

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université -Ain-Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
Filière : Electromécanique
Spécialité : Electromécanique
Thème

Influence des paramètres physique de l'air sur PES en configuration lame-2plan

Présenté Par :
BOUCHEKIF Youcef
BERRALEM Nasreddine Essaid

Devant le jury composé de :

Dr MCIRDI	MAA	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Mme TOUHAMI	MAA	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Dr. AISSOU	MCA	M C A UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant

Année universitaire 2022/2023



Remerciements

Nous offrons premièrement de sincères et chaleureux remerciements « ALLAH » Le Tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience durant toutes ces années d'études

Tout d'abord, nous adressons nos sincères remerciements à nos Superviseur «Professeur **Aissou Massinissa** » pour ses conseils et son encadrement.

Nous voulons aussi remercier tous les étudiants pour notre promotion et

Nous souhaitons bonne chance à tous les étudiants pour terminer leurs études.

Nous tenons également à remercier tous ceux qui participent à la réalisation de ce mémoire ça commence avec nos parents.

Enfin, nous avons le grand honneur de dédier ce modeste travail à :Nos chers parents

Toute la famille **BOUCHEKIF** et **BERRALEM**

À tous nos amis

À tous nos camarades du groupe de génie électrique

À tous les amis de l'étude

À tous les enseignants qui ont contribué

À notre formation tout au long de nos vies d'étude.

Résume :

La pollution provenant des activités humaines et naturelles menace notre environnement, compromettant la qualité de l'air et la santé des individus. Les gouvernements ont établi des réglementations pour réduire les émissions de polluants industriels et promouvoir des normes environnementales plus rigoureuses. Les électrofiltres, utilisés dans diverses industries depuis le début du 20e siècle, jouent un rôle essentiel en éliminant les cendres et les poussières des fumées. Toutefois, ils se révèlent moins efficaces pour filtrer les particules fines, qui sont particulièrement nuisibles pour la santé humaine. Il est donc crucial d'améliorer les techniques de filtration existantes et de comprendre les phénomènes physiques impliqués. Dans le cadre de notre étude, nous nous concentrons sur une configuration spécifique de la technologie des électrofiltres et mettons en évidence l'importance de la décharge couronne, en prenant en considération divers facteurs géométriques et physiques.

Abstract:

Our environment is threatened by pollution from human and natural activities, which affects air quality and endangers human health. Governments have implemented regulations to limit industrial pollutant emissions and encourage stricter environmental standards. Electrostatic precipitators, which have been used in various industries since the early 20th century, play a crucial role in purifying smoke by removing ashes and dust. However, they are less effective for fine particles, which are the most harmful to human health. Therefore, it is essential to improve existing filtration techniques and understand the underlying physical phenomena. The objective of our work is to study electrostatic precipitator technology in a specific configuration and highlight the importance of corona discharge, taking into account various geometric and physical factors.

الملخص :

تواجه بيئتنا تهديدات من التلوث الناجم عن الأنشطة البشرية والطبيعية، والذي يؤثر على جودة الهواء ويعرض صحة الإنسان للخطر. قدّمت الحكومات تنظيمات لتقييد انبعاثات الملوثات الصناعية وتشجيع معايير بيئية أكثر صرامة. تلعب المرشحات الكهروستاتية، التي تستخدم في مختلف الصناعات منذ بداية القرن العشرين، دورًا حاسمًا في تنقية الدخان عن طريق إزالة الرماد والغبار. ومع ذلك، فإنها أقل فعالية في تصفية الجسيمات الدقيقة التي تكون الأكثر ضررًا على صحة الإنسان. لذلك، من الضروري تحسين تقنيات الترشيح الموجودة وفهم الظواهر الفيزيائية الأساسية. هدف عملنا هو دراسة تقنية المرشحات الكهروستاتية في تكوين محدد وتسلط الضوء على أهمية التفريغ الكهربائي، مع مراعاة مختلف العوامل الهندسية والفيزيائية.

Sommaire

Remarciment	
Résumer	
Table de matieres	
Liste de figure	
Liste de tableau	
Liste abréviation	
INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I : GENERALITES SUR LES FILTRES ELECTROSTATIQUES	
1. Introduction	3
2. Définition	3
3. Fonctionnement des filtres électrostatiques	4
4. Différents types d'électrofiltres	5
4.1. Electrofiltres humides	5
4.2. Les électrofiltres à un seul etage	6
4.3. Les électrofiltres à deux étages	7
5. Rendement	8
6. Avantages des précipitateurs électrostatiques	8
7. Inconvénients des précipitateurs électrostatiques	9
8. Applications des précipitateurs industriels	9
9. Conclusion	10
Chapitre II : ETUDE THEORIDUE DE LA DECHARGE COURONNE	
1 Introduction	11
2 La décharge couronne	11
3 Les différents modes de décharges couronne	13
3.1 Décharge couronne positive	13
3.2 Décharge couronne négative	14
4. Les facteurs influençant la décharge couronne	15
4.1. Facteurs géométrique	15
4.2. Les facteurs physico – chimiques	18
4.3. Facteurs électrique	19
Chapitre III : MATERIALS ET METHODES	
1. Introduction	20
2. Description du montage expérimental	20
3. Dispositif expérimental	22
3.1. Dispositif d'essai	22
3.2. Principe de fonctionnement	23
4. Matériel utilisé	24
5. Mode opératoire	27
6. Conclusion	28

Chapitre VI : RESULTATS ET DISCOUSSION

1. Introduction	29
2. Caractéristique courant – tension	29
3. Influence de la distance inter – électrode	29
4. Influence de la polarité	31
5. Facteur géométrique k en fonction de la distance inter-électrode	32
6. Effet du rayon de courbure sur la décharge couronne	33
7. Densités de courant J	34
8. Variation la densité J en fonction de la tension appliquée V	34
9. Effet de la pression	37
10. Variation de J en fonction de la tension appliquée V	37
11. Variation de la densité J en fonction de la pression P	37
12. Effet de la température	40
13. Variation de J en fonction de la tension appliquée V	41
14. Variation de J en fonction de la température	42
15. Conclusion	45
CONCLUSION GENERAL	49
Bibliographie	

Liste de figures et Liste de tableaux

- **Figure. I.1:** électrofiltre. [3]
- **Figure. I.2:** Principe de la précipitation électrostatique dans les électrofiltres.
- **Figure. I.3:** Un électrofiltre humide. [6]
- **Figure. I.4:** Electrofiltre à un seul étage fil-cylindre à gauche, fil-plaque à droite. [10]
- **Figure. I.5:** Types d'électrofiltres à double étage avec des électrodes de collecte planes. [12]
- **Figure. II.1 :** Configurations d'électrodes pour la génération de décharges couronnes [1].
- **Figure. II.2 :** Zones d'ionisation et de dérive dans la décharge couronne électrode [17].
- **Figure. II.3:** Décharge couronne positive. [19]
- **Figure. II.4 :** Décharge couronne négative. [18]
- **Figure. II.5 :** Influence de la distance inter-électrodes sur le courant de la décharge couronne [21].
- **Figure. II.6 :** Caractéristique courant-tension selon la nature des électrodes. [21]
- **Figure. II.7:** distribution du champ dans un système pointe-plan. [22]
- **Figure. II.8 :** distribution du champ dans un système plan-plan. [22]
- **Figure. II.9 :** Schéma d'évolution de la décharge observée en fonction de la pression. [23]
- **Figure.III.1:** représentation schématique de l'installation expérimenta.
- **Figure.III.2 :** dispositif d'essai
- **Figure.III.3:** différents types des lames (électrodes).
- **Figure.III.4 :** Le system d'Ionisation.
- **Figure. III.5:** Photographie Source de Haute Tension modèle Glassman, séries LT [27].
- **Figure.III.6:** Photographie du thermo hygromètre utilisé [28].
- **Figure.III.7:** Photographie de la pompe vide [29].
- **Figure.III.8 :** multimètre numérique.
- **Figure.III.9 :** thermocouple.
- **Figure.III.10:** Photographie d'un autotransformateur [29].
- **Figure.III.11:** plaque chauffante.
- **Figure.III.12 :** Photographie de l'enceinte [29].
- **Figure. IV.1:** Caractéristiques I-V en polarité négative avec diverses distances inter électrode.
- **Figure. IV.2 :** Caractéristiques I-V en polarité positive avec diverses distances inter-

électrodes.

- **Figure. IV.3** : Caractéristiques I-V en fonction de la polarité de la tension appliquée.
- **Figure. IV.4** : Dépendance du rapport courant / tension (I / V) avec la différence de tension ($V-V_0$).
- **Figure. IV.5** : Dépendance du rapport courant / tension (I / V) avec la différence de tension ($V-V_0$).
- **Figure. IV.6** : Variation de J en fonction de V négative avec diverses distances inter électrode.
- **Figure. IV.7** : Variation de J en fonction de V négative avec diverses distances inter électrode.
- **Figure. IV.8** : Caractéristique I-V d'une décharge négative pour différentes pressions.
- **Figure. IV.9** : Caractéristique I-V d'une décharge positive pour différentes pressions.
- **Figure. IV.10** : Variation de la tension de claquage avec la pression.
- **Figure. IV.11** : Variation de J en fonction de V négative pour différentes pressions.
- **Figure. IV.12** : Variation de J en fonction de V positive pour différentes pressions.
- **Figure. IV.13** : Variation de la densité de courant J en fonction de la pression à plusieurs tensions appliquées négatives V , pour $h = 3\text{cm}$.
- **Figure. IV.14** : Variation de la densité de courant J en fonction de la température à plusieurs tensions appliquées négatives V , pour $h = 3\text{cm}$
- **Figure. IV.15** : Variation de J en fonction de V négative pour différentes température.
- **Figure. IV.16** : Variation de J en fonction de V négative pour différentes température.
- **Figure. IV.17** : Variation de la tension de claquage avec la température.
- **Figure. IV.18** : Variation de J en fonction de V négative pour différentes température.
- **Figure. IV.19** : Variation de J en fonction de V positive pour différentes température.
- **Figure. IV.20** : Variation de la densité de courant J en fonction de la température à plusieurs tensions appliquées négatives V , pour $h = 3\text{cm}$.
- **Figure. IV.21** : Variation de la densité de courant J en fonction de la température à plusieurs tensions appliquées négatives V , pour $h = 3\text{cm}$.

- **Tableau I.1** : Influence de la nature des électrodes sur la mobilité ionique en tension positive et négative (HR=5%, $\varnothing_{fil} = 125\mu\text{m}$). [12]
- **Tableau IV.1** : Résultats de facteur K pour les couronnes négative et positive

Liste abrégation

Lettres latines

a : distance inter-lames. (cm)

h : distance inter-électrodes (cm)

r : rayon de courbure de la pointe (cm)

I : courant de la décharge (μA)

J : Densité de courant ($\mu\text{A}/\text{m}^2$)

T : La température de l'air ambiant ($^{\circ}\text{C}$)

V_c : la tension de claquage(KV)

P : pression de lair (bar)

K : constante

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

Lettres Grecques

μ : mobilité électrique moyenne des ions.

μ^+ : mobilité électrique moyenne des ions positifs

μ^- : mobilité électrique moyenne des ions négatifs

Liste des unités

Cm : centre de mètre

μA : micro ampère

$^{\circ}\text{C}$: température

Bar : pression

KV : kilo volte

INTRODUCTION GENERALE

Notre environnement est menacé par les activités humaines et naturelles qui altèrent la qualité de l'air et mettent en danger la santé humaine. La pollution augmente chaque jour et les risques de maladies liées à l'environnement se multiplient avec le développement. Les industries à travers le monde contribuent à la pollution de l'atmosphère et des océans en rejetant des polluants sans se soucier de la vie humaine et de la préservation de l'environnement propre et naturel. Les êtres vivants ont le droit de vivre dans un environnement sain et non pollué.

Les gouvernements du monde entier ont mis en place des réglementations pour limiter les émissions de polluants industriels et ont imposé des normes environnementales plus strictes. Ces réglementations ont nécessité la recherche de nouvelles solutions pour améliorer les techniques de filtration et de traitement des déchets industriels. Des études approfondies sont en cours pour développer des technologies respectueuses de l'environnement et trouver des alternatives aux méthodes de production polluantes.

Les précipitateurs électrostatiques, également appelés électrofiltres ou dépoussiéreurs électrostatiques, sont largement utilisés dans les industries depuis le début du 20^e siècle pour purifier les fumées en éliminant les cendres et les poussières présentes dans l'air. Ils jouent un rôle essentiel dans la filtration des rejets industriels dans l'atmosphère et sont utilisés dans des secteurs tels que la métallurgie, la chimie, le ciment et les centrales électriques au charbon.

Cependant, bien que les électrofiltres soient très efficaces pour filtrer les particules de taille supérieure à un micron, ils présentent des performances insuffisantes pour les particules de diamètre inférieur, qui sont les plus dangereuses pour la santé humaine car elles pénètrent profondément dans les poumons. Avec l'évolution des réglementations et des normes environnementales, il est devenu nécessaire d'améliorer les techniques de filtration existantes et de trouver des alternatives aux méthodes conventionnelles de traitement des rejets industriels.

Dans ce contexte, il est essentiel de comprendre les phénomènes physiques impliqués dans les processus électrostatiques, tels que l'électrostatique, les décharges dans les gaz et les décharges couronnées. L'efficacité de ces processus dépend de la répartition spatiale du champ électrique et de la densité de charge ionique générée par l'effet couronne. Par conséquent, la caractérisation expérimentale des différentes configurations d'électrodes est importante pour optimiser ces processus.

L'objectif de notre travail est d'étudier la technologie des électrofiltres dans une configuration lame-2 plan et de mettre en évidence l'importance de la décharge couronne dans un électrofiltre de cette configuration, en tenant compte des nombreux facteurs géométriques et physiques en jeu. Notre travail est organisé en quatre chapitres.

Dans le premier chapitre, nous présenterons les précipitateurs électrostatiques, décrirons leur principe de fonctionnement, leurs propriétés électriques, ainsi que leur utilisation dans la filtration électrostatique. Nous aborderons également les différents types d'électrofiltres.

Le deuxième chapitre examinera la décharge couronne d'un point de vue théorique, en tant que concept clé de l'efficacité de la PES. Nous explorerons les processus physiques responsables de la formation de particules chargées sous l'influence de différentes tensions appliquées, mettant en évidence l'impact des facteurs géométriques et des paramètres physiques sur la décharge couronne.

Le troisième chapitre sera consacré à la description du modèle expérimental de PES en configuration lame-2 plan. Nous présenterons la configuration géométrique des électrodes, les mesures électriques, le principe de fonctionnement, ainsi que les méthodes de mesure des paramètres de la décharge couronne.

Enfin, dans le quatrième chapitre, nous présenterons les résultats et les discussions sur l'efficacité de filtration du dispositif expérimental. Nous aborderons également la modélisation numérique et ses implications.

Chapitre I : Généralités sur les filtres électrostatique

I.1. Introduction

Les filtres électrostatiques sont des moyens utilisés pour éliminer les particules polluantes solides (telles que la poussière et la fumée) ou liquides (tel que le brouillard) contenues dans un gaz en utilisant une force électrostatique.

Les filtres électrostatiques ont été largement utilisés pour la filtration des gaz dans la plupart des processus industriels avec un volume de gaz moyen et élevé ($> 2000 \text{ m}^3/\text{min}$), y compris les chaudières, les hauts fourneaux et les cimenteries.

Les filtres électrostatiques utilisent directement l'énergie électrique pour contribuer à l'enlèvement de fines particules de tout genre de gaz d'échappement, leur rendement est très haut. Des particules aussi petites qu'un dixième de micron peuvent être enlevées. Le système possède deux électrodes isolées, l'une de l'autre et à différentes charges électriques. Quand un gaz chargé d'aérosols passe entre ces électrodes, les particules d'aérosol se précipitent sur elle à charge plus faible. Il existe plusieurs types des filtres électrostatiques. Ils sont principalement utilisés à des fins industriels, mais aussi pour la purification de l'air dans des bâtiments publics, des salles de cinéma, des wagons, etc....

Dans ce chapitre, nous citons au premier lieu des notions de base sur le principe et les modèles de fonctionnement des électrofiltres et leurs efficacités, ainsi les différents types des filtres électrostatiques utilisés actuellement dans l'industrie.

I.2. Définition

Les électrofiltres sont des dispositifs très efficaces pour éliminer les particules microniques et submicroniques de l'air. Ils sont principalement utilisés dans l'industrie lourde, notamment dans la sidérurgie, les unités d'incinération des déchets, les cimenteries et les unités de production d'énergie. Cependant, ils peuvent également être utilisés pour des applications domestiques, telles que la purification de l'air intérieur des locaux, en éliminant les fumées de tabac, les brouillards d'huile, les poussières de bois, etc. Les électrofiltres sont considérés comme étant plus efficaces que d'autres systèmes pour la filtration des particules fines, comme l'ont montré des études précédentes [1-2].

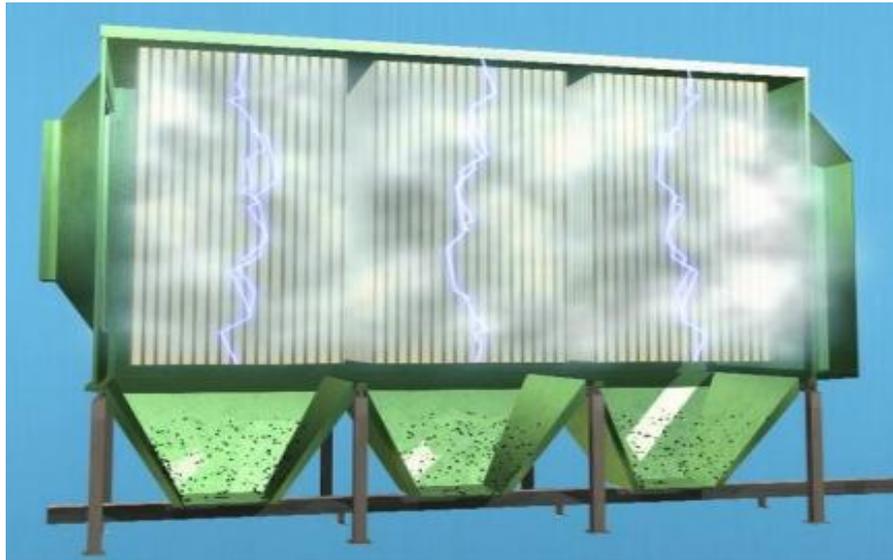


Figure.I.1: électrofiltre [3].

