

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERAHMANE MIRA BEJAIA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMET DE GENIE ELECTRIQUE

OPTION : Electrotechnique Industrielle



## Mémoire de Fin d'étude

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

Option : Electrotechnique Industrielle

### Thème :

Détermination de la caractéristique courant-tension de la décharge couronne en  
géométrie fil-plan

Rédigé par :

Mlle KERKADENE Hanane

Mlle BENNAI Romaiassa

Encadré par :

Mr KASDI Ahmed

Mlle CHOUALI Sabrina

Année Universitaire : 2023/2024

---

## *REMERCIEMENTS*

---

Avant tout, nous remercions Dieu pour nous avoir donné le courage, la volonté et de nous avoir permis de réaliser ce travail.

Nous voudrions également exprimer nos remerciements sincères à notre promoteur Mr KASDI Ahmed et à Mlle CHOUALI Sabrina pour nous avoir orientées tout au long de ce travail.

Nous tenons à remercier les membres de jury pour nous avoir fait l'honneur d'examiner et d'évaluer notre modeste travail.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du département d'électrotechnique qui ont contribué à notre formation.

Nos familles et amis qui nous ont aidés, soutenus et encouragés dans notre travail.

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail aux êtres qui me sont les plus chers, je cite :*

*Mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études. Que dieu les garde et les protège.*

*Mes frère et sœurs : Amine, Leticia, Imane et Kenza*

*Puisse Dieu vous donner santé, bonheur, courage et surtout réussite.*

*À mes grands-parents, mes oncles et tantes.*

*À tous les cousins et les cousines « Yacine, Lounis, Nestine »*

*et ma chère amie « Farah »*

*À mon binôme Hanane pour son soutien moral, sa patience et compréhension tout au long de ce projet.*

*B.ROMAISSA*

# Dédicace

*Je dédie ce travail :*

*À Mon cher papa,*

*Tout au long de ma vie tu as été mon modèle, tu as été présent à chaque étape de ma vie l'encourageant à poursuivre mes rêves. Tu m'as consolé dans les moments difficiles mais au-delà de toutes les leçons de vie que tu m'as enseignées c'est ton amour qui est le plus grand impact sur moi, ta présence est réconfortante. Aujourd'hui je vais te remercier pour tout ce que tu as fait je t'aime de tout mon cœur.*

*À ma maman,*

*La seule et l'unique personne sur cette terre qui peut remplacer tout le monde mais personne ne pourra la remplacer, pas juste parce qu'elle est ma mère mais parce qu'elle a cette façon spéciale de rendre chaque moment important. Quand ça va bien elle se lève avec moi quand ça va mal elle est seulement pour me soutenir. Tu m'as appris le droit chemin, je pense que tu m'as donné les meilleures notions de vie. J'ai fait de moi une personne de valeurs et je suis fier de dire au monde entier que t'es la femme qui m'a mis au monde. Je t'aime du plus profond de mon cœur d'un amour qui grandit chaque jour.*

*À mes sœurs aussi et leurs époux, à mon frère et sa femme.*

*À mes neveux : Akram et Kenzi.*

*À mes chères nièces : Alaa, Meriem, Sidra et Flyne.*

*Vous êtes le socle sur lequel j'ai construit ma vie et la source constante d'inspiration. Je chéris chaque moment chaque souvenir passé à vos côtés car ils sont le reflet de votre amour incommensurable. Je vous aime profondément.*

*K. Hanane.*

# Résumé

L'objectif principal de notre travail est de déterminer la caractéristique courant-tension de la décharge couronne en géométrie fil-plan. La décharge couronne a été étudiée pour leur diverse application, notamment dans les technologies de l'électrostatique, les systèmes de purification de l'air, les dispositifs de précipitation électrostatique, et même dans les systèmes de propulsion électro-aérodynamique. Comprendre les mécanismes de la décharge couronne est essentiel non seulement pour exploiter ses applications, mais aussi pour éviter ses effets indésirables, tels que les perturbations électromagnétiques et les risques pour la sécurité dans les environnements industriels et les réseaux électriques. Plusieurs essais ont été effectués sur cette configuration, à savoir la mesure des caractéristiques courant-tension, la variation des paramètres géométriques et électriques (la tension appliquée, la hauteur inter-électrode, rayon de fil, la polarité de la tension appliquée) et l'étude des facteurs  $K$  et  $A$  avec l'exposant  $m$ . Il a été trouvé que l'activité de la décharge couronne est intense pour des tensions appliquées importantes, et la géométrie de l'électrode influe sur la décharge couronne, de tel plusieurs paramètres géométriques ont un rôle important pour chaque type d'application désirer obtenir.

|  |          |
|--|----------|
| <b>Introduction Générale.....</b>  | <b>1</b> |
| <b>Chapitre I : Généralités de la décharge couronne.....</b>                   | <b>2</b> |
| I .1 Introduction.....   | 2        |
| I .2 Historique.....   | 2        |
| I .3 Généralité sur la décharge couronne .....                                 | 4        |
| I .3.1 Définition .....  | 4        |
| I .3.2 Processus de la décharge couronne .....                                 | 4        |
| I .3.2 .1. Amorçage de la décharge couronne .....                              | 5        |
| I .3 .2.2 Multiplication et avalanche .....                                    | 5        |
| I .3 .2.3 Phase de la recombinaison et maintien de la décharge .....           | 6        |
| I .3.3 CHAMP SEUIL DE LA DECHARGE COURONNE.....                                | 7        |
| I .3.4 Différents régimes de la décharge .....                                 | 8        |
| I .4 Types de décharges couronnes.....   | 9        |
| I .4.1 Décharge couronne positive.....   | 9        |
| I .4.2 Décharge couronne négative .....  | 10       |
| I .5 Caractéristique courant/tension de la décharge couronne .....             | 11       |
| I .6 Mécanisme de développement décharge couronne.....                         | 12       |
| I .6.1 La décharge de TOWNSEND et critère d'auto entretien de la décharge..... | 12       |
| I .6.2 Théorie de Streamer .....   | 14       |
| I .7 Loi de paschen .....  | 15       |
| I .8 Les facteurs influençant la décharge couronne .....                       | 16       |
| I .8 .1 Facteurs géométriques.....   | 16       |
| (1) Rayon de la courbure.....  | 16       |
| (2) Distance inter-électrodes .....  | 16       |
| (3) Nature des électrodes.....   | 17       |
| (4) Etat de surface .....  | 18       |
| I .8 .2 Les facteurs physico-chimiques .....                                   | 18       |
| (1) Effet de la température sur la décharge couronne .....                     | 18       |
| (2) Effet de L'humidité sur la décharge couronne .....                         | 18       |
| (3) Effet de la pression sur la décharge couronne .....                        | 19       |
| (4) La densité de l'air .....  | 19       |
| I .8 .3 Facteur électrique.....  | 19       |
| I .9 Application de la décharge couronne .....                                 | 19       |
| I .10 Les avantages liés à la décharge couronne.....                           | 20       |
| I .11 Problèmes liés à la décharge couronnes.....                              | 20       |

|  |           |
|--|-----------|
| I .12 Réduction de l'effet couronne dans les postes électriques .....            | 22        |
| I .13 Conclusion .....   | 22        |
| <b>Chapitre II : Description de l'étude expérimentale .....</b>                  | <b>23</b> |
| II.1 Introduction.....   | 23        |
| II.2. Description des installations expérimentales .....                         | 23        |
| II.2.1. Les alimentations électriques.....                                       | 23        |
| II.2.2 Dispositif Expérimental .....   | 26        |
| II.2.2.1 Système d'électrode.....  | 28        |
| II.2.3. Systèmes de mesure .....   | 29        |
| II.2.3.1. Mesure des tensions .....  | 29        |
| II.2.3.1.1. Tension appliquée aux électrodes actives .....                       | 29        |
| II.2.3.2. Mesure du courant .....  | 29        |
| II.2.3.3 Mesure des paramètres de l'air .....                                    | 29        |
| II.3 Conclusion .....  | 30        |
| <b>Chapitre III : Résultats et interprétations .....</b>                         | <b>31</b> |
| III.1 Introduction .....   | 31        |
| III.2 L'électrode active .....   | 31        |
| III.3 Caractéristiques courant-tension $I(V)$ .....                              | 32        |
| III.3.1 Influence de la hauteur $H$ .....  | 33        |
| III.3.2 Influence du rayon du fil .....  | 37        |
| III.3.3 L'influence de la polarité de la tension appliquée .....                 | 43        |
| III.4 Variation de la tension de seuil .....                                     | 44        |
| III.4.1 Effet de la hauteur inter-électrode $H$ sur la tension seuil $V_s$ ..... | 44        |
| III.4.2 Effet de rayon de fil $R_f$ sur la tension de seuil $V_s$ .....          | 47        |
| III.5 Détermination du facteur $K$ .....   | 49        |
| III.5.1 Variation du facteur $K$ en fonction de la hauteur $H$ .....             | 52        |
| III.5.2 Influence du rayon de fil.....   | 54        |
| III.6 Détermination du facteur $A$ et de l'exposant $m$ .....                    | 54        |
| III.6.1 Variation du facteur $A$ .....   | 56        |
| III.6.1.1 Influence de la hauteur $H$ .....                                      | 56        |
| III.6.1.2 Influence de rayon de fil.....   | 57        |
| III.6.2 Variation de l'exposant $m$ .....  | 59        |
| III.7 Conclusion.....  | 60        |
| <b>Conclusion Générale .....</b>   | <b>61</b> |

## Liste des Figures

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure I.1</b> Effet couronne lumineux .....   | 3  |
| <b>Figure I.2</b> configuration d'électrode pour la génération de la décharge couronne .....  | 4  |
| <b>Figure I.3</b> Amorçage de la décharge .....   | 5  |
| <b>Figure I.4</b> Multiplication électronique (phénomène d'avalanche électronique) .....  | 6  |
| <b>Figure I.5</b> Maintien de la décharge.....  | 6  |
| <b>Figure I.6</b> La courbe permet de distinguer quatre régimes régissant la décharge couronne .....  | 8  |
| <b>Figure I.7</b> Décharge couronne positive. ....  | 9  |
| <b>Figure I.8</b> descriptif de la décharge négative. ....  | 10 |
| <b>Figure I.9</b> Décharge de Townsend à courant continu .....  | 12 |
| <b>Figure I.10</b> Courant de décharge en fonction de la distance inter-électrodes .....  | 14 |
| <b>Figure I.11</b> Génération d'avalanches secondaires dans un processus de décharge positive....   | 15 |
| <b>Figure I.12</b> Loi de paschen pour différents gaz.....  | 16 |
| <b>Figure I.13</b> Influence de la distance inter-électrodes sur le courant de la décharge couronne en polarité négative. ....                                      | 17 |
| <b>Figure I.14</b> Caractéristique courant-tension selon la nature des électrodes en polarité positive. ....  | 17 |
| <b>Figure I.15</b> Représentation schématique des lignes de champ pour une ligne de transmission [26]. ....   | 21 |
| <b>Figure II.1</b> Schéma en bloc de la source de haute tension utilisée. ....  | 24 |
| <b>Figure II.2</b> Schéma électrique de la source de haute tension utilisée (uniquement pour la Tension positive). ....   | 24 |
| <b>Figure II.3</b> Equipements de l'installation haute tension utilisée. ....   | 25 |
| <b>Figure II.4</b> Installation haute tension utilisée du laboratoire de Bejaia. ....   | 25 |
| <b>Figure II.5</b> Constitution du dispositif expérimental. ....  | 27 |
| <b>Figure II.6</b> Dispositif expérimental configuration Fil-plan.....  | 28 |
| <b>Figure II.7</b> Le thermomètre à aiguille et l'hygromètre à cheveux disponibles au laboratoire haut tension. ....  | 30 |
| <b>Figure II.8</b> baromètre à mercure utilisé dans la mesure de pression. ....   | 30 |
| <b>Figure III.1</b> Géométrie bidimensionnelle du système fil-plan.....   | 32 |
| <b>Figure III.2</b> Influence de la hauteur H sur les caractéristiques courant-tension (a) polarité positive (b) polarité négative : ( $R_f=0.15\text{mm}$ ).....   | 34 |
| <b>Figure III.3</b> Influence de la hauteur H sur les caractéristiques courant-tension (a) polarité positive (b) polarité négative : ( $R_f=0.125\text{ mm}$ )..... | 35 |
| <b>Figure III.4</b> Influence de la hauteur H sur les caractéristiques courant-tension (a) polarité positive (b) polarité négative : ( $R_f=0.2\text{ mm}$ ).....   | 36 |
| <b>Figure III.5</b> Influence de la hauteur H sur les caractéristiques courant-tension (a) polarité positive (b) polarité négative : ( $R_f=0.25\text{mm}$ ).....   | 37 |
| <b>Figure III.6</b> Caractéristique courant tension en fonction du rayon de fil (a) polarité positive (b) polarité négative ; ( $H=40\text{mm}$ ) .....             | 38 |
| <b>Figure III.7</b> Caractéristique courant tension en fonction du rayon de fil (a) polarité positive (b) polarité négative ; ( $H=50\text{mm}$ ) .....             | 39 |
| <b>Figure III.8</b> Caractéristique courant tension en fonction du rayon de fil (a) polarité positive (b) polarité négative ; ( $H=60\text{mm}$ ) .....             | 40 |

## Liste des Figures

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure III.9</b> Caractéristique courant tension en fonction du rayon de fil (a) polarité positive (b) polarité négative ; ( $H=70\text{mm}$ ) .....  | 41 |
| <b>Figure III.10</b> Caractéristique courant tension en fonction du rayon de fil (a) polarité positive (b) polarité négative ; ( $H=80\text{mm}$ ) ..... | 42 |
| <b>Figure III.11</b> Caractéristique $I(V)$ à différentes polarités ; $H=50\text{mm}$ et $R_f=0.2\text{mm}$ . ....                                       | 43 |
| <b>Figure III.12</b> Caractéristique $I(V)$ à différentes polarités ; $H=40\text{mm}$ et $R_f=0.15\text{mm}$ . ....                                      | 44 |
| <b>Figure III.13</b> Variation de la tension de seuil $V_s$ en fonction de la hauteur ( $H$ ) pour $R_f=0.125\text{mm}$ . ....                           | 44 |
| <b>Figure III.14</b> Variation de la tension de seuil $V_s$ en fonction de la hauteur ( $H$ ) pour $R_f=0.15\text{mm}$ . ....                            | 45 |
| <b>Figure III.15</b> Variation de la tension de seuil $V_s$ en fonction de la hauteur ( $H$ ) pour $R_f=0.2\text{mm}$ . ....                             | 45 |
| <b>Figure III.16</b> Variation de la tension de seuil $V_s$ en fonction de la hauteur ( $H$ ) pour $R_f=0.25\text{mm}$ . ....                            | 46 |
| <b>Figure III.17</b> Variation de la tension de seuil $V_s$ en fonction de rayon de fil ( $R_f$ ) pour $H=40\text{mm}$ .....                             | 47 |
| <b>Figure III.18</b> Variation de la tension de seuil $V_s$ en fonction de rayon de fil ( $R_f$ ) pour $H=50\text{mm}$ .....                             | 47 |
| <b>Figure III.19</b> Variation de la tension de seuil $V_s$ en fonction de rayon de fil ( $R_f$ ) pour $H=60\text{mm}$ .....                             | 48 |
| <b>Figure III.20</b> Variation de la tension de seuil $V_s$ en fonction de rayon de fil ( $R_f$ ) pour $H=70\text{mm}$ .....                             | 48 |
| <b>Figure III.21</b> Variation de la tension de seuil $V_s$ en fonction de rayon de fil ( $R_f$ ) pour $H=70\text{mm}$ .....                             | 49 |
| <b>Figure III.22</b> Caractéristique $I/V=f(V)$ pour différents $H$ et $R_f=0.2\text{mm}$ en polarité positive. ....                                     | 50 |
| <b>Figure III.23</b> Caractéristique $I/V=f(V)$ pour différents $H$ et $R_f=0.125\text{mm}$ en polarité négative. ....                                   | 51 |
| <b>Figure III.24</b> Détermination du facteur $K$ par interpolation linéaire .....   | 51 |
| <b>Figure III.25</b> Variation du facteur $K$ en fonction de la hauteur ( $H$ ) pour $R_f=0.125\text{mm}$ .....  | 52 |
| <b>Figure III.26</b> Variation du facteur $K$ en fonction de la hauteur ( $H$ ) pour $R_f=0.15\text{mm}$ .....   | 52 |
| <b>Figure III.27</b> Variation du facteur $K$ en fonction de la hauteur ( $H$ ) pour $R_f=0.2\text{mm}$ .....  | 53 |
| <b>Figure III.28</b> Variation du facteur $K$ en fonction de la hauteur ( $H$ ) pour $R_f=0.25\text{mm}$ .....   | 53 |
| <b>Figure III.29</b> Variation du facteur $K$ en fonction du rayon des fils ( $R_f$ ) pour $H=70\text{mm}$ . ....  | 54 |
| <b>Figure III.30</b> Caractéristique $\log(I)=f(\log(V-V_s))$ pour différents $H$ ( $R_f=0.2\text{mm}$ , $V<0$ ) .....                                   | 55 |
| <b>Figure III.31</b> Variation du facteur $A$ en fonction de la hauteur ( $H$ ) pour $R_f=0.125\text{mm}$ .....  | 56 |
| <b>Figure III.32</b> Variation du facteur $A$ en fonction de la hauteur ( $H$ ) pour $R_f=0.15\text{mm}$ .....   | 56 |
| <b>Figure III.33</b> Variation du facteur $A$ en fonction de la hauteur ( $H$ ) pour $R_f=0.25\text{mm}$ .....   | 57 |
| <b>Figure III.34</b> Variation du facteur $A$ en fonction du rayon des fils ( $R_f$ ) pour $H=50\text{mm}$ .....   | 58 |
| <b>Figure III.35</b> Variation du facteur $A$ en fonction du rayon des fils ( $R_f$ ) pour $H=60\text{mm}$ .....   | 58 |
| <b>Figure III.36</b> Variation de l'exposant $m$ en fonction du rayon des fils ( $R_f$ ) pour $H=50\text{mm}$ . .  | 59 |
| <b>Figure III.37</b> Variation de l'exposant $m$ en fonction du rayon des fils ( $R_f$ ) pour $H=60\text{mm}$ . .  | 59 |

## Notations et symboles

| Symbole      | Définition  | Unité   |
|--------------|---|---|
| $V_s$        | Tension de seuil  | (Kv)  |
| $E_c$        | Champ critique  | (Kv/cm)   |
| $E_s$        | Champ superficiel                                       | (kV/cm)   |
| $K$          | coefficient   | (Kv <sup>2</sup> /μA)                               |
| $r$          | Rayon de conducteur                                     | (cm)  |
| $\delta$     | Densité relative de l'air                               | (kg/m <sup>3</sup> )                                |
| $T$          | Température atmosphérique                               | (C°)  |
| $t$          | Température ambiante                                    | (K)   |
| $p$          | Pression atmosphérique                                  | (cm Hg)   |
| $K$          | Constante   |   |
| $\mu_{ion}$  | Mobilité des ions dans l'air                            | (m <sup>2</sup> .v <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> ) |
| $\epsilon_0$ | Permittivité du vide                                    | (F.m <sup>-1</sup> )                                |
| $I$          | Courant   | (A)   |
| $I_0$        | Courant initial   | (A)   |
| $d$          | Distance inter-électrode                                | (mm)  |
| $A$          | Premier coefficient de Townsend                         | (m <sup>-1</sup> )                                  |
| $L_c$        | Taille critique (m-1)                                   | (m <sup>-1</sup> )                                  |
| $V_c$        | Tension de claquage                                     | (V)   |
| $R_f$        | Rayon de fil  | (mm)  |
| $H$          | Hauteur de fil-plan                                     | (mm)  |
| $V_a$        | Tension appliquée                                       | (V)   |
| $K_d$        | Facteur de correction relatif à température et pression |   |

## Notations et symboles

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| $K_h$ | Facteur de correction relatif à l'humidité |     |
| $I_p$ | Courant de plan                            | (A) |
| $m$   | L'exposant                                 |     |

# Introduction Générale

### **Introduction Générale**

Les phénomènes électriques captivent la curiosité des scientifiques depuis les premiers jours de la civilisation humaine. Tout au long de l'histoire, les physiciens ont cherché sans relâche à percer les mystères qui se cachent derrière ces phénomènes. Parmi les diverses manifestations électriques, la décharge couronne se distingue comme un phénomène naturel particulièrement intrigant aux dimensions optiques, acoustiques et électriques ce qui rend la décharge couronne si intéressante. [1]

L'effet couronne est un phénomène de décharge électrique provoqué par l'ionisation du milieu entourant un conducteur. Il apparaît quand le champ électrique dépasse une valeur critique mais dont les conditions ne permettent pas la formation d'un arc. Les décharges couronnes sont caractérisées par une dissymétrie géométrique des électrodes. Les configurations courantes utilisées dans les expériences des chercheurs sont de type pointe plan, fil-plan et fil-cylindre... [2]

Notre travail est intitulé « Détermination de la caractéristique courant-tension de la décharge couronne en géométrie fil-plan », cette étude est importante car elle apporte une contribution théorique à la littérature sur la décharge couronne. Elle offre aussi une compréhension profonde sur la décharge couronne pour mieux la caractériser. Les résultats de cette étude ont été obtenus en réalisant des essais expérimentaux au sein du laboratoire de la haute tension de l'université de Béjaïa. Ces résultats ont été traités sous Matlab grâce à basic fitting d'où on a extrait les paramètres influençant sur la caractéristique courant tension qui sont les paramètres  $K$ ,  $m$  et  $A$ .

Afin de bien mener cette étude, nous avons subdivisé notre travail en trois chapitres :

Le premier chapitre est une étude bibliographique de la théorie de la décharge couronne où nous présentons les différents types de régimes de la décharge couronne, les mécanismes et les applications de cette décharge. Puis le deuxième chapitre est consacré à l'étude et à la présentation de l'ensemble des moyens et du matériel expérimental utilisé pour nos expériences. Enfin, et avant de conclure, nous présenterons au dernier chapitre les résultats de simulation et expérimentaux obtenus et leurs interprétations.

# Chapitre 1

## **Chapitre I : Généralités sur la Décharge Couronne.**

### **I.1 Introduction**

Il existe plusieurs types de décharges électriques et parmi lesquelles on distingue la décharge couronne. Celle-ci désigne l'ensemble des phénomènes liés à l'apparition d'une conductivité d'un gaz dans l'environnement d'un conducteur porté à une haute tension. Ce milieu est soumis à des champs électriques intenses mais non disruptifs [3].

Dans ce chapitre, nous citerons les notions générales de la décharge couronne, la définition de la décharge couronne, les différents régimes, et les mécanismes d'initiation de cette décharge.

