

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la recherche scientifique

Université A. MIRA – BEJAIA



Faculté de Technologie

Département de Génie électrique

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en électrotechnique.

Spécialité : Commandes électriques

Thème

Etude de la décharge couronne pour le traitement de l'air intérieur

Réalisé par :

Mouassan Celia

Khimoum Siham

Membre de jury:

Mr. Kasdi. A

Examineur

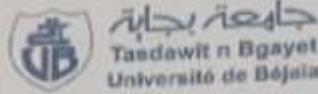
Mme. Mokrani. Z

Président

Mr. Sahli. Z

Promoteur

Année Universitaire : 2024-2025



Déclaration sur l'honneur
Engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans
l'élaboration d'un travail de recherche

Arrêté ministériel n° 1082 du 27 décembre 2020 
fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat

Je soussigné,

Nom : M. O. A. S. S. A. N.....

Prénom : C. E. L. I. A.....

Matricule : 191933005931.....

Spécialité et/ou Option : Commandes électriciennes.....

Département : Génie électrique.....

Faculté : Technologie.....

Année universitaire : 2024 / 2025

et chargé de préparer un mémoire de (Licence, Master, Autres à préciser) :

Intitulé : Etude de la décharge couronne pour le
traitement de l'air intérieur.....

déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques,
et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans
l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaïa le
10 / 07 / 2025

Signature de l'intéressé

 Lu et approuvé



Déclaration sur l'honneur
Engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans
l'élaboration d'un travail de recherche

Arrêté ministériel n° 1082 du 27 décembre 2020 (*)
fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat

Je soussigné,

Nom : .. K R i . m o u . m

Prénom : .. S i . h a m

Matricule : .. 1 8 . 1 8 . 3 3 . 0 0 0 . 6 6 6

Spécialité et/ou Option : .. C o m m a n d e s .. é l e c t r i q u e s

Département : .. G e n i e .. é l e c t r i q u e s

Faculté : .. T e c h n o l o g i e

Année universitaire : .. 2 0 2 4 / .. 2 0 2 5

et chargé de préparer un mémoire de (Licence, Master, Autres à préciser) :

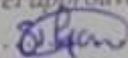
Intitulé : .. E t u d e .. d e .. l a .. d e c h a r g e .. c a u s a n n e .. p o u r .. l e ..
.. t r a i t e m e n t .. d e .. l ' a i r .. m i t e r i e u s

déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques,
et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans
l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaïa le
10 / 07 / 2025

Signature de l'intéressé

(*) Lu et approuvé

..... 

Remerciements

Notre gratitude à ALLAH qui nous a donné la patience et la volonté pour nous pour déterminer notre travail.

En guise de reconnaissance, nous tenons à témoigner Nos sincères gratitude à Notre encadrant " Mr. SAHLI. Z", pour la qualité de son enseignement, sa disponibilité, ses conseils et son intérêt incontestable qu'il a porté à tous nos efforts.

Pour sa confiance et ainsi de nous offrir la possibilité de vivre cette agréable expérience professionnelle.

Nous adressons nos remerciements aussi toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à nos familles et tous nos proches qui nous ont accompagnés et nous ont encouragé tout au long de la réalisation de ce mémoire.

- M.Celia & Kh.Siham -

Dédicaces

Louange à dieu tant qu'il est vivant merci et gratitude pour le commencement et la fin.

Le voyage n'a pas été court, ni la route facile, pavée de facilités. Mais louange à Dieu qui a facilité les débuts et nous a permis d'atteindre la fin par sa grâce et sa générosité.

Je dédie ma remise de diplôme à l'âme de mon grand-père « Hocine », celui qui m'a tenu main à l'école celui qui me souhaite toujours de réussite « mon deuxième père »

Je dédie à l'âme de ma tante paternelle « Hayat » qui m'a appris les lettres, qui me réjouit pour ma joie.

Je dédie ce réussetement à moi-même ambitieuse, qui a commencé avec espoir et a terminé avec succès. Puis je dédie à mes frères « moussa et Bilal », mon oncle Brahim et mon oncle Mohamed, et toute ma famille, mes copines, ma binôme Siham, puis à tous ceux qui ont contribué à l'achèvement

Ma chère mère

À celle qui m'a appris la moralité avant la connaissance, et qui fut le pont qui m'a portée vers le ciel de la vérité, à celle qui a supporté chaque instant de douleur avec patience et m'a bercée dans ses bras.....

Mon cher père

A cette lumière qui a illuminé mon chemin et ma route, qui ne parle pas mais brille de l'intérieur, à celui qui s'est efforcé pendant des années pour que je puisse brandir avec fierté le drapeau de la réussite, à celui dont le nom est dans mon cœur, et à qui j'offre les étoiles que j'ai cueillies sur ma route vers le savoir, comme je lui ai toujours promis : ce succès est ce que j'ai accompli, et cette dédicace est pour toi.....

Je n'aurais rien accompli aujourd'hui sans la grâce de Dieu en premier, et sans les prières de ma mère et sans les encouragements de mon père.

Je vous dédie aujourd'hui la joie de mon accomplissement, et la fin de ma peine, et ma réussite qui m'a remplie de bonheur et a fait oublier ma fatigue.

- Mouassan Célia-

Dédicaces

Je dédie ce travail à ma famille et à toutes les personnes qui ont été à mes côtés tout au long de ce parcours

A mon père et à ma mère, merci du fond du cœur pour votre amour, votre soutien constant et toutes vos prières. Sans vous, rien de tout cela n'aurait été possible. Vous m'avez appris à être forte et à ne jamais abandonner.

A mon petit frère, merci d'avoir toujours été là pour moi et de m'avoir encouragé, même quand c'était difficile.

Pour mon grand-père, que dieu lui accorde sa miséricorde, son souvenir reste vivant dans mon cœur et il m'inspire chaque jour à aller de l'avant

A ma binôme, merci pour ta collaboration, ta patience et ta solidarité tout au long de ce travail. Travailler avec toi a été une expérience enrichissante et motivante.

A mes amis, merci pour votre soutien, votre bonne humeur, et tous les moments de joie partagés

Et surtout, à mon mari, mon compagnon de vie. Merci pour ton amour inconditionnel, ta patience, et ta force qui me pousse à avancer. Tu es mon pilier et ma plus grande motivation.

Ce diplôme, c'est aussi grâce à vous tous je vous dédie cette réussite, avec toute ma gratitude et mon amour.

- Khimoum Siham -

Sommaire

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Sommaire

Liste des figures

Introduction Générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I

Qualité de l'air intérieur

I.1. Introduction	4
I.2. Définition	4
I.3. Facteur influençant la qualité de l'air intérieur	5
I.3.1. L'Amiante	6
I.3.2. Le radon	6
I.3.3. Les moisissures	7
I.3.4. Le monoxyde de carbone	7
I.3.5. Les pesticides	7
I.4. Les polluants courants et leurs effets sur la santé	8
I.4.1. Classification et hiérarchisation	8
I.4.2. Les composés organiques volatils et semi-volatils	9
I.4.3. Les particules en suspension dans l'air	10
I.4.4. L'ozone.....	12
I.4.5. Les oxydes d'azote.....	13
I.5. Les solutions pour améliorer la qualité de l'air intérieur	13
I.5.1. La ventilation des locaux	13
I.5.2. La ventilation naturelle des locaux.....	14
I.5.3. La ventilation mécanique des locaux	14
I.6. Règlement et surveillance de la qualité de l'air intérieur	14
I.7. Conclusion.....	15