I.3. Fonctionnement des filtres électrostatiques

L'électrofiltration ou précipitation électrostatique est basée sur trois étapes fondamentales (Figure I.1) :

- charger électriquement les particules en suspension dans les gaz a traité.
- collecter les particules chargées sous l'action d'un champ électrique.
- récupérer les particules collectées.

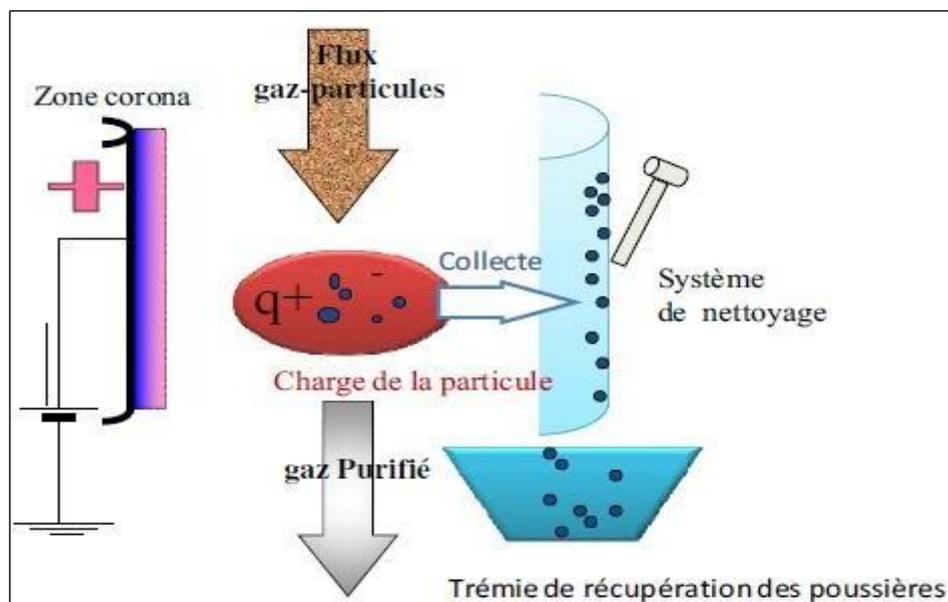


Figure. I.2: Principe de la précipitation électrostatique dans les électrofiltres.

Le fonctionnement d'un électrofiltre est basé sur un principe relativement simple, mais il implique de nombreux phénomènes qui font encore l'objet de recherches. Ce dispositif utilise un précipitateur électrostatique qui est composé de deux électrodes (fil-cylindre, fil-plan, etc.) entre lesquelles le gaz contenant les particules passe. Une forte différence de potentiel est appliquée aux électrodes, ce qui crée une décharge électrique en raison de la dissymétrie des électrodes. Cette décharge génère des ions qui chargent les particules en suspension dans le gaz. Les particules chargées sont ensuite déviées par le champ électrique et se dirigent vers la contre-électrode où elles sont collectées. Bien que le principe de fonctionnement soit simple, de nombreuses études sont encore nécessaires pour comprendre tous les phénomènes impliqués dans la filtration [4].

Pour assurer l'efficacité du procédé, il est nécessaire de nettoyer régulièrement les plaques de collecte afin d'éviter l'accumulation de particules qui pourrait nuire au processus. Le nettoyage dépend de la nature des particules collectées : si elles sont liquides, elles peuvent simplement tomber de l'électrode sous l'effet de la gravitation, tandis que si elles sont solides, la couche de poussière qui se forme doit être périodiquement enlevée en frappant les électrodes [5].

Dans les installations industrielles, la décharge électrique est souvent de polarité négative car la tension de passage à l'arc est plus grande pour cette polarité, pour une géométrie donnée, que pour la polarité positive. Cette polarité négative est donc privilégiée pour charger négativement les particules collectées sur l'électrode de collecte [5].

I.4 Différents types d'électrofiltres

Hormis la forme géométrique de l'électrode collectrice du filtre électrostatique qui peut être cylindrique ou sous la configuration de plaque, on distingue plusieurs types de précipitateurs :

Les types qui seront décrits ici sont :

- (1) Le précipitateur humide, qui peut avoir l'une des configurations mécaniques précédentes.
- (2) Le précipitateur à un étage.
- (3) Le précipitateur à deux étages.

I.4.1 Electrofiltres humides

Les électrofiltres sont divisés en deux types en fonction de leur procédé de nettoyage: les précipitateurs à sec et les précipitateurs à liquide. Les précipitateurs à sec utilisent le grattage ou la vibration pour enlever les fines particules des électrodes de collecte, tandis que les précipitateurs à liquide utilisent de l'eau ou d'autres fluides pour éliminer les particules. La figure.I.4 montre le principe de base de l'électrofiltre.

Cependant, la réalisation technique d'un électrofiltre humide est beaucoup plus complexe, car un système de pompage et de distribution d'eau sur les électrodes de dépôt doit être ajouté. De plus, l'effluent à traiter doit être préalablement saturé en vapeur d'eau, ce qui nécessite une régulation précise du courant à travers l'espace inter-électrodes pour éviter les courts-circuits. Tout cela entraîne des coûts d'investissement et des dépenses d'énergie beaucoup plus élevés que pour les filtres secs.

Malgré ces inconvénients, les électrofiltres humides sont présents dans certaines applications pratiques en raison de quelques avantages, parmi lesquels les plus importantes sont :

- les rendements de filtration sont supérieurs à ceux des électrofiltres secs ;
- le réentraînement des particules collectées est inexistant ;
- les performances de séparation sont indépendantes de la résistivité des poussières [6].

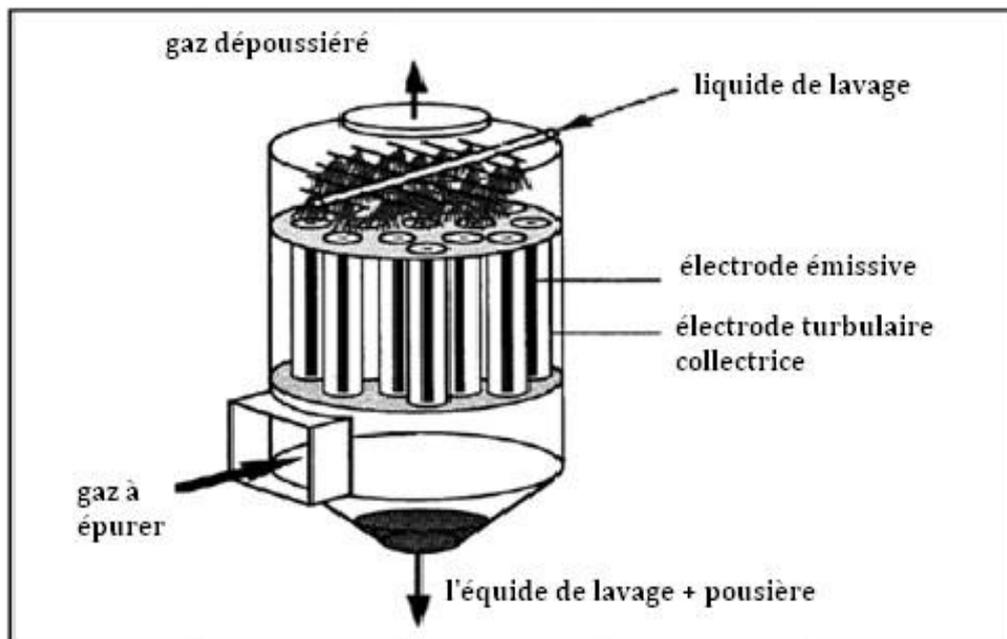


Figure. I.3: Un électrofiltre humide [6].

I.4.2 Les électrofiltres à un seul étage

Les électrofiltres à un seul étage sont les plus couramment utilisés en industrie pour la purification des gaz. Ils permettent une ionisation et une collecte simultanées des particules tout au long de l'électrofiltre comme illustré dans la figure I.7, avec une efficacité d'épuration pouvant atteindre 99 % pour les particules fines de l'ordre du micromètre. Toutefois, leur coût d'investissement est très élevé et leur consommation électrique est de l'ordre de 1 Wh/m³ traité. Les électrofiltres secs sont constitués d'un caisson, d'électrodes émissives et collectrices, de systèmes de battage des électrodes et d'extraction des poussières, ainsi que d'un dispositif de répartition des gaz.

Leur efficacité est maximale pour des vitesses d'écoulement de l'ordre de 1 à 4 m/s et une alimentation haute tension. La polarité négative est souvent utilisée dans les électrofiltres à un seul étage en raison des valeurs plus élevées de l'amorçage de la décharge couronne et du claquage entre les électrodes en polarité négative. [8-9]

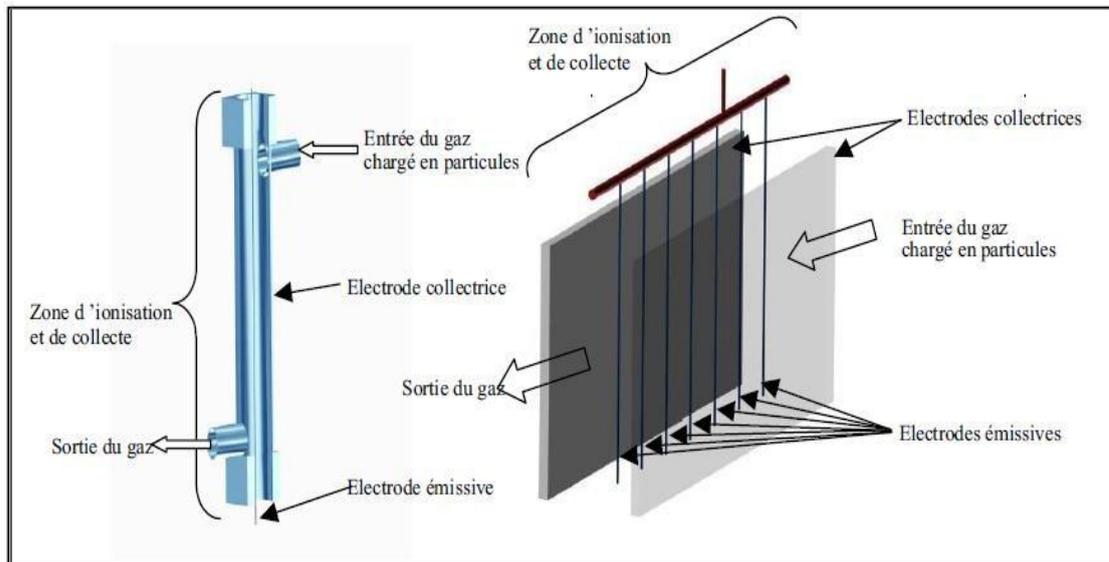


Figure. I.4: Electrofiltre à un seul étage fil-cylindre à gauche, fil-plaque à droite [10].

I.4.3 Electrofiltres à deux étages

Les filtres électrostatiques à double étage ont une construction plus complexe, ce qui entraîne des coûts de fabrication plus élevés. C'est la principale raison pour laquelle ces appareils sont de dimensions réduites et sont principalement utilisés pour la filtration de l'air ambiant dans certains bâtiments et halles de production. Les deux sections du filtre sont alimentées séparément en tension, ce qui nécessite généralement une double source de tension ainsi que des câblages électriques séparés.

Le premier étage, appelé ionisateur, est équipé d'électrodes de décharge sous forme de fil ou de tube, tandis que les électrodes de collecte peuvent être soit des plaques parallèles et équidistantes, soit des cylindres coaxiaux. La figure I.8 présente une vue schématique d'un précipitateur à deux étages avec des électrodes de collecte sous forme de plaques. Toutefois, un problème pour ce type de précipitateur est qu'il est impossible d'utiliser le système de frappe car il provoque le ré-envol des poussières non chargées. Par conséquent, le lavage des électrodes est adopté. Pour minimiser la production d'ozone, les électrodes couronnes sont maintenues à un potentiel électrique de polarité positive [11].

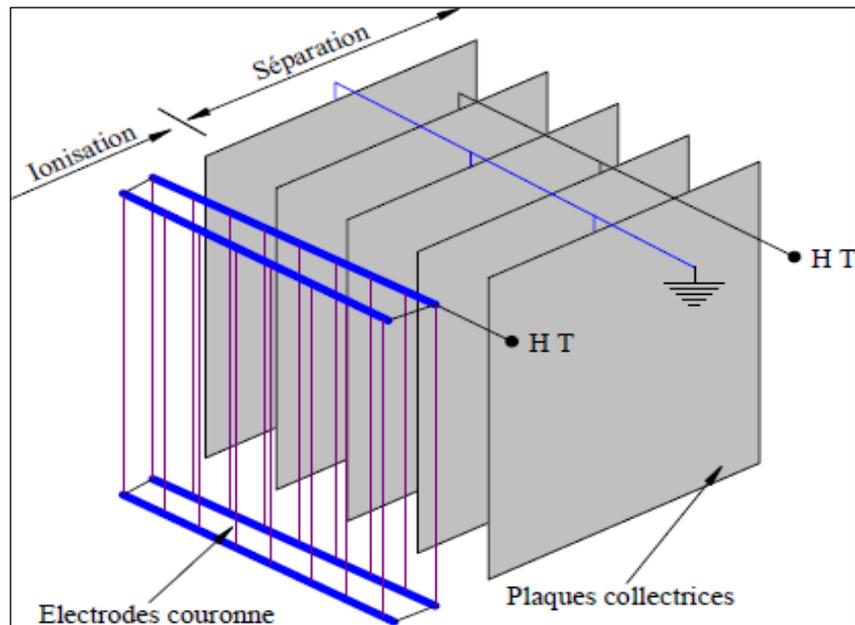


Figure. I.5: Types d'électrofiltres à double étage avec des électrodes de collecte planes [12].

I.5 Rendement

Généralement, le rendement de collecte du précipitateur électrostatique est haut approchant les 100 %. Plusieurs installations ont des rendements de 98 % et de 99 % Quelques matières se chargent plus facilement que d'autres et sont ainsi plus appropriés pour l'élimination par précipitation électrostatique. Pour les brumes d'acide et les unités de récupération catalyste, les rendements dépassent souvent 99 % ; pour le carbone noir, rendement normal de collecte est inférieur à 35 %, à cause de sa tendance de s'agglomérer.

Cependant, par une combinaison adéquate d'un précipitateur électrostatique avec collecteur cyclonique, on peut obtenir de hauts rendements pour cette matière.

I.6 Avantages des précipitateurs électrostatiques

- Les particules aussi petites que 0.1 μ m peuvent être éliminées.
- Faible coûts de maintenance et de fonctionnement.
- Faible chute de pression (0.25 à 1,25 cm d'eau).
- Manipulation satisfaisante d'un large volume de gaz à haute température.
- Le temps de traitement est négligeable (0,1-10 s).
- Aucune restriction en ce qui concerne l'utilisation de produits chimiques solides Liquides ou corrosifs.

- Nettoyage facile en mettant hors service certaines unités du précipitateur.
- Filtre lavable, économie, efficacité, préservation de l'environnement [14]

Avant que la salissure du filtre devienne trop importante, et pour qu'il continue à assurer la même force d'attraction sur les particules nécessite de le nettoyer. Le filtre électrostatique se lave alors, simplement, avec de l'eau et du détergent.

I.7 Inconvénients des précipitateurs électrostatiques

- Hauts coûts d'installation.
- Haut besoin en espace, dû aux dimensions larges de l'équipement.
- Risque d'explosions pendant la collecte de gaz combustibles ou de fines particules.
- Pendant l'exploitation, des mesures de sécurité sont nécessaires. La distribution appropriée du flux de gaz, la résistivité du gaz, la conductivité de fines particules, et le taux d'ignition du corona doivent être maintenus avec soin.
- Pendant l'ionisation du gaz, de l'ozone (gaz toxique) est produit par les électrodes de décharge à charge négative.

I.8 Applications des précipitateurs industriels

La précipitation électrostatique est un procédé couramment utilisé pour éliminer les particules polluantes solides (telles que la poussière et les cendres) contenues dans les gaz rejetés dans l'atmosphère. Des applications importantes des précipitateurs électrostatiques dans les industries sont énumérées ci-dessous [15] :

1. Cimenteries :

- Nettoyage des gaz d'échappement des fours de ciment.
- Récupération des fines particules des fours.

2. Moulins à pulpe et à papier :

- Récupération des fumées de soude dans les moulins à pulpe de Kraft.

3. Aciéries :

- Nettoyage des gaz des hauts fourneaux afin de pouvoir les utiliser comme combustible.
- Elimination des goudrons du gaz des fours à coke.
- Nettoyage des gaz de foyers ouverts et des fourneaux électriques.

I.9 Conclusion

Les précipitateurs électrostatiques continuent à être d'excellents dispositifs pour la commande de beaucoup d'émissions particulières industrielles, et tout ce phénomène est basé sur l'action du champ électrique sur les charges ou les particules chargées. La force électrique agit directement sur les particules chargées à retenir ; donc ces forces sont des forces séparatrices. Ce phénomène de précipitation électrostatique se retrouve largement dans les filtres électrostatiques (appelés également dépoussiéreurs électrostatiques). La charge des particules résulte d'un phénomène appelé « l'effet couronne » qui apparaît lorsque nous appliquons une différence de potentiel entre deux conducteurs aux configurations géométriques appropriées.