### **I.2 Historique**

Le phénomène de la décharge électrique, connu depuis plus d'un siècle, a été étudié dès le début du XX<sup>ème</sup> siècle [4], avec les premières publications sur l'effet couronne datant de 1911 [5]. L'effet couronne se manifeste autour des lignes de transport d'énergie électrique à haute tension, formant une gaine lumineuse bleu-violet dont l'épaisseur varie avec la tension. Les premières études expérimentales sur les fils conducteurs portés à des tensions élevées ont révélé cette lueur, donnant lieu à l'expression "décharge couronne" ou "effet couronne" [6].

Les chercheurs ont proposé différentes théories pour expliquer la formation, le développement et la propagation de cette décharge, notamment la théorie de Townsend pour une décharge auto-entretenu. Toutefois, cette théorie présente des limites pour les hautes pressions [6].

R.W. Peek, est un chercheur américain, qui a établi une loi empirique vers 1920 décrivant le seuil d'apparition de la décharge couronne en termes de champ électrique superficiel, une loi encore utilisée aujourd'hui. Par la suite, de nombreuses théories ont été développées pour expliquer les pertes dues à l'effet couronne, avec des travaux notables de Ryan et Henline, Hesselmeyer et Kostko, ainsi que Holm [6].

Les essais en laboratoire sur l'effet couronne ont réellement débuté au cours du siècle dernier, avec les progrès dans le domaine de l'électricité, les premiers datant de 1932. Le développement des systèmes de haute tension a stimulé la recherche sur les décharges couronne, avec des modèles de propagation de l'avalanche électronique proposés dans les années 1940 par Loeb, Meek et Raether [4].

À partir des années 1950, les très hautes tensions utilisées pour le transport d'énergie électrique ont conduit les concepteurs à prendre en compte un autre phénomène lié à l'effet couronne : les vibrations mécaniques induites par la présence de pluie, brouillard ou neige mouillée sur les conducteurs à haute tension.

Les recherches sur les phénomènes de décharges électriques restent actives en raison de leur grande complexité. Malgré cela, des progrès significatifs ont été réalisés ces dernières décennies dans le diagnostic des décharges initiales, ce qui a contribué à une meilleure compréhension des mécanismes impliqués. Les applications de ces avancées se sont largement étendues. Par exemple, les travaux de Cléments et al (1987) ont analysé la physico-chimie des décharges de type "pulsed streamer corona" ou "corona-like". Depuis les années 1990, l'intérêt des constructeurs automobiles pour les technologies liées aux plasmas froids produits par décharge couronne a augmenté en raison des problématiques liées aux émissions de NOx et de particules des moteurs Diesel. Cependant, il est important de noter que la décharge couronne comporte des aspects nuisibles, tels que les pertes de puissance dans les lignes de transport haute tension et la détérioration de l'isolation dans les équipements électriques. Les propriétés physico-chimiques des décharges couronne suscitent un intérêt important dans divers domaines industriels, allant des néons aux écrans plasma en passant par les ozoneurs. Malgré de nombreuses recherches, la théorie de la décharge couronne reste sujette à débat et n'est pas établie de manière indiscutable [4,6].



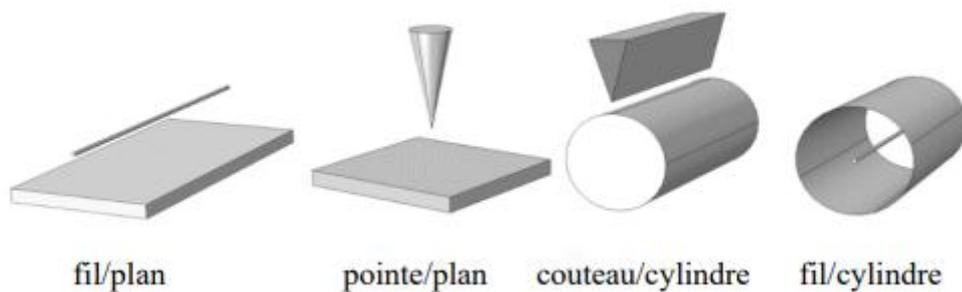
**Figure I.1** Effet couronne lumineux

### I .3 Généralité sur la décharge couronne

#### I .3.1 Définition

La décharge couronne est une décharge non-homogène en milieu gazeux, à pression atmosphérique et en champ non-uniforme. Cette décharge se produit pour un champ électrique élevé, mais non-disruptif et se caractérise par une gaine lumineuse qui a donné lieu à l'expression d'effet couronne. Elle se développe en générale depuis une électrode ayant un faible rayon de courbure [7].

La décharge couronne existe sous différentes formes et dépend de la configuration géométrique des électrodes. Les configurations les plus courantes pour obtenir la décharge couronne sont ; fil-plan, fil-plan-cylindre, pointe-plan, fil-cylindre... [8].



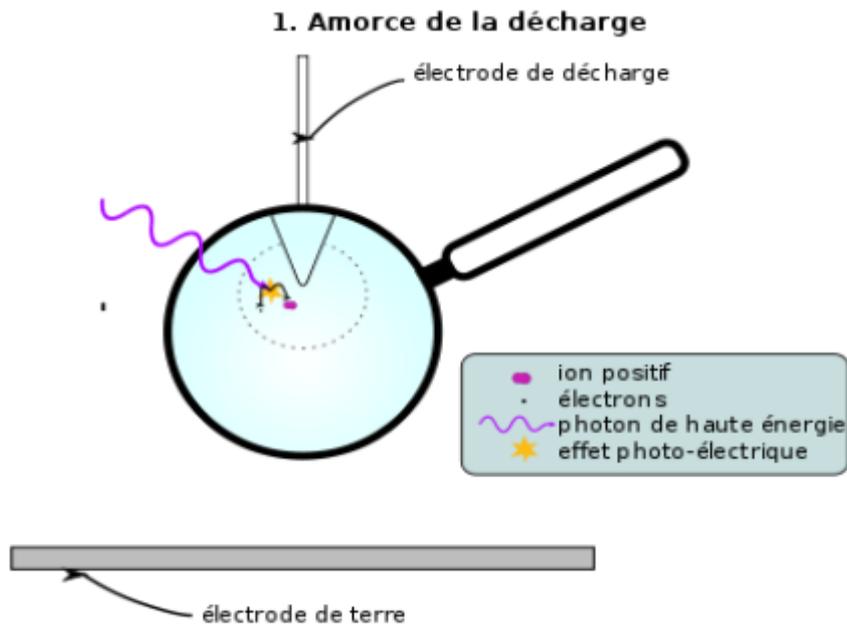
**Figure I.2** configuration d'électrode pour la génération de la décharge couronne

#### I .3.2 Processus de la décharge couronne

Dans l'atmosphère, des électrons libres sont présents, générés par des rayonnements cosmiques ou par l'ionisation naturelle due aux substances radioactives présentes dans le sol. Lorsque ces électrons sont exposés à un champ électrique élevé, ils sont accélérés. Si ce champ est assez fort, leur énergie augmente au point de pouvoir ioniser les molécules neutres qu'ils rencontrent. Ce processus engendre la création de nouveaux électrons libres qui, à leur tour, sous l'effet du même champ, ionisent d'autres molécules, amorçant ainsi une réaction en chaîne appelée avalanche de Townsend. Pour que cette avalanche se poursuive, elle doit atteindre une taille critique et le champ électrique doit avoir une intensité suffisante [9].

### I .3.2 .1. Amorçage de la décharge couronne

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

### I .3 .2.2 Multiplication et avalanche

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 [10].

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).

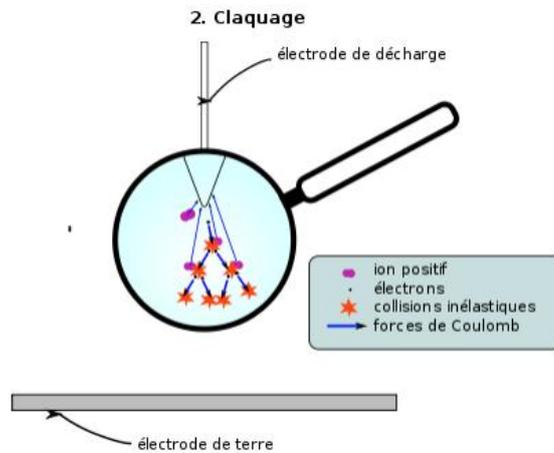


Figure I.4 Multiplication électronique (phénomène d’avalanche électronique)

### I.3 .2.3 Phase de la recombinaison et maintien de la décharge

Des ions ainsi créés sont attirés par la seconde électrode et permettent ainsi l’établissement d’un courant (Figure I.5).

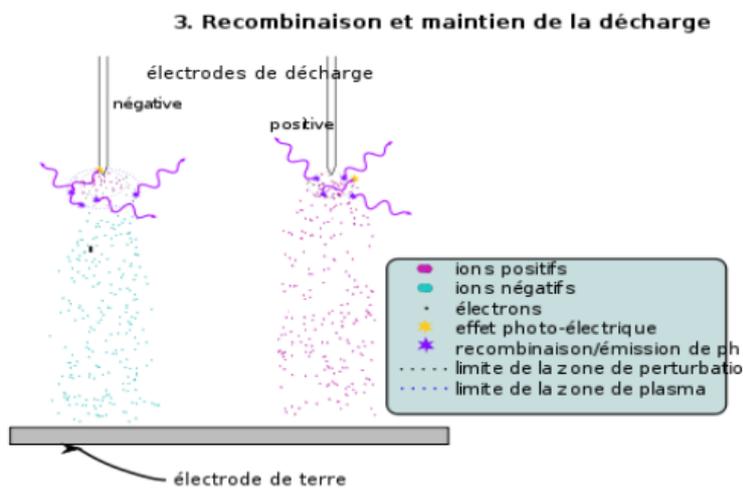


Figure I.5 Maintien de la décharge

### I .3.3 Champ seuil de la décharge couronne

Pour n'importe quelle configuration d'électrode donnée, un certain niveau de tension appliqué à l'électrode active est nécessaire avant que l'effet couronne ne commence à prendre naissance. Ce niveau de tension minimum correspond à l'apparition du premier streamer et est connu sous le nom de tension seuil ( $V_s$ ). Au-dessus de cette tension un faible courant s'écoule entre les électrodes. Le début de la couronne correspond à un champ électrique ( $E_s$ ), près de la surface de l'électrode active, suffisamment élevé pour initier l'ionisation continue du gaz [11].

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 :

$$E_c = E_s \cdot \delta \left(1 + \frac{K}{\sqrt{\delta \cdot r}}\right) \quad (\text{I-1})$$

Où :

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

$E_s$  : est le champ superficiel,  $E_s = 30$  **kV/cm** ;

$K$  : est un coefficient,  $K = 0.308 P / T$  ;

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

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

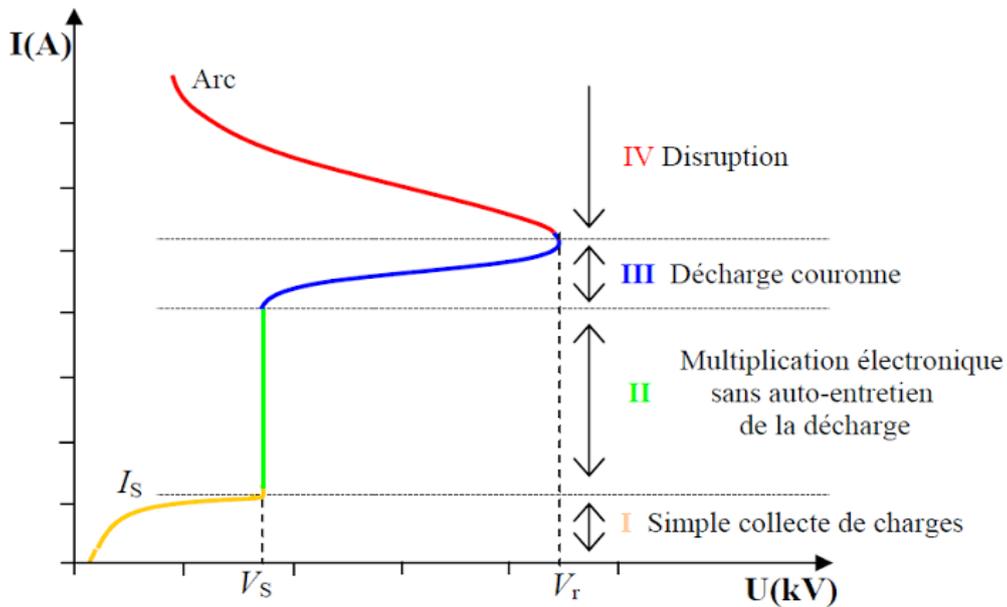
$t$  : est température ambiante en °C,

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

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

### I.3.4 Différents régimes de la décharge

La figure (I.6) décrit le comportement du courant en fonction de la valeur de la tension appliquée.



**Figure I.6** La courbe permet de distinguer quatre régimes régissant la décharge couronne

#### ❖ Régime I :

Dans le cas où le courant est très faible ( $\leq 10^{-12} \text{ A/cm}^2$ ) dû à la présence d'ions issus de la radioactivité naturelle ou du rayonnement cosmique, le champ électrique est trop faible pour assurer l'avalanche électrique.

#### ❖ Régime II :

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

## ❖ Régime III :

Dans ce régime ; la décharge seule suffit à l'ionisation du gaz. C'est pourquoi la décharge est auto-entretenue c'est le régime de la décharge couronne où il y a apparition des streamers.

## ❖ Régime IV :

La température du canal augmente fortement à partir d'une tension appliquée  $V_R$ , aussi les courants de décharge deviennent très importants car toute l'énergie passe par le même canal dans l'espace inter-électrodes [13,14].

### I.4 Types de décharges couronnes

La décharge couronne peut être positive ou négative selon la polarité de l'électrode de faible rayon de courbure. Si elle est positive, on parle d'une décharge couronne positive, sinon d'une décharge couronne négative [15].

#### I.4.1 Décharge couronne positive

La décharge couronne positive est celle qui se produit quand l'électrode active 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 créé autour de la pointe, des électrodes sont produits par photo-ionisation et sont accélères vers celle-ci (zone en pointillé sur Figure (I.7)) [3].

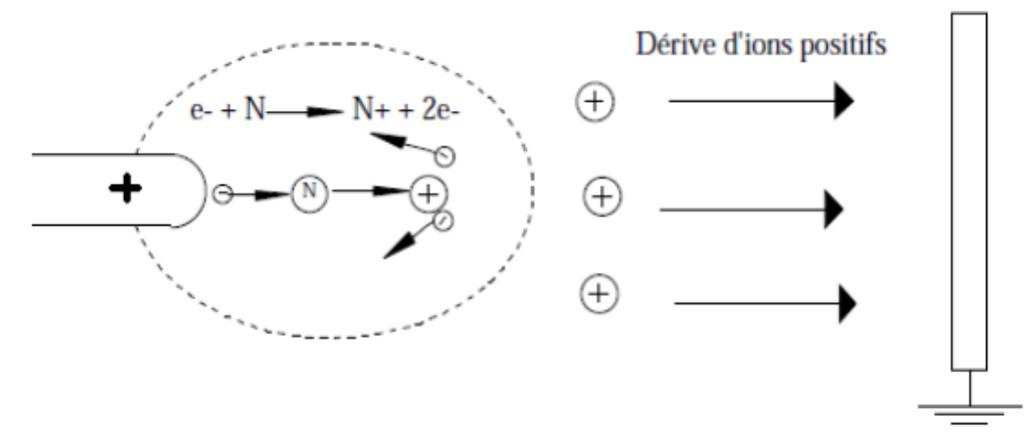


Figure I.7 Décharge couronne positive.[10]

Les ions positifs migrent donc vers la cathode (la plaque). Cette zone unipolaire, puisqu'il n'y a que des ions positifs, est appelée région de « dérive ». Pour cette décharge, il y a avancement de streamers, qui se propage en quelque sorte comme une extension de l'anode. D'après les modélisations de la décharge est composée d'une phase de propagation du streamer (durée de la propagation de 50 ns à la vitesse de  $2 \times 10^5$  m/s) et d'une phase de restauration pendant laquelle les ions dérivent. Ces deux phases forment un cycle de fréquence 10 kHz. Le courant de décharge n'est donc pas continu, mais correspond à une succession de phénomènes transitoires [16].

#### 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 en 1982 expliquent que les ions positifs alors créés reviennent rapidement à la cathode.

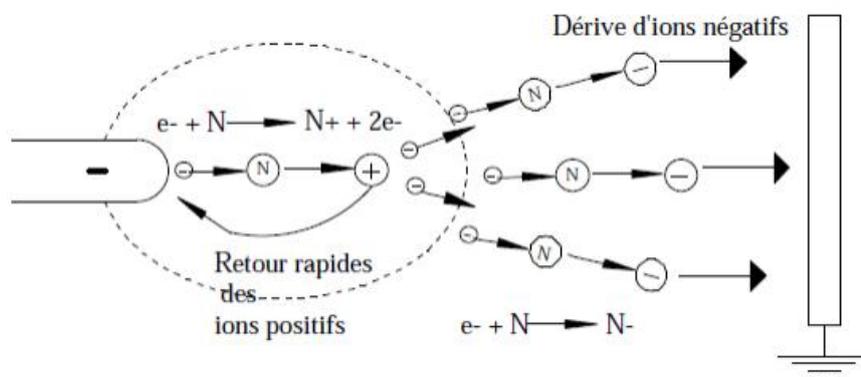


Figure I.8 descriptif de la décharge négative.

Seuls les ions négatifs créés par attachement dans une zone où le champ est plus faible peuvent migrer vers la plaque. De plus, lorsque la haute tension dépasse un seuil, il y a passage à l'arc. Le courant de cette décharge est dû à des impulsions de Trichel où la fréquence qui dépend de la tension appliquée. Ces impulsions sont régulières et sont dues au champ électrique qui s'affaiblit au voisinage de la cathode. Les ions négatifs empêchent en effet la multiplication des avalanches électroniques. Une fois ces ions migrés vers l'anode, de nouvelles avalanches

apparaissent. L'intervalle entre deux pics de courant, impulsions de Trichel, dépend donc du temps nécessaire aux ions négatifs à atteindre l'anode. Les mécanismes physico-chimiques au sein des décharges couronnes sont assez complexes et sont actuellement étudiés par les physiciens des plasmas, car ils ne sont pas encore totalement connus [3].

### I.5 Caractéristique courant/tension de la décharge couronne

La relation entre la tension appliquée et le courant généré est une caractéristique fondamentale d'un système de décharge couronne. Lorsque la tension appliquée dépasse la tension d'amorçage, le courant augmente progressivement et ce jusqu'à la tension de claquage. Même si la décharge couronne recouvre des phénomènes complexes et le courant généré est une fonction non linéaire de la tension appliquée, il est possible d'obtenir une modélisation approximative du comportement courant-tension en appliquant les équations de Maxwell aux conditions de la géométrie choisie. Une relation empirique simple entre le courant généré par unité de longueur et la tension appliquée proposée par Townsend est généralement utilisée, elle s'exprime par [17] :

$$I = K \cdot V \cdot (V - V_s) \quad (\text{I-2})$$

Où  $K$  une constante qui dépend de la configuration des électrodes, de la température, de la pression atmosphérique et de la composition du gaz. D'après Townsend, pour une géométrie fil-cylindre, la constante  $K$  est donnée par la relation suivante :

$$K = \frac{8\pi\mu_{ion}\epsilon_0}{r_c^2 \ln \frac{r_c}{r_f}} \quad (\text{I-3})$$

Où  $\mu_{ion}$  est la mobilité des ions dans l'air ( $\text{m}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $\epsilon_0$  est la permittivité du vide ( $8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$ ).

### I.6 Mécanisme de développement décharge couronne

Les recherches antérieures ont conduit à distinguer deux processus de développement de la décharge :

- Le premier est la décharge de Townsend qui fait intervenir tout l'intervalle inter-électrodes.
- Le second correspond à l'apparition de lueurs dans l'intervalle prenant de filament ce qu'on appelle streamer [3].

#### I.6.1 La décharge de TOWNSEND et critère d'auto entretien de la décharge

Les ions positifs produits dans l'espace inter-électrodes lors de l'avalanche électronique dérivent vers la cathode. Si ces ions ont une énergie suffisante, ils peuvent arracher des électrons par bombardement de la cathode lesquels viendront renforcer l'avalanche. Lorsque l'intensité du champ électrique est suffisante, ce phénomène devient important. L'avalanche s'auto entretient et le claquage se produit même si la tension n'est plus appliquée.

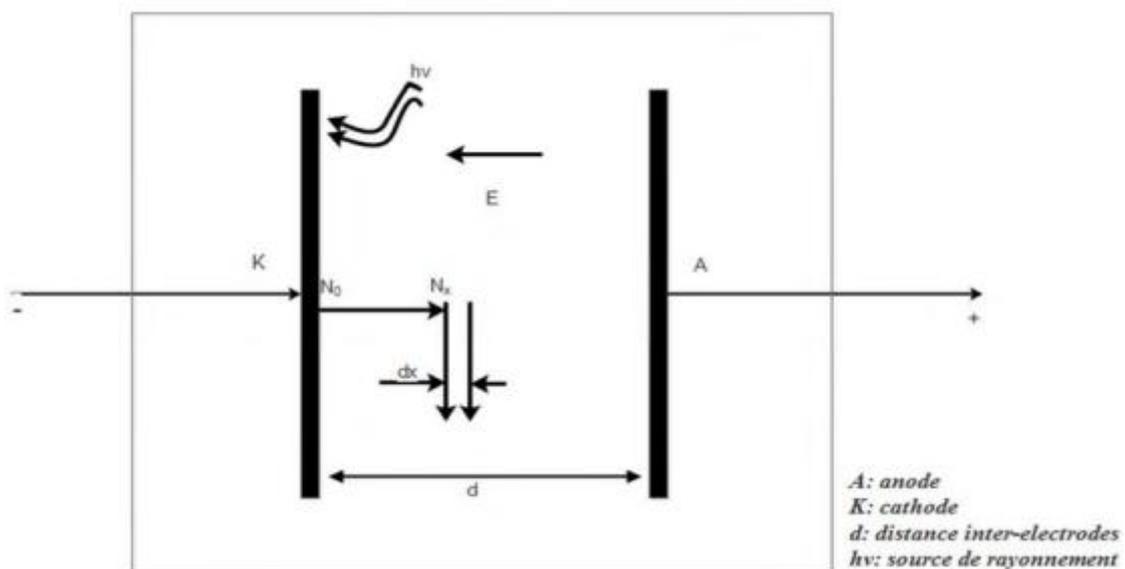


Figure I.9 Décharge de Townsend à courant continu

Townsend a proposé en 1914 l'introduction d'un coefficient d'ionisation «  $\alpha$  » appelé premier coefficient de Townsend en vue de traduire mathématiquement ce phénomène d'ionisation. Ce coefficient dépend du champ réduit «  $E/N$  » (avec  $N$  désignant la densité du gaz) et de «  $1/\alpha$  »

qui représente le libre parcours moyen d'un électron entre deux collisions ionisantes. L'apparition d'un électron primaire au niveau de la cathode se traduit par l'arrivée de «  $\exp(\alpha d)$  » électrons au niveau de l'anode. Ce processus est appelé « avalanche électronique » [18].