Chapitre II

Décharge électrique à pression atmosphérique

II.1. Introduction.....	17
II.2. La décharge de couronne	17
II.2.1. Le régime de la décharge (caractéristique courant-tension)	18
II.3. Description phénoménologique de la décharge couronne	19
II.3.1. Configuration fil-cylindre	20

Sommaire

II.3.1.1. La décharge de couronne positive.....	20
II.3.1.2. La décharge de couronne négative.....	21
II.3.2. Caractéristiques électrique macroscopique.....	22
II.3.2.1. Configuration pointe- plaque.....	24
II.4. Description d'une décharge électrique.....	25
II.4.1. La décharge de Townsend.....	25
II.4.2. Loi de Paschen.....	26
II.4.3. Théorie des streamers.....	27
II.5. Les facteurs influençant la décharge couronne.....	28
II.5.1. Facteurs géométriques.....	28
II.5.1.1. Rayon de courbure.....	28
II.5.1.2. Distance inter-électrodes.....	28
II.5.1.3. La nature des électrodes.....	29
II.5.2. Les facteurs physico-chimiques.....	29
II.5.2.1. La température.....	29
II.5.2.2. L'humidité.....	29
II.5.2.3. La pression.....	30
II.5.2.4. La densité de l'air.....	30
II.5.2.5. Facteurs électriques.....	30
II.6. Problèmes liés aux décharges couronne.....	31
II.7. Collecte des particules par décharge couronne.....	31
II.7.1. Mise en œuvre, technologies existantes.....	31
II.7.1.1. Electro filtres.....	31
A. Principe de fonctionnement.....	31
B. Electro filtres à un ou deux étages.....	32
II.7.2. Principe de la collecte des particules.....	33
II.7.2.1. Charge des particules.....	33
II.7.2.2. Dynamique des particules.....	33
II.8. Dégradation des COV par plasma non-thermique.....	34
II.8.1. Dégradation des COV dans l'air intérieur.....	34
II.8.2. Couplage du plasma et de la catalyse hétérogène.....	34
II.9. Application utilisant la décharge couronne.....	34
II.9.1. Parafoudre.....	34
II.9.2. Neutralisation.....	34

Sommaire

II.9.3. Filtre électrostatique.....	35
II.9.4. Séparateur électrostatique	35
Conclusion	35

Chapitre III

Influence de la géométrie des électrodes sur la décharge couronne

III.1. Introduction	37
III.2. Les systèmes électrode	37
III.2.1. Système fil -cylindre.....	37
III.2.2. Système Pointe -plan	38
III.3. Paramètres influençant la décharge couronne	39
III.3.1. Influence du type de la tension appliquée	39
III.3.2. Influence de la distance inter-électrodes	39
III.3.2.1. Polarité négative de la pointe.....	39
III.3.2.2. Polarité positive de la pointe	40
III.3.3. Influence du rayon de courbure de la pointe	41
III.4. Effet du matériau des électrodes.....	43
III.4.1. Polarité négative de la Pointe	43
III.4.2. Polarité positive de la Pointe	45
III.5. Système fil-Plan.....	47
III.5.1. Caractéristique courant-tension prélevée système fil-plan.....	48
III.5.2. Paramètres influençant	49
III.5.2.1. Influence du diamètre du fil.....	49
III.5.2.2. Influence de la distance inter-électrodes	50
III.5.2.3. Influence de la tension sur la distribution de champ électrique E	51
III.5.2.4. Influence de la hauteur sur la distribution de champ électrique E.....	52
III.5.3. Détermination des paramètres de la décharge couronne	53
III.5.3.1. Détermination du champ électrique E	53
III.5.3.2. Détermination de la densité de courant J	53
III.6. Conclusion	54

Chapitre IV

Partie expérimentale description du système et analyse des résultats

IV.1. Introduction	56
IV.2. Procédés de dépeussierage	56
IV.2.1. L'étage de collecte des particules.....	56

Sommaire

IV.2.2. L'étage d'ionisation.....	57
IV.2.2.1. L'ioniseur fil-plaque.....	57
IV.3. Dispositifs expérimentaux et techniques de caractérisation.....	58
IV.4. Générateur de fumée	61
IV.5. Résultats et discussions	61
IV.5.1. Tension continue	61
IV.5.1.1. Polarité positive.....	61
IV.5.1.2. Polarité négative	63
IV.5.1.3. Comparaison entre polarité positive et négative	64
IV.5.2. Tension alternative	64
IV.5.3. Comparaison entre tension continue et alternative.....	64
IV.6. Influence du diamètre du fil de l'électrode d'ionisation	65
IV.6.1. Polarité positive.....	65
IV.6.2. Polarité négative	66
IV.7. Discussions des résultats	67
IV.8. Conclusion.....	67
Conclusion Générale	68
Références bibliographiques.....	70

Liste des figures

Figure I.1 : La qualité de l'air intérieur.....	5
Figure I.2 : Prédiction du dépôt total et régional des particules dans les voies respiratoires chez l'homme en fonction de la taille des particules.....	11
Figure I.3 : Composition chimique des particules PM 2.5 de l'air atmosphérique.	11
Figure II.1 : Zones d'ionisation et dérive dans la décharge couronne électrode.	17
Figure II.2 : Caractéristique courant-tension des décharges à pression atmosphérique. ...	18
Figure II.3 : Configuration classique de la décharge couronne : (a) fil-cylindre, (b) fil-plaque et (c) pointe-plaque	19
Figure II.4 : Description de la décharge couronne positive.	20
Figure II.5 : Description de la décharge couronne négative.	21
Figure II.6 : Représentation schématique d'une décharge couronne configuration pointe-plaque (a) tension positive et (b) tension négative.	24
Figure II.7 : Loi de Paschen pour différents gaz.....	26
Figure II.8 : influence de la distance inter-électrodes sur le décharge couronne.	28
Figure II.9 : Caractéristique courant-tension selon la nature des électrodes.	29
Figure II.10 : Schéma d'évolution de la décharge observée en fonction de la pression. ...	30
Figure II.11 : Schéma représentatif le fonctionnement d'un ESP.	32
Figure II.12 : Schéma représentatif d'un ESP à un seul étage: (a) fil-cylindre et (b) fil-plaque.	33
Figure II.13 : Utilisation de la décharge de couronne dans le filtre électrostatique et la séparation électrostatique.	35
Figure III.1 : Système d'électrodes (fil-cylindre).	38
Figure III.2 : Système d'électrodes points-plan.	38
Figure III.3 : Caractéristique I-V d'une décharge négative: pointe en cuivre et plan en cuivre.	40
Figure III.4 : Caractéristique I-V d'une décharge négative: pointe en cuivre et plan en aluminium.....	40
Figure III.5 : Caractéristique d'une décharge positive : pointe et plan en cuivre.	41
Figure III.6 : Caractéristique d'une décharge positive : pointe en cuivre et en aluminium.	41
Figure III.7 : Caractéristique d'une décharge positive: pointe en cuivre et plan en acier..	42
Figure III.8 : Caractéristique d'une décharge positive : pointe et plan en cuivre.	42