Après ce premier chapitre d'introduction à la précipitation électrostatique, nous aborderons à présent le deuxième chapitre consacré à l'étude théorique de cette décharge couronne qu'est un phénomène très influençant sur le rendement des PES.

Chapitre II : Etude de la Décharge

Couronne

II.1 Introduction

Les décharges électriques sont des phénomènes qui se produisent dans les gaz lorsque ceux-ci deviennent conducteurs suite à l'application d'une tension. Le courant traversant le milieu gazeux peut varier en fonction du niveau de tension appliqué. Les décharges électriques peuvent être classées en trois catégories :

- a) Les décharges naturelles, qui se produisent spontanément dans la nature, telles que la foudre, avec des distances de rupture de l'ordre de quelques kilomètres.
- b) Les décharges artificielles non contrôlées, observées par exemple dans les postes de transformation sur les dispositifs de coupure, avec des distances de quelques mètres. Ce type de décharges est généralement dû à des défauts d'isolement.
- c) Les décharges artificielles contrôlées, qui sont utilisées dans différentes applications telles que les tubes à néon luminescents et les arcs de soudage. [16]

Le développement d'une décharge est étroitement lié à la forme des électrodes soumises à la haute tension. En particulier, les électrodes pointues ont la capacité d'augmenter le champ électrique à leur surface grâce à l'effet de pointe. Ainsi, l'application d'une tension suffisamment élevée sur une électrode pointue (de faible rayon) entraîne d'abord l'ionisation du gaz autour de la pointe. Plus la tension augmente, plus la zone ionisée ne s'élargit jusqu'à couvrir toute la distance entre l'électrode haute tension et l'électrode de masse. Dans ce dernier cas, la décharge est dite complète, ce qui correspond à la dernière phase conduisant à l'apparition de l'arc électrique.

Les décharges couronnes se produisent généralement entre deux électrodes dissymétriques dans un milieu gazeux. Au cours de leur propagation, les décharges électriques laissent derrière elles une traînée de plasma, constituée d'espèces neutres excitées ou non et d'espèces chargées (électrons ou ions). Les décharges de type couronne ont fait l'objet de nombreuses études, notamment dans le domaine des réseaux électriques et du chargement des diélectriques

II.2 La décharge couronne

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 [11]. Elle se développe, en général, depuis une électrode ayant un faible rayon de courbure. Les géométries les plus courantes sont : pointe / plan, fil / cylindre, fil / plan, sphère / plan, etc...

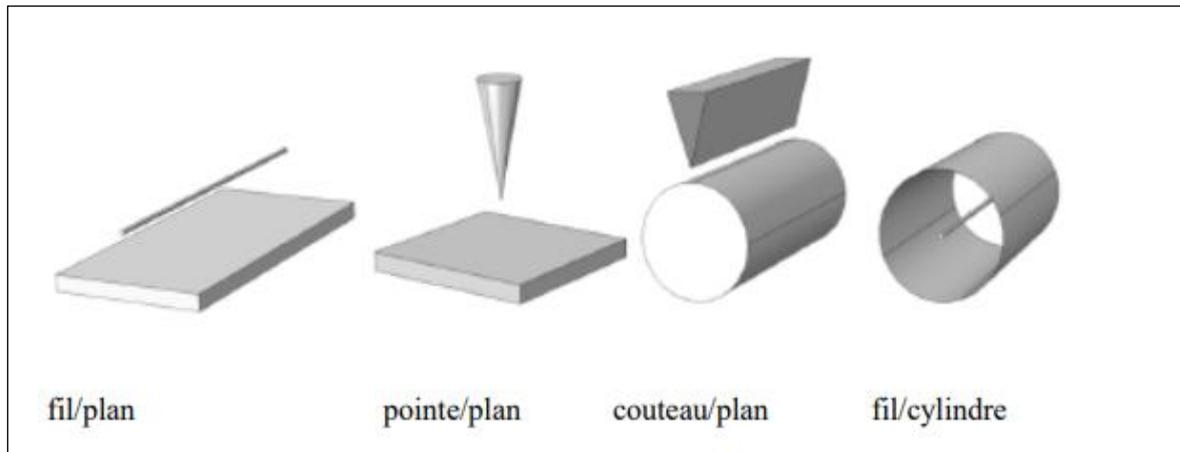


Figure. II.1 : Configurations d'électrodes pour la génération de décharges couronnes [1].

L'espace inter-électrodes est divisible en deux zones [13] :

- une zone active d'ionisation où les charges sont créés et le champ électrique est élevé.
- une zone d'attachement et de recombinaison des électrons dans laquelle les charges dérivent dans un champ électrique plus faible que dans la zone active.

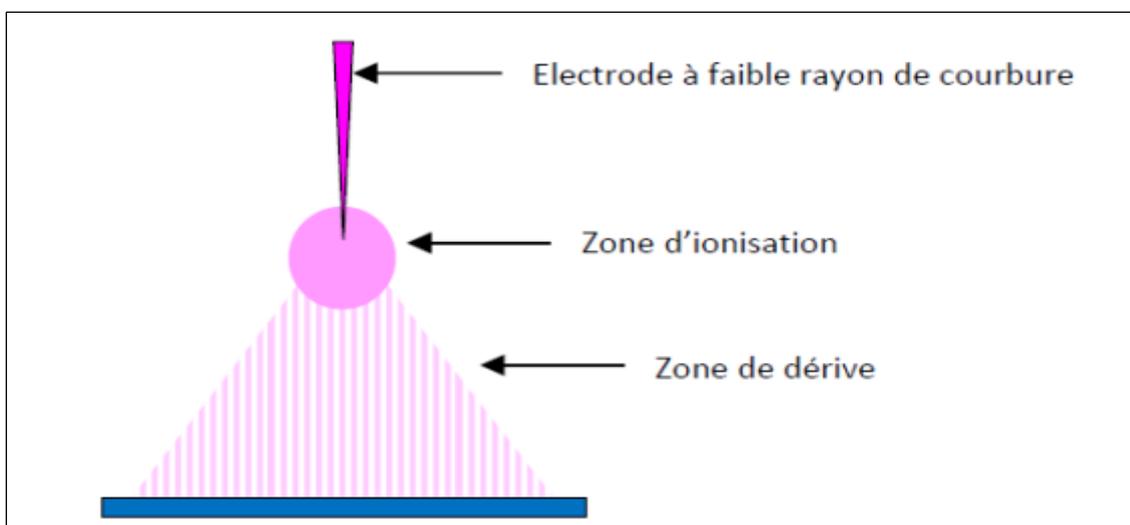


Figure. II.2 : Zones d'ionisation et de dérive dans la décharge couronne [17].

II.3 Les différents modes de décharges couronne

Selon la polarité et l'intensité du champ électrique, on distingue plusieurs modes de décharges couronne.

II.3.1 Décharge couronne positive

La décharge couronne positive se produit lorsque l'électrode active est maintenue à un potentiel positif tandis que l'électrode passive (une plaque) est mise à la terre. Cela crée une zone de champ intense et de forte ionisation autour de la pointe, où des électrons sont produits par photo-ionisation et sont ensuite accélérés vers cette zone (représentée en pointillés sur la Figure II.3 [18]).

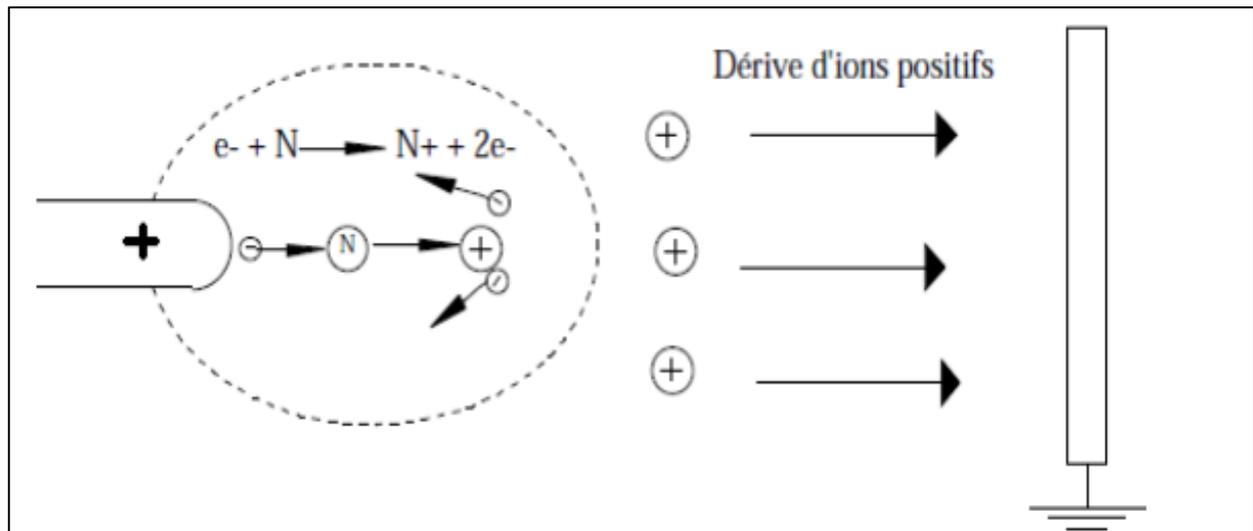


Figure. II.3: Décharge couronne positive [19].

Le phénomène devient plus complexe dans ce cas, car la zone de champ électrique intense n'est pas directement adjacente à la source des électrons. Les électrons proches de la pointe provoquent des avalanches, mais une fois qu'ils atteignent la pointe, ils ne génèrent rien qui puisse maintenir le phénomène. La cathode ne joue pas le rôle de fournisseur d'électrons, car elle est située très loin de la zone où le champ électrique est intense. Si le champ est suffisamment fort, les électrons initiés par le rayonnement ultraviolet émis lors d'une avalanche peuvent créer de nouvelles avalanches. Bien que le champ soit renforcé par l'avalanche, il est peu probable qu'une chaîne se forme entre les électrodes, car le champ devient trop faible près de la cathode [19].

II.3.2 Décharge couronne négative

Lorsque la pointe est maintenue à un potentiel négatif, des électrons sont continuellement créés par photo-ionisation, ce qui entraîne la formation d'une zone d'ionisation autour de la pointe.

Selon Goldman et Sigmond (1982), les ions positifs ainsi générés retournent rapidement vers la cathode, comme illustré dans la Figure II.4 [18].

Les électrons sont éjectés de la cathode par un choc, créant ainsi de nouvelles avalanches. Cependant, ces avalanches ont une portée limitée en raison de deux facteurs. Tout d'abord, le champ électrique diminue rapidement à mesure que l'on s'éloigne de la pointe en direction du plan collecteur. De plus, les ions positifs moins mobiles laissés derrière par les avalanches agissent comme un écran entre les électrons et la pointe, renforçant ainsi la diminution du champ électrique [19].

Lorsque les électrons créent des avalanches, un nuage d'ions positifs se forme. Lorsque ce nuage positif atteint une taille suffisante, les avalanches cessent car le champ électrique est affaibli au-delà de ce point. Les ions positifs sont attirés par la pointe et neutralisés, ce qui entraîne la disparition de la zone positive formée précédemment [18].

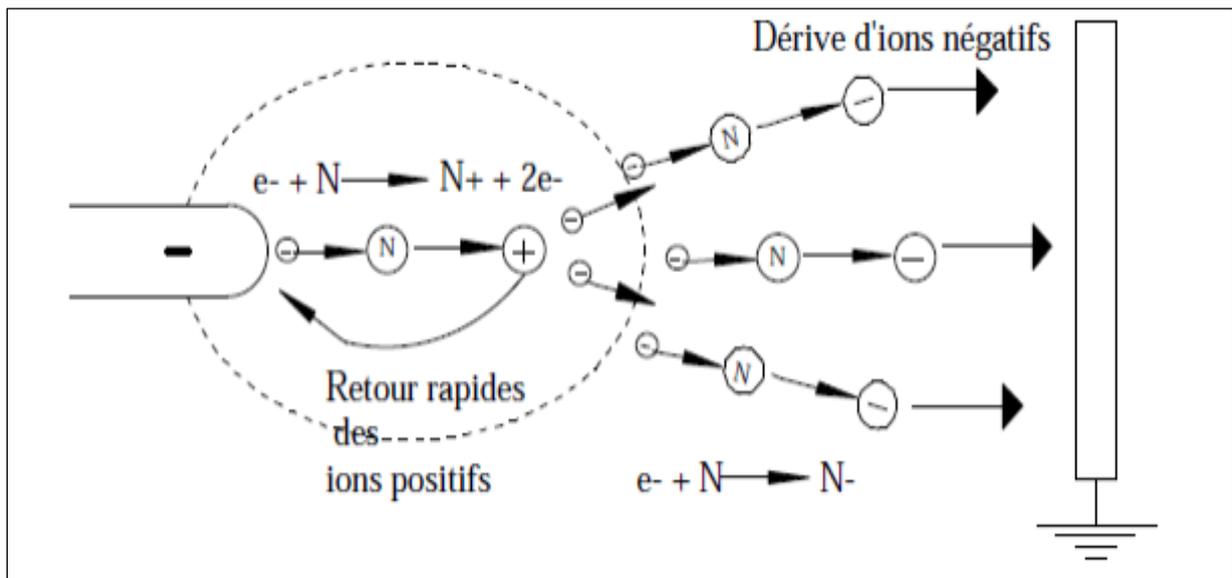


Figure. II.4 : Décharge couronne négative. [18]

II.4 Les facteurs influençant la décharge couronne

Plusieurs facteurs peuvent influencer le seuil et les caractéristiques de la décharge couronne [20]. On distingue trois facteurs essentiels :

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

II.4.1 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.8. Il apparaît clairement que le courant est plus important et croît plus rapidement avec la tension appliquée pour de faibles distances inter-électrodes.

De plus, les seuils de décharge couronne apparaissent pour de faibles valeurs de tension dans le cas des distances inter-électrodes petites [21].

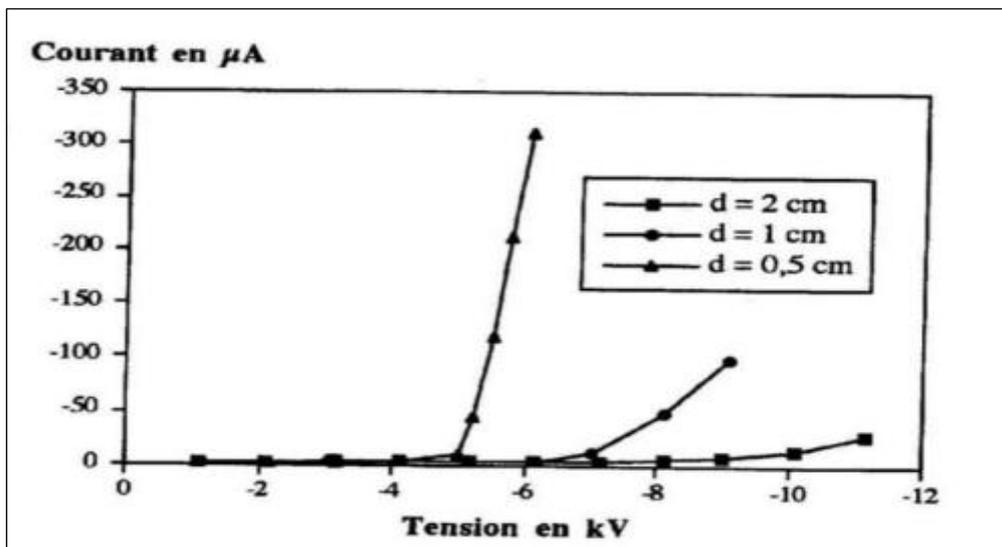


Figure. II.5 : Influence de la distance inter-électrodes sur le courant de la décharge couronne [21].

3. **La nature des électrodes** : La caractéristique courant-tension est représentée selon la nature des électrodes (cuivre, aluminium, et acier) sur la figure. II.6.

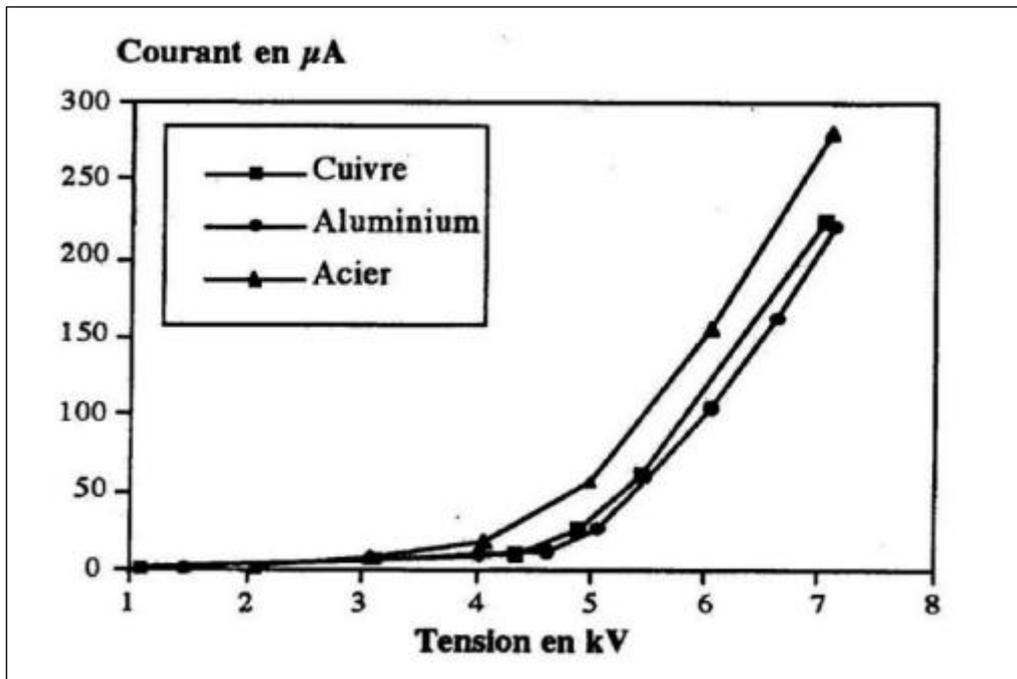


Figure. II.6 : Caractéristique courant-tension selon la nature des électrodes [21].

