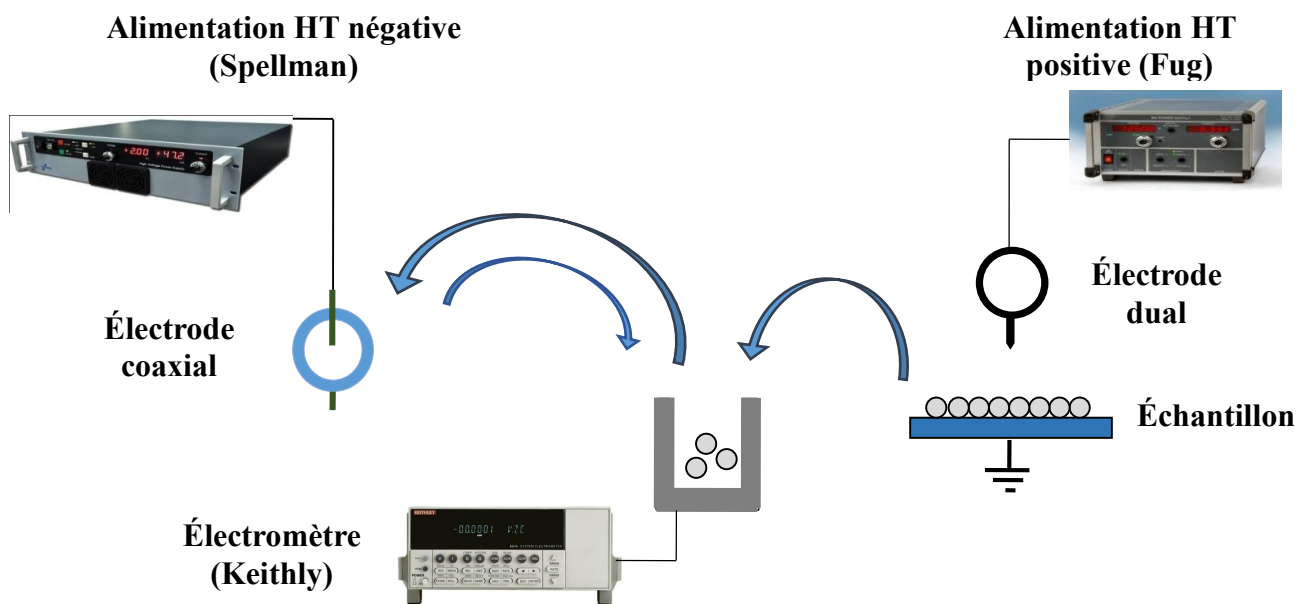


Figure II.4 : Montage expérimental. [2]

#### II.4.1. Electrode de chargement

Ce système contient l'électrode active de type dual qui se compose des épingles à aiguilles fixé à un cylindre en cuivre (20 mm de diamètre), séparés l'une de l'autres de 10 mm (Figure II.5). Cette dernière est supportée par un système de convoyeur assurant le mouvement va et vient, ce qui permet le balayage de toute la surface de la couche granulaires sous la décharge.

L'électrode dual est alimentée à partir d'une source de haute tension continue positive (Fug Modèle HCP 140-12500, + 12,5 kV, 10 mA).



**Figure II.5 :** Photographie (schéma) de l'électrode de couronne multipoint- plan.

#### **II.4.2. Electrode de neutralisation**

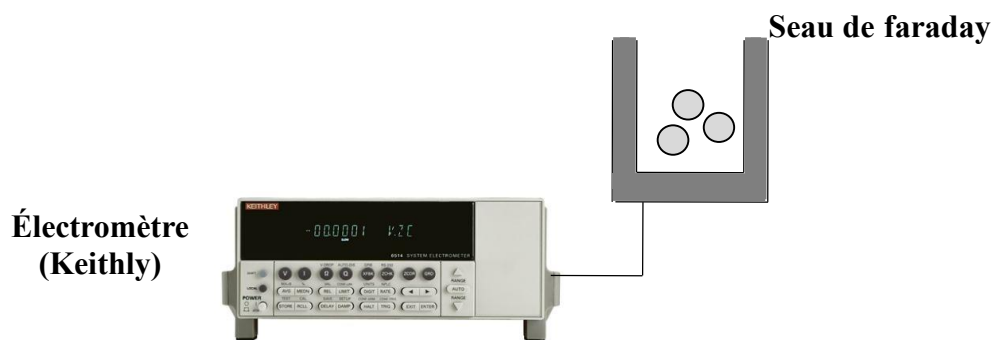
Le poste de neutralisation est constitué d'une électrode de neutralisation à base de décharge couronne coaxiale (fil-cylindre). Ce système contient une électrode active (le fil), qui est autour de 0.2 mm, alimenté par une source haute tension négative, et placé exactement au centre d'un cylindre en cuivre (40 mm de diamètre), ce dernier est mis à la terre (**Figure II.6**).



**Figure II.6 :** l'électrode de couronne coaxial :a) schémas, b) Photographie.

### II.4.3. Mesure de la charge

La charge totale des matériaux diélectriques granulaires a été mesurée à l'aide d'un électromètre (Keithly 6514), doté d'un seau de faraday. Ces mesures de charge ont été réalisées avant et après neutralisation afin de pouvoir quantifier la qualité et le taux de neutralisation (**figure II.7**).



**Figure II.7 :** Système de mesure de charge. [2]

### II.4.4. Matériaux étudiés

Les expériences ont été effectuées sur les matériaux diélectriques granulaires de polyéthylène haute densité (HDPE) (**Figure II.8**). Les particules de polyéthylène (PE) ont une forme quasi-sphérique, avec une taille typique autour de 3 mm Les échantillons de PE

de 6 g, sont mis en monocouche sur une plaque mise à la terre, supportée par un système de convoyeur assurant le mouvement va-et-vient.



**Figure II.8 :** Photographie de matériau granulaire de polyéthylène.

Le **Tableau II.1** représente les principales caractéristiques des granulaires PE utilisés dans tous les expériences. [2]

**Tableau II.1 :** Principales caractéristiques des granulaires de PE utilisés. [2]

<b>Densité [g/cm<sup>3</sup>]</b>	0.93 – 0.97
<b>Couleur</b>	Blanche
<b>Forme</b>	quasi sphérique
<b>Diamètre</b>	2.5 à 3 mm
<b>Permittivité relative <math>\epsilon_r</math> à 50 Hz</b>	2.3
<b>Rigidité diélectrique</b>	18
<b>Résistivité transversale <math>\rho</math> (<math>\Omega</math>.cm)</b>	$10^{14}$ - $10^{18}$
<b>masse volumique moyenne kgm<sup>-3</sup></b>	946- 960
<b>Résistance de rupture diélectrique (kV/mm)</b>	200
<b>Température de fusion (°C)</b>	130
<b>Température maximum d'utilisation Tmax (°C)</b>	60

### II.4.5. Techniques de mesure et procédures expérimentales

La reproductibilité des résultats expérimentaux impose le maintien des paramètres qui influent sur le processus de neutralisation des matériaux granulaires. Parmi ces paramètres on peut noter : la masse granulaires, l'humidité relative et la température ambiante.

#### A. Mesure de la masse granulaire

La balance utilisée au cours de cette étude pour la mesure de la masse des granules dans chaque essai est une balance électronique (**Figure II. 9**).