Liste des figures

Figure III.9 : Caractéristique I-V d'une décharge négative : pointe en cuivre et plan en acier.	43
Figure III.10 : Evolution de la vitesse de migration des particules en fonction de leur diamètre.	44
Figure III.11 : Caractéristique I-V d'une décharge négative : Plan en cuivre.	44
Figure III.12 : Caractéristique I-V d'une décharge négative : Pointe en acier.	45
Figure III.13 : Caractéristique I-V d'une décharge négative : Pointe en acier.	45
Figure III.14 : Caractéristique I-V d'une décharge positive : Plan en acier.	46
Figure III.15 : Caractéristique I-V d'une décharge positive : Plan en acier.	46
Figure III.16 : Caractéristique I-V d'une décharge positive : Pointe en acier.	47
Figure III.17 : Caractéristique I-V d'une décharge positive : Pointe en acier.	47
Figure III.18 : Système d'électrodes fil-plan.....	48
Figure III.19 : Caractéristique courant/ tension pour une géométrie fil-plan dans l'air à la pression atmosphérique pour H=4cm et H=5 cm et $V_{app}=26$ kV.v	49
Figure III.20 : Courant total en fonction du diamètre du fil ionisant.....	49
Figure III.21 : Caractéristique $I=f(v)$ pour un fil du diamètre $d=0.5$ mm pour une distance entre électrode de 1, 1.5 et 2 cm.	50
Figure III.22 : Caractéristique $I=f(v)$ pour un fil du diamètre $d=1$ mm et distance entre-électrode 1 ; 1.5 et 2 cm.....	50
Figure III.23 : Caractéristique $I=f(v)$ pour un fil du diamètre $d=1.5$ mm et distance entre-électrode de 1, 1.5 et 2 cm.	51
Figure III.24 : Distribution du champ électrique sur le plan de mesure en géométrie fil-plan pour H=4 cm et $V_{app}=23$ et 26 kV.	51
Figure III.25 : Distribution du champ électrique sur le plan de mesure en géométrie fil- plan pour H=5 cm et $V_{app}=23$ et 26 kV.	52
Figure III.26 : Distribution du champ électrique sur le plan de mesure en géométrie fil- plan pour H=4 cm et H=5 cm pour $V_{app}=23$ kV.....	52
Figure III.27 : Distribution du champ électrique sur le plan de mesure en géométrie fil- plan pour H=4 cm et H=5 cm pour $V_{app}=26$ kV.....	53
Figure IV.1 : Schéma représentatif de l'étage de migration et de collecte d'un électro filtre à double étage.....	57
Figure IV.2 : Schéma représentatif de l'étage d'ionisation de l'électro filtre à double étage.	58
Figure IV.3 : Photo du montage d'ESP.....	58

Liste des figures

Figure IV.4 : Photo d'ensemble des deux étages d'ESP dans une enveloppe en plexiglas.	59
Figure IV.5 : Schéma global du dispositif expérimental à deux étages	60
Figure IV.6 : Générateur de fumée.....	61
Figure IV.7 : Extraits de l'enregistrement vidéo montrant l'efficacité de l'ESP en fonction de la tension appliquée « tension DC polarité positive ».	62
Figure IV.8 : Extrait de l'enregistrement vidéo montrant l'efficacité de l'ESP en fonction de la tension appliquée (DC négative).....	63
Figure IV.9 : Extraits de l'enregistrement vidéo montrant l'efficacité de l'ESP en fonction de la tension appliquée (AC).	64
Figure IV.10 : Extraits de l'enregistrement vidéo montrant l'efficacité de l'ESP en fonction de la tension appliquée « tension DC polarité positive ».	65
Figure IV.11 : Extrait de l'enregistrement vidéo montrant l'efficacité de l'ESP en fonction de la tension appliquée (DC négative).....	66

Introducción General

Introduction Générale

Aujourd'hui, la qualité de l'air intérieur (QAI) est devenue une préoccupation de santé publique du fait notamment de l'augmentation du temps passé dans les environnements intérieurs et les espaces clos. Des études sur l'exposition humaine aux polluants atmosphériques indiquent que les niveaux de nombreux polluants dans l'air intérieur peuvent être 2 à 5 fois et occasionnellement 100 fois plus élevés que ceux rencontrés à l'extérieur. Ces polluants sont très variés et se présentent sous diverses formes (particules minérales ou organiques, bioaérosols, composés organiques volatils et semi-volatils, ozone, oxydes d'azote, etc.) ils peuvent avoir des effets importants sur le confort, l'efficacité du travail et la santé humaine. Depuis le début des années 2000, l'attention accordée à la surveillance des polluants intérieurs et à l'amélioration de la QAI est grandissante.

Les décharges couronnes sont des décharges électriques pré disruptives qui se développent dans l'intervalle gazeux entre deux électrodes fortement asymétriques, de l'électrode ayant le plus petit rayon de courbure. Il existe différentes configurations des électrodes pour la génération d'une décharge couronne telles que :

- Décharge couronne fil-plan
- Décharge couronne point-plan
- Décharge couronne fil-cylindre

La décharge couronne offre de nombreuses applications dans la vie quotidienne telle que la médecine et aussi industrielle. La décharge couronne est largement utilisée dans les techniques de séparations électrostatique des matériaux granulaires. Elle est employée dans les processus des électro filtres et les précipitateurs électrostatiques grâce à l'immense importance de ce dernier pour l'environnement.

L'objectif principal de notre mémoire est de comprendre le phénomène lié à la décharge couronne et d'étudier l'électro filtre fil-plan. Nous avons réalisé une étude expérimentale au laboratoire de génie électrique de l'université de Bejaia

Le mémoire s'articule autour de quatre chapitres. Dans le premier chapitre nous présentons la qualité de l'air intérieur dépend de la concentration en polluants et du renouvellement d'air dans les endroits clos.

Le deuxième chapitre est consacré à la dégradation des composés organiques volatils (COV) A l'aide de la décharge couronne, une méthode basée sur l'ionisation de l'air.

Introduction Générale

Le troisième chapitre porte sur l'étude des configurations fil-plan et pointe-plan dans le cadre de la décharge couronne.

Le quatrième chapitre présente les essais expérimentaux effectués sur la configuration fil-plan, ainsi que l'analyse des résultats obtenus.

Chapitre I

Qualité de l'air intérieur

I.1. Introduction

Dans certaines localités, la pollution de l'air est associée à la présence humaine (vapeur d'eau, dioxyde de carbone, etc.) et aux émissions de composés chimiques et biologiques provenant :

- **Environnement intérieur** : (matériaux de construction et de décoration, mobilier, produits d'entretien, matériel de chauffage, de climatisation et de bureau, et produits stockés notamment dans les locaux de vente et de stockage) ;
- **L'environnement extérieur** : (tels que les polluants issus du trafic routier ou des activités industrielles ou agricoles, ou encore issus de sources naturelles comme le pollen), et du radon (un gaz radioactif) présent dans le sol.

La qualité de l'air intérieur est tout aussi importante que la qualité extérieure puisque nous passons en moyenne plus de 90 % de notre temps à l'intérieur. L'air intérieur peut être contaminé par diverses sources émettant des polluants tels que des composés organiques volatils (COV).

La mauvaise qualité de l'air intérieur peut avoir des effets sur la santé qui peuvent être des effets aigus, à court terme ou à long terme.

I.2. Définition

Il n'existe pas, à l'heure actuelle, de définition de la **qualité de l'air intérieur** ou d'une bonne qualité de l'air intérieur faisant consensus au niveau international. L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) estime que :

L'air et de qualité acceptable s'il ne contient aucun polluant connu des concentrations dangereuses et si une majorité des occupants n'exprime pas une insatisfaction ou des malaises durant les périodes d'occupation.

Cette considération est intéressante car elle place l'occupant au cœur de la notion de bonne qualité de l'air intérieur et la relie à la notion de confort. De plus, elle met en avant le fait que l'état de la connaissance est évolutif et qu'une définition d'une bonne qualité de l'air intérieur aujourd'hui pourra être différente de celle de demain.

La notion de polluant peut être définie par cette version de l'organisation mondiale de la santé (OMS) :

Un polluant est tout ce qui est susceptible d'altérer la qualité de l'air en nuisant au bien-être physique, moral et social, c'est-à-dire la santé.

Cette définition intègre dans la santé tous les types de bien-être, et pas uniquement le bien-être physique [1].