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

Tableau I.1 : Influence de la nature des électrodes sur la mobilité ionique en tension positive et négative (HR=5%, $\phi_{fil} = 125\mu m$). [12]

Tension positive	μ : en $[m^2.V^{-1}.S^{-1}]$ à $d=0.5cm$
Électrode en cuivre	8.10^{-5}
Électrode en aluminium	$7,4.10^{-5}$
Électrode en acier	12.10^{-5}
Tension négative	μ : en $[m^2.V^{-1}.S^{-1}]$ à $d=0.5cm$
Électrode en acier	4.10^{-4}
Électrode en aluminium	$2,9.10^{-4}$
Électrode en cuivre	$4,5.10^{-4}$

Nous observerons une grande mobilité ionique avec des électrodes en acier qu'avec des électrodes en aluminium quelle que soit la polarité de la tension appliquée. [13].

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

En champ non homogène, comme c'est le cas en géométrie pointe-plan figure. II.7, la décharge couronne présente une zone de stabilité. Ce type de décharge est caractérisé par une tension seuil U de son apparition est une tension U_d de sa transition vers l'arc électrique.

Par contre, en champ homogène figure II.8, dès son apparition, la décharge transite rapidement vers l'arc électrique, autrement dit, la décharge couronne est inexistante et les tensions U et U_d sont confondues [17].

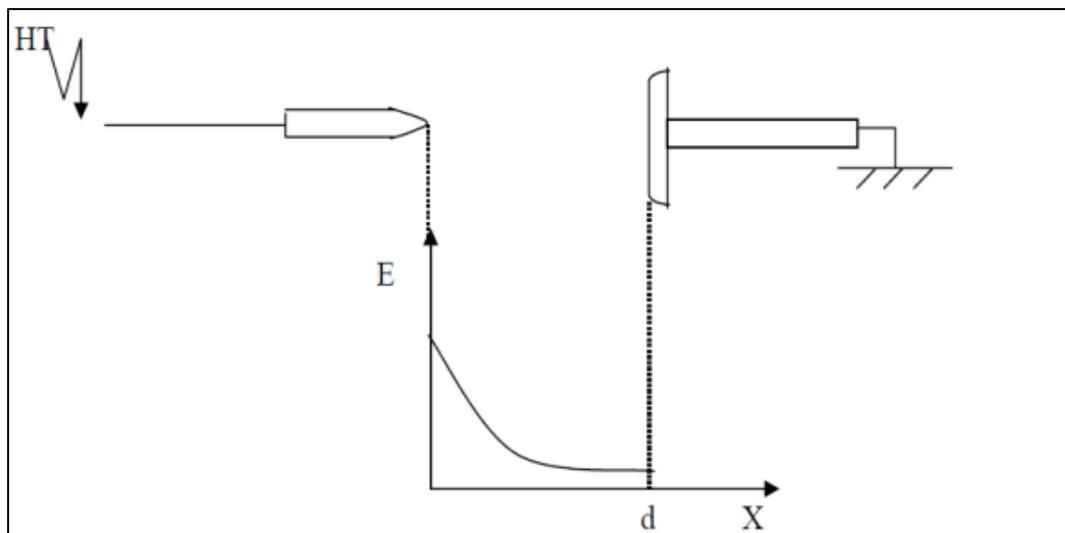


Figure. II.7: distribution du champ dans un système pointe-plan [22].

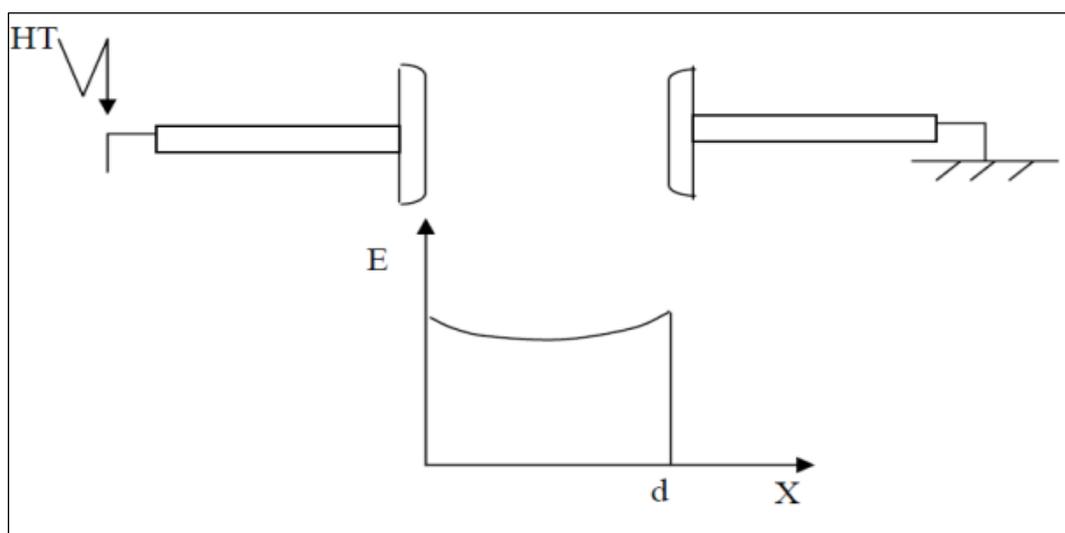


Figure. II.8 : distribution du champ dans un système plan-plan [22].

5 Etat de surface : L'état de surface des conducteurs est un paramètre important par le fait que, plus il se dégrade plus les pertes augmentent et plus le champ perturbateur est élevé. Parmi les facteurs de dégradation, la pollution végétale ou industrielle, voir suintement en surface de graisse de toronage, jouent un rôle important, mais malheureusement difficilement maîtrisable. Plus encore, la pluie, en raison des aspérités que constituent les gouttes d'eau suspendues aux conducteurs, multiplie le nombre d'aigrettes génératrices de l'effet couronne [23].

II.2.2 Les facteurs physico-chimiques

a. La température : Avec l'augmentation de la température, à la pression normale, la rigidité diélectrique de l'air diminue, ce qui favorise la décharge couronne. Cela est dû au fait que dans ce cas le libre parcours moyen augmente [22].

b. L'humidité : L'impact de la distance entre les électrodes sur les paramètres de la décharge est illustré. Il est évident que le courant est plus élevé et augmente plus rapidement avec la tension appliquée lorsque la distance entre les électrodes est faible. De plus, les seuils de décharge coronaire apparaissent à de faibles valeurs de tension dans le cas des petites distances entre les électrodes [23].

Le seuil d'apparition de la décharge couronne survient à des tensions toujours plus basses pour 90% que pour 5% d'humidité relative [26].

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

c. La pression : A partir de la tension atmosphérique, l'effet de la pression est proportionnel à la tension d'amorçage et inversement proportionnel au courant. La figure I.9 montre l'effet de la pression sur la décharge Figure. II.9 [26].

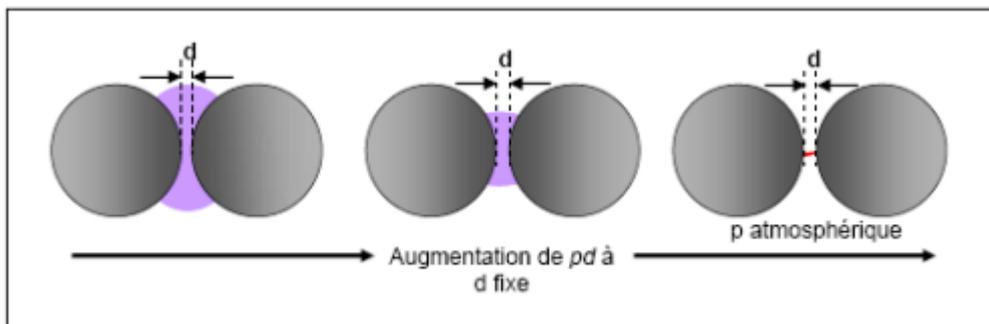


Figure. II.9 : Schéma d'évolution de la décharge observée en fonction de la pression [23].

d. La densité de l'air : Les paramètres climatiques et particulièrement la densité de l'air influencent la tension d'amorçage des intervalles d'air. La tension U_d est proportionnelle à la densité de l'air :

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

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

K_h/δ : Correction à apporter pour avoir les conditions normales.

II.4.3 Facteurs électriques

L'effet couronne diffère selon qu'on applique à un système d'électrodes une tension continue ou alternative. Les différents modes d'émission de charges qui ont été décrits en tension alternative sont observés également en tension continue, la seule différence est que l'effet couronne en tension alternative implique que la concentration des émissions de charges correspond à la crête de la sinusoïde du courant, tandis qu'en continu l'émission de charges est permanente [23].

Chapitre III : Matériel et Méthodes

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'étude expérimentale dans le but d'étudier l'influence de certains paramètres (la polarité de lame, la distance inter-électrodes H et principalement la pression P et la température T) sur les caractéristiques de la décharge couronne en géométrie lame-2plane sous tension continue. Cette étude expérimentale nous permettra de tracer la caractéristique courant-tension de la décharge couronne.

III.2 Description du montage expérimental

Le montage utilisé pour l'étude de l'effet de la pression et de la température sur les décharges couronnes est principalement constitué d'une source à haute tension continue de tension maximale de 85 kV et d'un dispositif de décharge comprend une lame-2 plan dans une enceinte, reliée à une pompe à vide et une plaque chauffante à deux étapes.

La première étape, la pompe à vide est utilisée pour modifier la pression atmosphérique de 0 à 1 bar à l'intérieur de l'enceinte.

La deuxième étape, la plaque chauffante est utilisée pour régler la température à l'intérieur de l'enceinte.

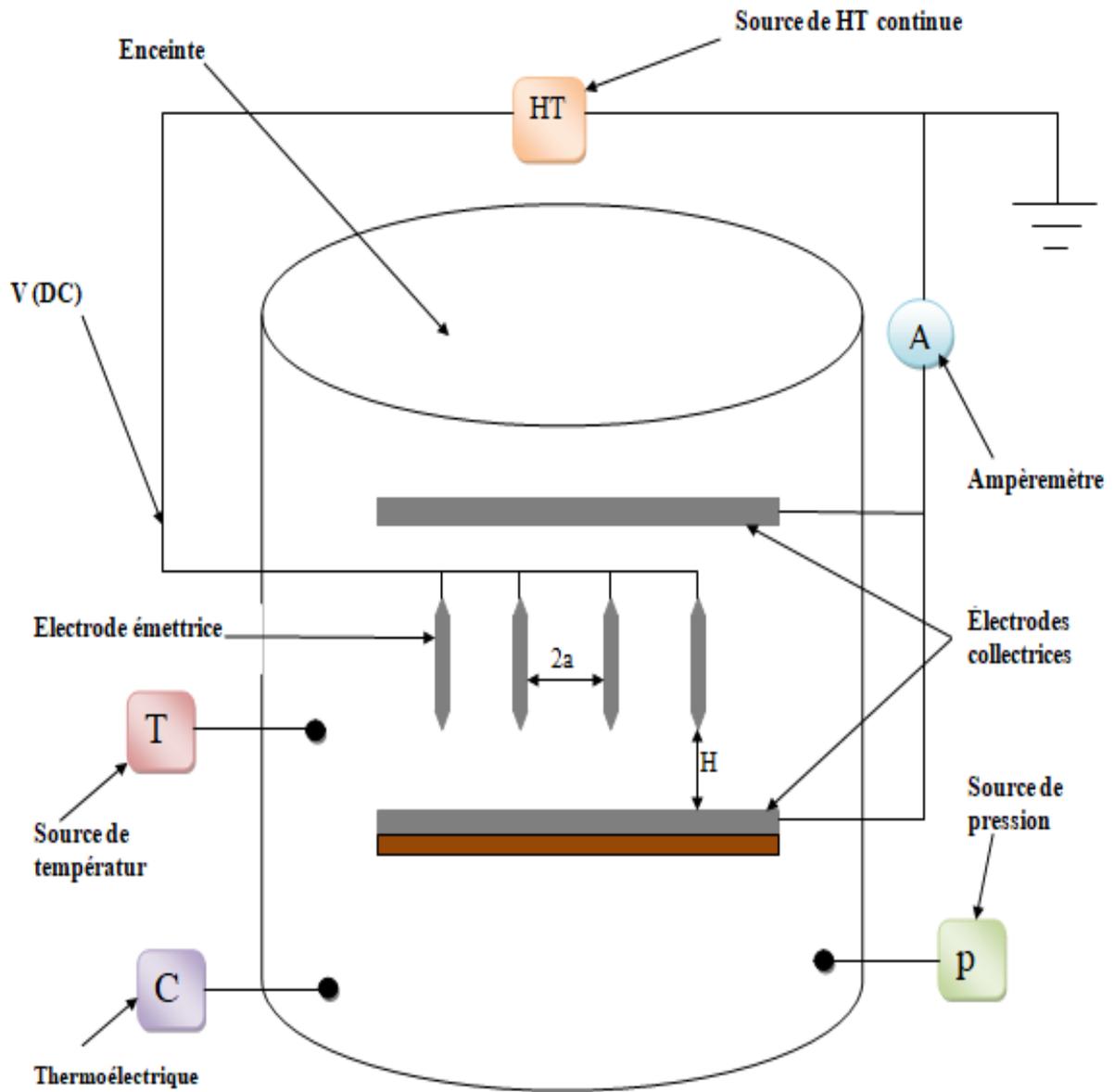


Figure.III.1: représentation schématique de l'installation expérimental.

III.3 Dispositif expérimental

III.3.1 Dispositif d'essai :

Le dispositif d'essai se compose de:

- Enceinte en plexiglas d'épaisseur 5 mm.
- lames en acier inoxydable (électrodes émissives) de longueur 17 cm, et un rayon de courbure très fine.
- Utilisée 3 type de lames pour chaque essai (lame normal – grande scie – petite scie).
- 2 Plans rectangulaire en acier inoxydable (électrodes collectrices) de longueur 22 cm et de largeur 17 cm.

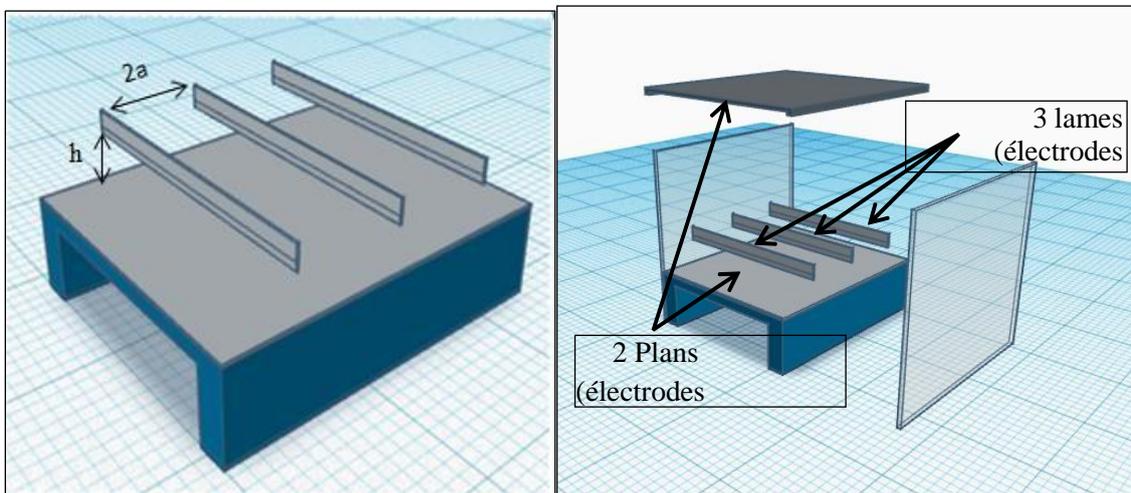


Figure.III.2 : dispositif d'essai.

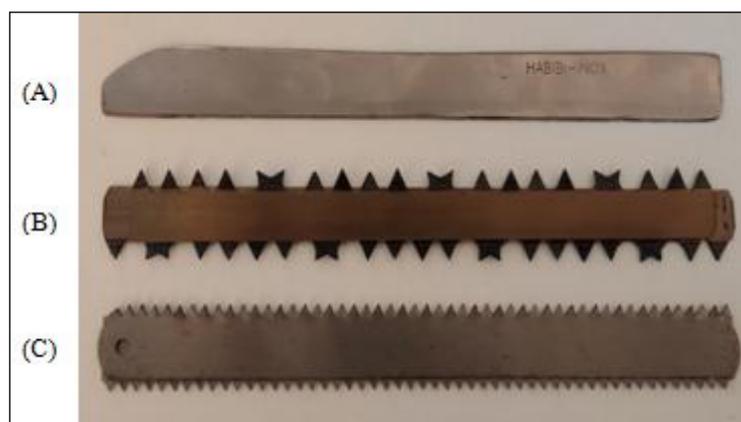


Figure.III.3: différents types de lames (électrodes).

III.3.2 Principe de fonctionnement

L'assemblage de deux systèmes « Ionisation, Injection » il donne un prototype qui permet de filtrer l'air pollué qui le traverse, Le système d'ionisation composé de lames à faible rayon de courbure entre deux plans avec des supports isolants en plexiglas, ce mode permet la création du champ magnétique, après l'alimentation des lames par une source haute tension continue délivrant une tension allant de 0 à 80 kV, ces lames sont désignés autant que des électrodes actives ou appelés aussi l'électrode émetteur, ce phénomène définit l'effet couronne.

Les électrodes actives sont tendues par des supports isolants en plexiglas à une distance h du plan et d'une distance entre lames 2cm.