La relation de Townsend s'écrit alors :

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

Avec :

I : Courant (A).

$I_0$ : Courant initial dû aux électrons primaires (A).

d : Distance inter électrodes (m).

$\alpha$  : Premier coefficient de Townsend ( $\text{m}^{-1}$ ).

En dehors de ce mécanisme de multiplication des électrons proposé par Townsend, des électrons secondaires peuvent être émis par impact d'ions positifs «  $M^+$  » sur la cathode ou par impact de photons émis par désexcitation radiative après impact électronique. La probabilité de produire ainsi des électrons secondaires se traduit par le critère d'auto-entretien de la décharge, où la condition d'apparition d'une décharge disruptive autonome (claquage) s'écrit [18] :

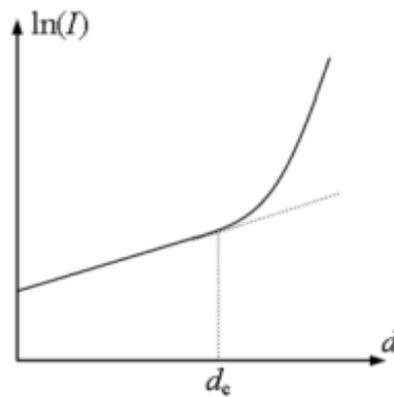
$$\gamma = (\exp(\alpha d) - 1) = 1 \quad (\text{I-5})$$

Comme ce mécanisme est consommateur d'électrons, il est considéré comme compétitif du mécanisme d'ionisation. Pour prendre en compte ce phénomène, il convient alors d'introduire dans la relation de Townsend une probabilité d'attachement d'électrons «  $\eta$  » :

$$I = I_0 \cdot \exp^{(\alpha - \eta)d} \quad (\text{I-6})$$

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

$$\gamma \cdot (\exp^{(\alpha - \eta)d} - 1) = 1 \quad (\text{I-7})$$



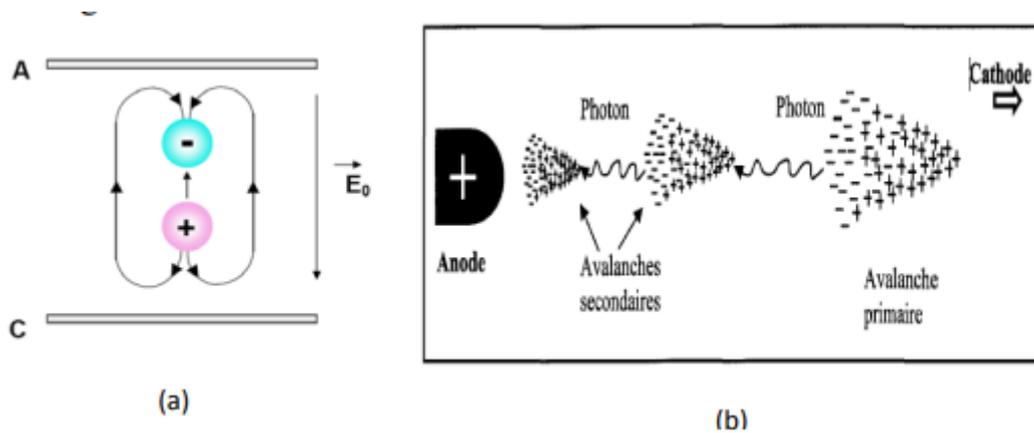
**Figure I.10** Courant de décharge en fonction de la distance inter-électrodes

### I .6.2 Théorie de Streamer

Le streamer apparaît sur une photographie statique comme un étroit filament lumineux ; l'émission lumineuse, qui en résulte, provient essentiellement des photons créés en tête du streamer. Dans ce cas, la photo-ionisation du gaz, au sein de la charge d'espace générée par la première avalanche de Townsend près de la cathode, joue un rôle important. Les électrons accélérés par le champ électrique excitent, par collision, des molécules neutres qui, en revenant à leur état fondamental, émettent des photons. Ces derniers sont absorbés par le gaz inter-électrodes. Dans l'air, les molécules d'azote excitées peuvent émettre des photons avec une énergie supérieure à 13 eV, capables d'ioniser les molécules d'oxygène dont le potentiel d'ionisation n'est que de 12,2 eV. Les électrons produits vont créer de nouvelles avalanches secondaires selon le même mécanisme de multiplication électronique décrit par Townsend. Ces avalanches secondaires vont se développer vers la charge d'espace positive en formant un canal d'étincelles. Ce phénomène de streamer est caractérisé par un temps de développement d'environ  $10^{-8}$  secondes [19]. Des critères ont été proposés par Meek et Raether pour estimer le champ électrique permettant la transformation d'une avalanche en streamer. Raether a établi un critère simple qui exprime que l'avalanche doit atteindre une taille critique  $L_c$  pour que le streamer puisse se développer. Dans le cas d'un champ non uniforme, si l'on désigne par  $E_s$  le champ à la surface de l'anode et  $E_c$  le champ critique du minimum d'ionisation correspondant à  $(\alpha - \eta = 0)$ , distance ce critère s'écrit :

$$\int_0^{L_c} (\alpha - \eta) dx = 1,5 \cdot 10^8 \text{ électrons} \quad (\text{I-8})$$

L'expression ci-dessus est obtenue du critère de claquage de Townsend et du critère de Meek. Ce dernier critère exprime que le champ de la charge d'espace  $E_p$  est du même ordre de grandeur que le champ  $E_s$  à la surface de l'anode [3].



**Figure I.11** Génération d'avalanches secondaires dans un processus de décharge positive.

### I.7 Loi de Paschen

Pour déclencher une décharge, elle doit être alimentée par une tension minimale, c'est ce qu'on appelle la tension de claquage, qui est liée à la loi de Paschen, loi représentée à partir de la courbe caractéristique [20] :

$$V_c = f(p \cdot d) \quad (\text{I-9})$$

Courbe dépend aussi de la nature du gaz :

$V_c$  : tension de claquage.

$P$  : pression du gaz.

$D$  : distance inter-électrode.

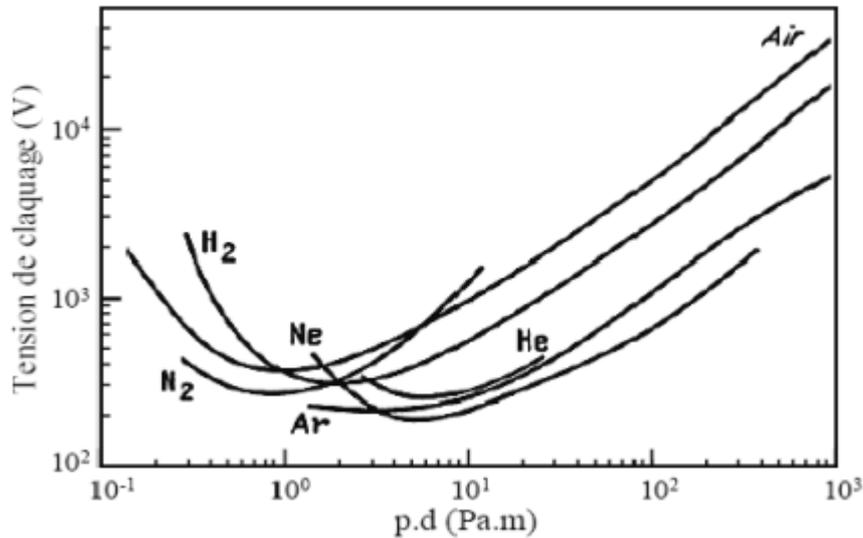


Figure I.12 Loi de paschen pour différents gaz.

### I.8 Les facteurs influençant la décharge couronne

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

Parmi ces facteurs on distingue :

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

#### I.8.1 Facteurs géométriques

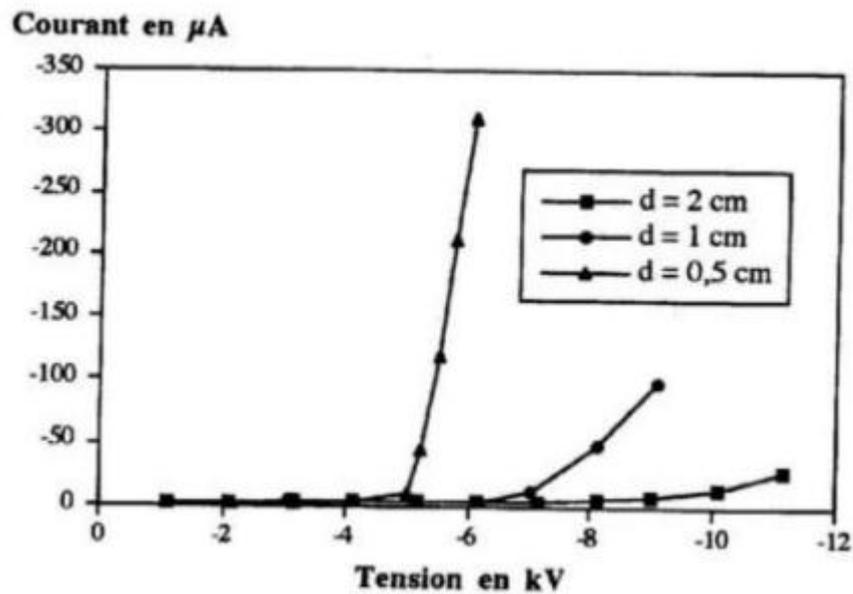
##### (1) Rayon de la courbure

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

##### (2) Distance inter-électrodes

L'influence de la distance inter-électrodes sur les paramètres de la décharge est montrée sur la figure (I.13).

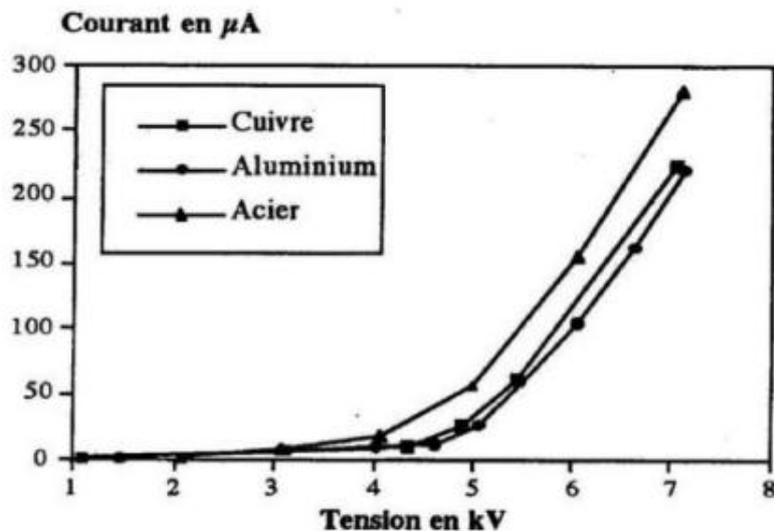
Il apparaît clairement que le courant est plus important et croît plus rapidement avec la tension appliquée pour de faibles distances inter-électrodes. De plus, les seuils de décharge couronne apparaissent pour de faibles valeurs de tension dans le cas des distances inter-électrodes petites [18].



**Figure I.13** Influence de la distance inter-électrodes sur le courant de la décharge couronne en polarité négative.

### (3) Nature des électrodes

La caractéristique courant-tension est représentée selon la nature des électrodes (cuivre, aluminium, et acier) sur la figure (I.14). A cette fin les valeurs de courant de l'acier s'avèrent supérieures à celles de l'aluminium et du cuivre qui sont très proches. À l'inverse, l'acier a une tension de seuil inférieure à celle de l'aluminium et du cuivre [21].



**Figure I.14** Caractéristique courant-tension selon la nature des électrodes en polarité positive.

**(4) Etat de surface**

L'état de surface des conducteurs est un paramètre important par le fait que, plus il se dégrade plus que les pertes augmentent et plus le champ perturbateur est élevé [22]. De manière générale, la pollution de l'air autour des conducteurs des lignes électriques est un facteur de dégradation important. L'eau de pluie peut rendre les fils rugueux et augmenter l'effet corona [21].

**I.8.2 Les facteurs physico-chimiques****(1) Effet de la température sur la décharge couronne**

À pression normal, à mesure que la température augmente, la rigidité de l'air diminue suffisamment pour faciliter la décharge couronne, car lorsque la température augmente le libre parcours moyen augmente et les électrons gagnent plus d'énergie pour former une avalanche, provoquant ainsi la circulation du courant. Le seuil de décharge diminue à des températures élevées du gaz. L'augmentation de la température entraîne une augmentation de la mobilité des bons ions. Nous obtenons alors une plus grande intensité d'ionisation dans l'espace corona et le courant dans la région externe augmente. L'effet de tension généré par le courant elle semble diminuer et la densité du gaz augmente à mesure que la température augmente, de sorte que lorsque la température augmente, la vitesse de migration et l'efficacité du dépoussiérage diminuent.

**(2) Effet de L'humidité sur la décharge couronne**

Effet de l'humidité sur la rigidité diélectrique de l'air est très important, surtout le champ électrique n'est pas uniforme.

Ce phénomène serait lié d'une part à l'accroissement de l'attachement des électrons libres, du fait de la présence de vapeur d'eau dans l'air (grande électronégativité) et d'autre part à la plus grande absorption des photons entête des streamers, dans la région où se produisent les avalanches secondaires par photo-ionisation [23]. Le seuil d'apparition de la décharge couronne survient à des tensions toujours plus basses pour 90% que pour 5% d'humidité relative [24]. Cette différence pourrait s'expliquer par l'augmentation de la conductivité de l'air lorsque l'humidité relative de la cellule de décharge augmente.

### (3) Effet de la pression sur la décharge couronne

L'effet de la pression sur le courant de décharge fourni par la source d'ions est très marqué [25]. Selon la loi de Paschen, plus la pression augmente, plus le nombre de particules dans l'espace inter-électrodes augmente, et les libres parcours moyens des particules chargées diminuent. Par conséquent, l'ionisation de l'air est réduite. Le seuil d'apparition de la décharge couronne augmente avec la pression, par contre la mobilité des porteurs de charges diminue.

### (4) 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 est proportionnelle à la densité de l'air :

$$U_{dn} = \frac{U_d K_h}{\delta} \quad (\text{I-10})$$

Avec :

$U_d$  : Tension de claquage dans les conditions normales.

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

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 [22].

### I.8.3 Facteur électrique

La décharge couronne est influencée par les paramètres électriques de la tension appliquée au système d'électrodes à savoir [22]:

- La forme d'onde (continue/ sinusoïdale / triangulaire / rectangulaire)
- L'amplitude
- La fréquence
- La largeur d'impulsion

### I.9 Application de la décharge couronne

Actuellement la décharge couronne est largement utilisée dans de nombreuses applications surtout physico-chimiques parmi les principales applications sont [26] :

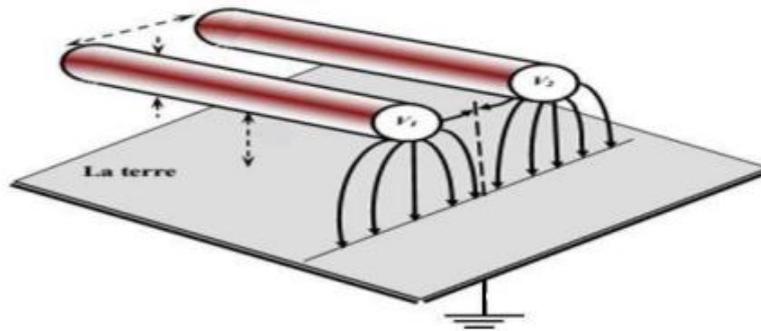
- Traitement de surfaces par un nettoyage et une modification de la chimie des surfaces.
- Traitement et dépollution des gaz, par l'élimination des effluents toxiques présents en quantité minoritaire dans des milieux gazeux occupant de grands volumes (ce qui est le cas des gaz d'échappement).
- Fabrication de l'ozone à partir d'un fort taux de production d'oxygène ou de l'air sec.
- Production de plasma et d'éclairage.
- Séparation électrostatique de matières conductrices et non-conductrices.

### I .10 Les avantages liés à la décharge couronne

Quand le champ superficiel dépasse le seuil critique, les charges créées par effet couronne éliminent par neutralisation une partie des charges du conducteur. Ceci provoque la diminution du champ superficiel et du potentiel du conducteur. On dit que l'effet couronne est un régulateur de tension. Donc la décharge couronne amortit les surtensions sur les lignes surtout les surtensions dues à la foudre. Lorsque l'effet couronne se produit autour du conducteur dans l'air environnant celui-ci acquiert une grande conductivité et le diamètre du conducteur tend à augmenter, ce qui paradoxalement réduit le champ électrique. Des calculs récents effectués sur des modèles simulés d'une ligne de 220 kV soumise à une onde de choc 1,2/50 s simulant une surtension atmosphérique, l'atténuation de la surtension atteint 60% quand on s'éloigne de 7 km du point d'impact de cette surtension [27].

### I .11 Problèmes liés à la décharge couronnes

Parmi les défis rencontrés dans les lignes de transmission d'électricité à haute tension Figure (I.15) la perte de puissance électrique due à l'effet couronne. Bien que ces pertes soient négligeables par beau temps, elles deviennent significatives en période de pluie. En effet, les gouttes d'eau sur les conducteurs s'allongent sous l'action du champ électrique, ce qui provoque un effet de pointe intense et déclenche l'effet couronne, multipliant les pertes par 100 au début d'une averse. Cependant, lorsque le fil est mouillé, il n'y a plus de formation de gouttes et les pertes diminuent. Un fil gras favorise la formation de gouttes et, par conséquent, les pertes dues à l'effet couronne, tandis qu'un fil propre les réduit. Les pertes peuvent atteindre 100 kW par kilomètre de ligne.



**Figure I.15** Représentation schématique des lignes de champ pour une ligne de transmission [15].

Comme on peut citer d'autres problèmes liés à la décharge couronnes [15] :

1. Produire des bruits acoustiques directement rayonnés par les conducteurs, clairement Audibles.
2. Perturber certaines fréquences (radio et télévisuelles, avec des perturbations qui ne doivent Pas être confondues avec une autre forme de perturbation des images de télévision...etc).
3. Une perte de puissance et une usure accélérée de certains composants de la ligne (conducteurs, pinces d'ancrages, supports, chaînes d'isolateurs). La vibration du câble associée à l'effet couronne ne dépasse pas, en général une dizaine de centimètres et la fréquence naturelle de la portée mais peut conduire à la fatigue des conducteurs et leurs éléments de support.
4. Produire des vibrations (« le galop des lignes électriques »), qui vont ajouter leurs effets à ceux des vibrations des câbles aériens et accélérer le vieillissement des câbles, plus la surface d'un conducteur est dégradée, plus l'effet couronne sera important et plus le champ perturbateur sera élevé. Ces 3 phénomènes apparaissent notamment sous la pluie ou par temps très humide « s'émettent à vibrer à la fréquence naturelle du conducteur, par faible vent sur les lignes à haute tension lorsque des gouttes d'eau sont suspendues sous les conducteurs en condition de pluie, de neige ou de brouillard intense » Ou de présence de gouttes d'eau suspendues sur le dessous d'un câble; « la présence intermittente de la charge d'espace et du vent ionique situé à proximité immédiat des gouttes d'eau suspendues au conducteur sont les causes principales de ce phénomène ». L'ampleur et la localisation vont dépendre de plusieurs paramètres valeur et

polarité du champ électrique à la surface du conducteur, intensité des précipitations, vitesse du vent transversal, température.

5. Une pollution de l'air qui pourrait avoir localement un impact sur la santé d'animaux ou d'êtres humains à proximité des lignes de transport (l'ozone troposphérique est un polluant mais aussi un précurseur de plusieurs autres polluants de l'air).

### **I .12 Réduction de l'effet couronne dans les postes électriques**

Dans les postes électriques haute tension, les considérations précédentes restent valables. L'aspect de perturbations sur les fréquences radio devient critique, en raison de la présence d'équipements électriques sensibles. Les appareils HTB (sectionneur, Disjoncteur à haute tension, parafoudre...) doivent être conçus et testés pour limiter ces perturbations radioélectriques liées à l'effet couronne [28].

### **I .13 Conclusion**

La décharge couronne regroupe l'ensemble des phénomènes électriques qui se développent dans des intervalles gazeux, soumis à des champs fortement non uniformes obtenus par une configuration asymétrique des électrodes.

Ce chapitre initial est à l'origine une partie primaire qui constitue une étude théorique de la décharge couronne. En premier on y trouve quelques généralités sur la décharge couronne tel que sa définition et leur historique. Ensuite, nous avons discutés sur les différents régimes de la décharge « caractéristique : courant-tension ». Juste après on y a rapporté une théorie basique de TOWNSEND qui vise à offrir les informations possibles en vue d'expliquer le mécanisme de la décharge couronne. Ainsi, nous avons brièvement décrit ces différents mécanismes de développement de la décharge et cités les différents types de la décharge couronne et les facteurs influençant. En fin, des outils théoriques (Courbe de Paschen et équation de Peek) ont été présentés pour vulgariser l'étude paramétrique de notre objet d'étude.

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

# Chapitre 2

## **Chapitre II : Description de l'étude expérimentale**

### **II.1 Introduction**

Les travaux présentés dans ce chapitre ont été réalisés au sein du Laboratoire Haute Tension de l'Université A. Mira de Bejaia sous l'encadrement de Mr KASDI et Mlle CHOUALI.

Ce chapitre est consacré à l'étude et à la présentation de l'ensemble des moyens et du matériel expérimental utilisé dans ce travail. Ce dernier a pour but de déterminer les paramètres de la décharge couronne (tension de seuil, densité du courant et la caractéristique Courant-Tension).

Nous allons présenter dans cette partie une étude expérimentale de la mesure du courant et de la tension lors de la décharge couronne en géométrie fil-plan.

### **II.2. Description des installations expérimentales**

Les éléments installés dans cette expérience peuvent être classés en trois blocs :

- Les alimentations électriques.
- Les systèmes d'électrodes de décharge couronne.
- Les systèmes de mesures électriques.