Figure I.1 : La qualité de l'air intérieur.

I.3. Facteur influençant la qualité de l'air intérieur

La qualité de l'air intérieur influence la santé et le bien-être. Les sources de pollution de l'air intérieur responsables d'effets sur la santé sont les agents physiques (ex. : poussière, radon, amiante), chimiques (ex. : monoxyde de carbone, formaldéhyde et autres composés organiques volatils) ou biologiques (ex. : moisissures, acariens, bactéries, virus). En milieu scolaire et en service de garde, les sources de pollution d'origine biologique demeurent les plus préoccupantes en termes de risques pour la santé.

Les facteurs environnementaux influençant la qualité de l'air intérieur des édifices sont multiples : ventilation insuffisante, chauffage excessif, taux d'humidité relative élevé ou trop faible, infiltration ou dégât d'eau, entretien ménager inadéquat, etc. Une mauvaise qualité de l'air, résultant notamment d'une mauvaise ventilation ou d'un problème d'humidité excessive, peut augmenter les risques de problèmes respiratoires, comme les rhinosinusites, les infections respiratoires et l'exacerbation de l'asthme. D'autres symptômes non spécifiques tels que maux de tête, fatigue, somnolence, difficultés de concentration ou étourdissements sont également rapportés. Les occupants et leurs types d'activités (ex. : rénovation, laboratoire, arts plastiques, etc.) peuvent également représenter des facteurs qui influent sur la qualité de l'air [2].

I.3.1. L'Amiante

Les produits et les matériaux qui contiennent des fibres d'amiante, notamment reconnues pour leur flexibilité et leur durabilité, ont longtemps été utilisés dans la construction et la rénovation de bâtiments pour leur résistance à la chaleur et leur capacité à absorber le bruit. Ces fibres présentent cependant des risques pour la santé. Avec le temps, une personne qui y est exposée risque de développer certaines maladies pulmonaires comme le mésothéliome, le cancer du poumon ou l'amiantose.

Les premiers travaux visant à évaluer et à caractériser la présence d'amiante dans les établissements scolaires remontent à plusieurs décennies. Les organismes scolaires ont été invités à sécuriser les flocages comprenant de l'amiante qui se trouvaient dans leurs locaux. Il leur a aussi été demandé de répertorier l'amiante dans leurs bâtiments par la mise en place d'un registre permettant la gestion et le suivi des matériaux et des produits pouvant contenir ou contenant de l'amiante [3].

I.3.2. Le radon

Le radon est un gaz radioactif d'origine naturelle qui provient de la désintégration de l'uranium présent dans la croûte terrestre. La quantité de radon dans le sous-sol géologique est sujette à varier de façon importante d'un endroit à l'autre. Ce gaz peut s'infiltrer dans les bâtiments par différentes ouvertures (fissures dans la fondation, puisards, ouvertures autour des entrées de service, etc.), s'accumuler dans les pièces les plus basses et les moins ventilées d'un établissement et atteindre des concentrations pouvant entraîner un risque pour la santé.

Les agences de santé internationales reconnaissent le radon comme étant un gaz cancérigène. Il pénètre dans les poumons avec l'air inspiré et émet un rayonnement radioactif qui peut causer le cancer du poumon. Le radon est d'ailleurs la deuxième cause de ce cancer, après le tabagisme. Le risque de cancer du poumon lié à ce contaminant augmente avec sa concentration, la durée de l'exposition et le tabagisme.

Comme le radon est un gaz qui ne peut être détecté par les sens, le seul moyen de connaître sa concentration dans un bâtiment est d'effectuer des mesures à l'aide d'un dosimètre. Il est conseillé de le faire sur une période d'au moins trois mois, durant l'hiver, dans les locaux du plus bas étage normalement occupé du bâtiment [3].

I.3.3. Les moisissures

Lorsqu'elles sont présentes sur de petites surfaces et qu'elles sont nettoyées rapidement, les moisissures ne représentent généralement pas de risque pour la santé des occupants. Par contre, lorsqu'elles se développent de façon importante, elles dispersent dans l'air intérieur des particules (spores, fragments ou métabolites) que l'on peut respirer. Ces particules peuvent entraîner divers problèmes de santé (irritation des yeux, du nez et de la gorge, symptômes s'apparentant à ceux d'un rhume, augmentation des symptômes et de la fréquence des crises d'asthme, etc.).

Les moisissures sont une préoccupation importante pour de nombreux établissements scolaires. En effet, lorsque survient un dégât d'eau, il importe de réagir rapidement et d'assécher adéquatement les lieux pour éviter une prolifération de moisissures. En l'absence d'un tel assèchement lorsqu'il y a infiltration d'eau ou humidité excessive non contrôlée, les moisissures peuvent croître et possiblement altérer la santé des occupants et endommager l'édifice.

De nombreux établissements scolaires sont ou ont été aux prises avec un problème de moisissures. L'évaluation de la situation, la décontamination et la remise en état des lieux peuvent s'avérer complexes et coûteuses si ce problème n'a pas été résolu ou que la décontamination n'est pas effectuée adéquatement [4].

I.3.4. Le monoxyde de carbone

Le monoxyde de carbone (CO) est un gaz incolore, inodore et insipide produit par la combustion incomplète de toute matière organique, incluant les carburants fossiles (dérivés du pétrole), les déchets et le bois. Les principales sources anthropiques de monoxyde de carbone sont de loin le transport (véhicules diesels), mais aussi le secteur industriel et le chauffage au bois. Une fois dans l'atmosphère, il se transforme éventuellement en dioxyde de carbone (CO₂), un des plus importants gaz à effet de serre [5].

I.3.5. Les pesticides

Pour détecter les pesticides présents dans l'air intérieur, on a le plus souvent recours à des méthodes qui consistent à prélever des échantillons sur des adsorbants solides, ce qui n'exclut pas d'utiliser des barboteurs ou des systèmes mixtes. L'adsorbant solide le plus communément employé était le polymère poreux Chromosorb 102, mais on tend à lui préférer aujourd'hui les mousses de polyuréthane qui sont capables de capter un plus grand nombre de pesticides. Les méthodes d'analyse varient en fonction du pesticide et de la

méthode de prélèvement. Généralement, l'analyse s'effectue par chromatographie en phase gazeuse avec différents détecteurs spécifiques allant de la capture d'électrons à la spectrométrie de masse, qui recèle d'énormes possibilités pour l'identification des composés. L'analyse des composés présente certaines difficultés liées notamment à la contamination des éléments en verre des appareils de prélèvement par des traces de diphényles polychlorés, de phtalates ou de pesticides [6].

I.4. Les polluants courants et leurs effets sur la santé

I.4.1. Classification et hiérarchisation

Les polluants de l'air intérieur sont généralement classés en trois grandes familles selon leur nature :

- Polluants chimiques : ozone (O_3), composés organiques volatils (COV) et semi-volatils (COSV), oxydes d'azote (NO_x), monoxyde de carbone (CO), hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), etc.
- Polluants physiques : particules fines (ex : PM_{10} , $PM_{2,5}$) et fibres (ex : amiante, fibres minérales artificielles), radon, etc.
- Bio-contaminants : moisissures, allergènes domestiques, etc.

Comme l'air extérieur, l'air intérieur contient un mélange complexe de ces polluants provenant de différentes sources qui varient avec le temps et l'espace. Les polluants intérieurs sont multiples et diffèrent suivant leur source :

- L'extérieur du bâtiment (sol, plantes, véhicules, etc.) : O_3 , radon, CO, NO_x , COV, particules fines, pollens, etc.
- Les appareils de combustion (notamment de chauffage et de production d'eau chaude) : CO, NO_x , COV, particules fines, etc.
- Les matériaux et produits de construction, d'ameublement, de décoration, d'entretien et de bricolage : COV, formaldéhyde, particules fines, etc.
- La présence et les activités humaines (tabagisme, activités de cuisine, d'entretien ou de bricolage, etc.) : particules fines, CO, COV, etc.
- Les animaux : allergènes de chat, de chien et d'acariens, etc.