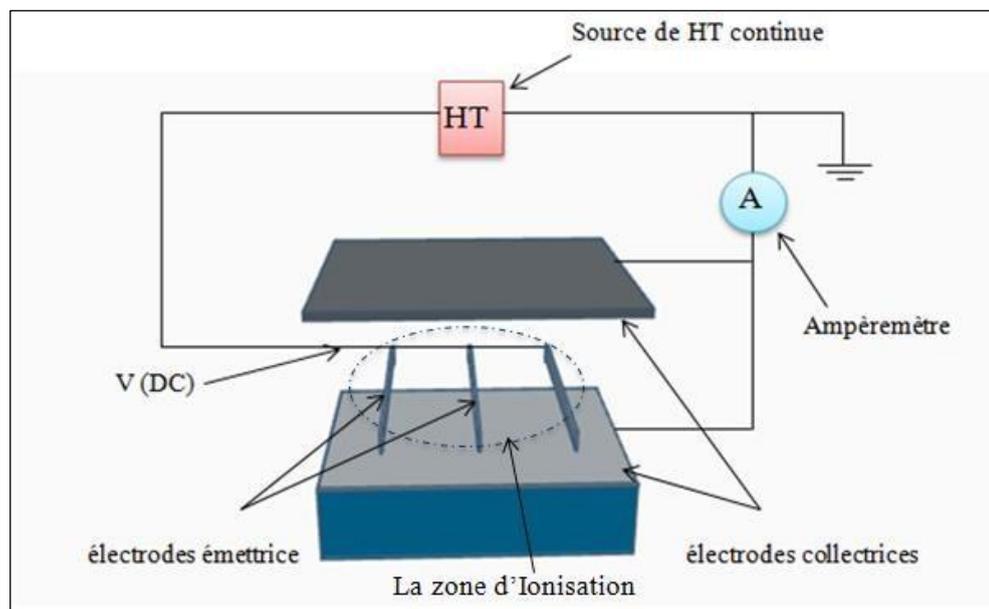


Figure.III.4 : Le system d'Ionisation.

Les deux plans qui sont mis à la terre, et ionisés par le courant de décharge (ou le champ électrique) qui est distribué par les électrodes sur la surface des plans, ce dernier sera mesuré par un ampèremètre relié en série avec la surface de ces deux plans.

Le système d'injection va créer un flux d'air pollué, d'après l'injection d'une quantité de poussière qui transporté par l'air injecté par le souffleur jusqu'à la zone d'ionisation.

Le passage de la poussière injectée est assuré par un souffleur de vitesse variable à l'aide d'un autotransformateur.

La poussière pénètre à l'intérieure de l'espace entre les électrodes par effet couronne, par conséquent une ionisation du gaz autour du lames, ce qui résulte la création des ions et des

électrons. Ces particules micro-niques vont bombarder les molécules de poussière qui se chargent d'électricité et vont être dérivées vers la surface des plaques sous l'effet du champ électrique. En outre, la poussière non collectée va être récupérée dans une enceinte de récupération

III.4 Matériel utilisé

❖ Source de Haute Tension :

Glassman High Voltage DC séries WR, ce modèle génère un courant variable entre 0 et 30 mA et de tension variable entre 0 et 85 kV et supporte le court-circuit en cas de décharge du courant (tension de claquage) dans l'expérience [27].



Figure. III.5: Photographie Source de Haute Tension modèle Glassman, séries LT [27].

❖ Ampèremètre Analogiques :

Conçus pour résister aux chocs mécaniques, protégés par des fusibles à haut pouvoir de coupure, ce modèle permet à l'utilisateur de tester, mesurer et de lire à plusieurs échelles [28].

- ✓ Il est équipé d'un galvanomètre à cadre mobile:
- Sécurité : IEC61010 - 600 V CAT III
- Indice de protection : IP65

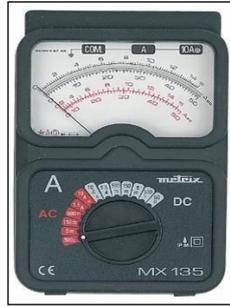


Figure.III.6: Photographie du thermo hygromètre utilisé [28].

❖ **Pompe à vide :**

La pompe à vide (figure.III.7) est alimentée sous une tension de 220 V, elle est utilisée pour vider l'air de l'intérieur du tube de décharge, permettant ainsi une variation de la pression.



Figure.III.7: Photographie de la pompe vide [29].

❖ **Multimètre numérique :**

Ce modèle permet à l'utilisateur de tester, mesurer et de lire à plusieurs échelles, les unités les plus importantes qui ont été mesurées sont : la continuité, la densité de courant et la tension. Il s'agit d'un outil standard de diagnostic pour les techniciens des domaines de l'électricité et de l'électronique.

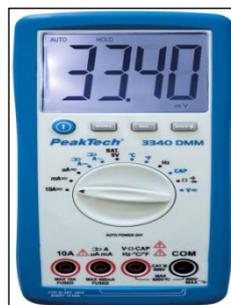


Figure.III.8 : multimètre numérique.

❖ Thermocouple :

Un dispositif thermoélectrique pour mesurer la température, composé de deux fils en métaux différents connectés en deux points, une tension se développant entre les deux jonctions en proportion de la différence de température.



Figure.III.9 : thermocouple.

❖ Autotransformateur :

L'autotransformateur nous permet de réguler la température de plaque chauffante figure.III.10.



Figure.III.10: Photographie d'un autotransformateur [29].

❖ Plaque chauffante :

Une plaque chauffante est un appareil électroménager qui génère de la chaleur figure(II.6).



Figure.III.11: plaque chauffante.

❖ Enceinte sous pression :

Sont conçues de telle manière à assurer une étanchéité parfaite. Elles sont destinées à un fonctionnement performant sous des conditions de température et de pression extrêmes.

(Ou "récipient sous pression") fait référence à un contenant hermétique conçu pour contenir des gaz, des liquides ou des solides sous une pression supérieure à la pression atmosphérique ambiante.



Figure.III.12 : Photographie de l'enceinte [29].

III.5 Mode opératoire

Dans le but d'éviter toute modification ou altération des électrodes, celles-ci sont nettoyées avant et après chaque essai avec afin de réduire les effets liés aux conditions de pression, de température et d'humidité.

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons effectué une étude expérimentale afin d'étudier l'influence des différents paramètres sur la caractéristique courant-tension de la décharge couronne en géométrie lame-plan sous une tension continue.

Chapitre IV : Résultat et Discussion

IV.1. Introduction

Ce chapitre, a pour objectif de présenter les résultats expérimentaux obtenus de la précipitation électrostatique dans l'électrofiltre en configuration lames-plan.

Le but de ce travail est d'étudier un ensemble du paramètre physique de L'air, qui peuvent influencer sur le processus de la filtration, Pour ce faire, nous diviserons cette étude en deux parties essentielles. Dans la première partie, nous présenterons les résultats des essais portant sur l'impact de la pression sur la décharge coronaire. Quant à la deuxième partie, elle mettra en lumière les résultats des essais concernant l'influence de la température sur la décharge coronaire.

IV.2. Caractéristiques courant-tension :

Nous avons étudié les caractéristiques courant-tension en fonction des paramètres suivants: Distance inter-électrodes h , nombre de lames, distance inter-lames (2cm) et la nature de la tension appliquée $V+$, $V-$.

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

1. La tension appliquée à la lame V .
2. Le courant I collecté par la surface de plan.
3. Les paramètres physiques de l'air (la pression, la température et l'humidité).

IV.3. Influence de la distance inter-électrodes

La décharge DC positive ou négative présente une zone de dérive des ions qui agit comme une impédance en série avec la zone d'ionisation, assurant ainsi la stabilité des décharges couronne[30], [31]. Dans une décharge négative, les ions positifs reviennent rapidement à la cathode, tandis que les ions négatifs migrent vers une zone de dérive. En revanche, dans une décharge positive, les ions positifs sont créés dans la région d'ionisation et se déplacent dans tout l'espace inter-électrodes.

La loi courant-tension de Townsend est une relation empirique développée par Townsend en 1914 qui s'applique à tous les systèmes. La formule correspondante est la suivante :

$$I = KV(V - V_0) \quad (\text{IV.1})$$

Ou bien:

$$\frac{I}{V} = K(V - V_0) \quad (\text{IV.2})$$

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.

Les figures IV.1 et IV.2 représentent les caractéristiques courant-tension (I-V) pour les deux polarités (décharge positive et décharge négative) dans trois configurations de lames différentes, montrant une augmentation progressive du courant avec la tension appliquée jusqu'au claquage du milieu gazeux. Le courant continu à travers l'espace inter-électrodes est une fonction non linéaire de la tension.

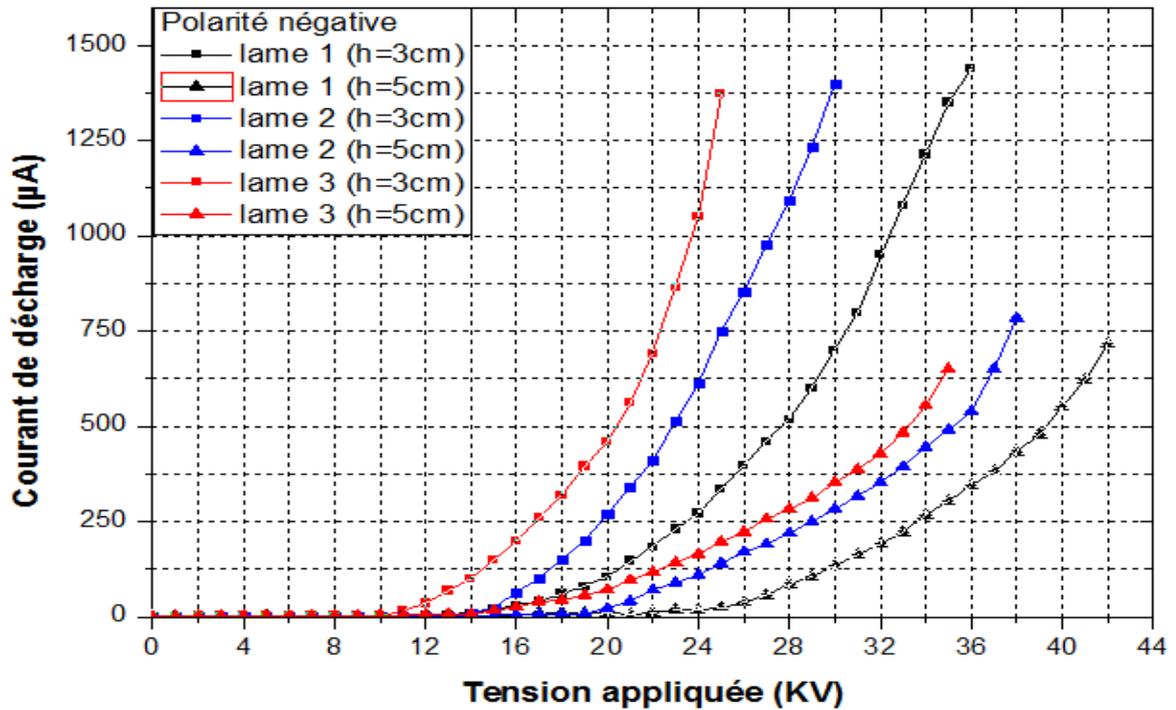


Figure. IV.1: Caractéristiques I-V en polarité négative avec diverses distances inter électrode.

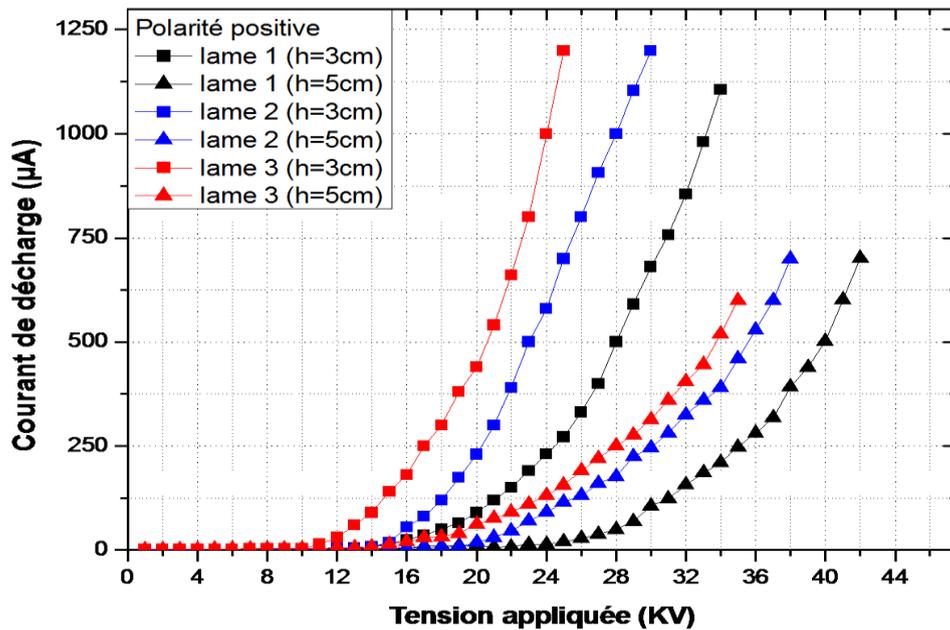


Figure. IV.2 : Caractéristiques I-V en polarité positive avec diverses distances inter-électrodes.

Il est évident que le courant est plus élevé et augmente plus rapidement avec l'augmentation de la tension appliquée lorsque la distance inter les électrodes est faible. De plus, les seuils de décharge couronne se manifestent à des valeurs de tension plus basses dans le cas de distances inter-électrodes réduites.

IV.4. Influence de la polarité

Cette section examine l'influence de la polarité de la tension appliquée, comme indiqué sur la figure (IV.3).

La figure montre le taux de variation presque linéaire du courant avec l'augmentation de la tension. Le courant augmente progressivement avec la tension appliquée jusqu'à une valeur proche du claquage.

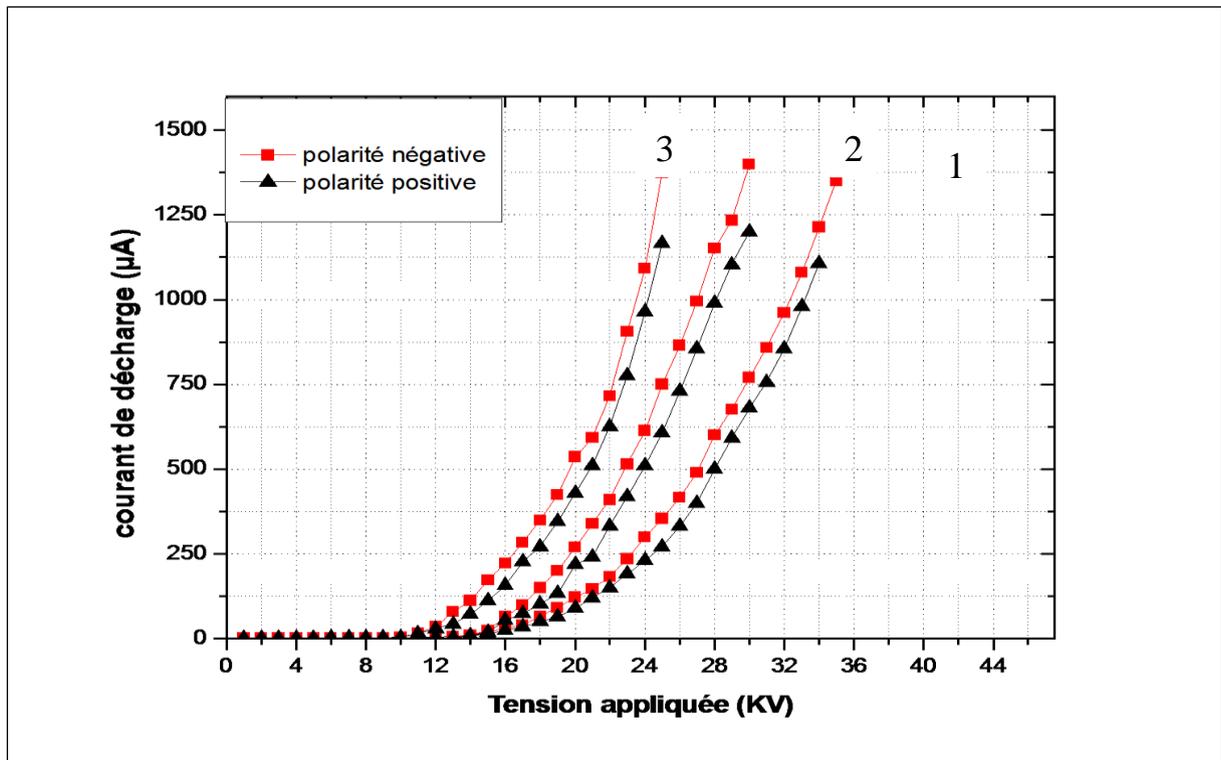


Figure. IV.3 : Caractéristiques I-V en fonction de la polarité de la tension appliquée.

D'après la figure (IV.3), on remarque que pour une tension et une distance fixe le courant mesuré est plus grand quand la polarité de la tension appliquée est négative. Afin d'obtenir une efficacité de dépoussiérage optimale, il est nécessaire d'avoir une concentration d'ions maximale dans le gaz, ce qui correspond à un courant maximal sans formation d'arc électrique. Par conséquent, la tension de fonctionnement est légèrement inférieure à la tension de claquage.

IV.5. Facteur géométrique k en fonction de la distance inter-électrode

La dépendance du rapport courant / tension en fonction de la différence de potentiel peut être exprimée par l'équation (IV.2). Pour des distances inter-électrodes données, les paramètres K^- et K^+ peuvent être déterminés par les pentes des droites représentées sur les figures (IV.4) et (IV.5).