#### **II.2.1. Les alimentations électriques**

Pour l'alimentation des électrodes actives de la décharge couronne on a utilisé une source de haute tension continue. L'équipement électrique est installé au laboratoire de haute tension à l'université de Béjaïa qui délivre des tensions continues ou alternatives variant de 0 à 140 kV dans les deux polarités. La figure (II.1) suivante illustre les éléments constitutifs de cette installation qui se compose :

- D'une source de basse tension SG1.
- D'un transformateur de haute tension alimenté par la source basse tension.
- D'une diode haute tensions C270.
- D'un condensateur de lissage  $C_{10}$
- D'une résistance d'amortissement du courant  $R_a$

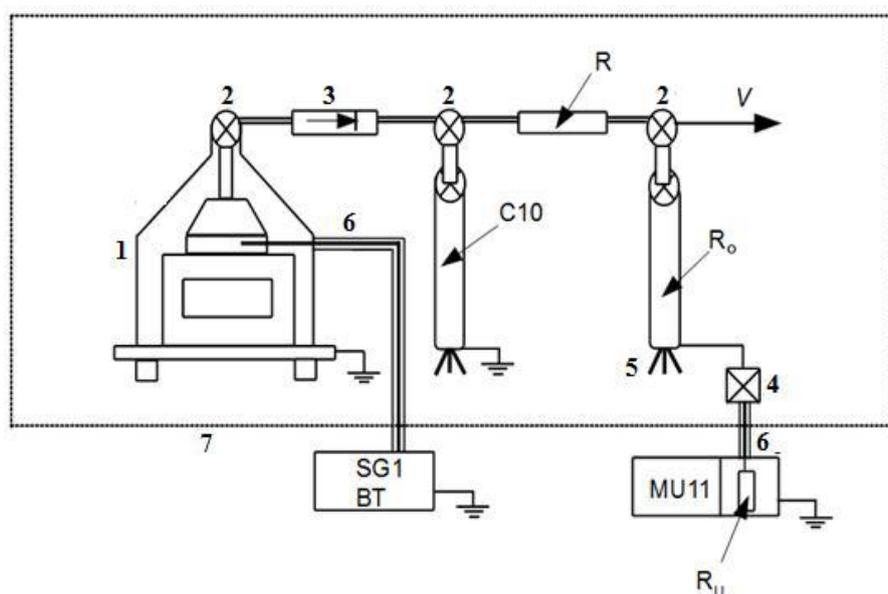


Figure II.1 Schéma en bloc de la source de haute tension utilisée.

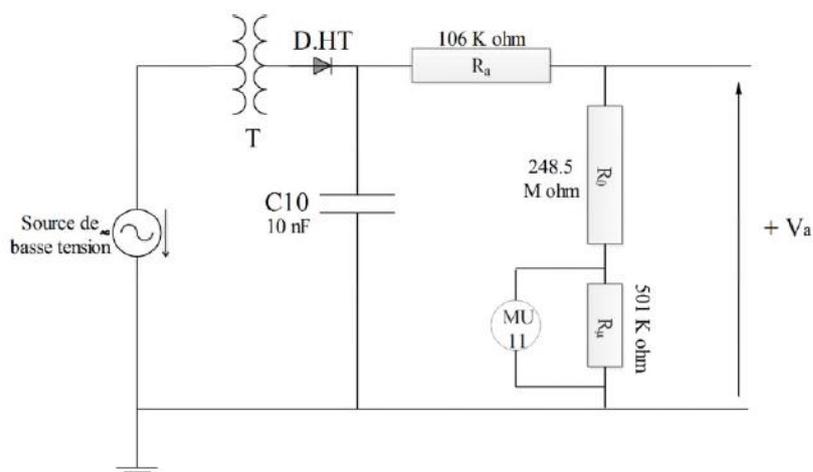
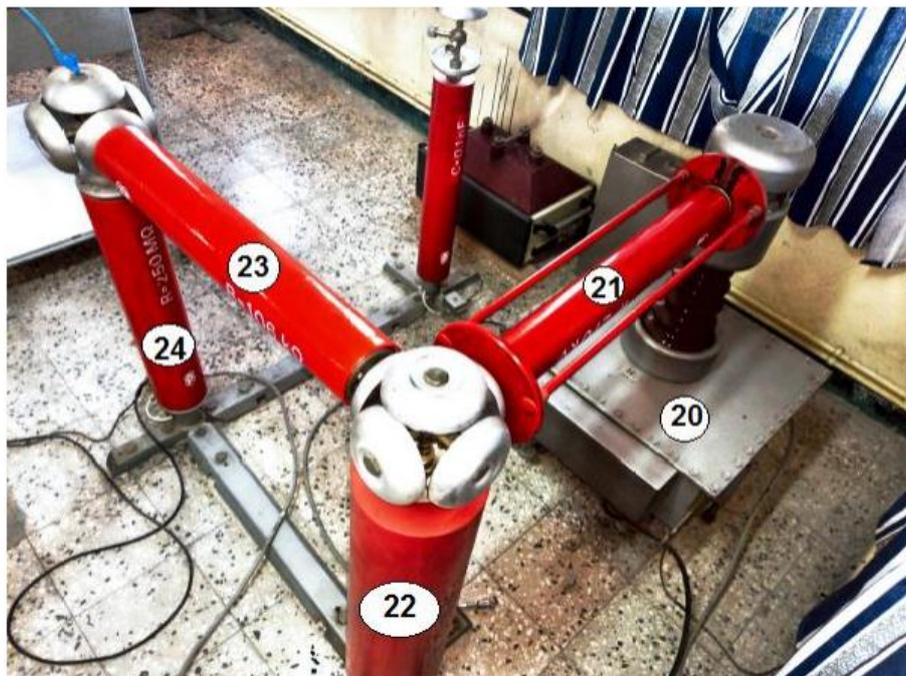


Figure II.2 Schéma électrique de la source de haute tension utilisée



**Figure II.3** Equipements de l'installation haute tension utilisée.

- (1) Voltmètre de crête (MU11).
- (2) Pico ampèremètre.
- (3) Générateur de basse tension (SG1).



**Figure II.4** Installation haute tension utilisée du laboratoire de Bejaia.

20 : Transformateur haute tension(T100).

21 : Diode haute tension (G720).

22 : condensateur de lissage (C10).

23 : Résistance d'amortissement( $R_a$ ).

24 : Résistance haute tension ( $R_0$ ).

28 : Grille de protection.

L'enroulement primaire du transformateur élévateur T100 (20) utilisé dans cette installation (ayant un faible pas de variation de 100 V environ et délivrant des hautes tensions) est alimenté par une source basse tension variable (SG1) via un câble. On a associé à ce transformateur un redresseur mono-alternance afin d'obtenir une haute tension continue. Ce redresseur est constitué d'une diode haute tension (21) à base de silicium et d'un condensateur de lissage C10 (22) de capacité de 10nF. Une résistance  $R_a$  (23) de 106 k $\Omega$  relie le condensateur au système d'électrodes. Son rôle est d'amortir le courant, protégeant ainsi la diode des surintensités. Pour la mesure de la haute tension continue  $V_a$ , nous disposons d'un diviseur de tension résistif composé d'une résistance haute tension  $R_0$  (24) de 248,5 M $\Omega$  et d'une résistance basse tension  $R_u$  (27) de 501 k $\Omega$  incorporée dans le voltmètre de crête MU11. Ces deux résistances sont reliées par un câble coaxial (26) blindé.

### II.2.2 Dispositif Expérimental

L'ensemble du dispositif expérimental pour la géométrie fil-plan réalisé est représenté sur la figure (II.5). Le système d'électrodes et les éléments mis sous haute tension sont isolés par une grille séparatrice (cage de protection (3)) du manipulateur et des autres appareils de mesure basse tension. L'électrode active (1) de différent rayon ( $R_f=0.15, 0.125, 0.2, 0.25$  mm), tendue à une hauteur  $H$  variable (40mm, 50mm, 60mm, 70mm et 80mm) par des supports isolants en plexiglas (2), est reliée à la haute tension continue  $V_a$ . Cette installation haute tension est composée principalement d'un générateur de basse tension (10), puis à l'aide d'un transformateur élévateur et d'un circuit redresseur, on génère une haute tension continue qui sera de l'ordre de kilovolts (9). Pour mesurer le courant de décharge, un pico ampèremètre (13) est connecté à la sonde circulaire de mesure (A).

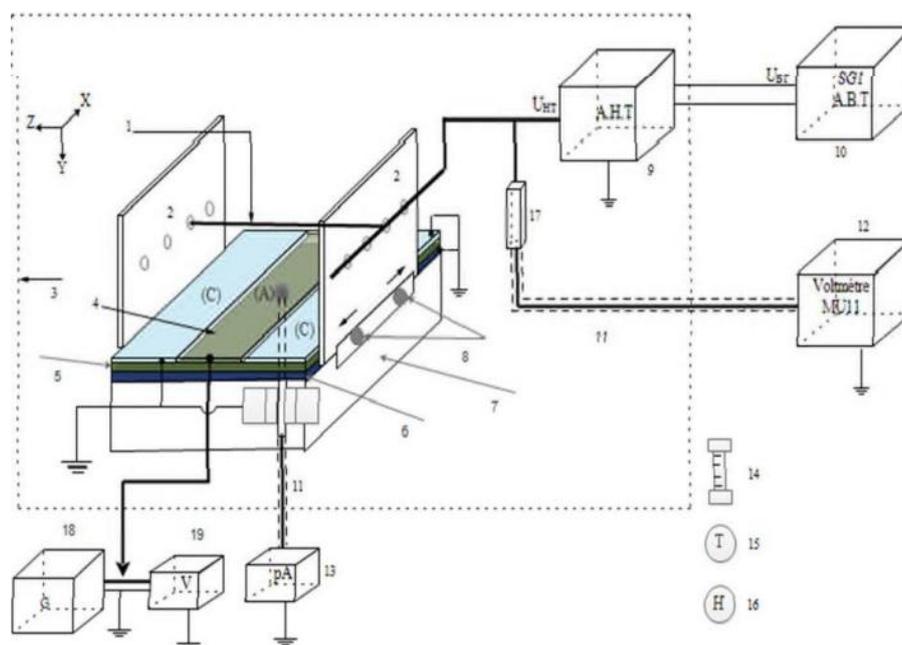


Figure II.5 Constitution du dispositif expérimental.

A : Collecteur de courant.

C : Plans de garde.

1 : Électrodes actives.

2 : Supports des électrodes actives.

3 : Cage de protection.

4 : Plan de mesure.

5 : plaque isolante en Bakélite (38/55).

6 : Plaque isolante en plexiglas (38/55).

7 : Support en bois.

8 : Système coulissant.

9 : Source haute tension.

10 : Source basse tension.

11 : Câbles coaxiaux.

12 : Voltmètre de crête (MU11).

13 : Pico-ampèremètre.

14 : Baromètre à mercure.

15 : Thermomètre à mercure.

16 : Hygromètre à cheveux.

17 : Résistance haute tension.

18 : Source de polarisation basse tension.

19 : Voltmètre

### II.2.2.1 Système d'électrode

Le système d'électrodes utilisé dans notre étude est celui de la géométrie fil-plan décrit précédemment. Il est composé de deux électrodes principales. L'une constitue le fil qui est l'électrode active (1) à faible rayon de courbure et l'autre est plane représentant le plan de mesure (4) et d'un ensemble de surfaces côtières qui représentent les plans de garde (C) qui sont mis à la terre, figure (II.5). L'électrode active, portée au potentiel  $V_a$ , est tendue parallèlement par un support en bois à une hauteur  $H$  du plan de mesure. Les plans de gardes (C) entourent la plaque de mesure (4) formant avec celle-ci des intervalles d'air très réduits pour assurer la continuité de la distribution du champ aux bords de la sonde. Cette dernière étant fixe, la mesure du champ en différents points du plan se fait par le déplacement de l'électrode active.



**Figure II.6** Dispositif expérimental configuration Fil-plan.

### II.2.3. Systèmes de mesure

#### II.2.3.1. Mesure des tensions

##### II.2.3.1.1. Tension appliquée aux électrodes actives

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

$$U = K \cdot u \quad (\text{II-1})$$

avec :

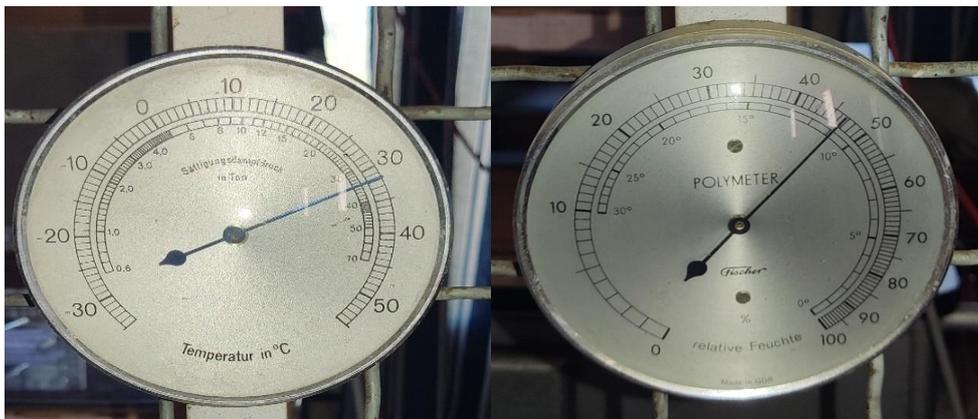
$$K = \frac{R_0 + (R_e // R_u)}{(R_e // R_u)} = \frac{R_e R_0 + R_u R_0 + R_e R_u}{R_e R_u} = 665 \quad (\text{II-2})$$

#### II.2.3.2. Mesure du courant

Le courant  $I_s$  traversant la sonde est mesuré à l'aide d'un pico ampèremètre relié par l'intermédiaire d'un câble coaxial blindé au collecteur (A), figure (II.5). La précision des mesures dépend, d'une part, de la position du collecteur par rapport au plan de mesure, et d'autre part, du courant de fuite causé par l'accumulation de poussière environnante entre les deux parties (4) et (A). Il est recommandé de nettoyer régulièrement la sonde et les plans de garde avant chaque essai et de vérifier que le collecteur est au même niveau de surface que la plaque de mesure. Avant chaque essai, on a été obligé de contrôler les continuités entre toutes les plaques ainsi qu'avec la sonde de mesure.

#### II.2.3.3 Mesure des paramètres de l'air

Étant donné la sensibilité de la décharge couronne aux paramètres physiques de l'air. Il est alors nécessaire de tenir compte des conditions atmosphériques dont lesquelles les mesures expérimentales ont été prises. Et pour cela nous avons effectué durant l'étude expérimentale, des relevées, de température à l'aide d'un thermomètre à cheveux, et de l'humidité à l'aide d'un hygromètre à cheveux, et de la pression, à l'aide d'un baromètre à mercure.



**Figure II.7** le thermomètre à aiguille et l'hygromètre à cheveux disponibles au laboratoire haut tension.



**Figure II.8** baromètre à mercure utilisé dans la mesure de pression.

### II.3 Conclusion

Ce chapitre est consacré à la présentation du dispositif expérimental, nous avons présenté aussi la méthode de mesure des différents paramètres essentiels qui caractérisent la décharge couronne.

Dans le chapitre qui va suivre, nous présenterons les résultats de ces expériences et analyserons les caractéristiques de l'électrode en géométrie fil-plan.

# CHAPITRE 3

## Chapitre III : Résultats et interprétations

### III.1 Introduction

Pour étudier la décharge en géométrie fil-plan, une étude expérimentale a été effectuée comme nous l'avons évoqué dans le chapitre précédent. Ce chapitre vise à présenter et interpréter les résultats expérimentaux menés au laboratoire de haute tension de l'université de Bejaïa.

Nous allons relever la caractéristique courant tension et étudier l'influence de certains paramètres physique et géométriques sur cette dernière. Le principe consiste à mesurer simultanément la tension appliquée à l'électrode active et le courant de décharge collecté par le plan.

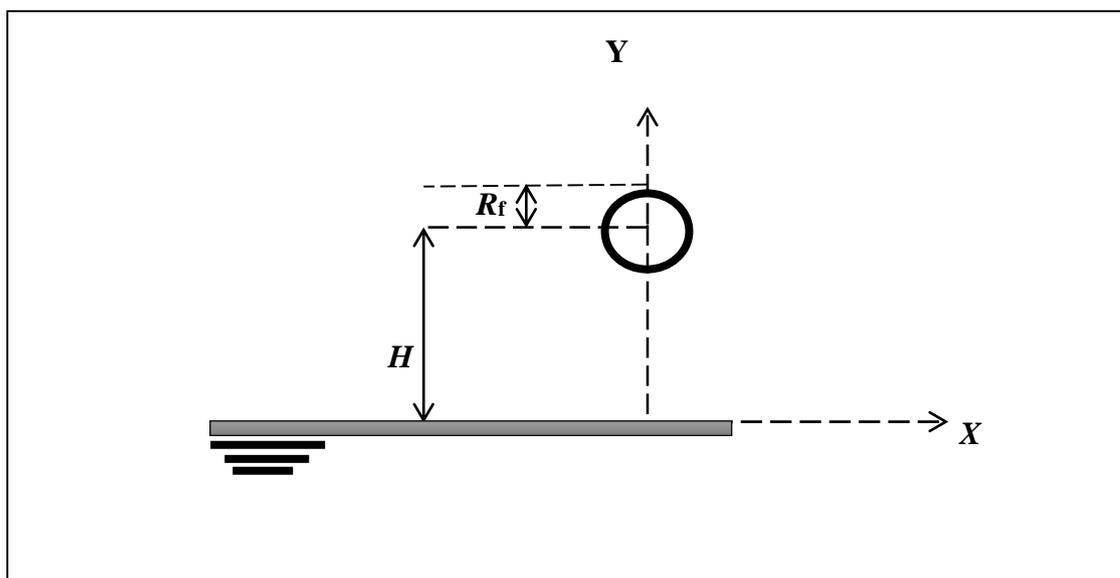
### III.2 L'électrode active

Pour comprendre le fonctionnement de la décharge couronne en géométrie fil plan, on a réalisé quelques essais sur la caractéristique courant-tension  $I(V)$  en fonction des paramètres suivants :

- Rayon du fil  $R_f$  ; 0.125 mm, 0.15mm, 0.2mm et 0.25mm,
- Distance inter-électrodes  $H$  : 40mm, 50mm, 60mm, 70mm et 80mm,
- La tension appliqué  $V_{app}$ .

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

- La tension appliquée au fil  $V_{app}$ .
- Le courant de décharge  $I$ .
- Les facteurs de géométrie  $K$ ,  $m$  et  $A$ .



**Figure III.1** Géométrie bidimensionnelle du système fil-plan.

### III.3 Caractéristiques courant-tension $I(V)$

Les caractéristiques courant-tension  $I(V)$  des différentes configurations d'électrodes couronnes ne se limitent pas à la composition du gaz, la température, la pression du gaz, la géométrie du système d'électrode, la polarité de la tension d'alimentation, les particules sur les électrodes et en suspensions dans le gaz, mais sont aussi en fonction de plusieurs variables liées entre elles [29].

Les caractéristiques courant-tension de la décharge couronne obéissent à la formule de Townsend, qui porte son nom. Initialement, il a utilisé cette loi dans la configuration fil-cylindre coaxial [30]. Après plusieurs tentatives, il a découvert que cette loi pouvait également être utilisée pour la géométrie fil-plan [31]. Selon cette loi le courant de la décharge couronne varie en fonction de la tension appliquée comme suit :

$$I = K \cdot V \cdot (V - V_0) \quad \text{(III-1)}$$

Ensuite, X. Meng [32] a proposé une autre formule, comme suit :

$$I = A \cdot (V - V_0)^m \quad \text{(III-2)}$$

Avec :  $I$  : Courant de la décharge,

$V$  : La tension appliquée

$V_0$  : La tension seuil d'apparition de l'effet couronne.

$K$ ,  $A$  et  $m$  sont des facteurs dépendant de paramètres physiques et géométriques.

Afin de déterminer ces facteurs, nous avons effectué un ensemble d'essais en relevant les caractéristiques Courant-tension de la décharge couronne en géométrie Fil-Plan en polarité positive et négative. De plus, nous avons fait varier le rayon du fil actif et la hauteur fil-plan.

Les valeurs des mesures effectuées ont été transcrites sur Matlab. Ensuite, ce dernier nous a permis de calculer et afficher les différentes caractéristiques prélevées.

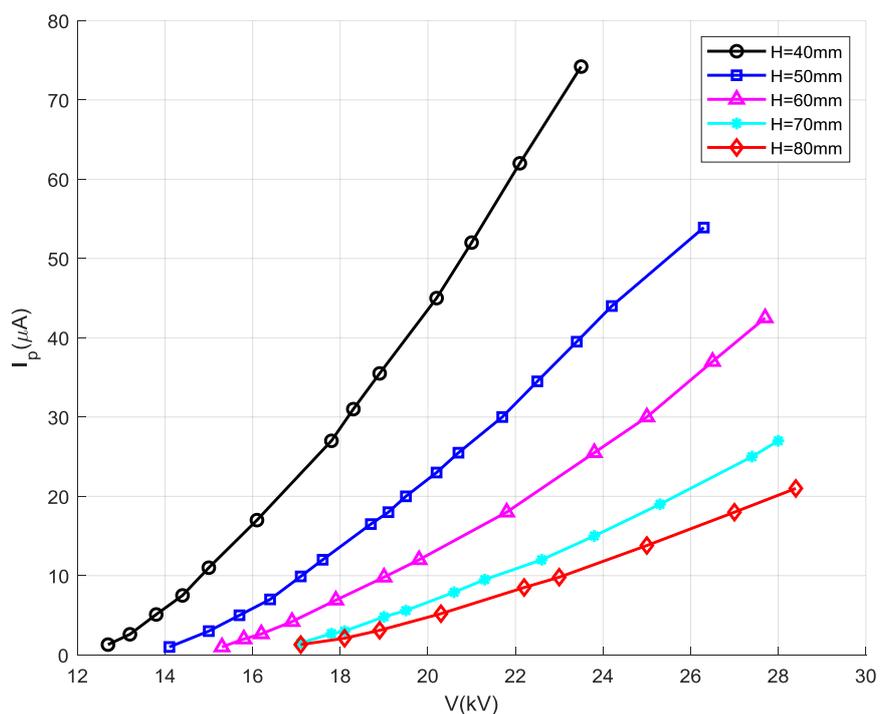
### III.3.1 Influence de la hauteur $H$

La caractéristique courant tension est obtenue en mesurant le courant de la décharge couronne en fonction de la tension appliquée en polarité positive et négative.

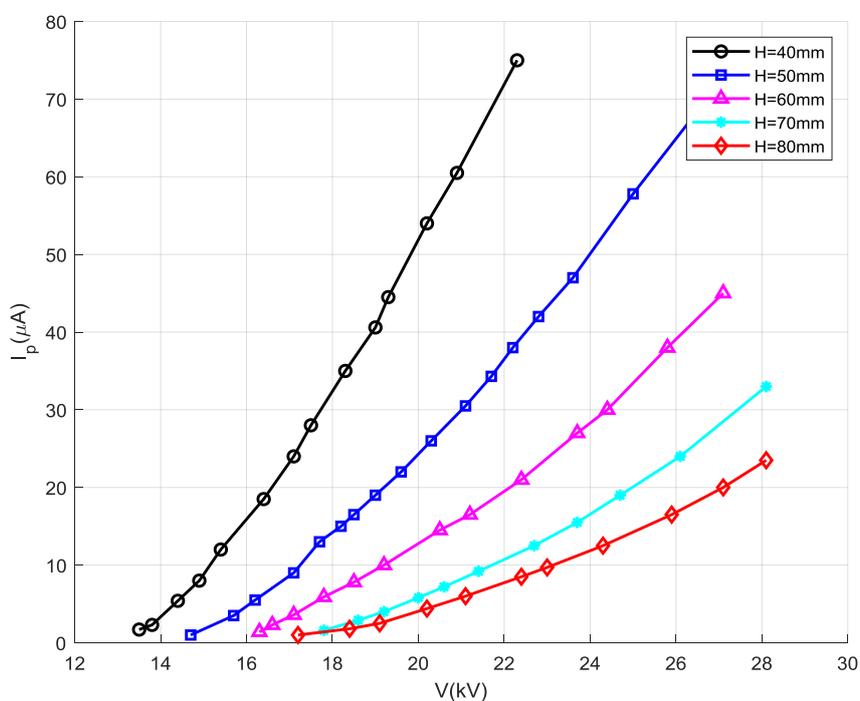
Ces essais consistent à faire varier la distance inter électrodes ( $H=40, 50, 60, 70$  et  $80\text{mm}$ ), pour les rayons de fil ( $R_f=0.125, 0.15, 0.2$  et  $0.25\text{mm}$ ) pour une température de  $15\text{C}^\circ$ , pression de  $1006\text{hPa}$  et l'humidité  $74\%$ , tout en mesurant le courant collecté par le plan en fonction de différentes valeurs de la tension appliquée  $V_{\text{app}}$  en polarité positive et négative.