**Figure II. 9** : Photographie de la balance.

#### B. Mesure de la température et de l'humidité relative

L'instrument utilisé avant chaque série d'expériences pour la mesure de la température et de l'humidité relative est un Hygromètre (**Figure II. 10**).



**Figure II. 10** : photographie de l'hygromètre numérique.

#### II.4.6. Protocole expérimental

Les échantillons ont été chargés en utilisant la décharge couronne de type dual multipoint-plan. Pour assurer une distribution de charge uniforme, les échantillons ont été déplacés à travers la zone de décharge, à une vitesse constante. Après le chargement, les échantillons ont été transférés vers le seau se faraday afin de quantifier la charge totale de l'échantillon. Après la mesure de la charge, les échantillons ont été neutralisés à l'aide de la décharge couronne coaxiale (fil –cylindre). Le matériau chargé a été neutralisé lors de passage à l'intérieur du cylindre. Lorsque le processus de neutralisation est achevé, les échantillons sont transférés à nouveau vers le seau de faraday afin de mesurer la charge totale après neutralisation.

Plusieurs niveaux de la tension de neutralisation ont été étudiés :  $Un = 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9$  et  $6.0$  kV.

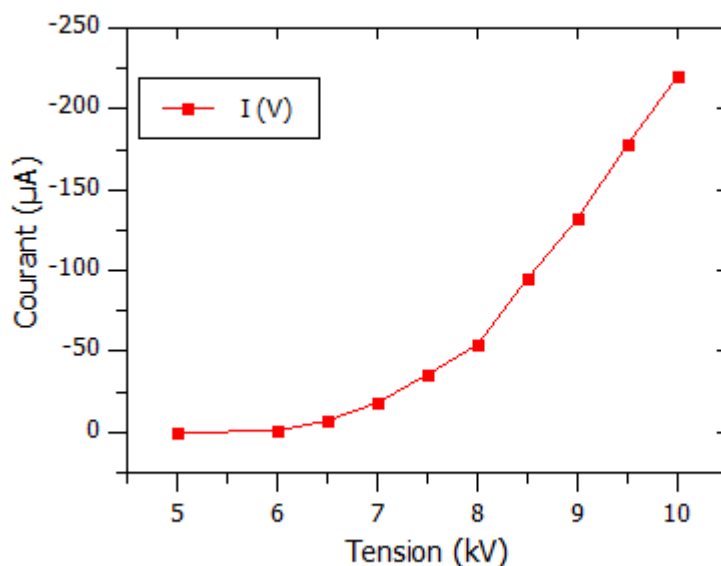
## Chapitre III : Résultats et discussion

### III.1. Introduction

Dans le présent chapitre, nous allons présenter les résultats réalisés sur deux installations expérimentales de la **Figure II.3**, **Figure II.4** (voir **Chap. II**).

### III.2. Caractéristique I-V

La figure **III.1** représente la caractéristique I-V (variation de courant de décharge en fonction de la tension appliquée) de la décharge couronnes coaxiales fil- cylindre.



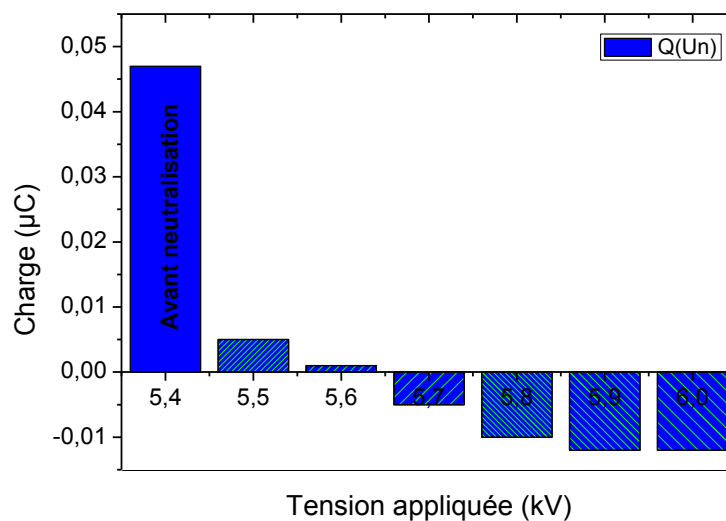
**Figure III.1** : Caractéristique I (V) de la décharge couronne coaxiale fil-cylindre.

Le courant de la décharge couronne coaxiales fil-cylindre devient de plus en plus important avec l'augmentation de la tension appliquée. On peut expliquer ce résultat par l'intensification de l'activité de la décharge durant les valeurs élevées de la tension appliquée.

### III.3. Effet de la tension de neutralisation

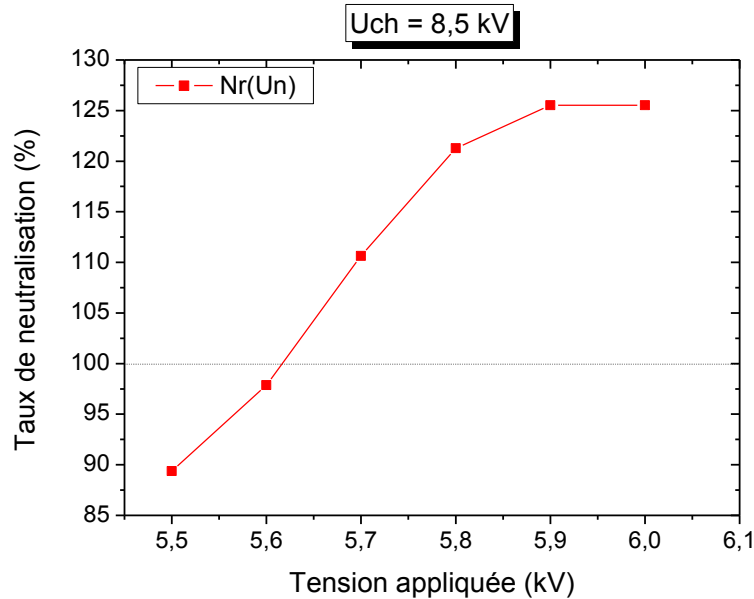
La figure **III.2** illustre l'influence de la tension de neutralisation appliquée ( $U_n$ ) sur la variation de la charge des granules de PE.





**Figure III.2 :** Variation de la charge des granules de PE après neutralisation par décharge couronne coaxiale fil-cylindre en fonction de la tension de neutralisation.

Avant neutralisation les granules de polyéthylène (PE) ont une charge moyenne initiale autour de  $0,047 \mu\text{C}$ . Après passage des granules de PE à l'intérieur du cylindre coaxial, siège de la décharge couronne, la charge totale diminue subitement et atteint une valeur d'environ  $0,005 \mu\text{C}$  à  $5,5 \text{ kV}$ . La charge totale continue sa diminution avec l'augmentation de la tension de neutralisation jusqu'au passage par  $0 \mu\text{C}$  entre  $5,6 \text{ kV}$  et  $5,7 \text{ kV}$ . A ce moment la charge voit sa polarité inversée. Ce renversement de signe de la charge portée par les granules de PE signifie un rechargement dans le sens opposé des particules, après avoir été complètement neutralisés. La courbe correspondante du taux de neutralisation en fonction de tension de neutralisation est présentée dans la **figure III.3**.