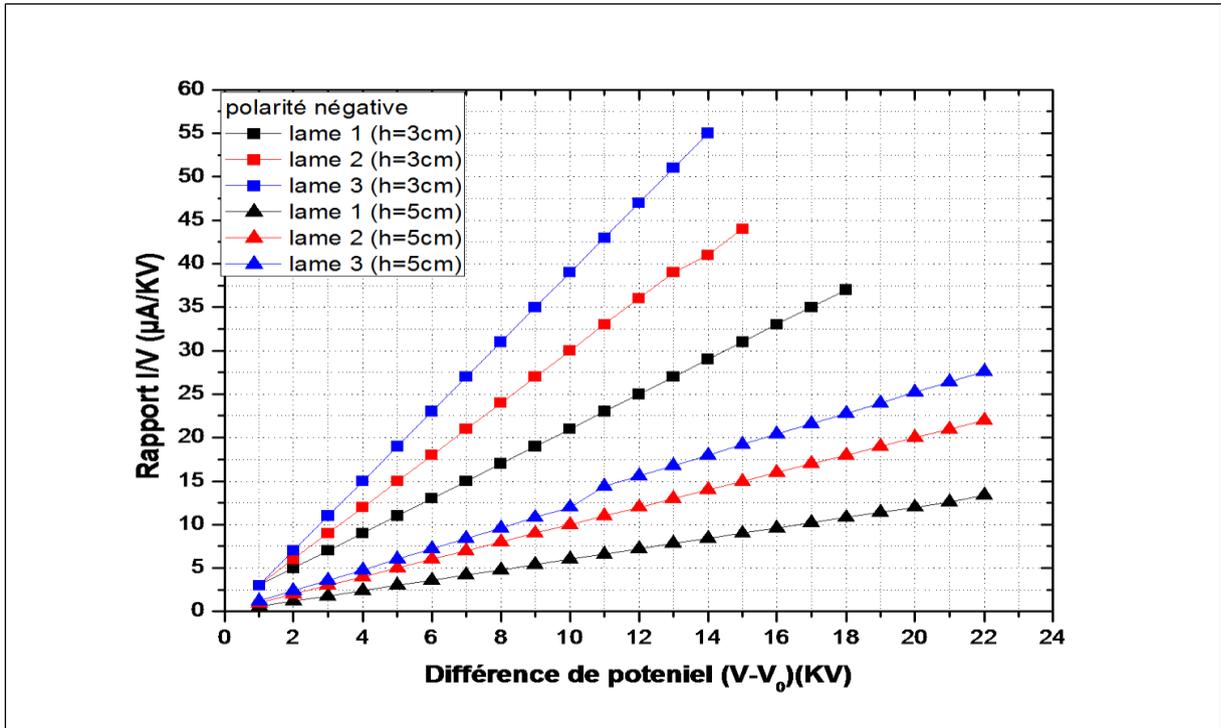


Figure. IV.4 : Dépendance du rapport courant / tension (I / V) avec la différence de tension ($V-V_0$).

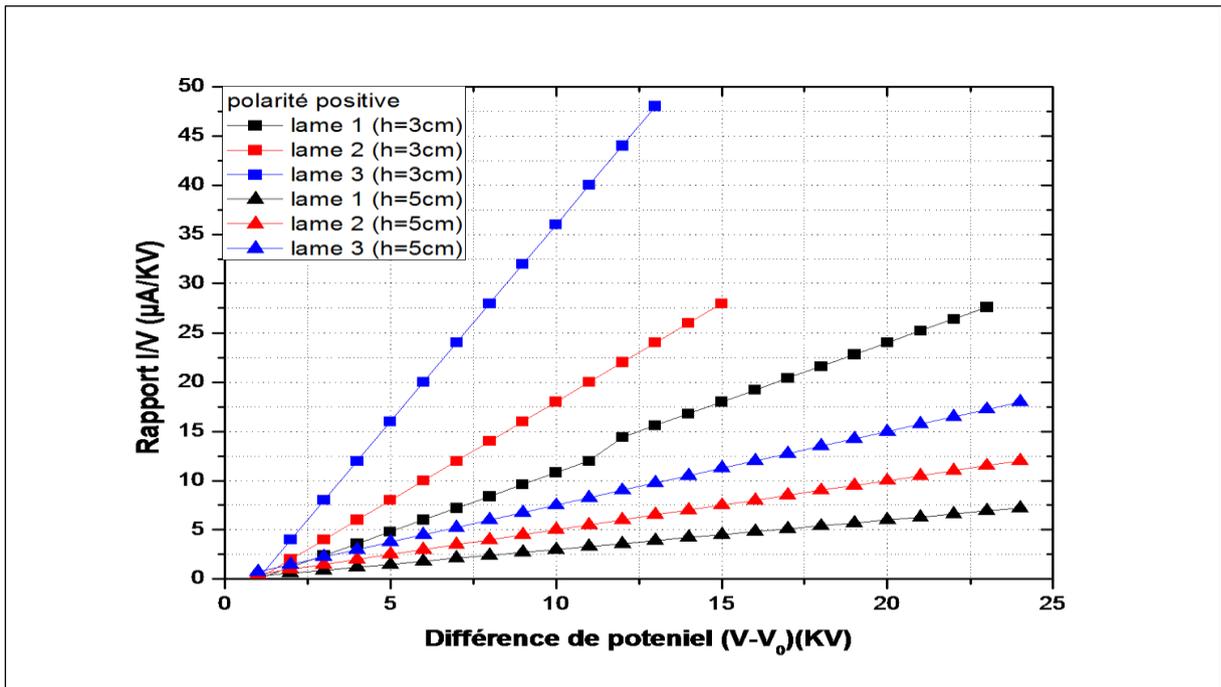


Figure. IV.5 : Dépendance du rapport courant / tension (I / V) avec la différence de tension ($V-V_0$).

La constante géométrique K est proportionnelle à la mobilité apparente des porteurs de charge et plus élevée dans le cas d'une polarité négative et positive.

	Lame (1)		Lame (2)		Lame (3)	
h (cm)	3	5	3	5	3	5
$K (\mu\text{A}/\text{KV}^2)$						
DC positive (K^+)	2.33	0.89	3.15	1.05	3.5	2.1
DC négative (K^-)	2.5	1	3.33	1.25	3.75	2.23
K^-/K^+	1.0729	1.1235	1.0571	1.1904	1.0714	1.0619

Tableau IV.1 : Résultats de facteur K pour les couronnes négative et positive

La valeur obtenue dans cette plage de $3 \text{ cm} \leq h \leq 5 \text{ cm}$, peut être considérée comme une constante. Le rapport entre les facteurs K^-/K^+ doit rester constant indépendamment de la distance inter électrodes. On peut donc affirmer que (K^-/K^+) est approximativement égal à (μ^-/μ^+) , soit environ 1,097.

IV.6. Effet du rayon de courbure sur la décharge couronne

Le rayon de courbure des lames de décharge couronne peut avoir un effet significatif sur le fonctionnement de la décharge couronne. La décharge couronne est un phénomène électrique qui se produit lorsque la tension appliquée entre une électrode pointue et une électrode plane atteint un seuil critique.

Le rayon de courbure des lames est un facteur important pour la génération et le maintien de la décharge couronne. Voici comment le rayon de courbure peut influencer ce phénomène :

- **Initiation de la décharge :** Un rayon de courbure plus petit facilite l'initiation de la décharge couronne. Avec une pointe plus fine, le champ électrique à l'extrémité de la pointe est plus élevé, ce qui favorise la rupture de l'air environnant et l'initiation de la décharge.
- **Tension de décharge :** Le rayon de courbure peut également affecter la tension de décharge nécessaire pour maintenir la décharge couronne. En général, une pointe plus fine nécessite une tension de décharge plus basse, car le champ électrique à la pointe est plus concentré.
- **Intensité de la décharge :** Le rayon de courbure peut également influencer l'intensité de la décharge couronne. Une pointe plus fine peut générer une décharge plus intense, avec un champ électrique plus élevé et une plus grande concentration de charges.

- Stabilité de la décharge : La stabilité de la décharge couronne peut être affectée par le rayon de courbure des lames. Un rayon de courbure plus grand peut favoriser une décharge plus stable, car il permet une distribution plus uniforme du champ électrique sur la pointe.

En résumé, le rayon de courbure du lame est inversement proportionnel à la décharge couronne. Ceci est tout à fait normal, car le champ électrique sur la lame est inversement proportionnel au rayon de courbure

IV.7. Densités de courant J

La densité de courant joue un rôle essentiel dans les expériences de décharge couronne.

Comprendre la dynamique et la répartition précise de la densité de courant dans ce type d'expériences est crucial pour comprendre le comportement du système électrique.

La densité de courant est mesurée à l'aide de capteurs spéciaux qui permettent de déterminer l'impact de différentes variables, telles que le niveau de tension appliqué à l'électrode active, ainsi que les effets des conditions environnementales telles que la température, la pression et l'humidité relative.

Ces mesures sont analysées afin d'obtenir une compréhension approfondie des interactions électriques dans la décharge couronne et de leurs effets sur les performances globales du système.

En comprenant la densité de courant dans les expériences de décharge couronne, nous sommes en mesure d'identifier les variables influentes et d'améliorer la conception et les performances du système.

IV.8. Variation la densité J en fonction de la tension appliquée V

Nous avons représenté sur les figures (IV.6) et (IV.7) les variations de la densité de courant J en fonction de la tension appliquée V à l'électrode active, pour les deux polarités des lames, en tenant compte de la différence de distance inter électrode.

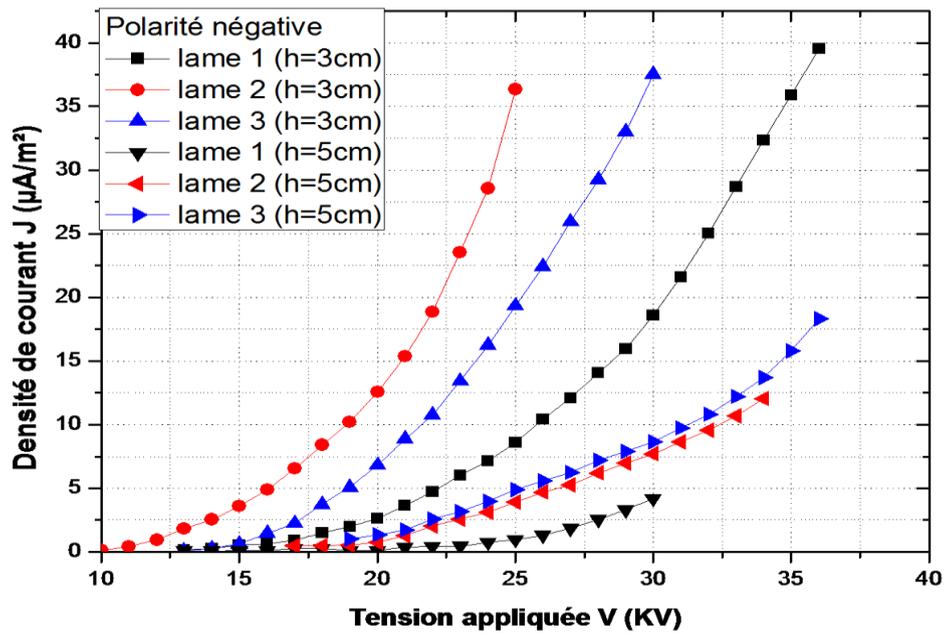


Figure. IV.6 : Variation de J en fonction de V négative avec diverses distances inter électrode.

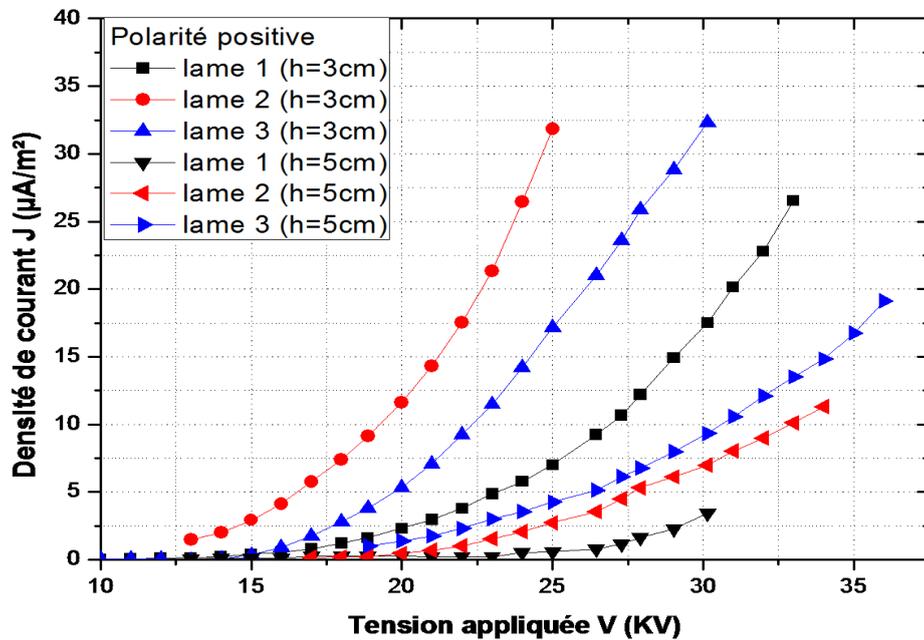


Figure. IV.7 : Variation de J en fonction de V négative avec diverses distances inter électrode.

On voit clairement que la densité du courant augmente avec la tension appliquée, et les valeurs de la densité du courant sont plus élevées aux lames dont la distance inter électrodes est de 3 cm par rapport aux lames dont la distance inter électrodes est de 5 cm.

IV.9. Effet de la pression

Les figures (IV.8) et (IV.9) représentent, respectivement, l'influence de la pression sur la caractéristique I-V pour la décharge négative et positive.

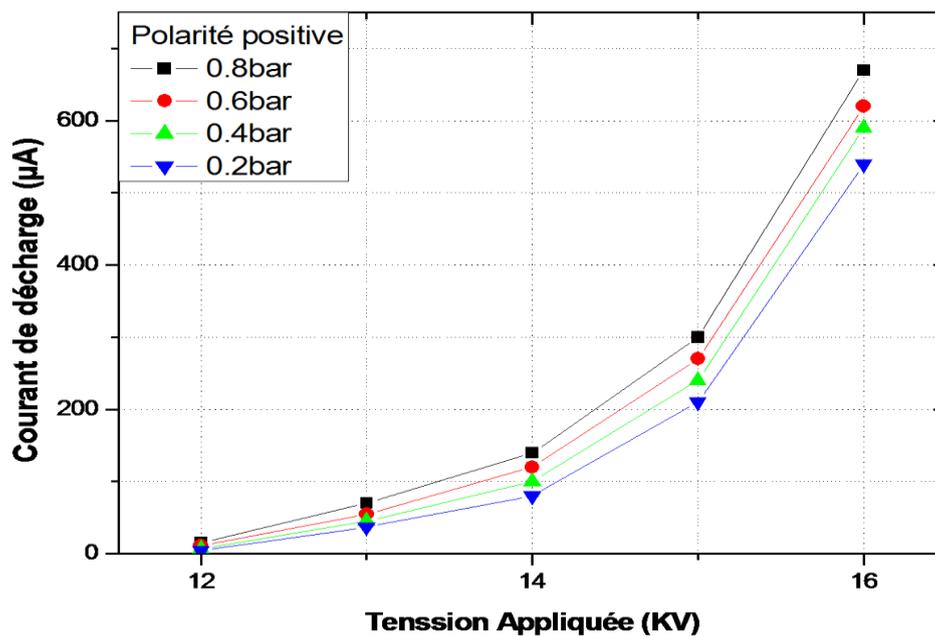


Figure. IV.8 : Caractéristique I-V d'une décharge négative pour différentes pressions.

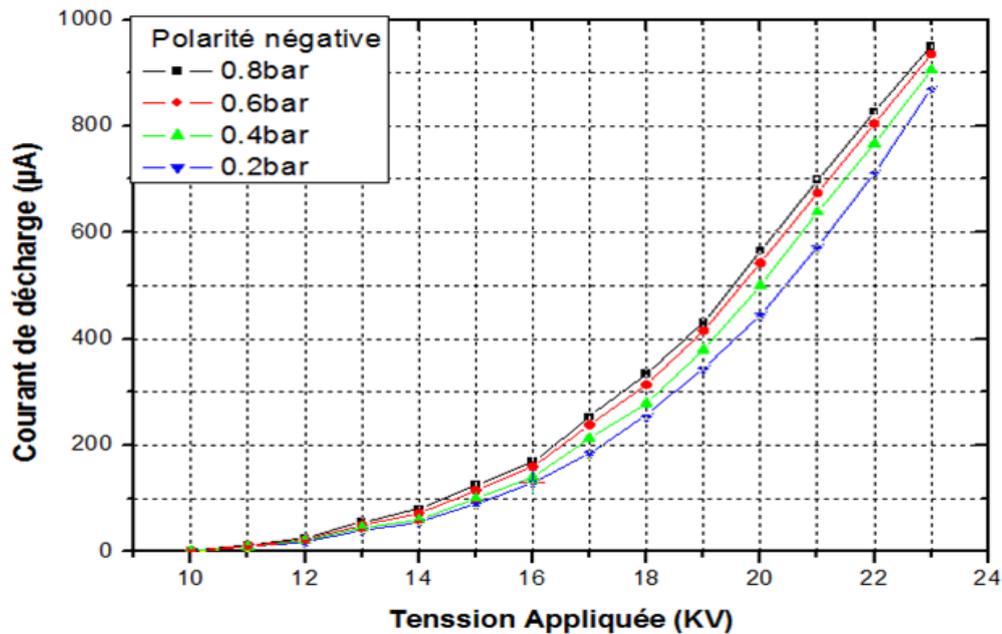


Figure. IV.9 : Caractéristique I-V d'une décharge positive pour différentes pressions.