Les résultats obtenus sont représentés sur les figures (III.2-III.5). On remarque d'abord que le courant de décharge est nul pour les faibles valeurs de la tension appliquée. Puis, à partir d'une certaine tension (seuil d'apparition de la décharge couronne) le courant augmente et devient de plus en plus élevé avec l'augmentation de la tension appliquée. Les caractéristiques Courant-Tension ont une forme quadratique (comme la loi de Townsend).

En outre, pour une même tension appliquée, on observe que le courant collecté au plan diminue avec l'augmentation de la distance inter-électrodes. Cela est dû à l'affaiblissement du champ électrique moyen situé entre les électrodes. Nous remarquons aussi que le seuil d'apparition de l'effet couronne est d'autant plus faible que la distance  $H$  est réduite.

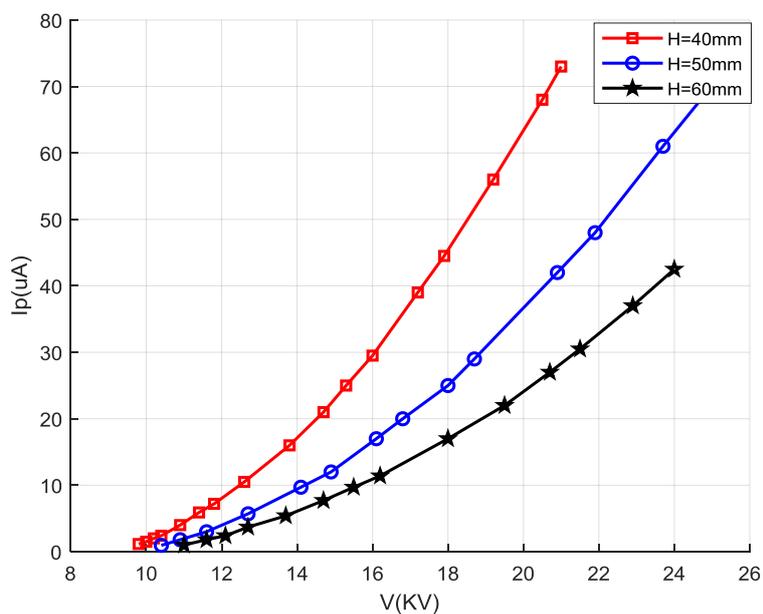


(a)

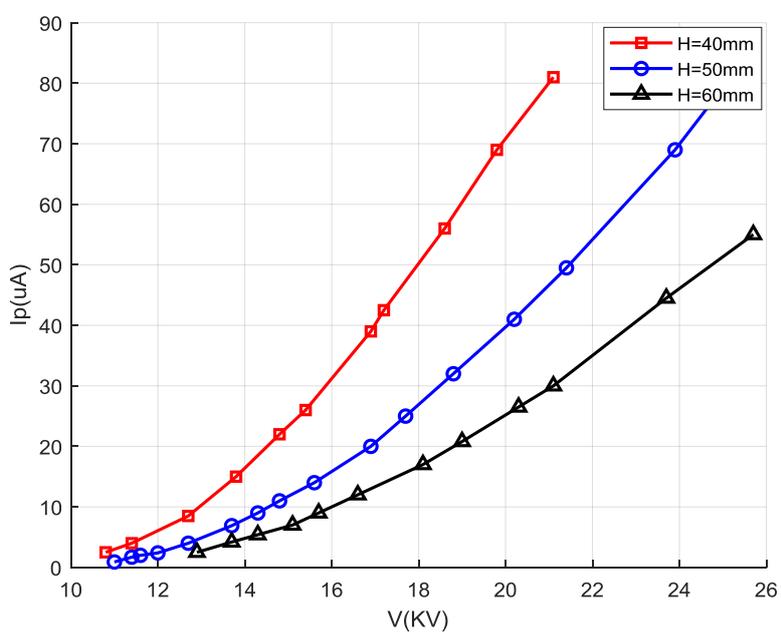


(b)

Figure III.2 Influence de la hauteur  $H$  sur les caractéristiques courant-tension  
 (a) polarité positive (b) polarité négative : ( $R_f=0.15\text{mm}$ )

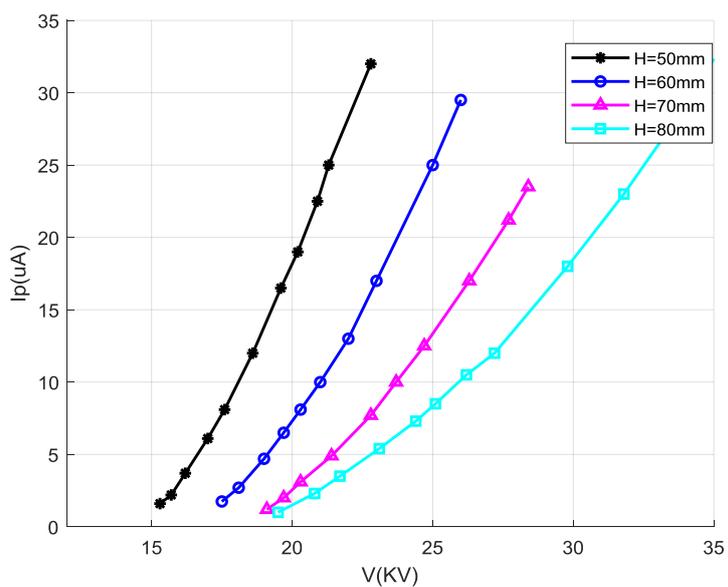


(a)

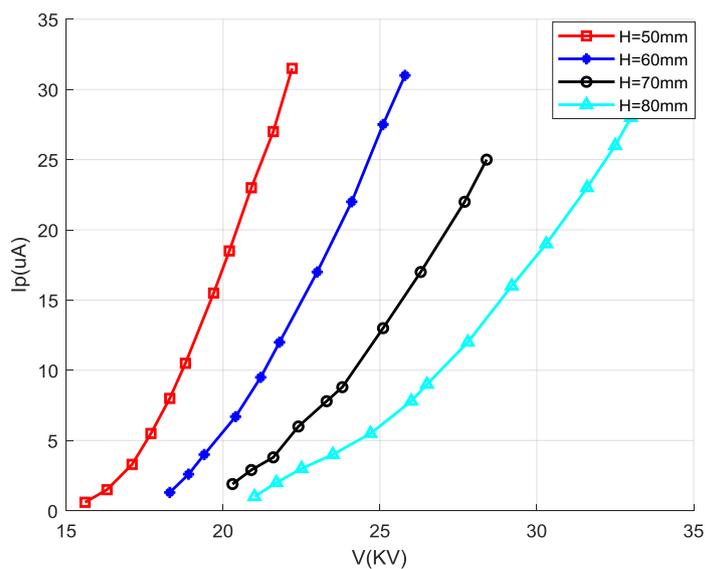


(b)

**Figure III.3** Influence de la hauteur  $H$  sur les caractéristiques courant-tension  
 (a) polarité positive (b) polarité négative : ( $R_f = 0.125$  mm)



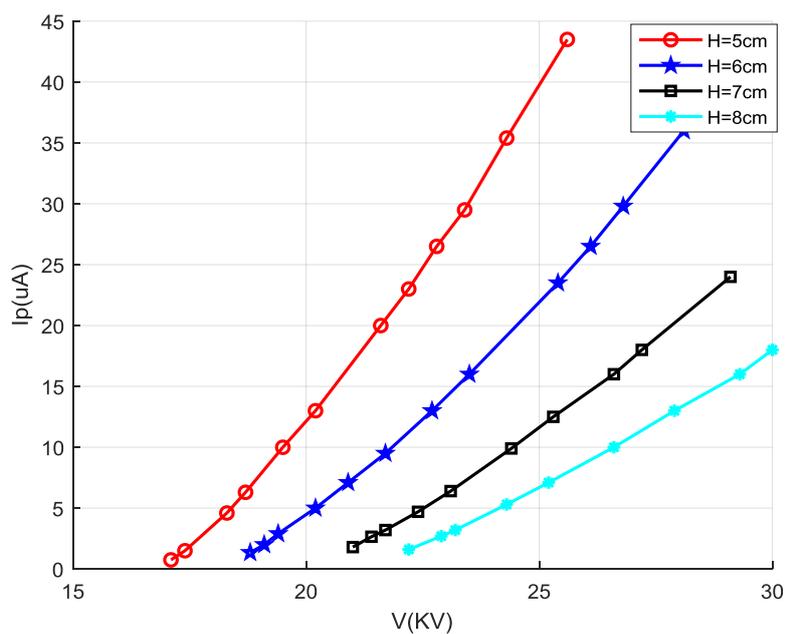
(a)



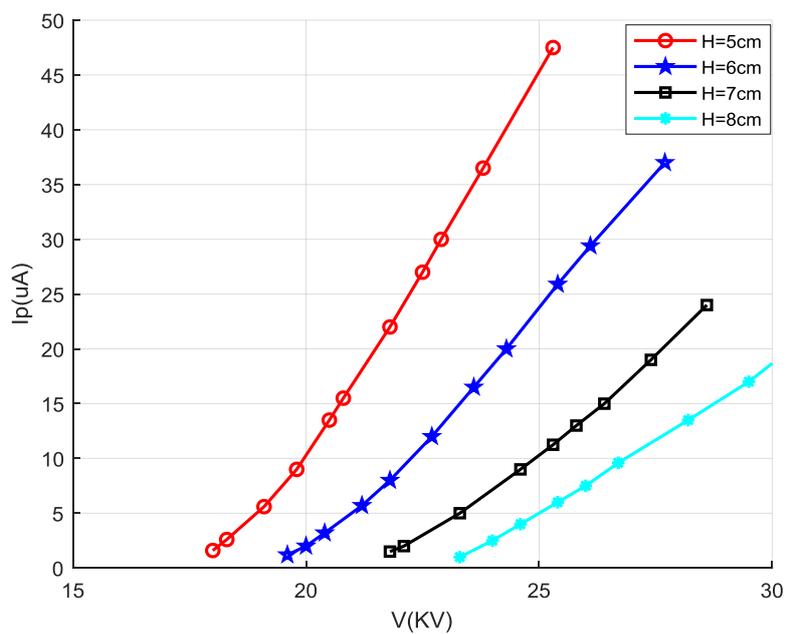
(b)

**Figure III.4** Influence de la hauteur  $H$  sur les caractéristiques courant-tension

(a) polarité positive (b) polarité négative : ( $R_f = 0.2 \text{ mm}$ )



(a)

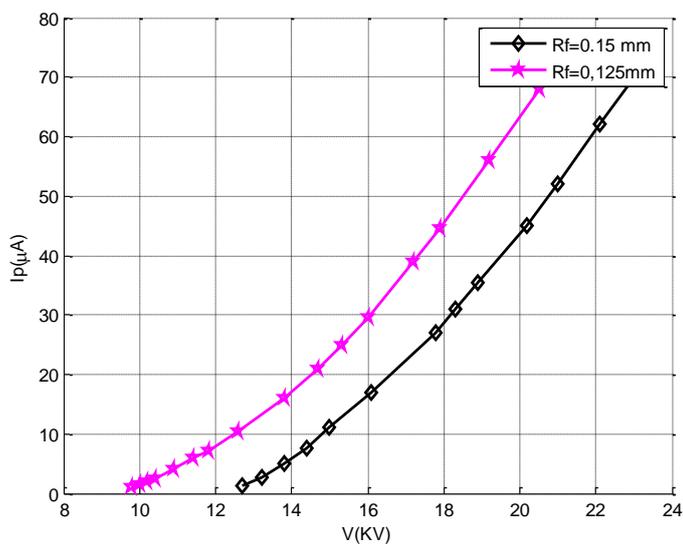


(b)

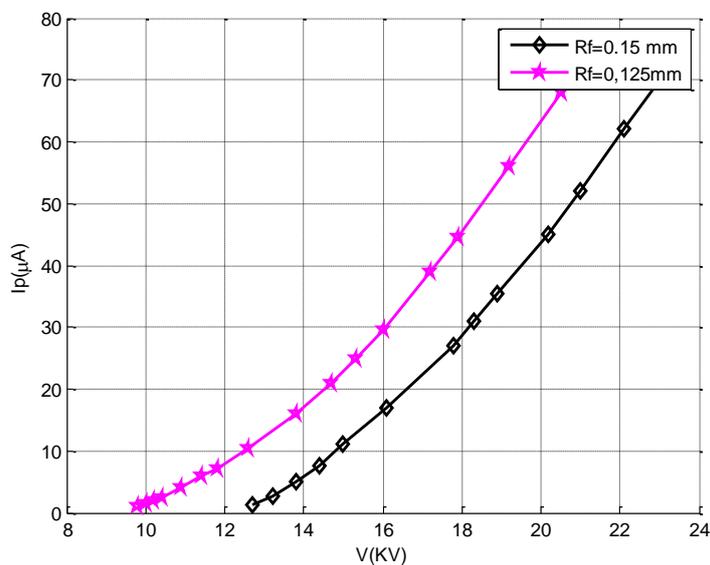
**Figure III.5** Influence de la hauteur  $H$  sur les caractéristiques courant-tension  
 (a) polarité positive (b) polarité négative : ( $R_f=0.25\text{mm}$ )

**III.3.2 Influence du rayon du fil**

Pour le système d'électrode fil-plan et une distance inter électrode constante on fait varier le rayon du fil ( $R_f=0.125, 0.15, 0.2$  et  $0.25\text{mm}$ ) selon les paramètres suivants ( $T=16\text{C}^\circ, P=1012\text{hPa}, H=66\%$ ) et on mesure le courant collecté par le plan en fonction de différentes tensions  $V_{app}$ , et cela pour les deux polarités positive et négative.

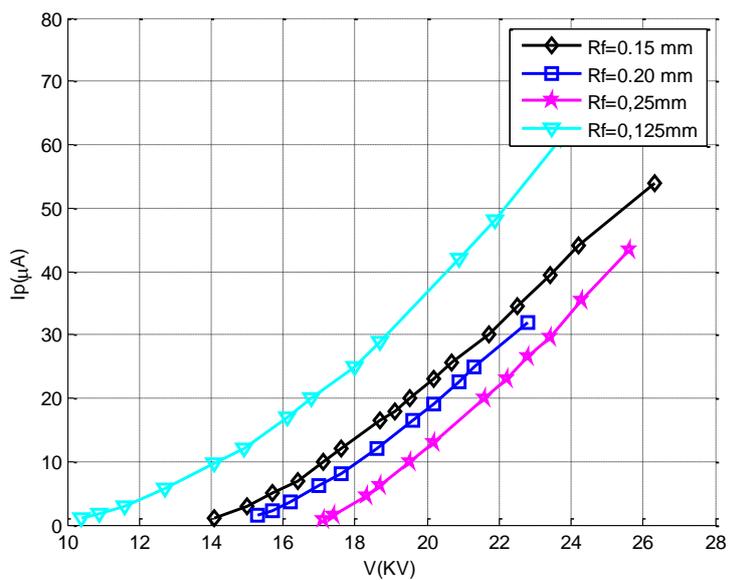


(a)

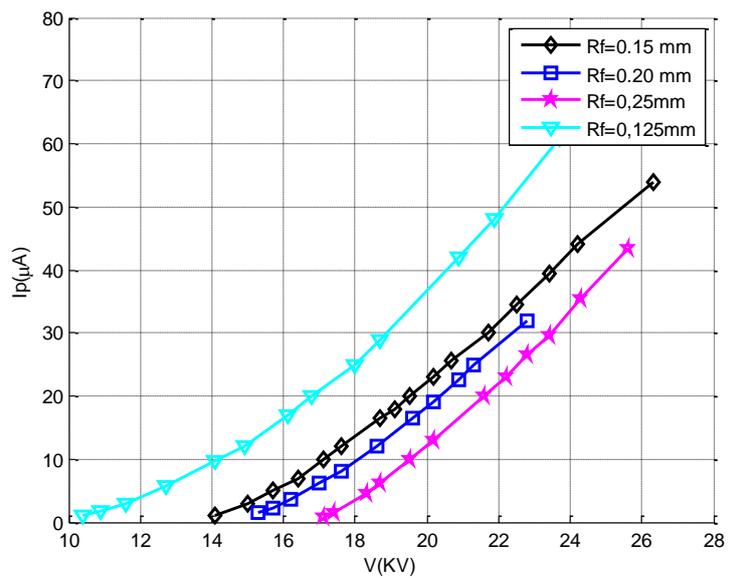


(b)

**Figure III.6** Caractéristique courant tension en fonction du rayon de fil (a) polarité positive (b) polarité négative ; ( $H=40\text{mm}$ )



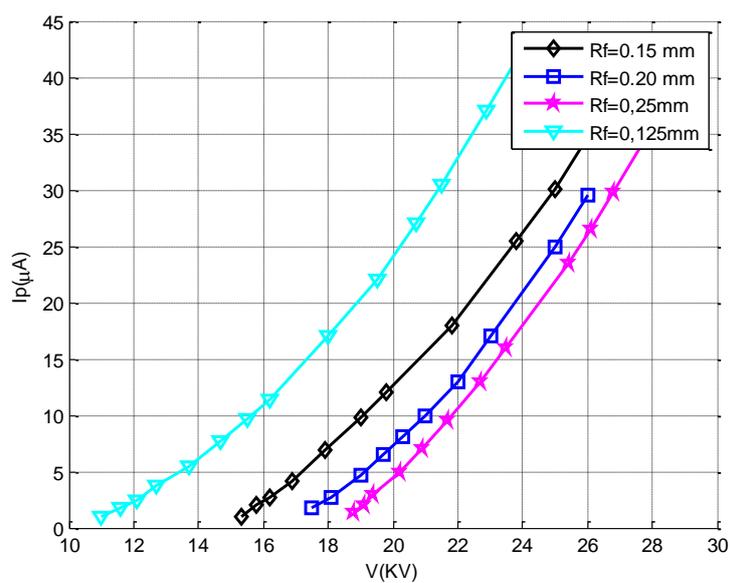
(a)



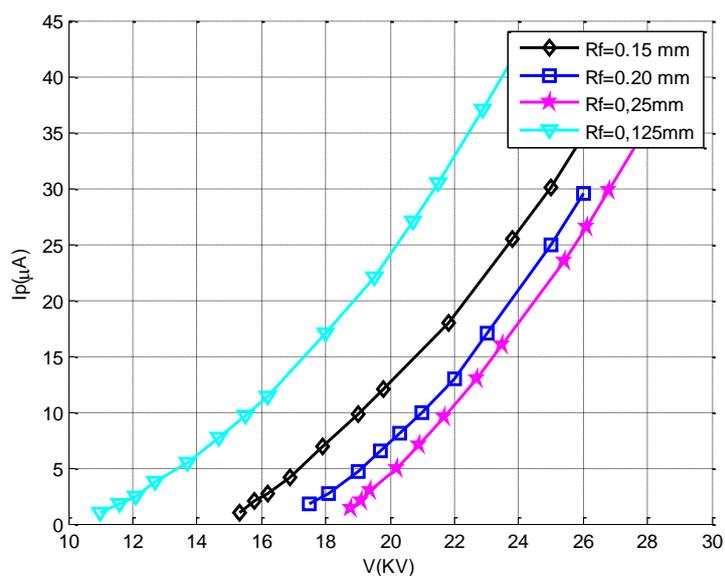
(b)

**Figure III.7** Caractéristique courant tension en fonction du rayon de fil

(a) polarité positive (b) polarité négative ; ( $H=50\text{mm}$ )



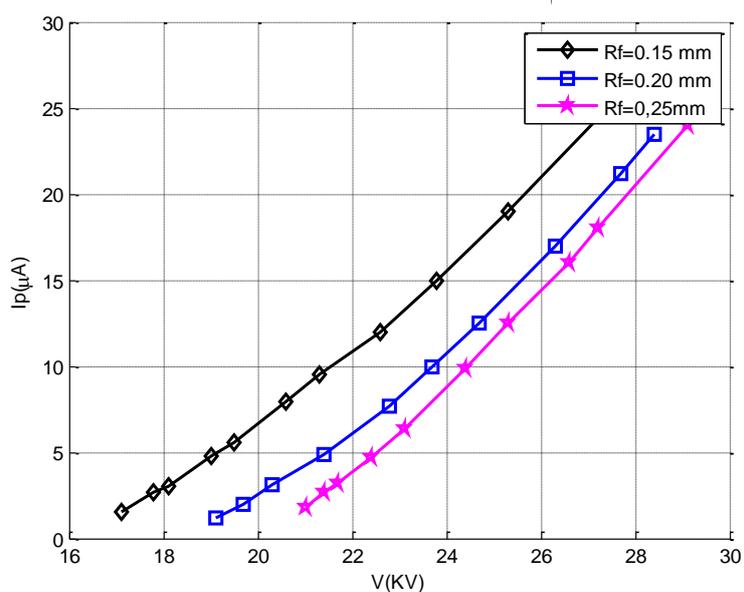
(a)



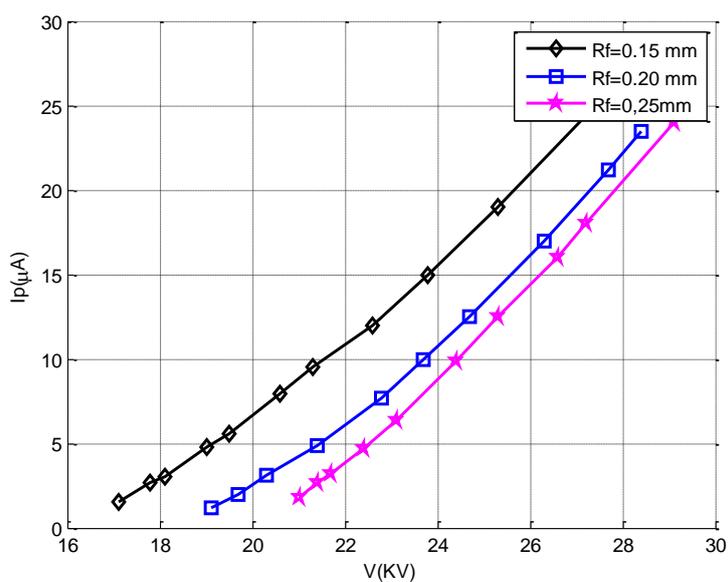
(b)