**Figure III.3 :** Variation du taux de neutralisation en fonction de la tension de neutralisation.

Le taux de neutralisation s'améliore de plus en plus avec l'augmentation de la tension de neutralisation jusqu'à atteindre le 100 % autour de  $U_n = 5.61 \text{ kV}$ , où le matériau est totalement neutralisé. Au-delà de cette valeur le taux de neutralisation dépasse le 100 %, ce qui se traduit par un dépôt de charge de polarité opposée comme indique dans la section précédente.

### III.4. Champ électrique en configuration coaxiale

#### III.4.1. Principe du calcul

Le paramètre caractéristique le plus évident auquel on a coutume de rattacher l'intensité de l'effet couronne est le champ électrique à la surface du conducteur ou gradient superficiel. En raison de la grande sensibilité du phénomène couronne à la valeur de ce champ, il est nécessaire d'employer une méthode de calcul fournissant le champ avec une précision de l'ordre de 1 %.

Le champ électrique géométrique créé par une décharge fil-cylindre (**Figure III.4**) qui est dû à l'application d'une différence de potentiel et en l'absence d'ions gazeux dans l'espace inter-électrodes à une distance  $r$  (en mètre) de l'axe du fil est donné par :

$$E(r) = \frac{u}{r \ln(R2/R1)}$$

Où u est le potentiel appliqué au fil (v), R1 le rayon du fil (m) et R2 le rayon du cylindre (m)

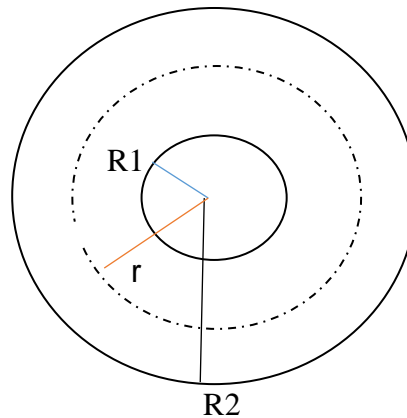


Figure III.4 : Décharge fil-cylindre

L'expression du champ est calculée à partir du théorème de Gauss :

$$\oint E ds = \frac{\sum Qi}{\epsilon_0}$$

$$E 2\pi r L = \frac{Q}{\epsilon} = \frac{\lambda}{\epsilon}$$

$$E = \frac{\lambda}{2 \pi \epsilon_0 r} \dots \dots \dots (1)$$

Avec λ est la charge linéique.

La tension est reliée à la charge par la relation  $Q = C V$ , d'où  $\lambda = C_0 U$

Pour le cas d'un câble coaxial, on a :

$$C_0 = \frac{2 \pi \epsilon_0}{\ln(R2/R1)}$$

$$\lambda = \frac{2 \pi \epsilon_0 U}{\ln(R2/R1)} \dots \dots \dots (2)$$

(2) dans (1) on obtient :

$$E = \frac{U}{r \ln(R2/R1)} \dots\dots\dots (3)$$

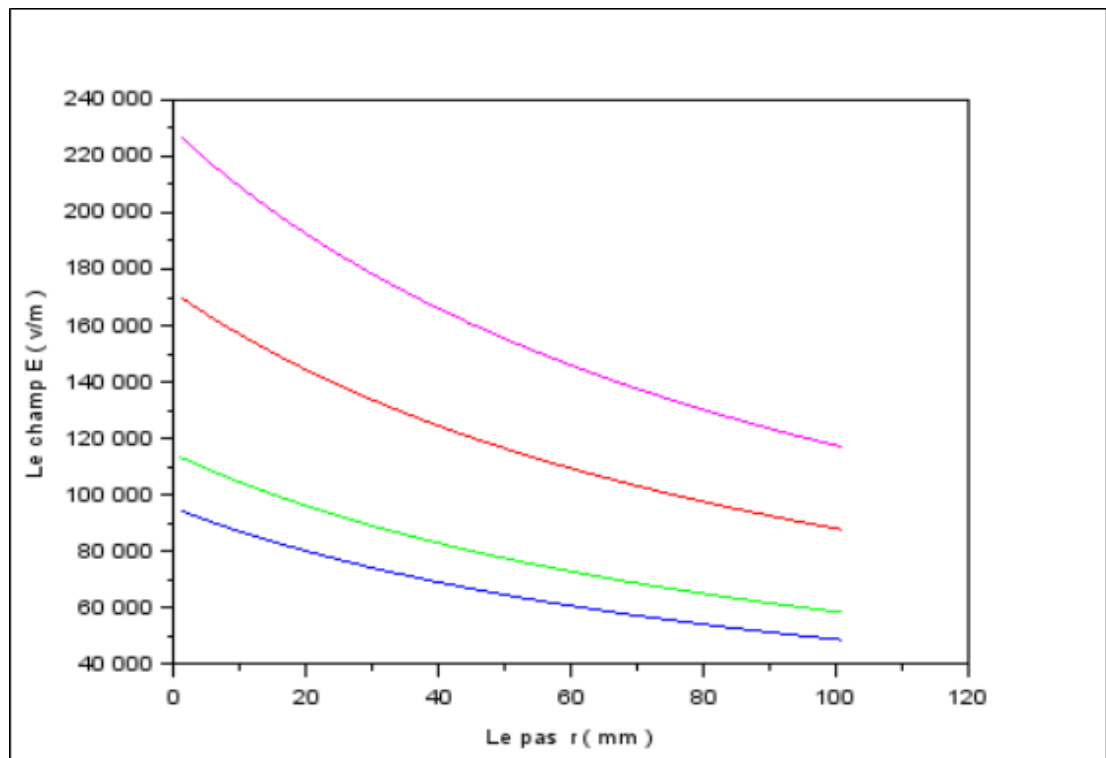
**III.4.2. L'effet de la tension sans matériau chargé**

**A. L'effet du changement de la tension :**

La figure III.5 montre le calcul de la distribution du champ électrique à l'intérieur du cylindre pour 4 valeurs de la tension appliquée.

Les données :

- R1=0.08 m
- R2=0.155 m
- U= 5, 6, 9, 12 kV.



**Figure III. 5 :** L'effet de la tension sur le champ électrique

### III.4.3. Effet de la présence des particules chargées

Après l'addition des particules chargées à l'intérieur du cylindre, l'équation du champ électrique devient comme suit :

$$E \cdot 2\pi \cdot L = \frac{Q + Q_p}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{Q + Q_p}{2\pi \cdot \epsilon \cdot r \cdot L} = \frac{\lambda}{2\pi \cdot \epsilon \cdot r} + \frac{Q_p}{2\pi \cdot \epsilon \cdot r \cdot L}$$