Parmi les différents polluants de l'air intérieur, les particules fines, les COV, l'ozone, et les oxydes d'azote occupent une part très importante et ont des effets négatifs sur la santé humaine. En conséquence, ils focalisent l'attention de toute la société et sont à l'origine de nombreux travaux de recherche qui ont pour but d'élaborer la réglementation, de concevoir des matériaux moins polluants et des procédés de traitement, d'améliorer la compréhension des mécanismes réactionnels [7].

I.4.2. Les composés organiques volatils et semi-volatils

Selon l'Union Européenne (UE), un COV est défini comme un composé organique ayant un point d'ébullition inférieur ou égal à 523 K mesuré à la pression atmosphérique. Et l'OMS classe les COSV en tant que polluants organiques dans l'air intérieur dont la plage du point d'ébullition se situe entre 513/533 et 653/673 K. En raison de cette basse température d'ébullition, la pression de vapeur est importante et entraîne des concentrations élevées en phase gazeuse par évaporation du liquide. Dans un environnement donné, la concentration d'un COV individuel est variable et dépend de la présence ou absence des sources d'émission potentielles. Par conséquent, de nombreuses publications rapportent la concentration des COV totaux (COVT) plutôt que des valeurs individuelles. Leur concentration, pris individuellement, est souvent bien inférieure à 0,1 ppmv mais la concentration totale en COV varie généralement entre 0,5 et 2 ppmv.

Les COV sont nombreux, variés, et omniprésents ; environ 200 à 300 COV et COSV différents ont été répertoriés dans l'air intérieur. Ils comprennent à la fois des composés chimiques anthropiques et naturels. La source principale d'émission des COV dans l'atmosphère est le transport, par les émissions de moteurs de véhicules et d'avions, les pertes par l'évaporation des essences des stations de service de l'automobile. Les procédés industriels impliquant l'utilisation de solvants, y compris de divers procédés chimiques, l'utilisation de peintures, colles, adhésifs, représentent également une source importante d'émission des COV.

Dans l'air intérieur, les COV anthropiques sont sévèrement réglementés par la législation. En général, les COV peuvent être dégagés par des produits de bureau, des matériaux isolants, des meubles synthétiques, des agents nettoyants, des produits d'entretien, des solvants de peinture, de la fumée de tabac, etc. Récemment, Gallego *et al.* ont évalué la distribution des familles de COV dans le bilan massique de carbone de COVT. Les alcanes, les hydrocarbures aromatiques, les esters, les alcènes, les acides carboxyliques et les alcools

sont les composés principaux dans la majorité des échantillons. Les effets des COV sur la santé humaine sont très variables selon la nature du polluant. Ils vont d'une gêne olfactive à des effets mutagènes et cancérigènes, comme pour le benzène qui est classé CMR (« cancérogène, mutagène et reprotoxique »), en passant par des irritations diverses et une diminution de la capacité respiratoire [7].

I.4.3. Les particules en suspension dans l'air

D'un point de vue sanitaire, la dimension des particules est un paramètre fondamental puisqu'il détermine leur aptitude à pénétrer et demeurer plus ou moins profondément dans l'appareil respiratoire (Figure I-2). La distribution granulométrique des particules est très large puisqu'elle recouvre plusieurs ordres de grandeur, variant de 0,001 à 10 μm . Les particules sont classées selon leur diamètre aérodynamique comme suit [21] :

- Les PM_{10} dont le diamètre est inférieur à 10 μm , correspondent à la prise en compte des trois modes « nucléation », « accumulation » et « grossier » en limitant ce dernier mode à 10 μm afin de sélectionner uniquement la fraction thoracique de l'aérosol susceptible de pénétrer dans l'appareil respiratoire.
- Les $\text{PM}_{2,5}$ dont le diamètre est inférieur à 2,5 μm , appelées « particules fines », correspondent aux modes « nucléation » et « accumulation ».
- Les PM_1 dont le diamètre est inférieur à 1 μm , appelées également « particules très fines ».
- Les $\text{PM}_{0,1}$ dont le diamètre est inférieur à 0,1 μm , appelées « particules ultrafines » ou « nanoparticules », correspondent au mode « nucléation » et aux plus petites particules du mode « accumulation » de l'aérosol atmosphérique[7].

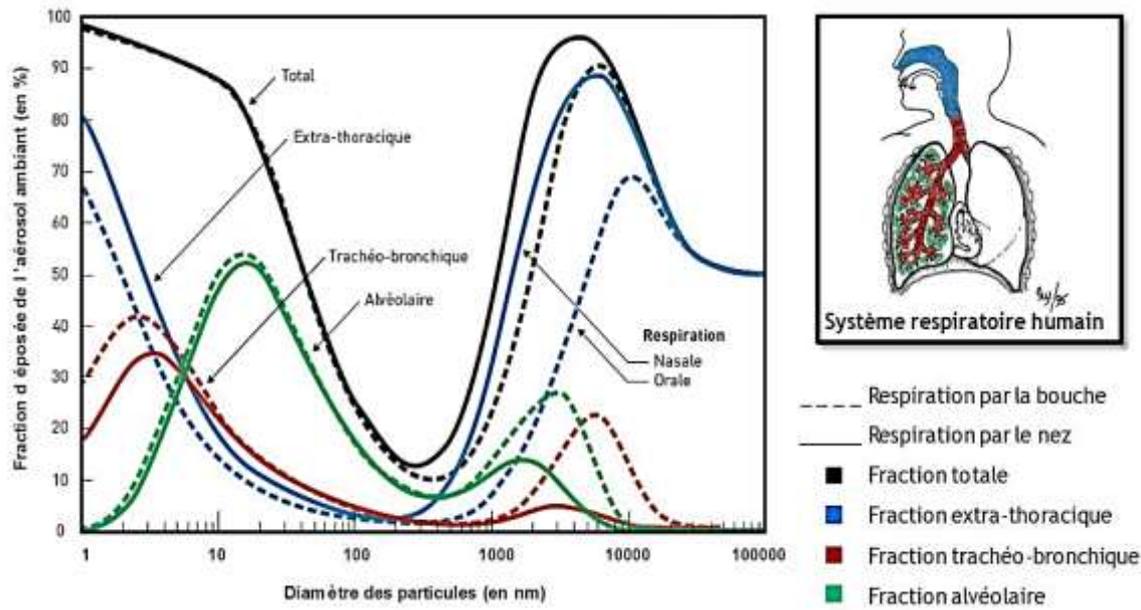


Figure I.2 : Prédiction du dépôt total et régional des particules dans les voies respiratoires chez l'homme en fonction de la taille des particules.

Plus les particules sont petites, plus elles pénètrent profondément dans le système respiratoire. Ainsi en 2012, les particules fines ont été reconnues responsables du cancer du poumon par l'OMS. Elles sont suffisamment petites pour s'infiltrer dans les poumons jusqu'au plus profond des alvéoles. Leurs effets sur la santé sont encore mal connus mais indiscutables. Les femmes enceintes, les enfants, les personnes âgées, les malades souffrant de pathologies cardiovasculaires ou respiratoires, de diabète et d'obésité figurent parmi les plus sensibles [7].