Les figures (IV.8) et (IV.9) illustrent la variation du courant de décharge en fonction de la tension appliquée V pour différentes valeurs de la pression P . Cette variation présente une forme quadratique. Nous constatons que le courant augmente en même temps que la pression. Lorsque la pression du gaz augmente, le libre parcours moyen des molécules du gaz diminue, ce qui entraîne une augmentation des collisions entre les électrons et les molécules du gaz. Ces collisions fournissent aux électrons une quantité accrue d'énergie, favorisant ainsi la formation d'une avalanche

❖ Tension de claquage

La courbe (IV.10) représente la variation des tensions de claquage en fonction de la pression pour les polarités positive et négative. Pour mesurer les tensions de claquage en fonction de la pression, nous avons effectué des relevés en faisant varier la pression à l'intérieur de l'enceinte, de la pression 0 à 1 bar. Nous avons pris soin de réaliser ces mesures rapidement afin de minimiser les variations.

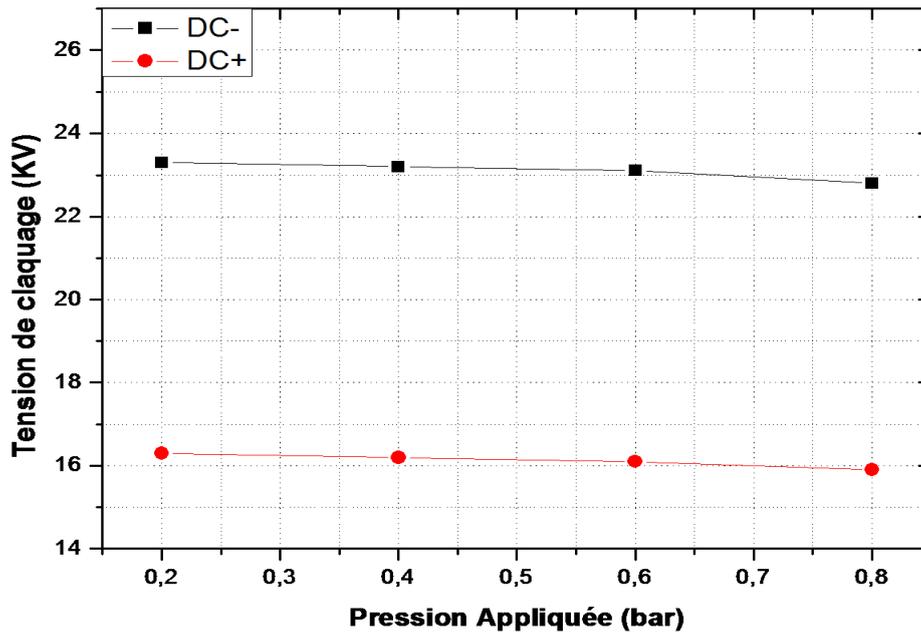


Figure. IV.10 : Variation de la tension de claquage avec la pression.

Cette figure montre une légère augmentation des tensions de claquage avec la pression dans les deux polarités, positive et négative.

IV.10. Variation de J en fonction de la tension appliquée V

Les variations de la densité de courant J en fonction de la tension appliquée V à l'électrode active ont été représentées sur les figures (IV.11) et (IV.12), pour les deux polarités des électrodes, en prenant en compte la différence de pression de l'air.

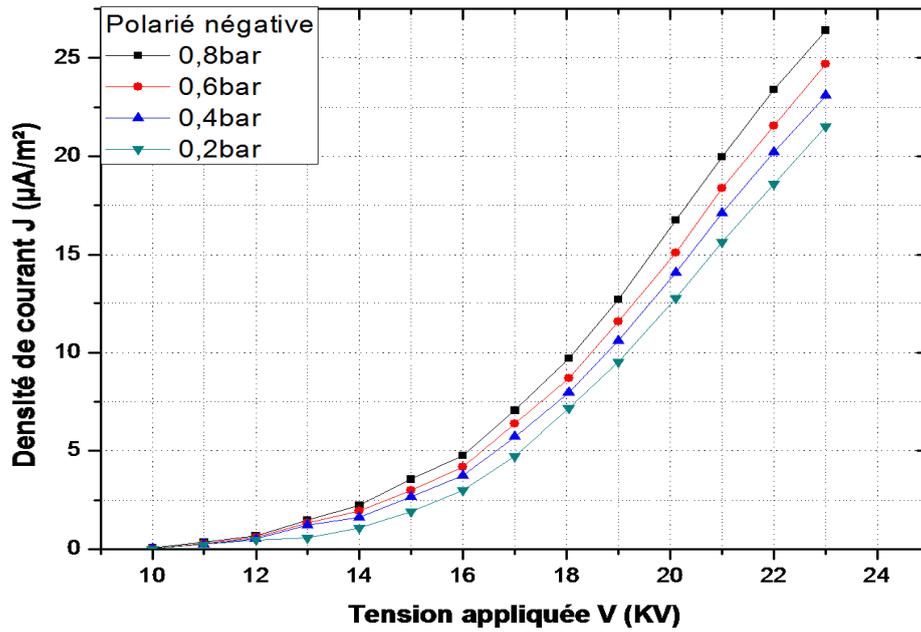


Figure. IV.11 : Variation de J en fonction de V négative pour différentes pressions.

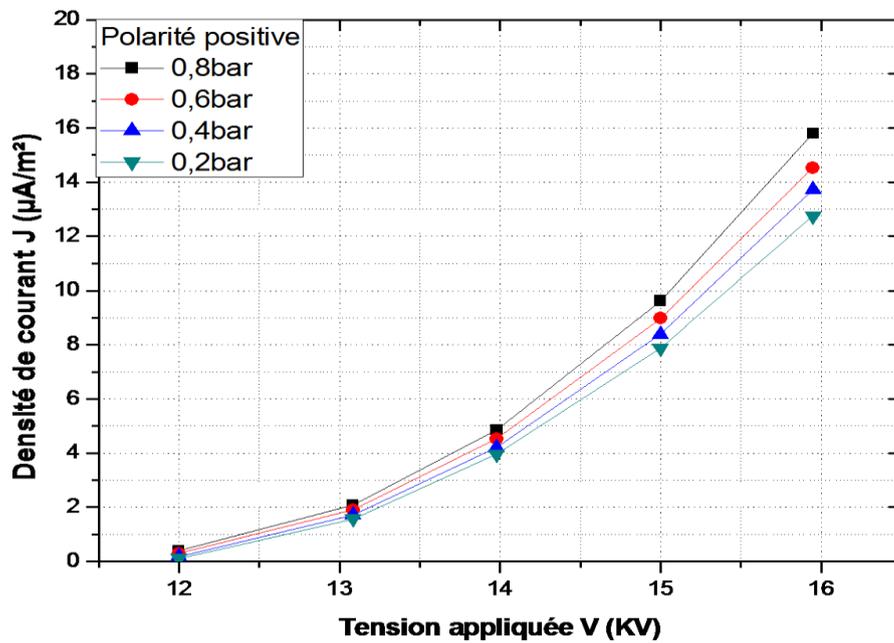


Figure. IV.12 : Variation de J en fonction de V positive pour différentes pressions.

On voit très clairement que cette densité du courant augmente avec la tension appliquée

IV.11. Variation de la densité J en fonction de la pression P

La figure (IV.13) et (IV.14), nous explique la variation de la densité de courant en fonction de la pression P à une distance inter-électrodes $h = 3$ cm et à plusieurs tensions appliquées V.

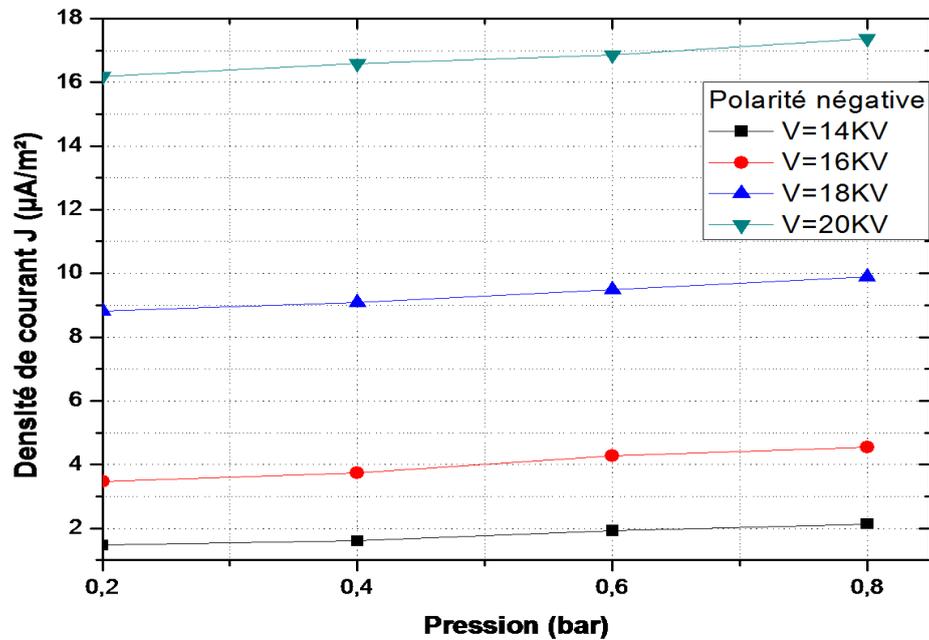


Figure. IV.13 : Variation de la densité de courant J en fonction de la pression à plusieurs tensions appliquées négatives V, pour $h = 3$ cm.

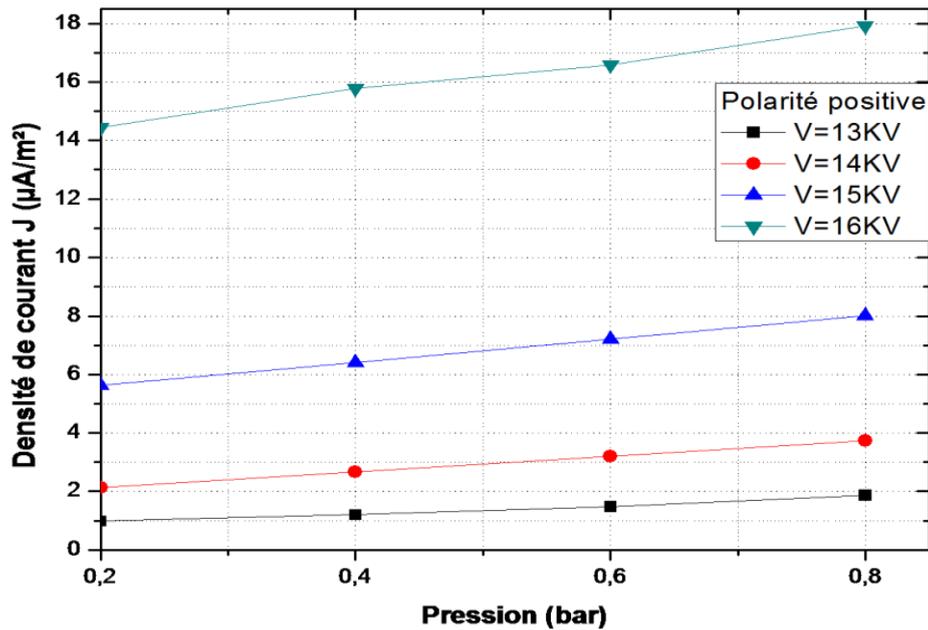


Figure. IV.14 : Variation de la densité de courant J en fonction de la température à plusieurs tensions appliquées négatives V , pour $h = 3\text{cm}$

On remarque que la densité de courant J croît linéairement avec la pression P ainsi qu'à des tensions appliquées élevées. Le seuil décharge est inversement proportionnel à l'augmentation de la pression, car le libre parcours moyen des molécules du gaz augmente et les électrons gagnent plus d'énergie pour former l'avalanche.

IV.12. Effet de la température

Les figures (IV.15) et (IV.16) représentent, respectivement, l'influence de la température sur la caractéristique I - V pour la décharge négative et positive.

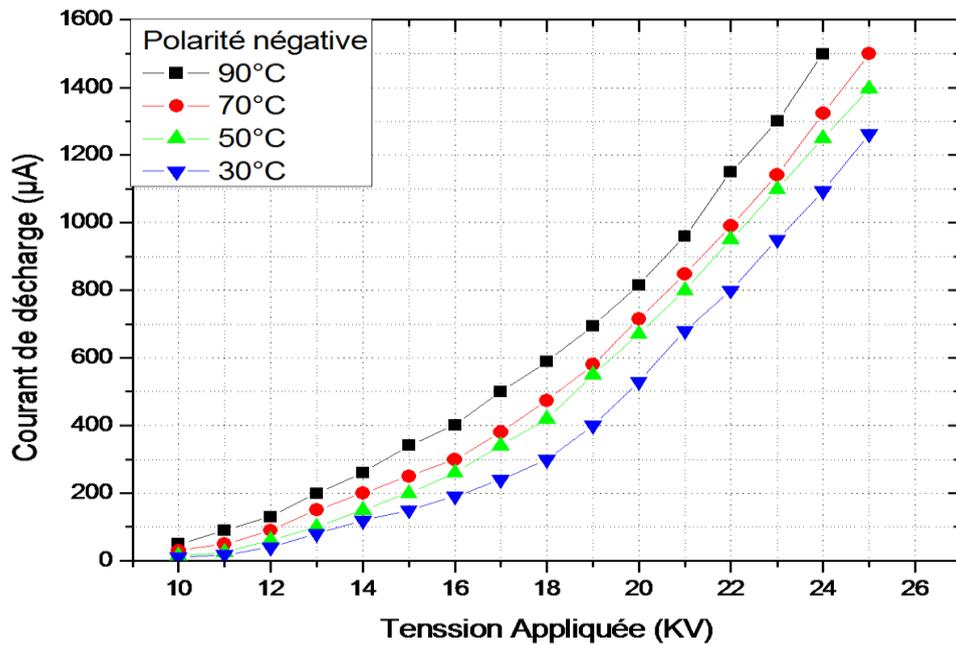


Figure. IV.15 : Variation de J en fonction de V négative pour différentes température.

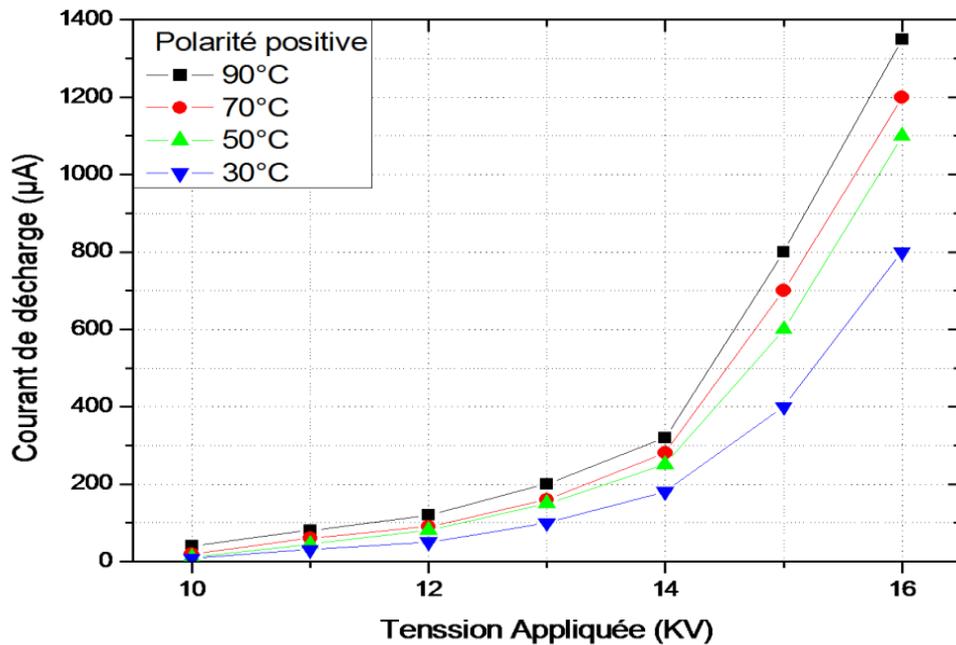


Figure. IV.16 : Variation de J en fonction de V négative pour différentes température.

Les figures (IV.15) et (IV.16) montrent la variation du courant de décharge en fonction de la tension appliquée V pour différentes valeurs de la température T, cette variation à une forme quadratique. Nous observons que le courant augmente avec l'augmentation de la température. Lorsque la température du gaz augmente, le libre parcours moyen des molécules du gaz augmente et

les électrons gagnent plus d'énergie pour former l'avalanche.

❖ Tension de claquage

La courbe (IV.17) illustre la variation des tensions de claquage en fonction de la température pour la polarité positive et négative.

Le relevé des tensions de claquage en fonction de température se fait en variant la température du four de la température ambiante à 90 °C tout en faisant nos mesures rapidement afin minimiser la variation.

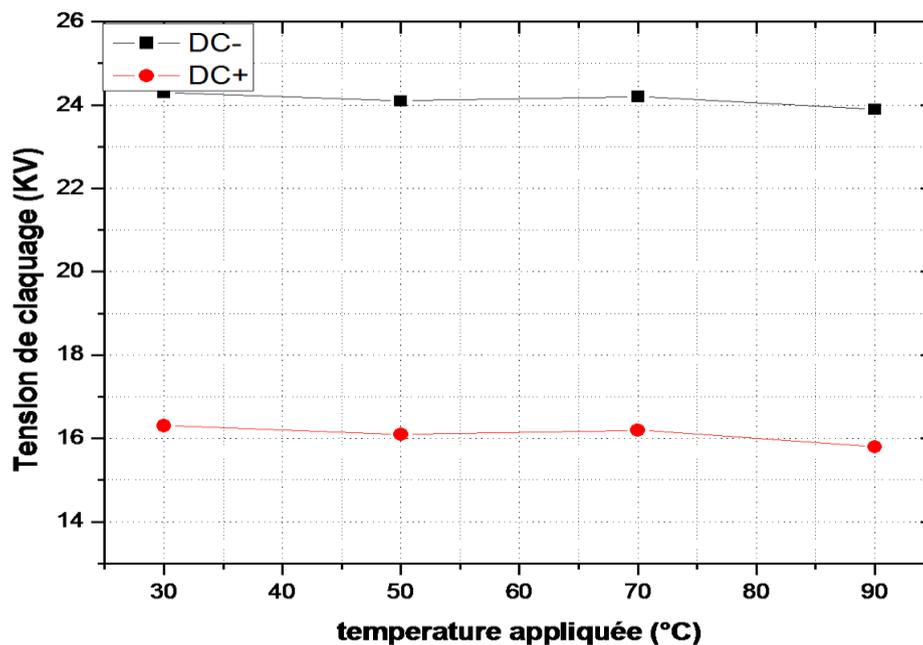


Figure. IV.17 : Variation de la tension de claquage avec la température.