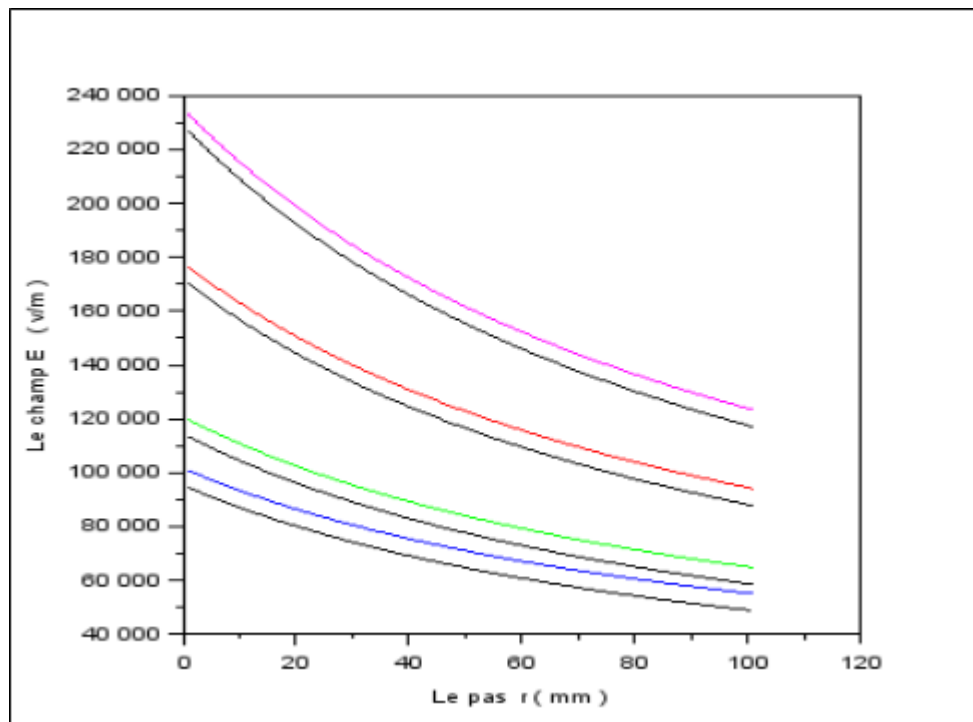
$$E = \frac{U}{r \cdot \ln \frac{R_2}{R_1}} + \frac{Q_p}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot L} \dots \dots \dots (4)$$

#### A. L'effet de la tension :

La figure III.6 montre la distribution du champ en présence des particules chargées positivement et comparée au cas sans particules.

Les données :

- R1=0.08m.
- R2=0.155m.
- U= 5 ; 6 ; 9 ; 12kv.
- Q= 350nc.



**Figure III.6 :** l'effet de la tension sur le champ à la présence de la charge positive.

### III.5. Calcul de la distribution du champ par éléments finis

Le logiciel de calcul des champs électrique et magnétique par éléments finis « FEMM » (Finite Element Method Magnetics) est un logiciel d'accès libre est un outil puissant d'analyse des comportements électriques, magnétiques et thermiques de dispositifs bidirectionnels ou à symétrie de révolution en régime permanent, transitoire ou dynamique avec l'intégration et la possibilité de couplage et de programmation avec d'autres logiciels. [21]. Il permet d'aboutir à des solutions concrètes tout en élargissant le champ des investigations, en raccourcissant les délais de conception et en diminuant les coûts de production et de résoudre des problèmes de magnéto statique et d'électromagnétisme. [22]

Le logiciel est appliqué pour notre cas pour le calcul de la distribution du champ dans le cas de l'électrode couronne coaxiale, avec :

Le cylindre à un rayon  $R_2 = 40$  mm et le fil à un rayon  $R_1 = 0.2$  cm. La tension appliquée au fil  $U_n = -5000$  v.

1- cas sans particule avec tension de fil  $U_n = - 5000 \text{ V}$

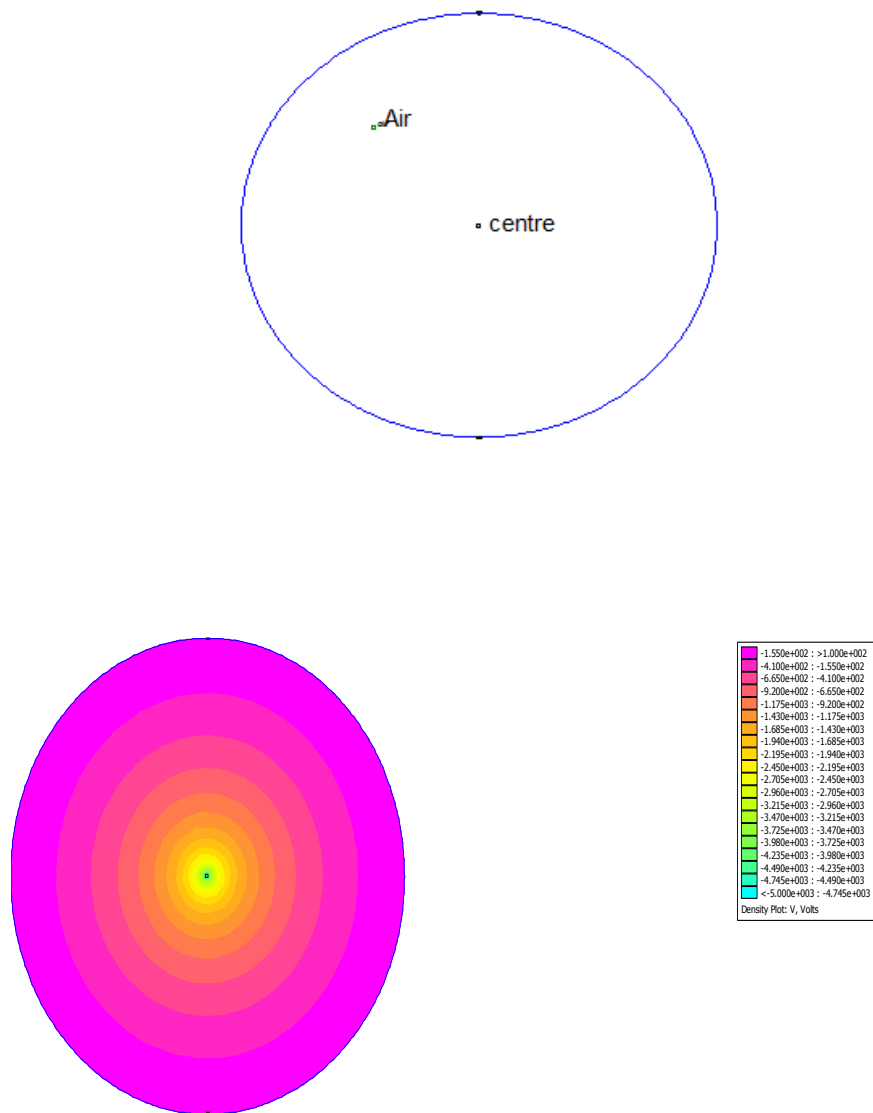
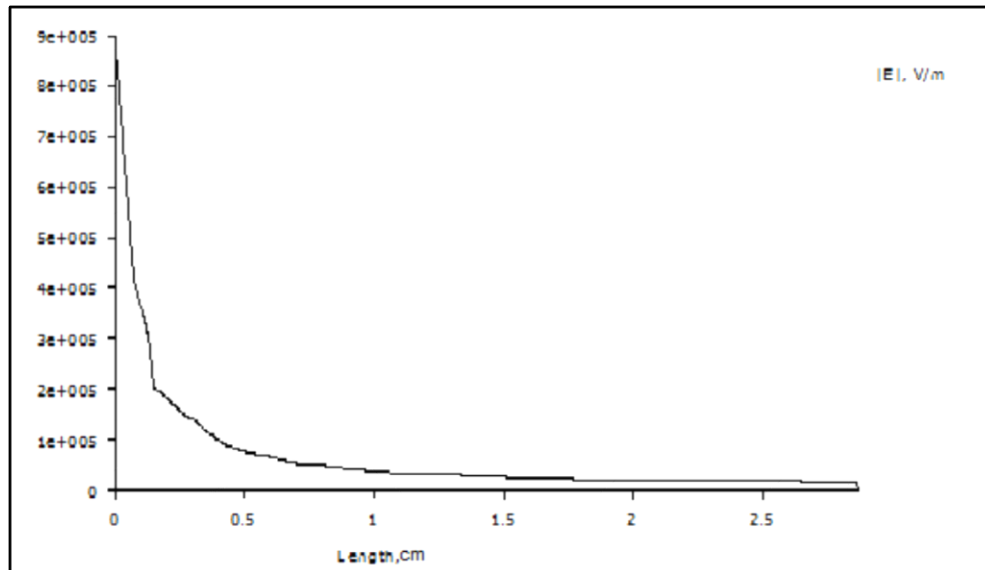