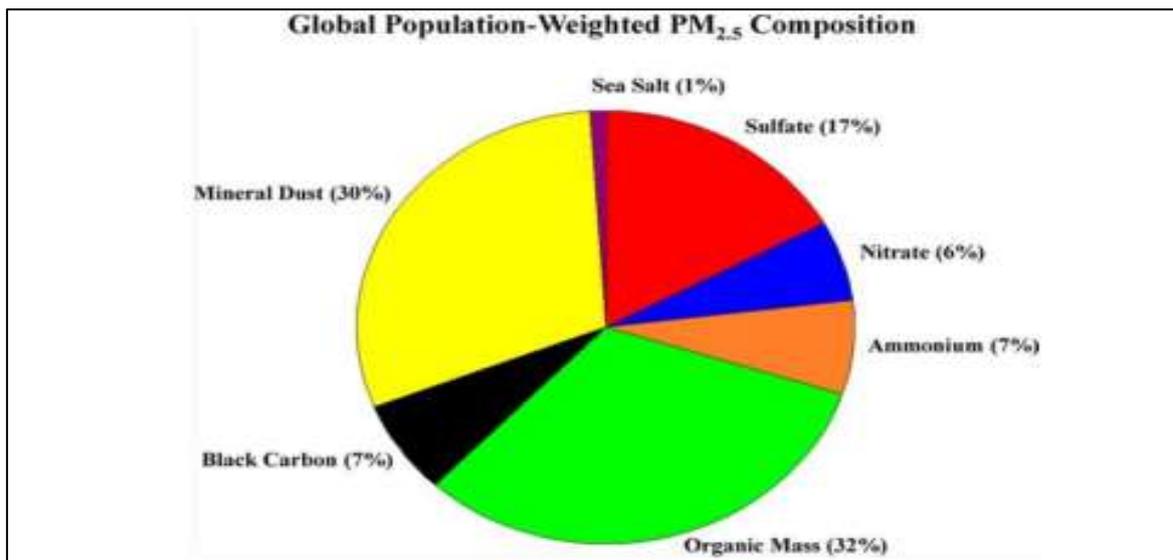


Figure I.3 : Composition chimique des particules PM 2.5 de l'air atmosphérique.

Selon la même étude, la fraction organique des PM_{2,5} représente 32%. Elle regroupe tous les composés organiques fonctionnalisés, soit émis directement dans l'atmosphère (aérosols organiques primaires), soit formés in-situ (aérosols organiques secondaires) par condensation ou nucléation des produits de dégradation photochimique des COV. La fraction organique est une matrice très complexe, constituée d'une multitude de composés différents appartenant aux grandes familles de la chimie organique que sont les alcanes, les acides carboxyliques, les alcools, les aldéhydes, les cétones, les esters, les HAP, les dioxines, etc.

Les sources de particules sont diverses. Les particules primaires sont émises directement dans l'atmosphère (ex : poussières minérales, suie, sels marins), alors que les particules secondaires sont issues de réactions physico-chimiques à partir d'autres polluants appelés précurseurs (ex : sulfate, nitrate, ammonium). Les particules peuvent aussi être distinguées selon qu'elles soient formées à partir d'activités anthropiques (ex : trafic routier, industrie, chauffage) ou à partir de sources naturelles (ex : volcans, déserts) [7].

I.4.4. L'ozone

a- Origine :

L'ozone n'est pas un polluant primaire mais à la fois un composant normal de l'atmosphère et un polluant secondaire quand sa concentration dépasse la normale.

b-Effet sur la santé humaine :

Des études ont montré qu'il peut entraîner une irritation des yeux et des voies aériennes supérieures, provoquant toux et maux de tête. Les effets varient en fonction de la concentration :

- Rhumes, maux de tête possibles, irritation des yeux : 160 à 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant 1 heure.
- Déclenchement de crises d'asthme et symptômes respiratoires autour de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant 1 heure.

c-Effet de serre :

L'ozone est un gaz à effet de serre, tout comme le dioxyde de carbone. Il est susceptible de bloquer une partie du rayonnement tellurique et de le renvoyer vers le sol. On estime actuellement que la part relative de l'ozone dans l'effet de serre additionnel pourrait être comprise entre 10 et 20 % [8].

I.4.5. Les oxydes d'azote

Sept oxydes d'azote peuvent être trouvés dans l'air ambiant, mais le monoxyde (ou oxyde nitrique NO) et le dioxyde (NO₂) sont les deux principaux produits par la combustion. En effet, 90-95 % des oxydes d'azote sont généralement émis sous forme de NO et seulement 5-10 % de NO₂. Mais, le NO est rapidement oxydé dans l'air pour former le NO₂ qui constitue dès lors le polluant azoté majeur. Le NO₂ est un gaz rouge brun, plus lourd que l'air, d'odeur très irritante, perceptible à partir de 0,1 ppm.

Plusieurs études rapportent des concentrations de NO₂ de l'ordre de 13 à 62 µg/m³ dans l'air intérieur, avec des teneurs plus élevées, de l'ordre de 180 à 2 500 µg/m³, associées à l'utilisation d'appareils à gaz (cuisine et chauffage) et à la combustion de la biomasse (bois).

Après inhalation, le NO₂ est absorbé à tous les niveaux du tractus respiratoire. Le mécanisme exact de la toxicité pulmonaire du NO₂ n'est pas connu. Cependant, l'hypothèse d'un effet direct par oxydation des lipides et des protéines membranaires et la libération de radicaux libres a été postulée ; l'inflammation pulmonaire est en effet diminuée après ingestion d'antioxydants (vitamines C et E). Les principaux impacts de NO₂ concernent le système respiratoire avec bronchoconstriction, augmentation de la réactivité bronchique, altération de la fonction mucociliaire, inflammation des voies respiratoires, diminution des défenses immunitaires conduisant à une susceptibilité accrue aux infections respiratoires [9].

I.5. Les solutions pour améliorer la qualité de l'air intérieur

I.5.1. La ventilation des locaux

De nombreuses endroits publics clos ne disposent pas de systèmes de ventilation mécanique. Pour améliorer la qualité de l'air intérieur, il est essentiel de favoriser l'entrée d'air frais dans le bâtiment, ce qui permet de renouveler l'air et de réduire la concentration des contaminants.

La ventilation naturelle repose sur des ouvertures aménagées, comme des fenêtres et des portes, ainsi que sur l'utilisation de ventilateurs passifs ou le phénomène d'infiltration de l'air.

La ventilation mécanique, quant à elle, fait appel à un dispositif motorisé permettant d'introduire de l'air frais dans le bâtiment tout en évacuant l'air vicié [3].

I.5.2. La ventilation naturelle des locaux

La ventilation naturelle repose sur la circulation de l'air dans le logement sous l'effet du vent et du tirage thermique : c'est une ventilation sans l'assistance de ventilateur. Le vent ou l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur entraînent le passage d'air grâce à la présence de grilles de ventilation installées généralement au niveau des fenêtres. L'air vicié est extrait par tirage naturel. Il dépend de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Plus elle est grande, plus le tirage est efficace. Il peut être amélioré en jouant sur la vitesse du vent qui crée une dépression dans le système. Le rôle de la différence de température explique les problèmes d'inconfort en hiver à cause de courants d'air froids sensibles. L'arrivée de l'air neuf au niveau des ouvrants crée de fortes déperditions énergétiques. Ce système est constitué de grilles d'aération hautes ou basses. Si les grilles sont bouchées, volontairement ou non, il ne fonctionne pas. Mais, bien conçu en fonction des conditions climatiques et des caractéristiques de la maison, il peut l'aérer de façon satisfaisante [9].