**Figure III.8** Caractéristique courant tension en fonction du rayon de fil

(a) polarité positive (b) polarité négative ; ( $H=60\text{mm}$ )

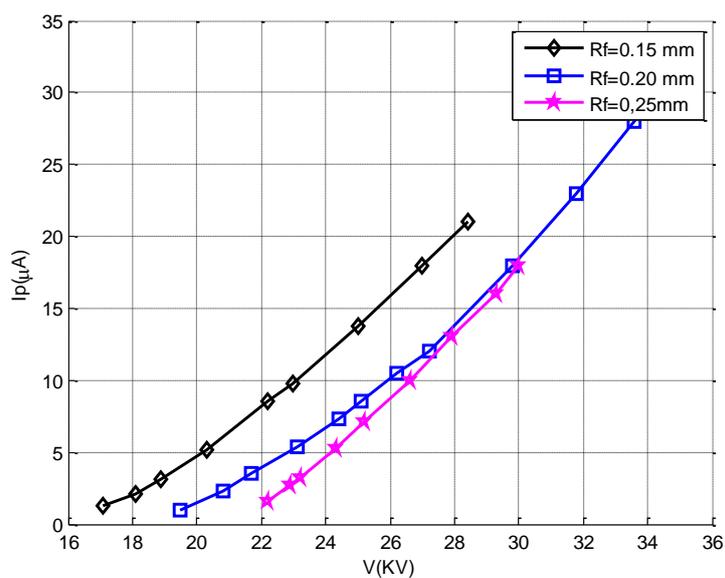


(a)

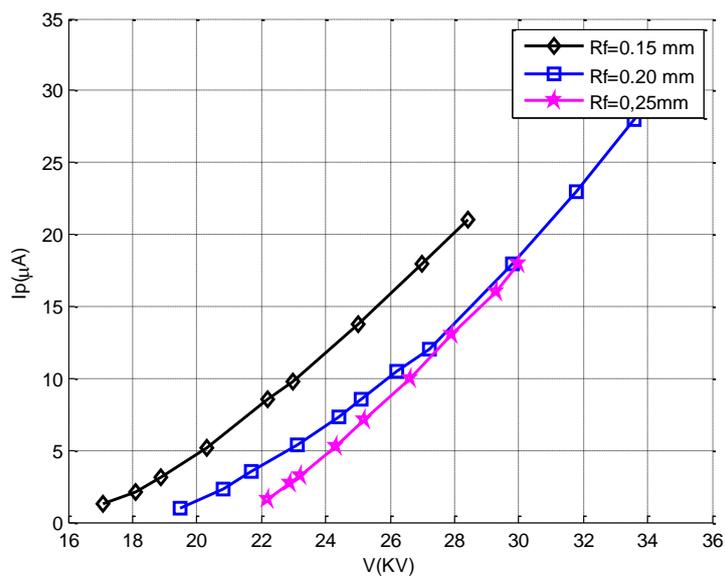


(b)

**Figure III.9** Caractéristique courant tension en fonction du rayon de fil  
 (a) polarité positive (b) polarité négative ; ( $H=70$ mm)



(a)



(b)

**Figure III.10** Caractéristique courant tension en fonction du rayon de fil  
 (a) polarité positive (b) polarité négative ; ( $H=80$ mm)

Les courbes représentées sur les figures (III.6-III.10) montrent l'influence du rayon de fil sur la décharge couronne pour chacune des hauteurs étudiées. Nous constatons que le courant de la décharge couronne augmente avec la tension appliquée pour tous les rayons de fil. Pour un même niveau de tension, le courant de décharge augmente en diminuant le rayon du fil, car le champ électrique à la surface de l'électrode est plus intense pour un rayon de courbure plus petit. Ce champ électrique est capable d'ioniser l'air plus facilement, ce qui conduit à une décharge couronne.

### III.3.3 L'influence de la polarité de la tension appliquée

Les courbes des figures (III.11, III.12) représentent les caractéristiques courant-tension en fonction de la polarité de la tension appliquée pour différents rayons de fil  $R_f$  et différentes hauteurs  $H$ .

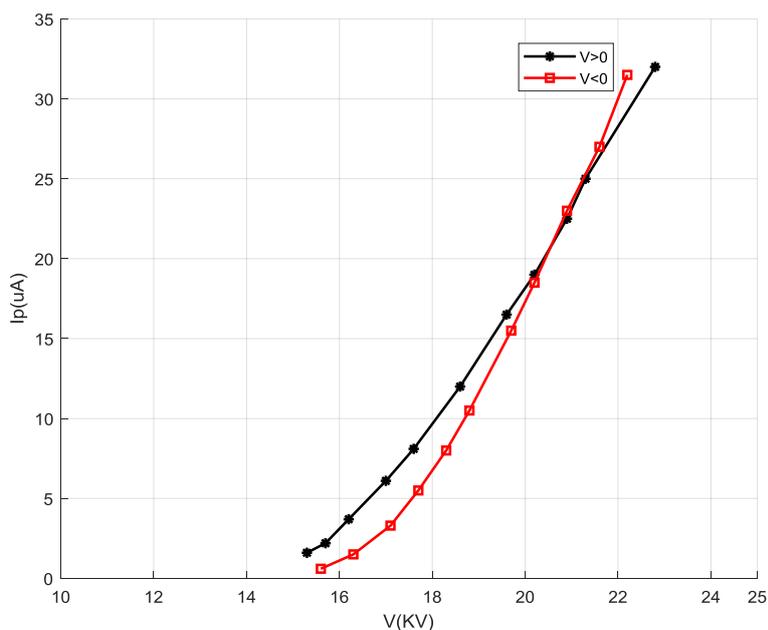
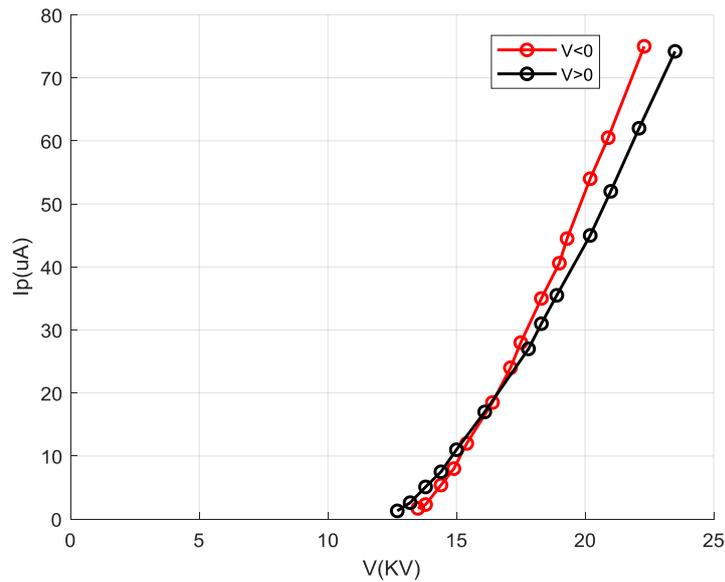


Figure III.11 Caractéristique I(V) à différentes polarités ;  $H=50\text{mm}$  et  $R_f=0.2\text{mm}$ .

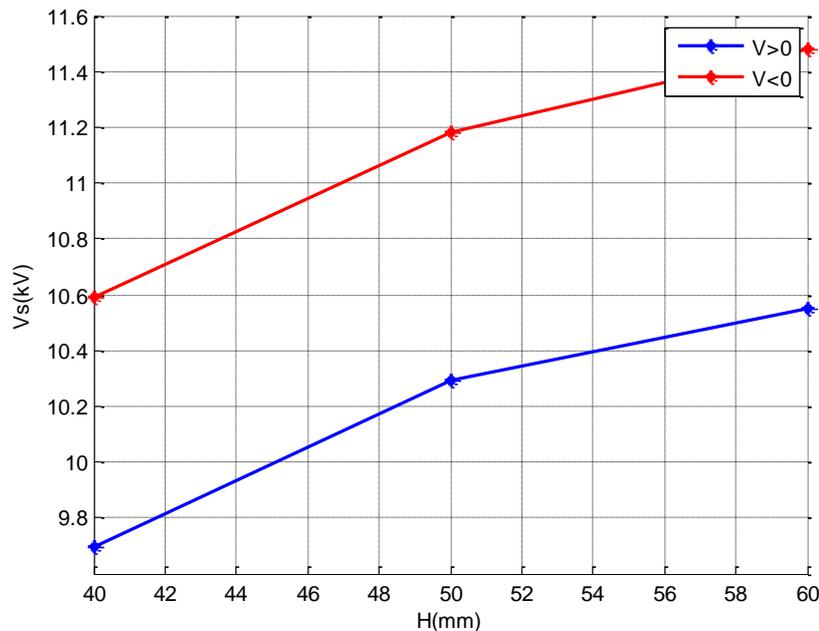


**Figure III.12** Caractéristique I(V) à différentes polarités ; H=40mm et  $R_f = 0.15\text{mm}$ .

Les courbes précédentes montrent que la tension d'apparition de la décharge positive est petite devant celle à polarité négative. Puis en augmentant la tension appliquée le courant de la décharge négative devient supérieur à celui en polarité positive. Ceci peut être expliqué par la différence de mobilité des ions négative et positive ( $\mu^- > \mu^+$ ).

### III.4 Variation de la tension de seuil

#### III.4.1 Effet de la hauteur inter-électrode H sur la tension seuil Vs



**Figure III.13** Variation de la tension de seuil Vs en fonction de la hauteur (H) pour  $R_f = 0.125\text{mm}$ .

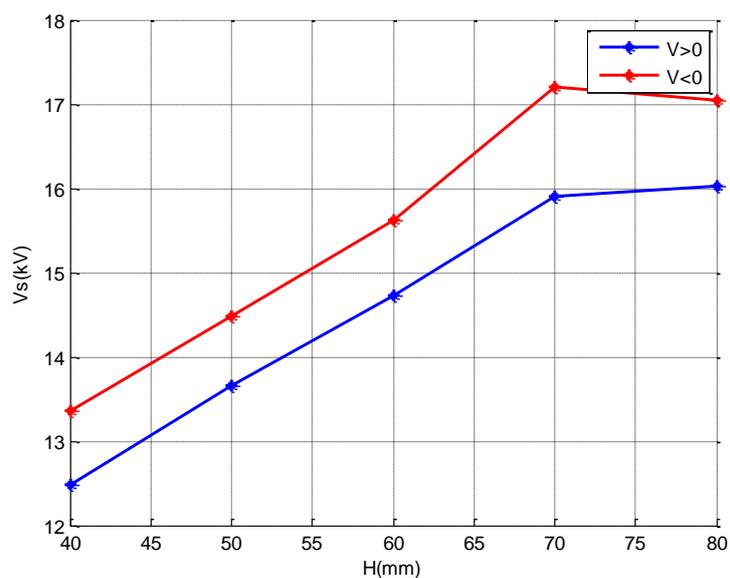


Figure III.14 Variation de la tension de seuil  $V_s$  en fonction de la hauteur (H) pour  $R_f = 0.15\text{mm}$

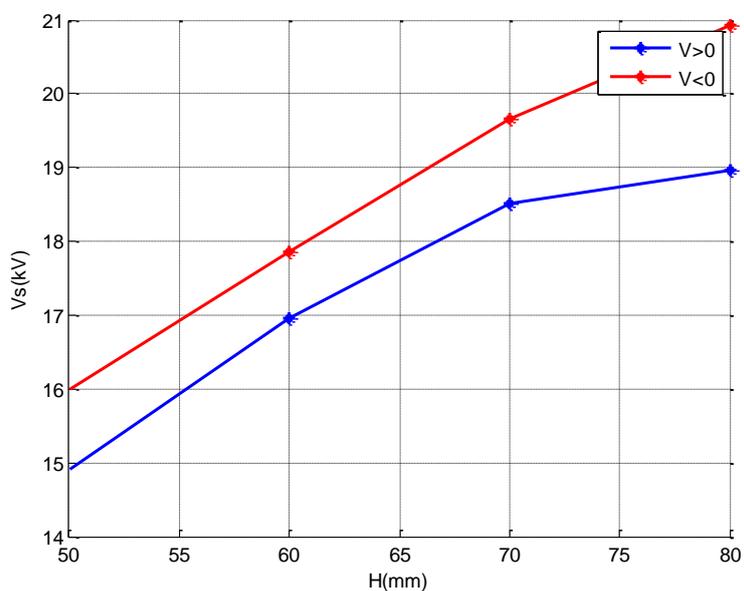
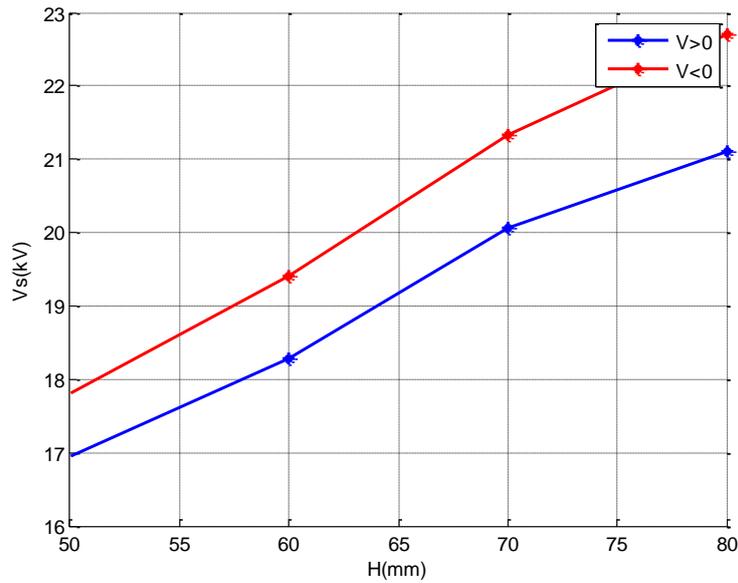


Figure III.15 Variation de la tension de seuil  $V_s$  en fonction de la hauteur (H) pour  $R_f = 0.2\text{mm}$



**Figure III.16** Variation de la tension de seuil  $V_s$  en fonction de la hauteur ( $H$ ) pour  $R_f = 0.25\text{mm}$ .

Les figures (III.13-III.16) représentent la variation de la tension de seuil en fonction de la hauteur  $H$ . On remarque que plus la hauteur  $H$  augmente plus la décharge couronne nécessite une tension de seuil plus élevée. Cela est dû à l'intensité du champ électrique lorsqu'il est plus proche du plan. Les variations de  $V_s$  en polarité positive et négative augmentent de la même manière avec des variations presque linéaires, et que les seuils des tensions négatives sont aussi plus élevés que pour les tensions positives.

III.4.2 Effet de rayon de fil  $R_f$  sur la tension de seuil  $V_s$

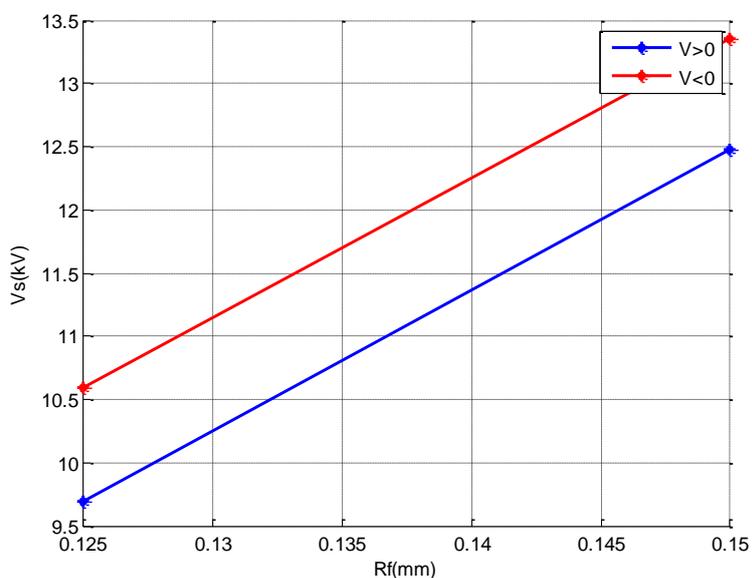


Figure III.17 Variation de la tension de seuil  $V_s$  en fonction de rayon de fil ( $R_f$ ) pour  $H=40\text{mm}$ .

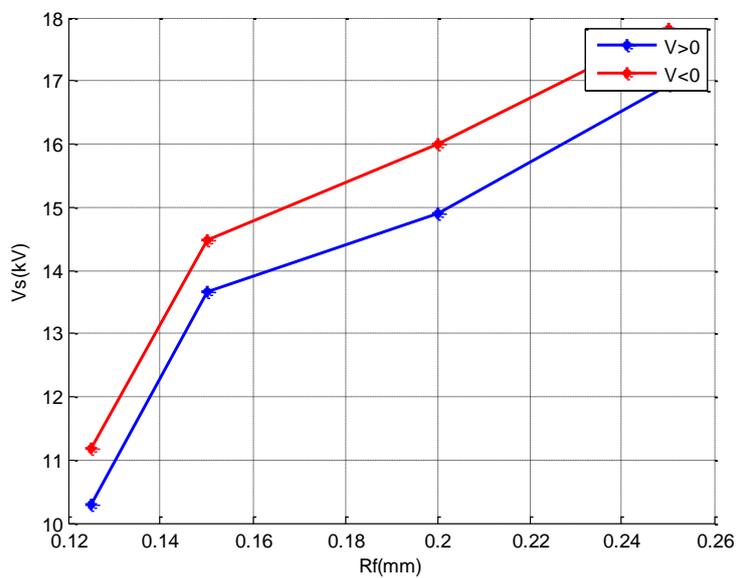


Figure III.18 Variation de la tension de seuil  $V_s$  en fonction de rayon de fil ( $R_f$ ) pour  $H=50\text{mm}$ .

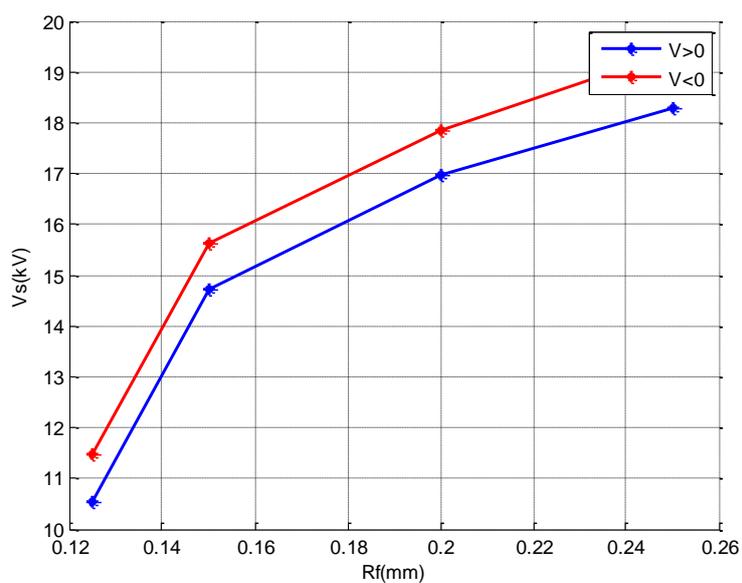


Figure III.19 Variation de la tension de seuil  $V_s$  en fonction de rayon de fil ( $R_f$ ) pour  $H=60\text{mm}$ .

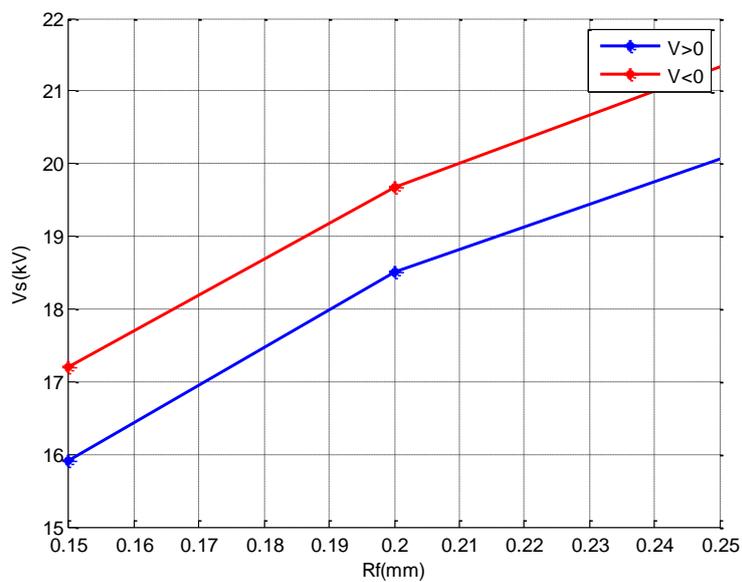
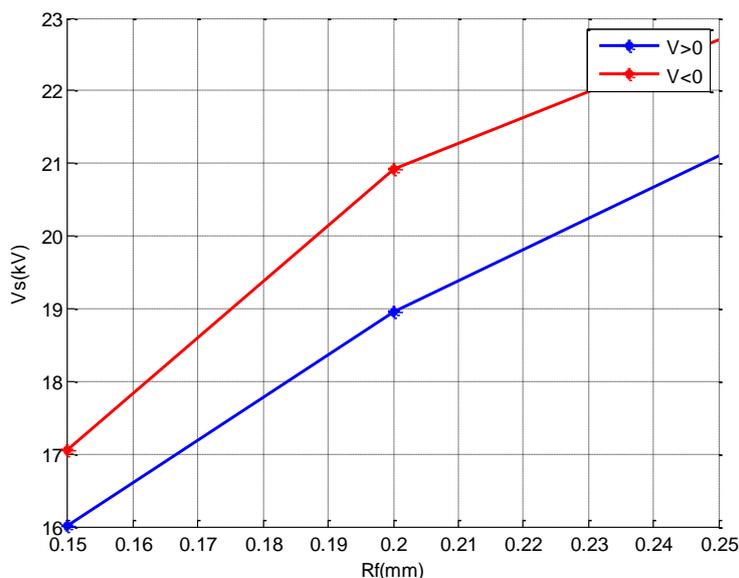


Figure III.20 Variation de la tension de seuil  $V_s$  en fonction de rayon de fil ( $R_f$ ) pour  $H=70\text{mm}$ .



**Figure III.21** Variation de la tension de seuil  $V_s$  en fonction de rayon de fil ( $R_f$ ) pour  $H=80\text{mm}$ .

Les figures (III.17-III.21) montrent la variation de la tension seuil  $V_s$  en fonction du rayon des fils pour les deux polarités de la tension appliquée. On constate que la tension seuil  $V_s$  augmente avec le rayon des fils. Cela démontre que les fils plus épais nécessitent une tension plus élevée pour initier une décharge couronne.