Figure III.7 : schéma de distribution de champ

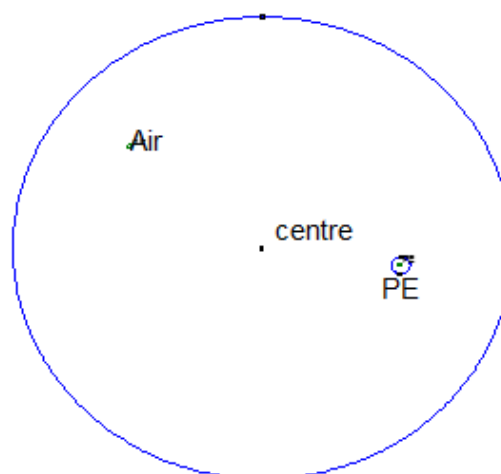


**Figure III.8 :** distribution du champ tout au long du rayon.

La courbe de la distribution du champ selon le rayon coïncide parfaitement avec l'expression calculée plus haut à partir du théorème de Gauss. L'amplitude du champ diminue en s'éloignant du fil.

2- Cas avec une particule chargée à 100 et 500V (la tension de fil  $U_n = -5000$  V)

A- cas de particule chargée à 100V :





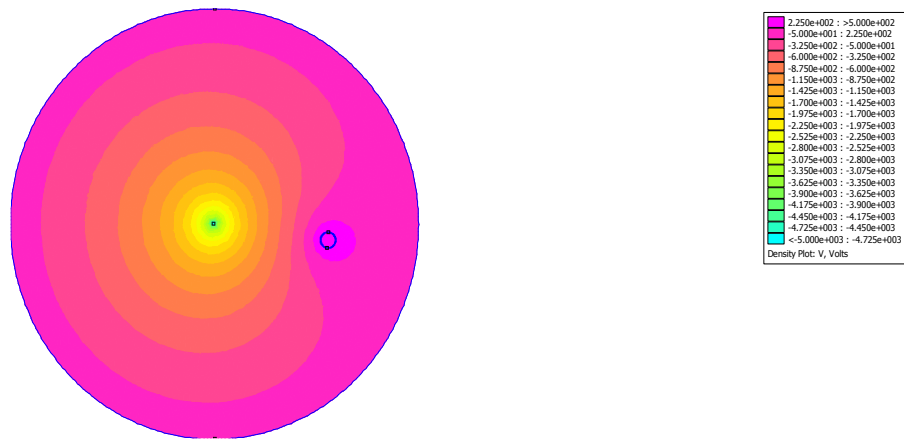


Figure III.9 : schéma de distribution de champ

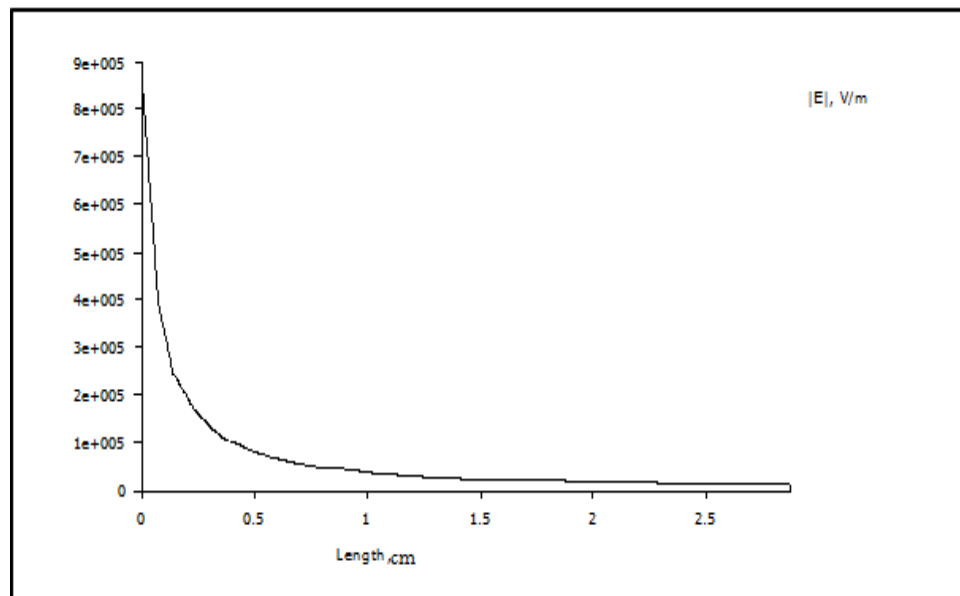
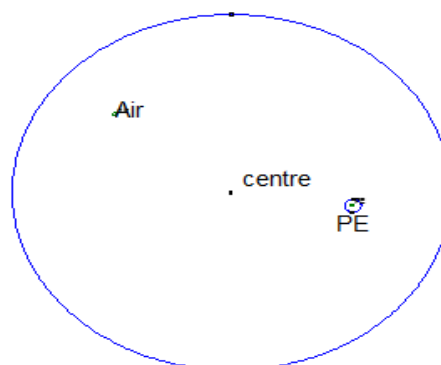


Figure III.10 : distribution du champ tout au long du rayon.

B- cas avec une particule à la tension  $U=500V$  :