I.5.3. La ventilation mécanique des locaux

La VMC permet d'assurer en permanence des débits de ventilation constants dans un logement indépendamment des conditions climatiques : c'est un système comportant un ou deux ventilateurs électriques qui mettent l'air en mouvement afin de permettre son évacuation ou son insufflation forcée dans une VMC. Les bouches de ventilation régulent automatiquement l'admission et l'extraction d'air afin d'assurer correctement son renouvellement tout en limitant les déperditions d'énergie [9].

I.6. Règlement et surveillance de la qualité de l'air intérieur

La surveillance de la qualité de l'air intérieur (QAI) dans certains Etablissements Recevant du public (ERP) est une obligation réglementaire depuis la loi n°2010-788 du 12 Juillet 2010. Elle doit être mise en œuvre tous les 7 ans par le propriétaire ou l'exploitant de l'établissement et comporte :

- D'une part, l'évaluation obligatoire des moyens d'aération de l'établissement ;
- Et d'autre part, pour les polluants réglementés que sont les formaldéhydes, le benzène, le dioxyde de carbone et dans certains cas le tétrachloroéthylène (ou perchloroéthylène) :
 - Soit par la réalisation de campagnes de mesures des polluants par des organismes accrédités selon le référentiel LAB REF 303

- Soit par la mise en œuvre d'un plan d'actions de prévention. Il est mis en place à la suite d'une évaluation et moyens d'aération en place [10].

I.7. Conclusion

La qualité de l'air intérieur dépend de nombreux facteurs comme les matériaux, la ventilation et les activités humaines. Elle peut être altérée par des polluants courants ayant des effets néfastes sur la santé. Pour l'améliorer, il faut aérer régulièrement, limiter les sources de pollution et utiliser des équipements adaptés. Des réglementations et dispositifs de surveillance permettent aussi de mieux contrôler cette qualité et protéger les occupants.

Chapitre II

Décharge électrique à pression atmosphérique

II.1. Introduction

Ces dernières années, beaucoup d'efforts ont portés sur le développement de nouvelles technologies de traitement de l'air contenant de faibles concentrations en polluants tels que les procédés basés sur les plasmas non-thermiques ou plasmas froids. Les décharges électriques sont une des principales technologies pour générer de tels plasmas à pression atmosphérique.

Thermodynamiquement, un plasma froid est un processus hors-équilibre, c'est-à-dire que l'énergie est prioritairement transférée aux électrons, alors que la température des espèces lourdes (ions, molécules neutres, etc.) et donc du gaz ambiant reste relativement faible. Ces plasmas permettent de produire des espèces hautement réactives à faible coût énergétique. En ce qui concerne le traitement de l'air intérieur, la décharge couronne (DC) et la décharge à barrière diélectrique (DBD) sont les deux décharges électriques les plus souvent rencontrées du fait de leur simplicité de mise en œuvre.

II.2. La décharge de couronne

Le décharge couronne, également appelée décharge à effet corona, apparaît généralement à pression atmosphérique. On définit la décharge couronne comme une décharge électrique autoentretenu non destructive dans un gaz, qui peut apparaître entre deux électrodes asymétriques, dont l'une à un faible rayon de courbure reliée à une haute tension, appelée « électrode active », et l'autre électrode, généralement plane, et reliée à la terre, appelée « électrode passive » [11].

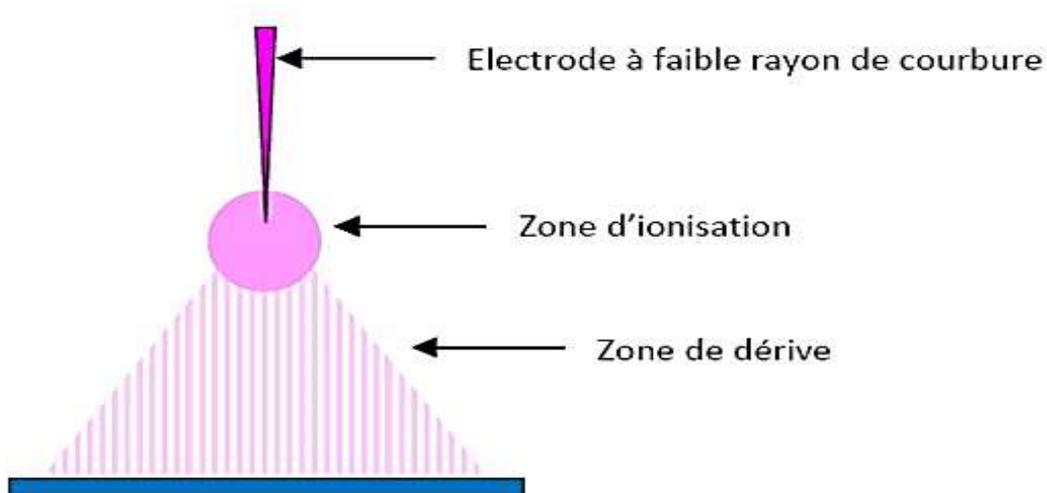


Figure II.1 : Zones d'ionisation et dérive dans la décharge couronne électrode.

La dissymétrie des électrodes conduit à un champ électrique inhomogène dans l'espace inter-électrodes qui comporte deux zones : une zone active (zone d'ionisation) et une zone de dérivé au voisinage de l'électrode à faible rayon de courbure (zone active ou zone ionisée) le champ est suffisamment élevé, ainsi une ionisation du gaz se produit et les phénomènes d'avalanche sont limités dans l'espace par la décroissance du champ électrique. Autour de cette zone on retrouve la zone de dérivé ou unipolaire, où les ions du même signe que l'électrode à faible rayon de courbure dérivent jusqu'à l'autre électrode [11].

II.2.1. Le régime de la décharge (caractéristique courant-tension)

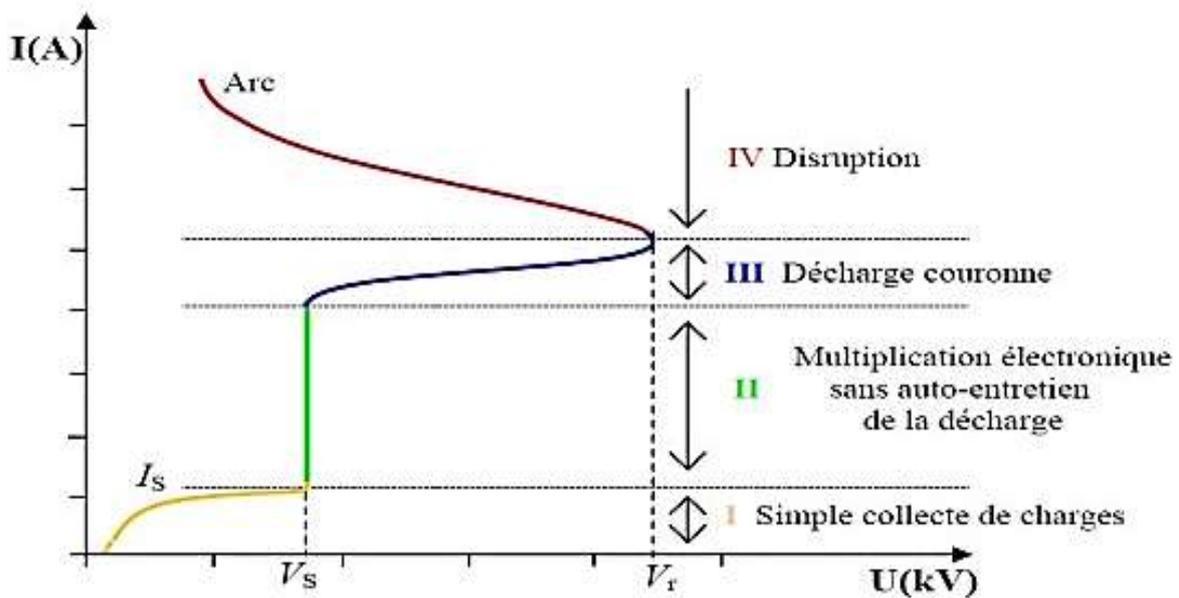


Figure II.2 : Caractéristique courant-tension des décharges à pression atmosphérique.