### III.5 Détermination du facteur K

La caractéristique  $I-V$  d'une décharge couronne peut être décrite par la relation empirique de Townsend. Cette relation a été trouvée à l'origine, pour la géométrie coaxiale fil-cylindre [33]. Plus tard, il a été démontré que cette relation peut être généralisée pour d'autres géométries, telles que pointe-plan et pointe-grille [34]. Le modèle de Townsend s'exprime par:

$$I = K \cdot V(V - V_0) \quad (\text{III-3})$$

Où  $K$  est une constante qui dépend de la configuration des électrodes, de la mobilité des porteurs de charges, de la température, de la pression et de l'humidité.  $V_0$  représente la tension seuil de l'effet couronne.

Selon les travaux de Ferreira et al (1986) [35], la caractéristique courant-tension peut être représentée d'une manière encore meilleure par le modèle quadratique  $K(V-V_0)^2$  dans le cas

d'une décharge couronne négative en géométrie pointe-plan. En 2008, Meng et al [36] ont généralisé ce modèle sous la forme :

$$K'(V-V_0)^n \tag{III-4}$$

Pour déterminer  $K$ , on va modifier l'équation précédente :

$$I/V = K \times (V - V_s) \tag{III-5}$$

$$I/V = K \times V - K \times V_s \tag{III-6}$$

C'est une équation de premier ordre de type :  $y = a \cdot x + b$

On pose :  $y = I/V$  ;  $x = V$  ;  $a = K$  et  $b = -K \times V_s$

Pour déterminer  $K$ , on va tracer la courbe  $I/V = f(V)$  qui est une droite de pente  $a = K$

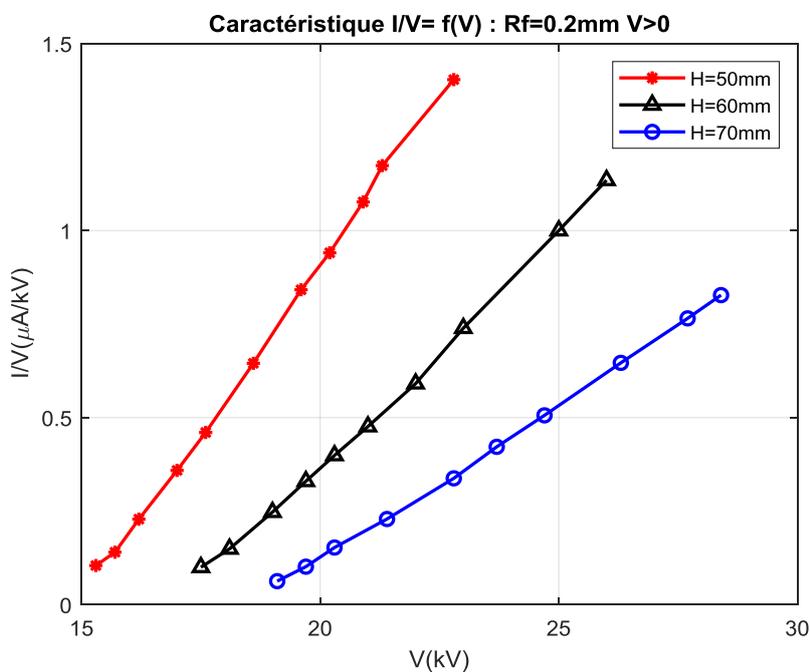
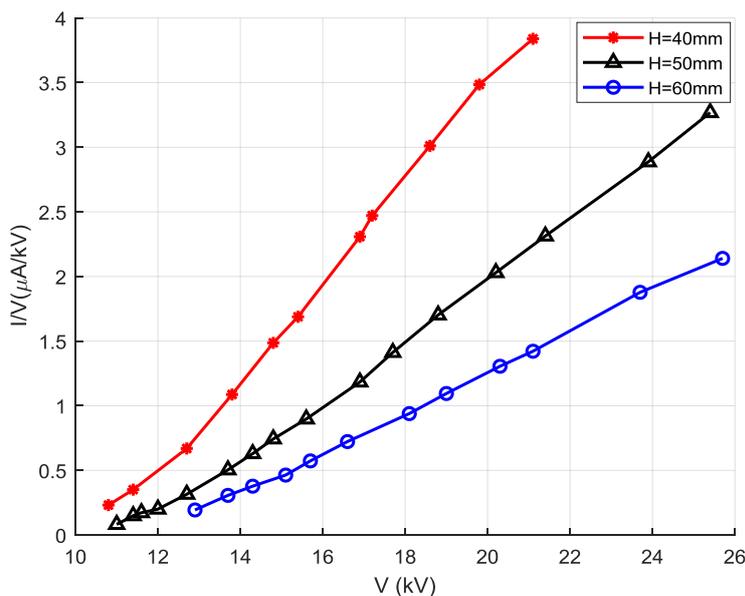


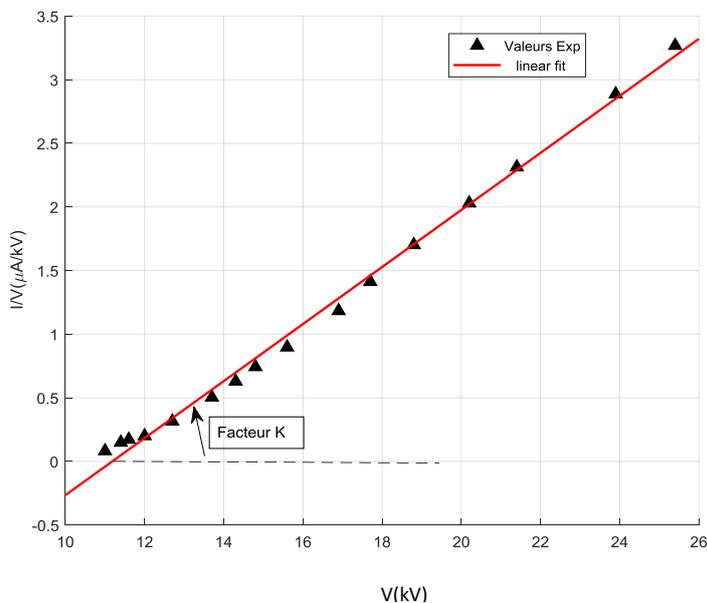
Figure III.22 Caractéristique  $I/V = f(V)$  pour différents  $H$  et  $R_f = 0.2mm$  en polarité positive.



**Figure III.23** Caractéristique  $I/V=f(V)$  pour différents  $H$  et  $R_f=0.125mm$  en polarité négative.

Les figures (III.22-III.23) représentent la variation du rapport  $I/V$  en fonction de la tension appliquée  $V$  pour deux rayons du fil. Les courbes montrent une relation presque linéaire entre le rapport  $I/V$  et la tension appliquée  $V$  sous l'équation :  $y=a.x$ , où le coefficient de pente 'a' représente le paramètre géométrique 'K' de la relation précédente de Townsend.

Le facteur  $K$  est alors déterminé en utilisant les fonction d'interpolation de Matlab (*Basic Fitting*).



**Figure III.24** Détermination du facteur K par interpolation linéaire

III.5.1 Variation du facteur  $K$  en fonction de la hauteur  $H$

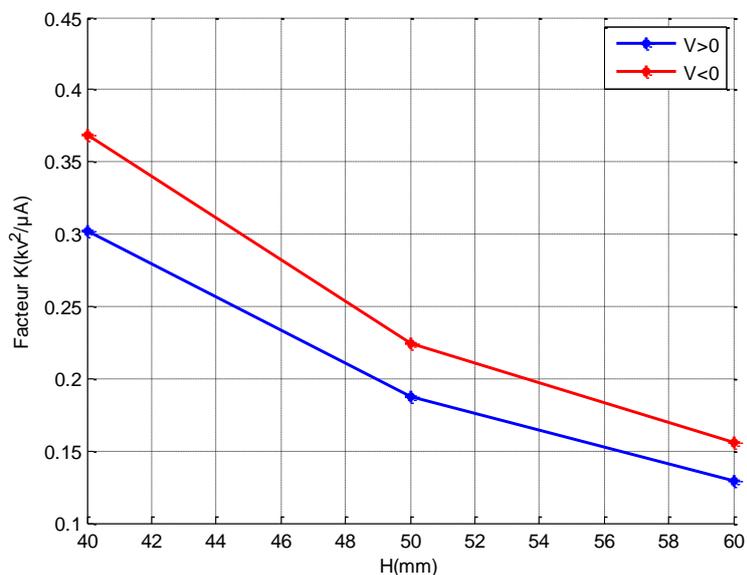


Figure III.25 Variation du facteur  $K$  en fonction de la hauteur ( $H$ ) pour  $R_f=0.125\text{mm}$ .

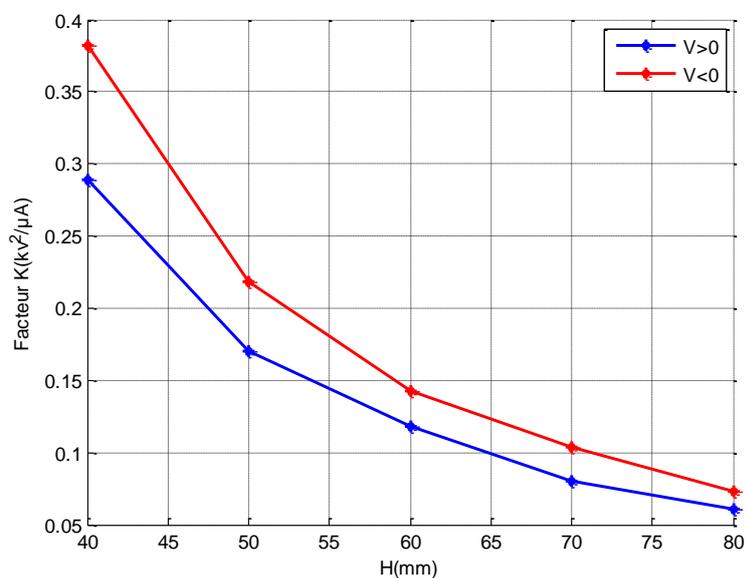
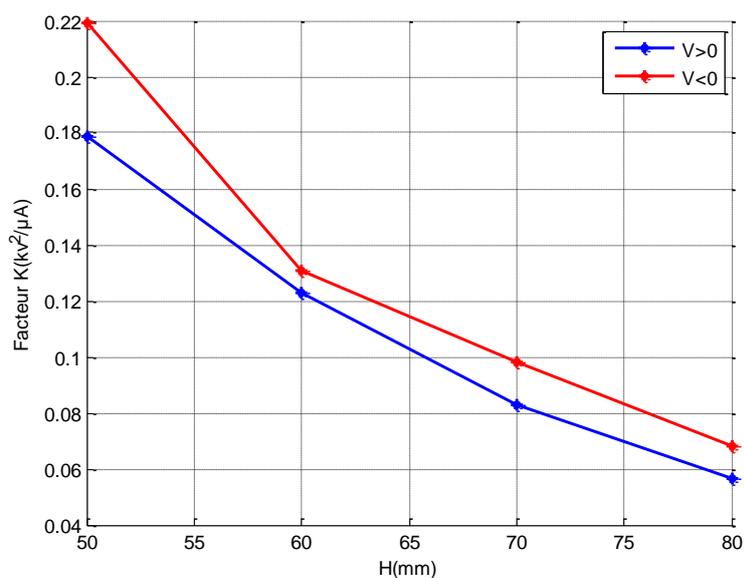
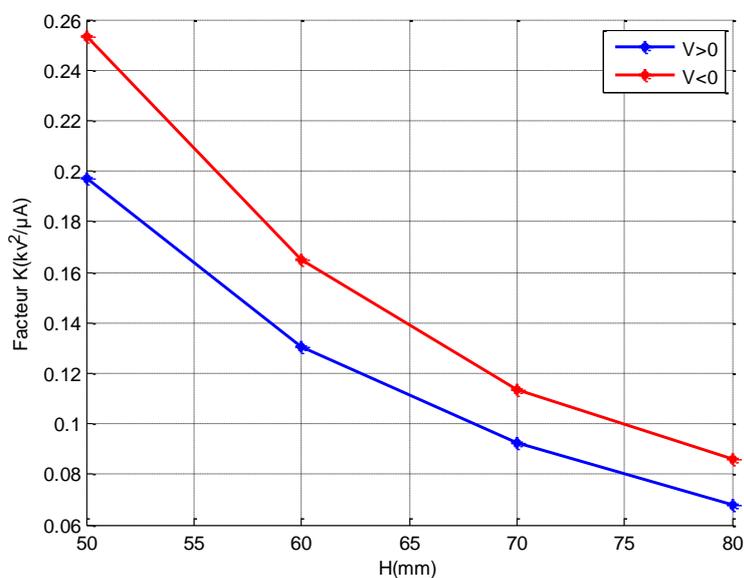


Figure III.26 Variation du facteur  $K$  en fonction de la hauteur ( $H$ ) pour  $R_f=0.15\text{mm}$ .



**Figure III.27** Variation du facteur K en fonction de la hauteur (H) pour  $R_f = 0.2\text{mm}$ .

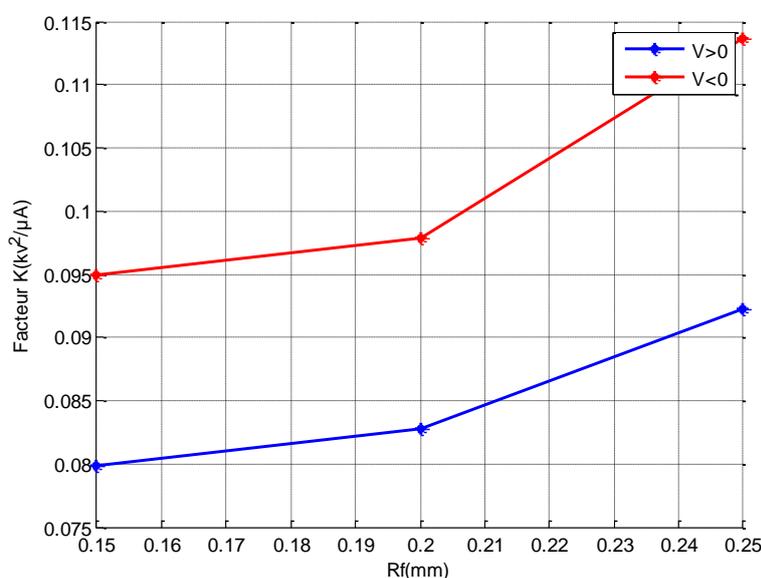


**Figure III.28** Variation du facteur K en fonction de la hauteur (H) pour  $R_f = 0.25\text{mm}$ .

Les figures (III.25-III.28) représentent la variation du facteur  $K$  en fonction de la hauteur ( $H$ ) pour les différents rayons du fil pour les paramètres suivants ( $P=1004.8\text{hPa}$ ,  $T=18\text{C}^\circ$ ,  $H=69\%$ ).

A partir de ces figures on peut observer que le coefficient  $K$  de la formule de Townsend est inversement proportionnel à la hauteur  $H$ . Plus la hauteur inter-électrodes augmente, le facteur  $K$  diminue.

### III.5.2 Influence du rayon de fil



**Figure III.29** Variation du facteur  $K$  en fonction du rayon des fils ( $R_f$ ) pour  $H=70\text{mm}$ .

La figure III.29 représente la variation du facteur  $K$  en fonction du rayon des fils pour  $T=18\text{C}^\circ$ ,  $P=1001,9\text{hPa}$ ,  $H=68\%$ . La courbe met en évidence une observation intéressante : le facteur  $K$  est proportionnel au rayon du fil  $R_f$  et la valeur de  $K$  atteint son maximum lorsque le rayon du fil est le plus élevé.

### III.6 Détermination du facteur $A$ et de l'exposant $m$

Une nouvelle formule générale caractérisant la relation entre le courant et la tension de la décharge couronne a été introduite, elle s'exprime comme suit :

$$I = A * (V - V_s)^m \quad (\text{III-7})$$

Avec :

$I$  = courant du plan

$V$  = la tension appliquée

$V_s$  = La tension seuil d'apparition de la décharge.

$A$  = un coefficient à déterminer

$m$  = un exposant à déterminer

Pour déterminer  $A$  et  $m$ , on va modifier l'équation précédente comme suit :

$$\text{Log}_{10}(I) = \text{Log}_{10}(A * (V - V_s)^m)$$

$$\text{Log}_{10}(I) = \text{Log}_{10}(A) + \text{Log}_{10}((V - V_s)^m)$$

$$\text{Log}_{10}(I) = \text{Log}_{10}(A) + m * \text{Log}_{10}(V - V_s)$$

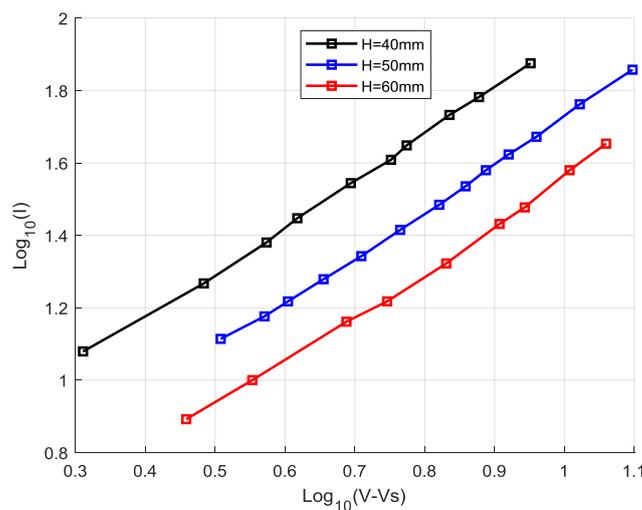
On pose :  $b = \text{Log}_{10}(A)$  ; (donc  $A = 10^b$ )

$$\text{Log}_{10}(I) = m * \text{Log}_{10}(V - V_s) + b \tag{III-8}$$

C'est une équation de premier ordre de type :  $y = m.x + b$

On pose  $y = \text{Log}_{10}(I)$  et  $x = \text{Log}_{10}(V - V_s)$

Pour déterminer  $A$  et  $m$ , on va tracer la courbe  $\text{Log}_{10}(I) = m * \text{Log}_{10}(V - V_s) + b$  (fig. III.30)



**Figure III.30** Caractéristique  $\log(I) = f(\log(V - V_s))$  pour différents  $H$   
 ( $R_f = 0.2\text{mm}$ ,  $V < 0$ )

III.6.1 Variation du facteur A

III.6.1.1 Influence de la hauteur H

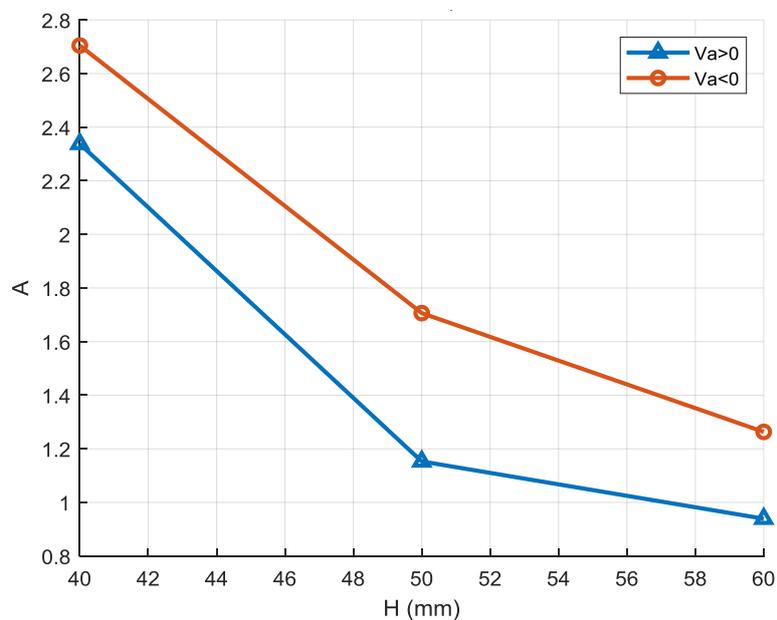


Figure III.31 Variation du facteur A en fonction de la hauteur (H) pour  $R_f=0.125\text{mm}$ .

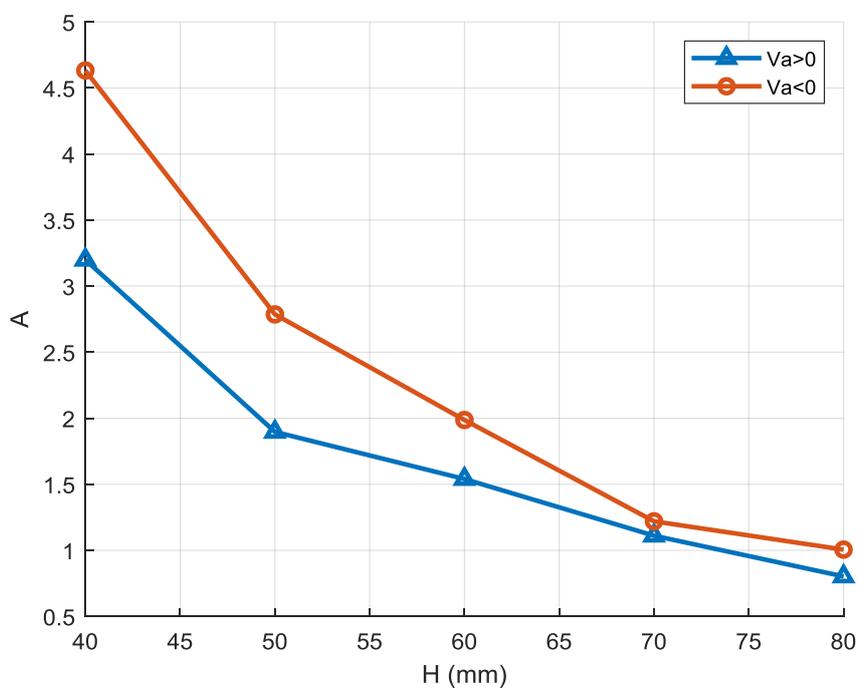
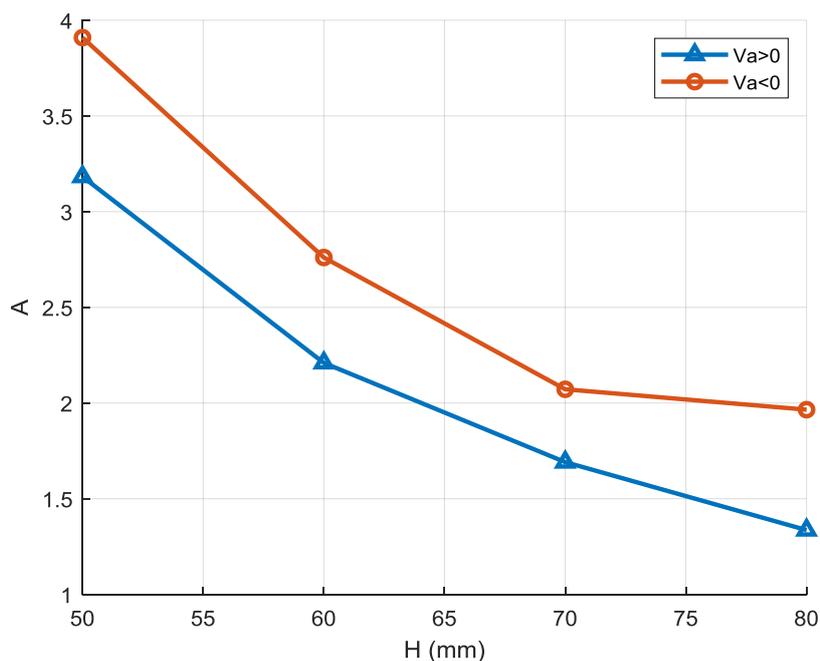


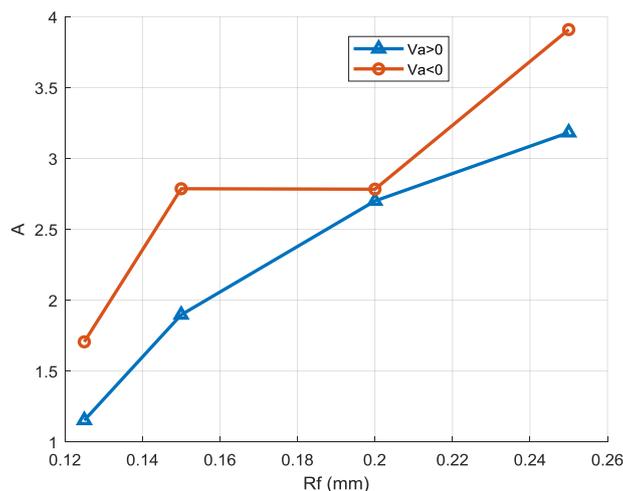
Figure III.32 Variation du facteur A en fonction de la hauteur (H) pour  $R_f=0.15\text{mm}$ .