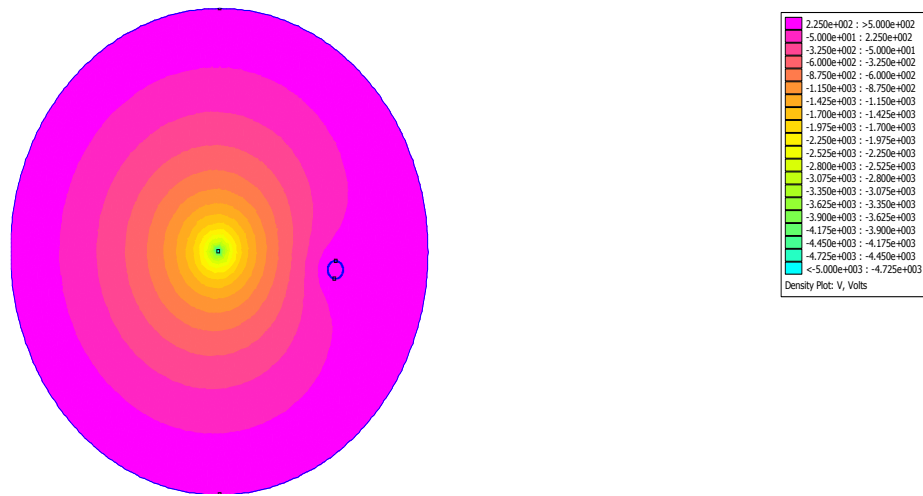


Figure III.11 : schéma de distribution de champ

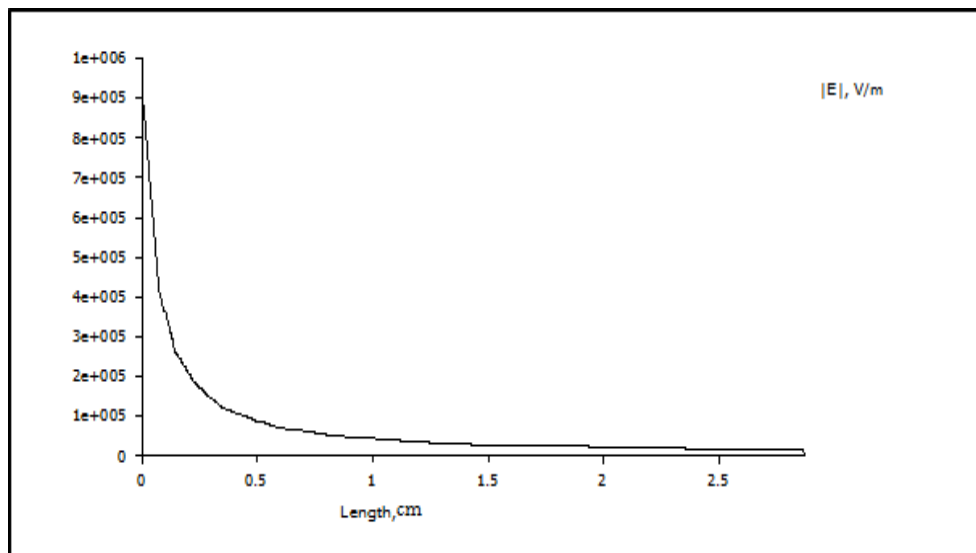


Figure III.12 : distribution du champ tout au long du rayon.

Les figures 9 et 10 montrent la distribution du champ en présence d'une particule chargée à 100V et 500V respectivement. On constate que le champ est légèrement influencé par la présence de la particule.

3. Cas avec deux particules chargées à 100V, U=500V :

A- Cas de 100V :

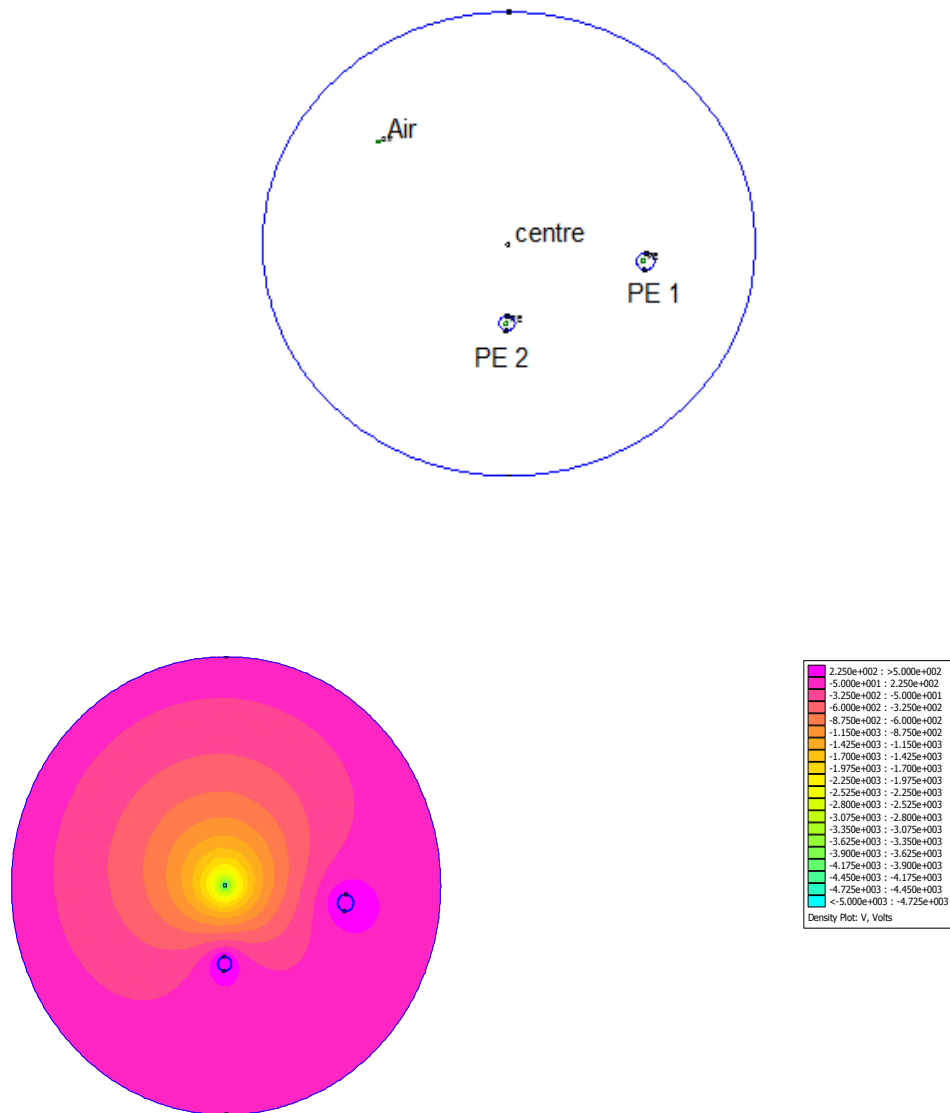


Figure III.13 : schéma de distribution de champ

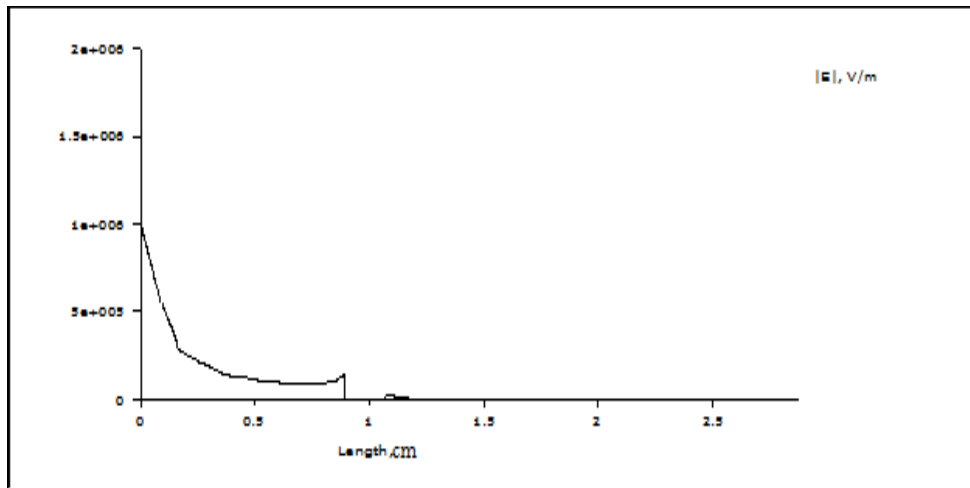


Figure III.14 : distribution du champ tout au long du rayon.