Cette figure montre une légère diminution des tensions de claquage avec la température dans les deux polarités positive et négative.

IV.13. Variation de J en fonction de la tension appliquée V

Les variations de la densité de courant J en fonction de la tension appliquée V à l'électrode active ont été représentées sur les figures (IV.18) et (IV.19), pour les deux polarités des électrodes, en prenant en compte la différence de température.

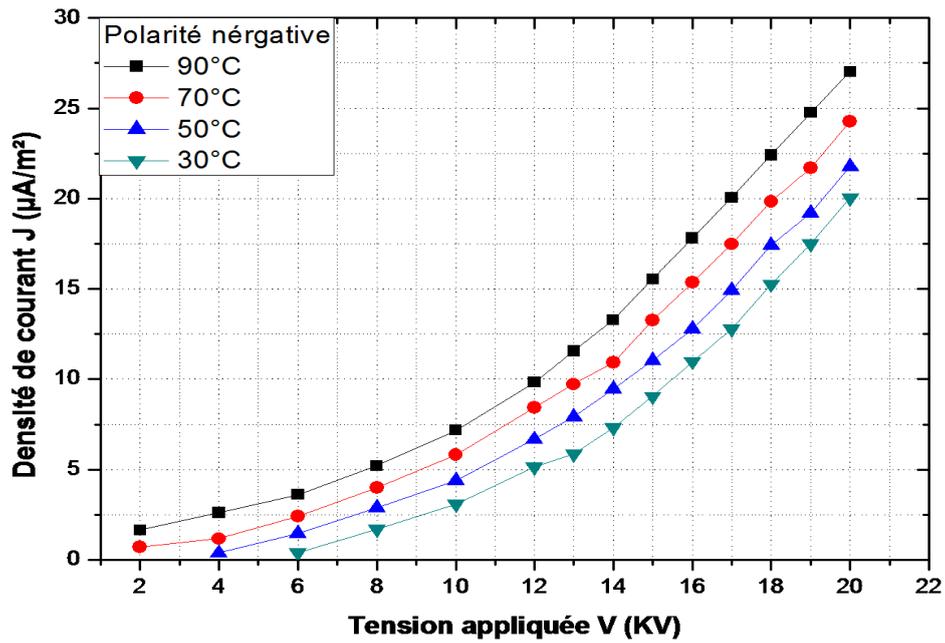


Figure. IV.18 : Variation de J en fonction de V négative pour différentes température.

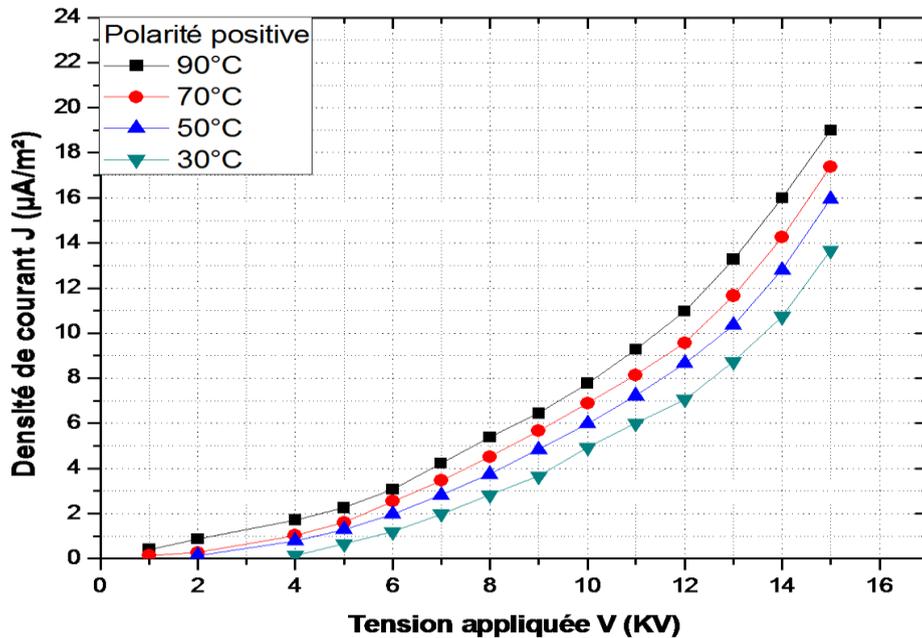


Figure. IV.19 : Variation de J en fonction de V positive pour différentes température.

IV.14. Variation de J en fonction de la température

La figure (IV.20) nous explique la variation de la densité de courant en fonction de la température T à une distance inter-électrodes $h = 3$ cm et à plusieurs tensions appliquées V.

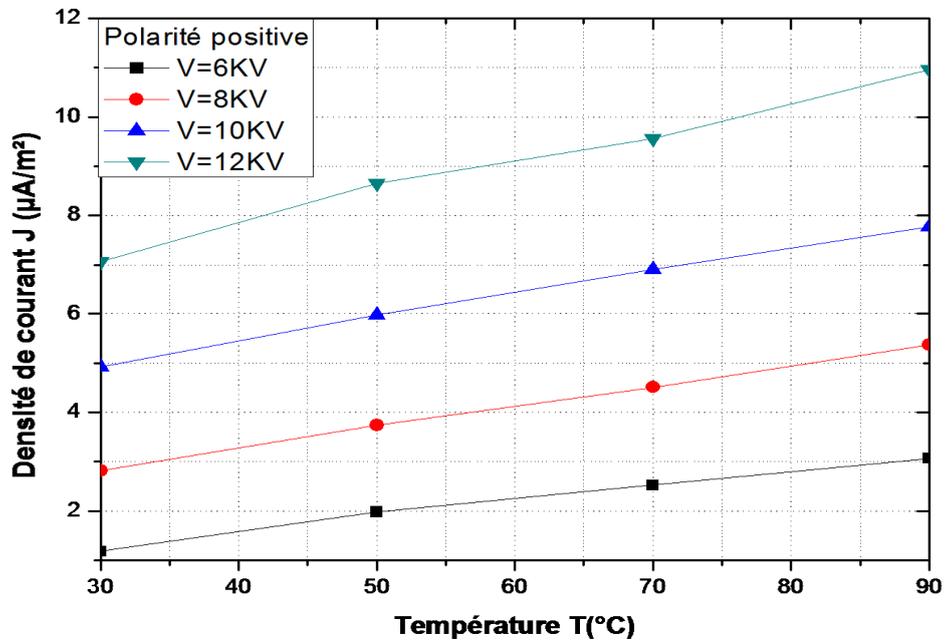


Figure. IV.20 : Variation de la densité de courant J en fonction de la température à plusieurs tensions appliquées négatives V, pour $h = 3$ cm.

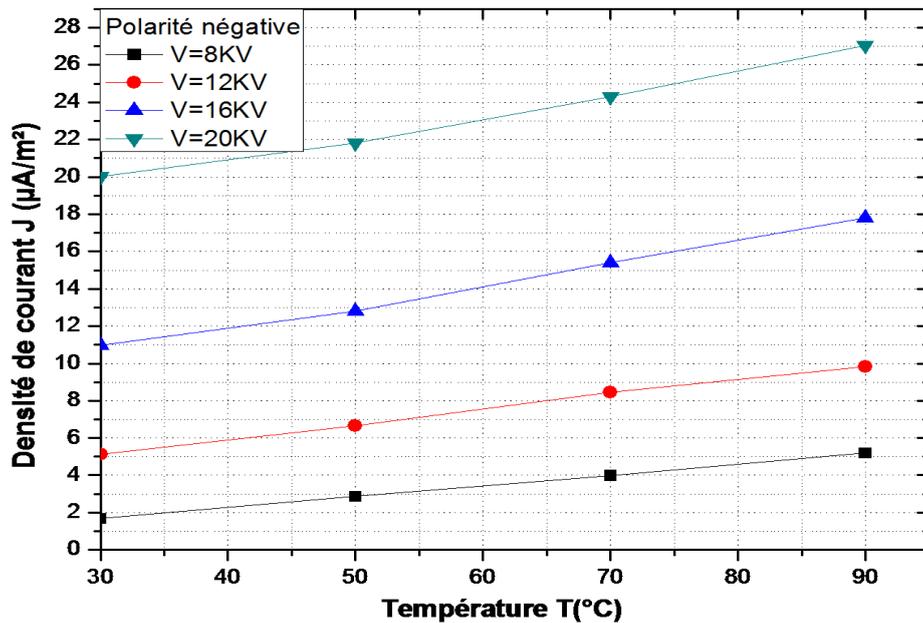


Figure. IV.21 : Variation de la densité de courant J en fonction de la température à plusieurs tensions appliquées négatives V , pour $h = 3\text{cm}$.

On remarque que la densité de courant J croît linéairement avec la température T ainsi qu'à des tensions appliquées élevées. Le seuil décharge est inversement proportionnel à l'augmentation de la température, car le libre parcours moyen des molécules du gaz augmente et les électrons gagnent plus d'énergie pour former l'avalanche.

IV.15. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les résultats expérimentaux obtenus et leurs interprétations. La caractéristique courant-tension a été étudiée avec variation de deux paramètres physique, à savoir la pression et la température et un paramètre géométriques qui est la distance inter-électrodes. La forme d'onde du courant de décharge a été étudiée aussi avec les trois paramètres cités ci-dessus.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le travail présenté dans cette thèse consiste en une étude expérimentale de la décharge couronne dans une configuration à lame - 2 plans. L'objectif est de caractériser cette décharge en tenant compte de deux paramètres géométriques : la distance entre les électrodes et le rayon de courbure de l'électrode active. De plus, les paramètres physiques de l'air seront également pris en compte. L'objectif ultime de cette étude est de développer un précipitateur électrostatique plus efficace de manière générale.

Notre étude expérimentale de l'effet couronne dans un précipitateur d'électrostatique en configuration lame- 2 plan permet de formuler les conclusions suivantes :

- L'intensité du courant de décharge augmente avec l'augmentation de la tension appliquée. De plus, pour une même tension appliquée, les valeurs négatives du courant de décharge (I) sont plus élevées que les valeurs positives. Le courant continu qui traverse l'espace entre les électrodes présente une relation non linéaire avec la tension appliquée. La caractéristique $I = f(V)$ suit une forme quadratique, ce qui confirme la validité de la loi de Townsend.
- Le courant de décharge augmente de manière plus rapide avec l'augmentation de la tension appliquée lorsque la distance inter électrodes est faible.
- L'intensité du courant augmente avec la tension appliquée, les valeurs négatives de la décharge de courant I sont plus élevées que celles positives, pour la même tension appliquée.
- La constante géométrique K est proportionnelle à la mobilité apparente des porteurs de charge et plus élevée dans le cas d'une polarité négative. En outre, il semble que la mobilité apparente augmente avec la distance inter-électrodes et le rayon de courbure pour les deux polarités. Par contre, le rapport entre les facteurs $(K^-/K^+) = (\mu^-/\mu^+)$ est indépendant de la distance inter-électrodes.
- L'augmentation de la température contribue à la conduction du milieu gazeux, ce qui entraîne une légère diminution de la tension de claquage aux deux électrodes. En revanche, une augmentation de la pression de l'air entraîne une légère augmentation de la tension de claquage aux deux électrodes.
- La densité de courant augmente avec l'augmentation de la température. Ainsi, la tension seuil diminue avec l'augmentation de température. Lorsque la température de gaz augmente, le libre parcours moyen des molécules du gaz augmente et les électrons gagnent plus d'énergie pour former l'avalanche c'est à dire qu'on améliore la conductivité électrique du gaz.

➤ L'augmentation de la pression entraîne une augmentation de la densité de courant en augmentant le nombre de porteurs de charge dans le gaz conducteur. Les particules se rapprochent, ce qui favorise une plus grande densité de porteurs de charge, tels que les électrons. Cela conduit à un plus grand nombre de charges se déplaçant à travers le gaz et donc à une augmentation de la densité de courant.

➤ La densité de courant augmente avec l'augmentation de la température. Ainsi, la tension seuil diminue avec l'augmentation de température. Lorsque la température de gaz augmente, le libre parcours moyen des molécules du gaz augmente et les électrons gagnent plus d'énergie pour former l'avalanche c'est à dire qu'on améliorera conductivité électrique du gaz.

Finalement, nous espérons que d'autres travaux pratiques et numériques soient poursuivis pour améliorer l'efficacité des précipitateurs électrostatiques.

Bibliographie

1. GOLDMAN M., GOLDMAN A. – Corona discharges – Gaseous electronic, Merles, Hirsh, N. & Oskam, H.J., Academic Press, chapter 4, 1978.
2. FJELD, R.A. & MCFARLAND, A.R. – Evaluation of select approximations for calculating particle charging rates in the continuum regime. *Aerosol Science and technology* 10, 535-549, 1989.
3. <http://www.uvelia.BE>
4. STRAUSS W. - Industrial gas cleaning - Pergamon Press, Paris, 1976.
5. H. Ait Said, H. Nouri, et Y. Zebboudj, « Effect of air flow on corona discharge in wire-to-plate electrostatic precipitator », *J. Electrostat.*, vol. 73, p. 19-25, févr. 2015.
6. SMITH W.B., MCDONALD J.R. – Development of theory for the charging of particle by unipolar ions – *Journal of aerosol science* 7, pp. 473-477, 1976.
7. BLANCHARD D. – Collection des fines particules et caractérisation des couches de poussière dans un précipitateur électrostatique– Thèse, Université Joseph Fourier, Grenoble 2001.
8. PARKER K.R., *Electrostatic precipitation*, Chapman & hall, 1997, pp. 1-24.
9. BROCK J.R., – Non continuum unipolar charging of aerosol: the role of external electric field. – *Journal applied Physics*, Vol. 41, 5, pp. 1940-1944, 1970.
10. NFX44-101 – Définition et classification de la propreté particulaire de l'air et d'autres gaz – AFNOR 1981
11. PAUTHENIER M.M., MOREAU M., HANOT – La charge des particules spheriques dans un champ ionise – *Journal de physique et radium*, 3, 590-613, 1932.
12. NF 44-061 – Méthodes d'essai de filtres à air utilisés en ventilation générale – AFNOR, 1992
13. SAAD Djedjiga « Effet de la décharge couronne sur les surfaces isolantes et les surfaces métalliques » Thèse : de magister en Electrotechnique, Option : Machines électriques. L'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou 21 décembre 2011
14. OPTISEPT, « Le filtrage électrostatique, principe de fonctionnement, ses avantages », Domaine de la Chesnaye 77123 NOISY SUR ECOLE.
15. G. ZHONGYI, A. ROBERT & J. SCHILL, « Nouvel quasi-electrostatic air filter: a single – particule study », *Journal of Electrostatic* vol. 39, pp, 203-230, 1997.
16. SAIDI Oum El Djilali, " Modélisation électrique d'une décharge couronne pointe-plan impulsionnelle" Mémoire de Master, Université Dr. Tahar Moulay de Saïda, septembre 2018.
17. MOISSAOUI Aida, " Etudes des phénomènes de charge et de neutralisation des milieux diélectriques granulaires en utilisant la décharge à barrière diélectrique " Thèse de Doctorat, université de Guelma, Juin 2019

18. B. KHADDOUR, " Modélisation du champ électrique modifié par la charge d'espace injectée", Thèse de doctorat de l'INPG (Institut National Polytechnique de Grenoble, 2006
19. Chang.J, Phil A., Lawless., and, Yamamoto.T., "Corona Discharge Processes", IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 19, n° 6, pp. 1152-1166, 1991.
20. Rezzouga.M, Tilmatine. A, Gouri. R, Medles. K, Dascalescu. L, "Experimental modiling of high-voltage corona discharge using design of experiments", Front. Electr. Electron. Eng, pp. 139-143. China 2007
21. M.P. Panaget, " Étude en laboratoire des effets physico-chimique induits par les pertes électriques des lignes de transport à haute tension", Thèse de doctorat de l'université Pierre et Marie Curie, 1997.
22. université de Tizi-Ouzou 1997, " Acte de la deuxième conférence nationale sur la haute tension".
23. C.Gary, "Effet couronne sur les réseaux électriques aériens" Techniques de l'ingénieur, D4440.
24. Adelsandrov. G.N, Rigeikov.. O.V Cherbatchev, 'Modélisation de la caractéristique de couronne de courant alternatif ' Recueil de l'institut polytechnique de Saint Petersburg, la série de la technique de la haute tension. 1958
25. M. KACHI, " Caractérisation et contrôle de l'état de charge des matériaux polymères granulaires," Thèse de Doctorat, université de Guelma 2012.
26. Flavien. Koliatene, «Contribution à l'étude de l'existence des décharges dans les systèmes de l'avionique». Thèse de doctorat de l'université de Toulouse III – Paul Sabatier, le 5 janvier 2009.
27. Glassmanhv.com/ Regulated High Voltage DC Power Supplies GLASSMAN HIGH VOLTAGE INC. Designing Solutions for High Voltage Power Supply Applications.
28. kern-sohn.com/z-cb-fr-kp.
29. photo prise au sein du laboratoire.
30. Y. Zebboudj, G. Hartmann, « *Current and electric field measurements in coaxial system during the positive DC corona in humid air* », Eur. Phys. J. AP 7, pp, 167-176, 1999.
31. N. Zouzou, E. Moureau, G. Touchard, « *Précipitation électrostatique dans une configuration pointe-plan* », Jour. Electrostatics, 64, pp, 537-542, 2006.