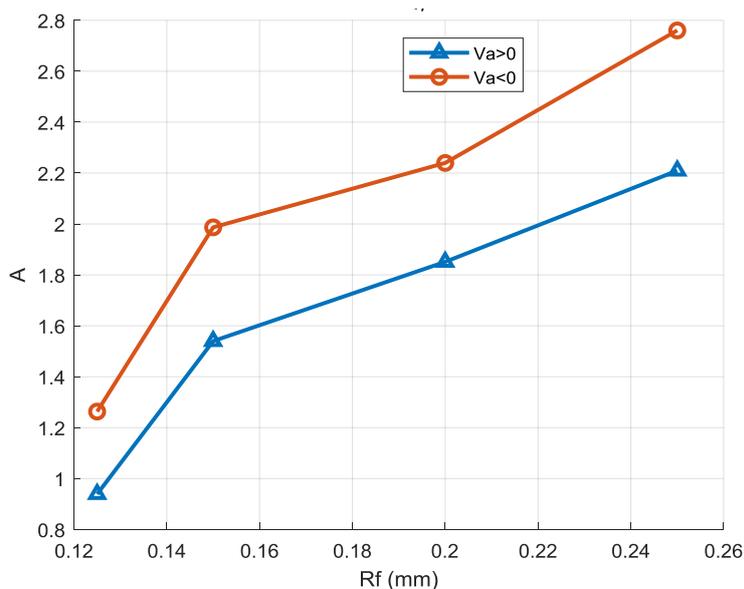
**Figure III.33** Variation du facteur A en fonction de la hauteur (H) pour  $R_f=0.25\text{mm}$ .

Les figures (III.31-III.33) représentent la variation du facteur A en fonction de la hauteur H pour  $P=1009,1\text{hPa}$ ,  $T=18\text{C}^\circ$ ,  $H=67\%$ . Les courbes montrent que le facteur A diminue lorsque la distance entre les électrodes augmente. De même, le facteur A en polarité négative est supérieur à celui en polarité positive. Cela signifie que pour une même tension appliquée, le courant de décharge couronne est moins important lorsque les électrodes sont plus éloignées l'une de l'autre. Cela est dû au fait que le champ électrique est plus faible entre les électrodes lorsqu'elles sont plus éloignées l'une de l'autre.

### III.6.1.2 Influence du rayon de fil



**Figure III.34** Variation du facteur A en fonction du rayon des fils ( $R_f$ ) pour  $H=50\text{mm}$ .



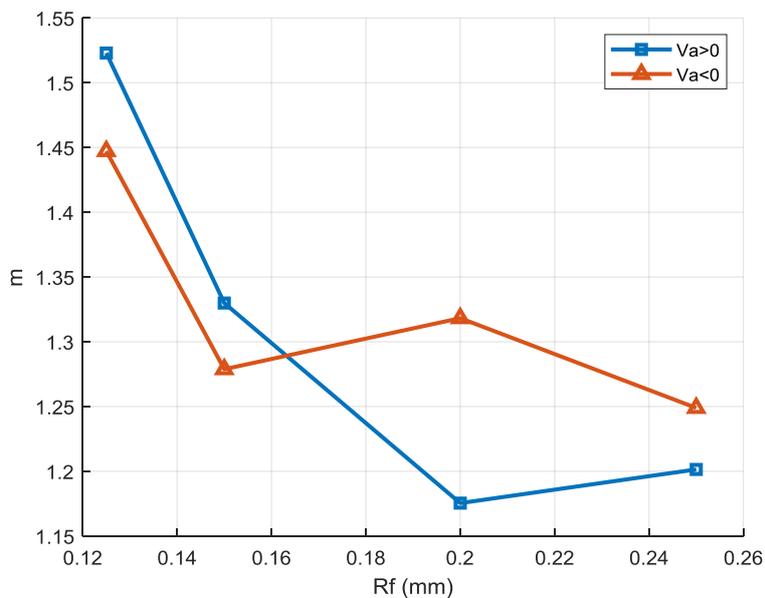
**Figure III.35** Variation du facteur A en fonction du rayon des fils ( $R_f$ ) pour  $H=60\text{mm}$ .

Les figures (III.34, III.35) représentent la variation du facteur A en fonction du rayon des fils pour  $P=1000,8\text{hPa}$ ,  $T=17\text{C}^\circ$ ,  $H=62\%$ . On observe que le facteur A augmente avec le rayon des fils pour les deux polarités.

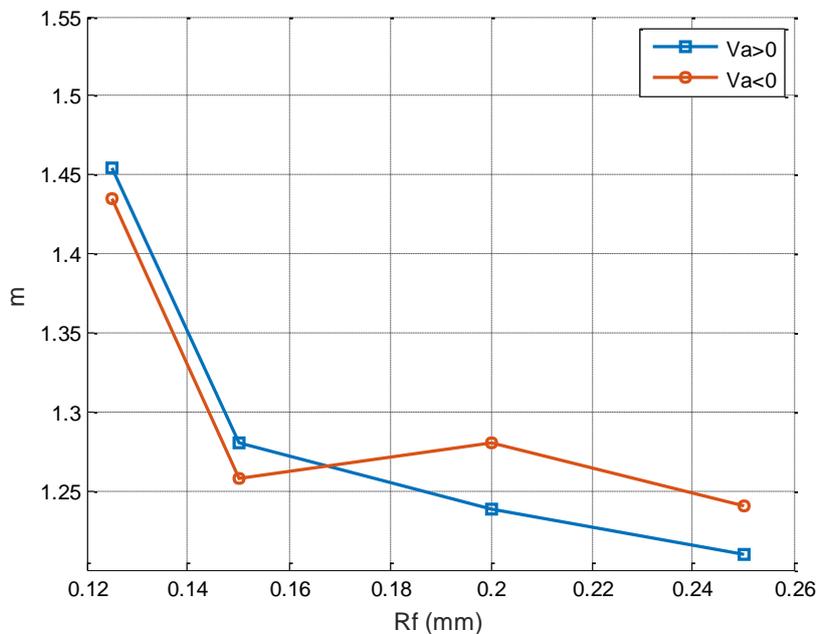
On remarque également que le facteur A est plus élevé pour la polarité négative que pour la polarité positive. Ce phénomène est dû au fait que le champ électrique à la surface du fil est plus concentré pour la polarité négative que pour la polarité positive.

**III.6.2 Variation de l'exposant  $m$**

Le paramètre  $m$  peut être déterminé par la pente de la ligne d'interpolation. L'influence du diamètre du fil sur les valeurs de l'exposant  $m$  pour différentes hauteurs  $H$  pour la couronne positive et négative est représentée sur les figures (III.36, III.37)



**Figure III.36** Variation de l'exposant  $m$  en fonction du rayon des fils ( $R_f$ ) pour  $H=50\text{mm}$ .



**Figure III.37** Variation de l'exposant  $m$  en fonction du rayon des fils ( $R_f$ ) pour  $H=60\text{mm}$ .

Les figures (**III.36 et III.37**) représentent la variation de L'exposant  $m$  en fonction du rayon des fils pour  $P=1016\text{hPa}$ ,  $T=19,5\text{C}^\circ$ ,  $H=67\%$ . L'exposant  $m$  varie inversement avec l'augmentation du diamètre du fil. On peut résumer que la portée potentielle de l'exposant  $m$  se situe entre 1,4 et 2,0. Les valeurs de  $m$  pour la couronne négative sont toujours supérieures à celles de la couronne positive pour un même diamètre de fil.

La formule de Meng semble être applicable non seulement à la polarité positive mais aussi à la polarité négative.

### **III.7 Conclusion**

Dans ce dernier chapitre nous avons présenté les résultats expérimentaux liés à plusieurs paramètres qui caractérisent la décharge couronne en configuration fil-plan ; la caractéristique courant-tension, tension de seuil de la décharge, et la variation des facteurs  $K$ ,  $A$  et l'exposant  $m$  en plusieurs paramètres géométriques sont pris en considération, à savoir le rayon de fil, la hauteur inter-électrode et la polarité de la tension appliquée.

Nous pouvons dire que les résultats obtenus de notre travail sont satisfaisants et en accord avec plusieurs théories qu'on trouve dans la littérature telle que Townsend et X-Meng.

# Conclusion Générale

## **Conclusion Générale**

Le travail présenté dans ce mémoire de fin d'études a été consacré à caractériser le système d'électrode fil-plan. Les résultats obtenus lors des différents essais ont permis d'évaluer l'influence de certains paramètres sur le courant de la décharge comme : la distance inter-électrodes, le rayon du fil, la polarité de la tension appliquée et l'étude des facteurs  $K$  et  $A$  avec l'exposant  $m$ , afin de pouvoir caractériser la décharge couronne. D'après les résultats obtenus on a pu tirer les conclusions suivantes :

- La décharge couronne est plus intense pour des tensions appliquées plus élevées.
- Plus le fil s'approche du plan plus on a un courant de décharge élevé.
- Les valeurs des courants mesurées en tensions négatives sont légèrement plus élevées que celles en tensions positives.
- Le rayon du fil et la distance inter-électrode sont des paramètres qui influencent le courant de décharge couronne.
- Le courant de la décharge est plus élevé pour un rayon de courbure faible.
- La tension de seuil  $V_s$  augmente avec l'augmentation de la hauteur  $H$  et avec l'augmentation du rayon de courbure du fil.
- La valeur du facteur  $K$  varie inversement proportionnel avec les variations de la hauteur inter-électrodes.
- Le facteur  $K$  est proportionnel avec le rayon de courbure de l'électrode active.
- Le facteur  $A$  diminue lorsque la distance entre les électrodes augmente.
- Le facteur  $A$  augmente avec l'augmentation du rayon courbure de l'électrode active.
- L'exposant  $m$  varie inversement avec l'augmentation du rayon de fil.

Cette étude est importante car elle apporte une contribution théorique à la littérature sur la décharge couronne. Elle offre aussi une compréhension profonde sur la décharge couronne pour mieux la caractériser.

# Bibliographie

- [1] A. KASDI, S. CHOUALI, S. ATROUNE, « INFLUENCE OF GEOMETRIC PARAMETERS ON THE K FACTOR OF THE CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTIC OF DC CORONA DISCHARGE ». THE 2ND ELECTRICAL ENGINEERING INTERNATIONAL CONFERENCE (EEIC'23), UNIVERSITY OF BEJAIA , DECEMBRE 05-06, 2023.
- [2] T. G. OLIVERA, « ÉTUDE EXPERIMENTALE DU CONTOURNEMENT DES ISOLATEURS RECOUVERTS DE GLACE SOUS TENSIONS DE FOUDRE ET DE MANŒUVRE, » MEMOIRE D'INGENIEUR, UNIVERSITE DE QUEBEC, 2004.
- [3] SAKLOUL ISSAM, KECHITI ZAKARIA, « ETUDE DE LA DECHARGE COURONNE DANS UN SYSTEME D'ELECTRODES EN CONFIGURATION FIL-CYLINDRE », MEMOIRE DE MASTER, UNIVERSITE DE GUELMA, 2021/2022, SPECIALITE : RESEAUX ELECTRIQUES.
- [4] BRAHIM. BENAMAR «LA FAISABILITE DE L'ELECTROFILTRATION D'UNE ATMOSPHERE CHARGEE EN POUSSIERES DE BOIS : ETUDE EXPERIMENTALE ET NUMERIQUE ». THESE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITE, HENRI POINCARÉ, NANCY, LE 13 NOVEMBRE 2008.
- [5] IBRAHIMA. NDIAYE « INITIATION ET DEVELOPPEMENT DES DECHARGES COURONNES SUR UNE SURFACE DE GLACE». MEMOIRE D'INGENIEUR, UNIVERSITE QUEBEC, MAI 2003.
- [6] LE VINH HOANG « COMPARAISON DES RENDEMENTS ENERGETIQUES DE DEGRADATION DE TROIS COMPOSES ORGANIQUES PAR PLUSIEURS PROCÉDES D'OXYDATION AVANCÉS EN MILIEU AQUEUX ». THESE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE POITIERS, AVRIL 2009.
- [7] SONIA SOUAKRI, « OPTIMISATION DES PERFORMANCES D'UN PROCÉDE INDUSTRIEL D'ELECTROFILTRATION ALIMENTE PAR HAUTES PUISSANCES PULSEES », THESE DOCTORAT, UNIVERSITÉ DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR ÉCOLE DOCTORALE DES SCIENCES EXACTES ET LEURS APPLICATIONS, 9 DECEMBRE 2016.
- [8] A. C. MERMIGKAS, I. V. TIMOSHKIN, S. J. MACGREGOR, M. J. GIVEN, M. P. WILSON, ET T. WANG, « REMOVAL OF FINE AND ULTRAFINE PARTICLES FROM AIR BY MICROELECTROSTATIC PRECIPITATION », IEEE TRANS. PLASMA SCI., VOL. 41, NO 10, P. 2842-2850, OCT. 2013.
- [9] BENCHERIF NABIL, DJOUADI TOUFIK, « ETUDE EXPERIMENTALE DE LA DECHARGE COURONNE CONTINUE EN POLARITE POSITIVE ET NEGATIVE DANS LA CONFIGURATION FILS-PLANS », MEMOIRE DE MASTER, UNIV .A. MIRA BEJAÏA, 22/06/2017, SPECIALITE ELECTROTECHNIQUE.
- [10] MOISSAOUI AIDA, " ETUDES DES PHENOMENES DE CHARGE ET DE NEUTRALISATION DES MILIEUX DIELECTRIQUES GRANULAIRES EN UTILISANT LA DECHARGE A BARRIERE DIELECTRIQUE " THESE DE DOCTORAT, UNIVERSITE DE GUELMA, JUIN 2019.
- [11] BACHA MOHAND AREZKI, « ETUDE DE LA DECHARGE COURONNE EN GEOMETRIE FIL-PLAN », MEMOIRE DE MASTER UNI. A. MIRA DE BEJAÏA, ALGERIE, 2008. OPTION: TECHNIQUES DE HAUTE TENSION.
- [12] MIHOUBI SOUMIA, MEDJANI ISMAHEN, « MESURE DU CHAMP ELECTRIQUE » MEMOIRE D'INGENIEUR, UNIVERSITE DE GUELMA, JUIN 2002. SPECIALITE: RESEAUX ELECTRIQUES.
- [13] REKHIS MED SAÏD, CHABANE MOKRANE, « DECHARGE COURONNE : INFLUENCE DU MATERIAU DES ELECTRODES SUR LA CARACTERISTIQUE I-V EN GEOMETRIE POINTE-PLAN », MEMOIRE DE MASTER, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU, 2021/2013. SPECIALITE: ELECTROTECHNIQUE INDUSTRIELLE.
- [14] TIFAOUI DJILALI, LADJEL AMINE, « ETUDE DE LA DECHARGE COURONNE EN GEOMETRIE POINTE PLAN SOUS TENSION CONTINU », MEMOIRE DE MASTER, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZIOUZOU, 28/6/2016. SPECIALITE : RESEAUX ELECTRIQUES.

- [15] MEDJDOUB BACHIR, AISSOU YUCEF, « DECHARGE COURONNE FIL-PLAN EN POLARITE POSITIVE », MEMOIRE DE MASTER, UNIV .A. MIRA DE BEJAIA, OCTOBRE 2021.OPTION: ELECTROTECHNIQUE INDUSTRIELLE.
- [16] BOUREBIA LOTFI, BOUKHDENA NABIL, « PREDICTION DES PARAMETRES DE LA DECHARGE COURONNE DES MELANGES GAZEUX EN HAUTE TENSION », MEMOIRE DE MASTER, UNIVERSITE 8MAI 1945 – GUELMA. SPECIALITE : RESEAUX ELECTRIQUES.
- [17] A. KASDI. «ÉTUDES THEORIQUE ET EXPERIMENTALE DE LA DECHARGE COURONNE BIPOLAIRE », THESE DE DOCTORAT, UNI. A.MIRA DE BEJAÏA, ALGERIE. 2007.
- [18] SAAD DJEDJIGA, « EFFET DE LA DECHARGE COURONNE SUR LES SURFACES ISOLANTES ET LES SURFACES METALLIQUES », THESE MAGISTER, UMMTO ,2011. OPTION : MACHINES ELECTRIQUES.
- [19] S. AIT-AMAR, « ETUDE DE LA DECHARGE COURONNE POSITIVE EN GEOMETRIE NAPPE DE FIL-PLAN », THESE DE MAGISTERE EN GENIE ELECTRIQUE, OPTION TECHNIQUE DE HAUTE TENSION DE L'UNIVERSITE A. MIRA BEJAIA.
- [20] N. DUBUS, « CONTRIBUTION A L'ÉTUDE THERMIQUE D'UN REACTEUR A DECHARGE A BARRIERE DIELECTRIQUE », THESE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE POITIERS 2009.
- [21] MINDJOU HICHEM, OUARET LAMINE, « CARACTERISATION EXPERIMENTALE DE LA DECHARGE COURONNE DANS LA CONFIGURATION DUALE/TRIODE », MEMOIRE DE MASTER, UNIV. A. MIRA BEJAIA ,2022/2023. OPTION : ELECTROTECHNIQUE INDUSTRIELLE ET RESEAU ELECTRIQUE.
- [22] HAMMICHE KOCEILA, CHOULAK MOHAMED, « CARACTERISATION DE LA DECHARGE COURONNE EN GEOMETRIE FIL-CYLINDRE-GRILLE », MEMOIRE DE MASTER, UNIV. A. MIRA BEJAÏA, 2021/2022. OPTION : ELECTROTECHNIQUE INDUSTRIELLE.
- [23] M.P. PANAGET, « ÉTUDE EN LABORATOIRE DES EFFETS PHYSICO-CHIMIQUE INDUITS PAR LES PERTES ELECTRIQUES DES LIGNES DE TRANSPORT A HAUTE TENSION ». THESE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE 1997.
- [24] C. GRAY, « LES PROPRIETES DIELECTRIQUES DE L'AIR ET LES TRES HAUTES TENSIONS », ÉDITION, EYROLLES, PARIS 1986.
- [25] HADDAD LYAMINE, KITOUNE NACIR, « CARACTERISATION EXPERIMENTALE DE L'ELECTRODE COURONNE NAPPE DE FILS », MEMOIRE DE MASTER, UNIV.A.MIRA BEJAÏA ,2020/2021. SPECIALITE : RESEAUX ELECTRIQUE.
- [26] LAKEHAL FERIEL, DRICI HADJIRA, « ETUDE D'APPLICABILITE D'UN MODELE ELECTRIQUE A PLUSIEURS LECTEURS MATHEMATIQUE », MEMOIRE DE MASTER, UNIVERSITE DR. TAHAR MULAY DE SAÏDA, 2019/2020. FILIERE : ELECTROTECHNIQUE.
- [27] SAIDI OUM EL DJILALI, " MODELISATION ELECTRIQUE D'UNE DECHARGE COURONNE POINTE-PLAN IMPULSIONNELLE" MEMOIRE DE MASTER, UNIVERSITE DR. TAHAR MOULAY DE SAÏDA, SEPTEMBRE 2018.
- [28] HADJADJ L ET SMAILI S, « EFFET D'UNE COUCHE ISOLANTE SUR LA DECHARGE COURONNE EN ALTERNATIF », MEMOIRE D'INGENIEUR, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU,2007- 2008.
- [29] J.-P. BORRA,«ÉTUDE DES PROBLEMES LIES AUX PRECIPITATEURS ELECTROSTATIQUES POUR LE TRAITEMENT DES CENDRES VOLANTES», MEMOIRE DE FIN D'ETUDES ,UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA, BEJAIA ,1999.
- [30] M. TOWNSEND, ELECTRICITY IN GASES (OXFORD UNIVERSITY PRESS, 1915), PP 375 -376.

- [31] E. BADAREU, I. POPESCU, GAZ IONISES : « DECHARGES ELECTRIQUES DANS LES GAZ » DUNOD, PARIS, 1965.
- [32] X. MENG, H. ZHANG, J. ZHU, « UNE FORMULE EMPIRIQUE GENERALE DES CARACTERISTIQUES COURANT-TENSION », PHYS.41(2008)065209.
- [33] ABDALI SABRINA, AIANE CHERIF, « L'EFFET DE LA TEMPERATURE SUR LES PARAMETRES DE LA DECHARGE COURONNE », MEMOIRE DE MASTER, UNIV .A. MIRA BEJAIA,2017/2018. SPECIALITE : ELECTROMECHANIQUE.
- [34] K. YAMADA, « AN EMPIRICAL FORMULA FOR NEGATIVE CORONA DISCHARGE CURRENT IN POINT-GRID ELECTRODE GEOMETRY » ,J. APPL. PHYS. 96, 2004, PP. 2472–2475.
- [35] X. MENG, H. ZHANG, AND J. J. ZHU, “A GENERAL EMPIRICAL FORMULA OF CURRENT VOLTAGE CHARACTERISTICS FOR POINT-TO-PLANE GEOMETRY CORONA DISCHARGES”, J. PHYS. D 41, 065209, 2008.
- [36] E. OUATAH, « ETUDE DU SIGNAL DE DECHARGE PARTIELLE DANS LES CABLES DE TRANSMISSION », THESES DE DOCTORAT, UNIVERSITE DE BEJAIA, 2015. OPTION : RESEAUX ELECTRIQUES.