B - Cas de 500V :

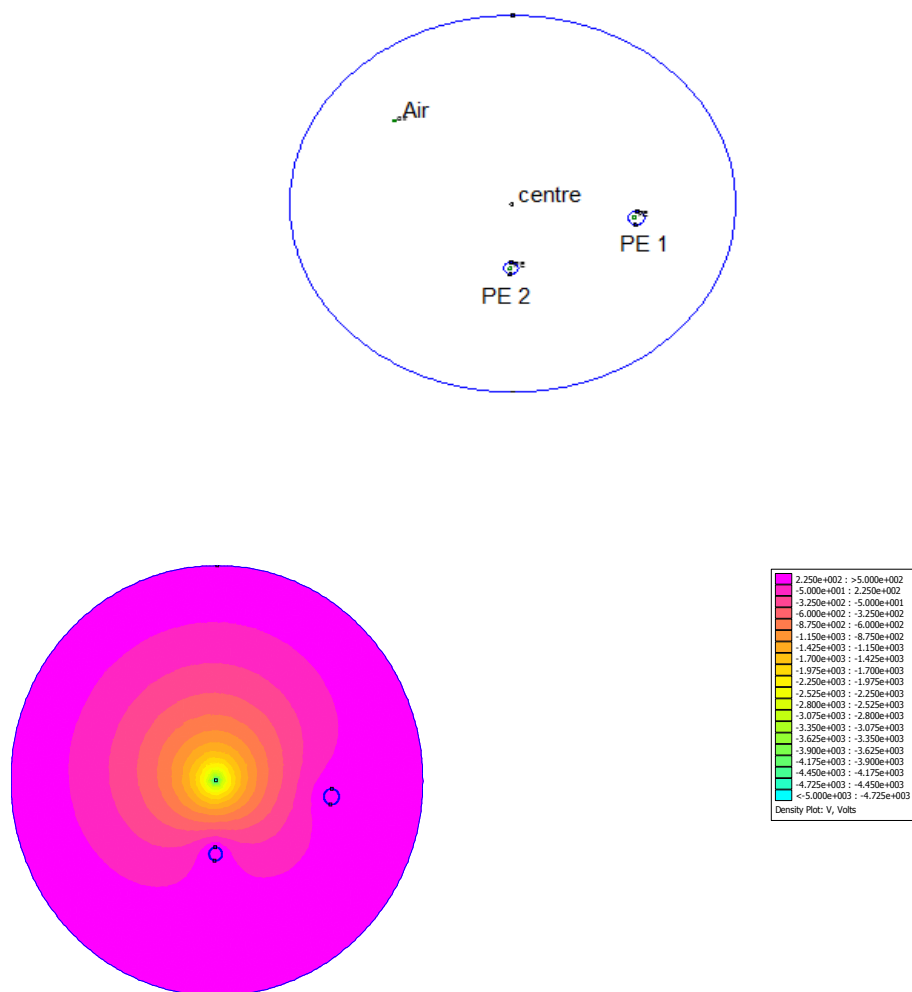
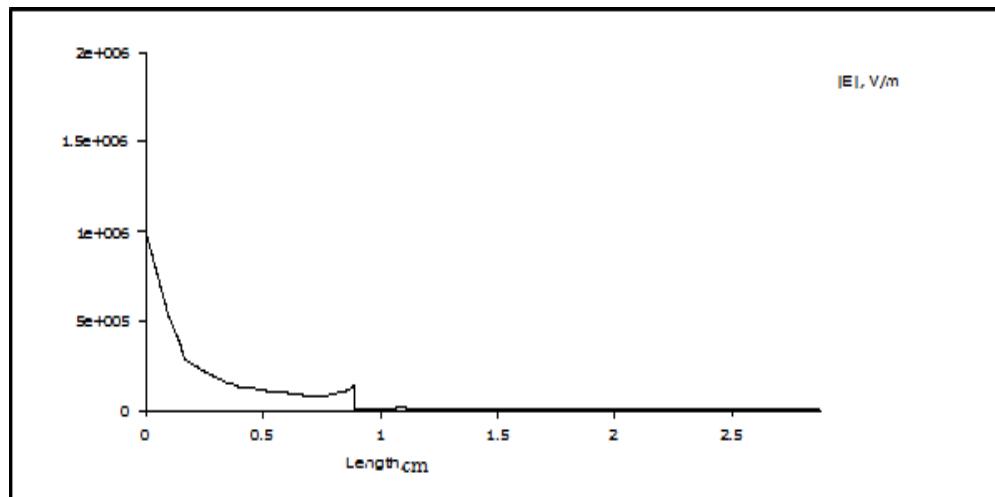


Figure III.15 : schéma de distribution de champ.

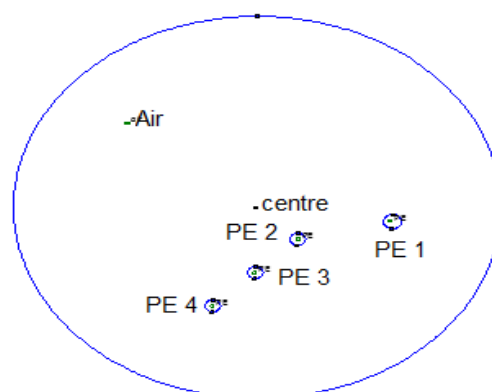


**Figure III.16 :** distribution du champ tout au long du rayon.

On observe que le champ électrique augmente sensiblement en présence de particules chargées. La zone comprise entre le fil corona et les particules est le siège de cette augmentation. Au-delà de cette zone, le champ diminue rapidement s'approche de zéro. Il faut noter, qu'au voisinage de la particule le champ s'intensifie par effet de pointe.

Les particules chargées jouent dans ce cas le rôle d'un écran qui d'un part amplifie le champ vis-à-vis du fil et réduit les lignes de champ vers l'électrode de masse.

#### 4. Cas de quatre particules chargées à 100V :



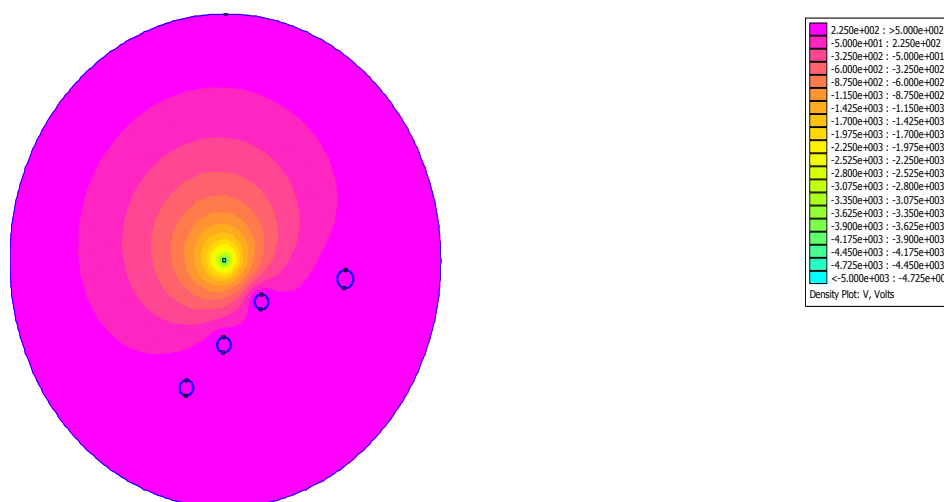


Figure III.17 : schéma de distribution de champ

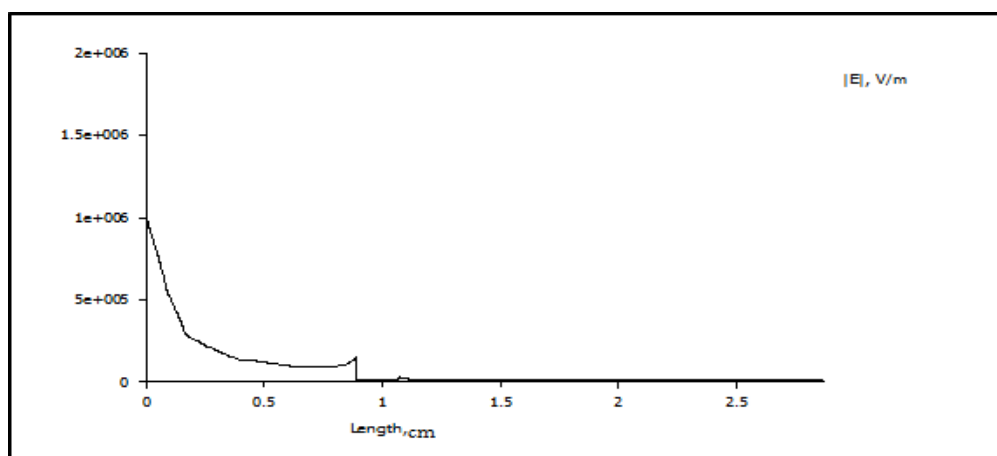


Figure III.18 : distribution du champ tout au long du rayon.

Nous observons aussi que le champ électrique dans ce cas subit le même effet que le cas d'une deux particules, c.à.d, un effet d'écran qui augmente le champ d'une part et le réduit d'autre part. Atteint de faibles valeurs et sa distribution est fortement perturbée par la présence des particules.

D'après le calcul de la distribution du champ, la présence des particules autour du fil couronne à l'intérieur du cylindre peut augmenter l'amplitude du champ et impacter sa distribution. Plus les particules sont chargées plus leur influence devient important. De même, plus leur nombre est important plus leur influence est majeur.

# Conclusion Générale

### Conclusion générale

Le présent mémoire avait pour objectif l'étude de la décharge couronne en configuration coaxiale fil-cylindre et la possibilité de l'appliquer à la neutralisation des particules chargées.

Les résultats expérimentaux obtenus à partir des essais au labo, ont montré que le passage des particules chargées à travers le cylindre siège de la décharge peut donner de très bons résultats quant à la neutralisation de la charge. En effet, des taux de neutralisation dépassant 90% ont été atteints. Une tension optimale doit être appliquée afin d'aboutir à de meilleurs résultats. Le rôle de la tension est primordiale : plus la tension augmente plus la neutralisation s'améliore jusqu'à un optimum après quoi le matériau commence à se recharger dans le sens opposé.

L'influence de particules chargées sur la décharge a été étudiée par calcul de la distribution du champ par logiciel des éléments finis. Le nombre de particules et leur charge superficielle affectent significativement l'amplitude et la distribution du champ électrique et par voie de conséquence la décharge et l'efficacité de neutralisation.



# **Bibliographie**

### Bibliographie :

- [1] SAIDI Oum El Djilali, " Modélisation électrique d'une décharge couronne pointe-plan impulsionnelle" Mémoire de Master, Université Dr. Tahar Moulay de Saïda, septembre 2018.
- [2] MOISSAOUI Aida, " Etudes des phénomènes de charge et de neutralisation des milieux diélectriques granulaires en utilisant la décharge à barrière diélectrique " Thèse de Doctorat, université de Guelma, Juin 2019.
- [3] Décharge couronne, <https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet-coronna>
- [4] MIHOUBI Soumia, MEDJANI Ismahen, " Mesure du champ électrique " Mémoire d'Ingénieur, université de Guelma, Juin 2002.
- [5] B. KHADDOUR, " Modélisation du champ électrique modifié par la charge d'espace injectée", Thèse de doctorat de l'INPG (Institut National Polytechnique de Grenoble, 2006.
- [6] Chang.J, Phil A., Lawless., and, Yamamoto.T., "Corona Discharge Processes", IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 19, n° 6, pp. 1152-1166, 1991.
- [7] GARY, C. et MOREAU, M, «L'effet de couronne en tension alternative", Éditions Eyrolles (Paris) 1976, pp. 17-33,283-302
- [8] YA LI ,B.S.C.A " Contribution à l'étude de l'influence des décharges de couronne sur la perte de volume d'une aspérité de glace portée à un potentiel élevé", comme exigence partielle pour l'obtention du grade de maîtrise en ressources et systèmes, université du Québec à Chicoutimi, Avril 1993.
- [9] Rezzouga.M, Tilmatine. A, Gouri. R, Medles. K, Dascalescu. L, "Experimental modeling of high-voltage corona discharge using design of experiments", Front. Electr. Electron. Eng, pp. 139-143. China 2007
- [10] M.P. Panaget, " Étude en laboratoire des effets physico-chimique induits par les pertes électriques des lignes de transport à haute tension", Thèse de doctorat de l'université Pierre et Marie Curie, 1997.

- [11] SAAD Djedjiga " Effet de la décharge couronne sur les surfaces isolantes et les surfaces métalliques " Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, décembre 2011.
- [12] université de Tizi-Ouzou 1997, " Acte de la deuxième conférence nationale sur la haute tension".
- [13] C.Gary, "Effet couronne sur les réseaux électriques aériens" Techniques de l'ingénieur, D4440.
- [14] Adelsandrov. G.N, Rizekov.. O.V Cherbatchev, "Modélisation de la caractéristique de couronne de courant alternatif " Recueil de l'institut polytechnique de Saint Petersburg, la série de la technique de la haute tension. 1958
- [15] Flavien. Koliatene, «Contribution à l'étude de l'existence des décharges dans les systèmes de l'avionique». Thèse de doctorat de l'université de Toulouse III – Paul Sabatier, le 5 janvier 2009.
- [16] C.Gary ; «Effet couronne en tension alternative»: Techniques de l'ingénieur, Tome 1 D640
- [17] Zahira ANANE,"Modèle dynamique de l'effet couronne pour l'étude de la propagation de la surtension le long des lignes de transmission HT en utilisant l'EMPT". Thèse de Doctorat, Université Ferhat Abbas- Sétif 1, 2018.
- [18] R. Farhi, C. Morel, G. Chéron., "Matières plastiques & adjuvant hygiène et sécurité". INRS, ED638, Octobre 2006.
- [19] KADI Hocine, " Influence de l'effet couronne sur les surtensions dans les lignes et les transformateurs de haute tension « Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou.
- [20] M. KACHI, " Caractérisation et contrôle de l'état de charge des matériaux polymères granulaires," Thèse de Doctorat, université de Guelma 2012.

- [21]. C. Mademlis, and I. Kioskeridis, "Optimizing performance in current-controlled switched reluctance generators," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 20, no. 3, pp. 556-565, 2005
- [22]. B. Fahimi, A. Emadi, and R. Sepe, "A switched reluctance machine based starter/alternator for more electric cars," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 19, no. 1, pp. 116-124, 2004.