- **Régime I :** Dans ce cas le champ électrique est trop faible pour assurer l'avalanche électronique. Le courant est très faible cela conduit à la présence d'ions issus de la radioactivité naturelle ou rayonnement cosmique.
- **Régime II :** Lorsque la tension atteint une valeur seuil V_0 , le champ est assez intense pour qu'un électron puisse ioniser une particule environnante. Le processus d'avalanche se déclenche alors sans que le critère d'auto-entretien soit pour autant satisfait. La décharge a besoin d'une source externe complémentaire. Car le courant reste faible.
- **Régime III :** Les courants de décharges deviennent très importants car toute l'énergie passe par un même canal préférentiel dans l'espace inter-électrodes.

– **Régime IV** : La composante continue (représentative de la charge d'espace) augmente avec la tension. Ici la décharge ne s'éteint plus car la condition d'auto-entretien est atteinte [12].

II.3. Description phénoménologique de la décharge couronne

La décharge couronne est créée entre deux électrodes fortement dissymétriques par application d'une haute tension (continue, alternative ou pulsée) à l'électrode ayant le plus petit rayon de courbure. Cette forte courbure provoque un champ électrique réduit autour de l'électrode qui décroît très rapidement au fur et à mesure que l'on s'en éloigne. La décharge couronne apparaît si le champ électrique est suffisant pour ioniser le gaz. Dans de l'air sec à pression atmosphérique, la valeur du champ de disruptive est de l'ordre de 30 kV.cm^{-1} . Sa valeur dépend du rayon de courbure de l'électrode, de son état de surface, de la température et de la pression [7].

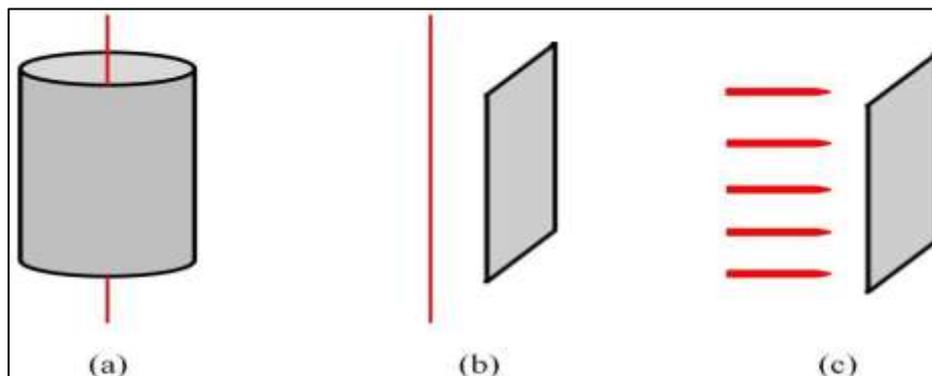


Figure II.3 : Configuration classique de la décharge couronne : (a) fil-cylindre, (b) fil-plaque et (c) pointe-plaque

L'une des difficultés principales rencontrées avec la décharge couronne est la transition à l'arc électrique, qui est une décharge électrique autonome transportant un fort courant sous une faible différence de potentiel. Concrètement, une augmentation de la densité de courant se traduit par une augmentation de la surface occupée par la décharge sur les électrodes. Lorsque la décharge occupe la totalité de la surface, l'augmentation de la densité de courant jusqu'à une valeur critique peut susciter la transition à l'arc électrique, ce qui est simultanément accompagné d'une hausse de la température du gaz. Dans ce cas, le plasma généré est proche de l'équilibre thermodynamique et la puissance injectée dans le gaz est majoritairement dissipée par effet Joule. Par conséquent, l'énergie cinétique des électrons est insuffisante pour permettre d'ioniser et de décomposer des molécules du milieu. C'est pour cette raison que dans la plupart des applications de la décharge couronne, ce phénomène de

transition à l'arc électrique doit être évité, soit par abaissement de la tension pour arrêter la propagation de la décharge avant qu'elle n'atteigne la contre électrode, soit par application d'une tension impulsionnelle répétitive dont la durée doit être inférieure à quelques centaines de nanosecondes [7].

II.3.1. Configuration fil-cylindre

II.3.1.1. La décharge de couronne positive

La décharge couronne positive émerge quand l'électrode pointue est portée à un potentiel positif et la plaque reliée à la terre (Figure II.4). Dans ce cas, des électrons sont produits par photo ionisation auprès de la pointe où le champ est intense et sont accélérés du côté de l'anode (l'électrode de petit rayon de courbure). Auprès de celle-ci, Les ions positifs ainsi créés sont repoussés par l'anode, sous l'effet des forces de Coulomb, jusqu'à une distance de la pointe inférieur au-delà de laquelle le champ électrique ne permet plus la création d'ions positifs. Les ions positifs migrent donc vers la cathode (la plaque).

Avec l'accroissement de la tension, la décharge couronne positive devient une décharge lumineuse continue, cette décharge se transforme en claquage si la tension est supérieure. Lorsque le champ électrique est augmenté, une fine couche d'air ionisé parmi les deux électrodes peut être observée. Ce régime s'appelle la décharge de type « streamer » [13].

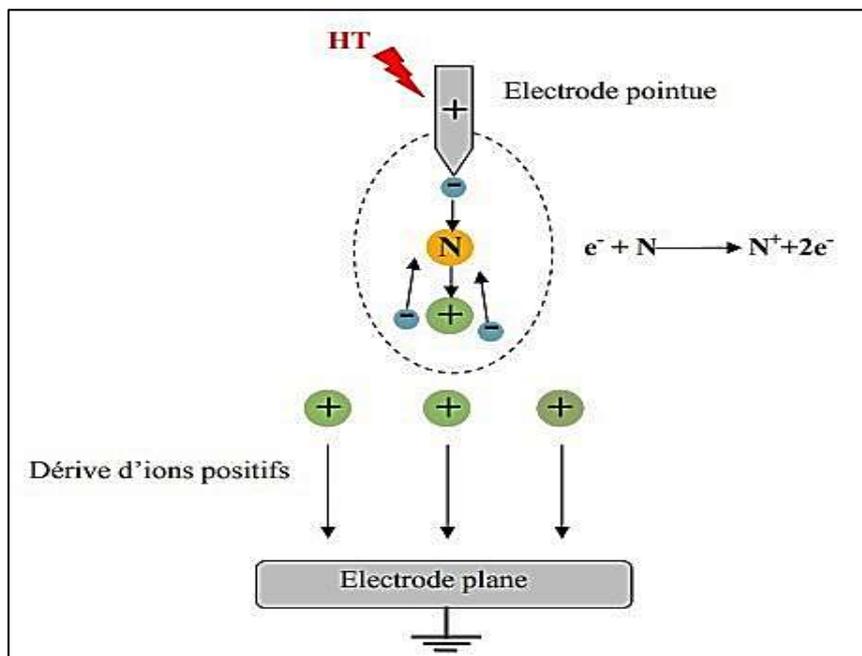


Figure II.4 : Description de la décharge couronne positive.

II.3.1.2. La décharge de couronne négative

Dans le cas où la pointe est portée à un potentiel négatif, des électrons sont toujours

La décharge couronne négative émerge quand l'électrode pointue est portée à un potentiel négatif. Quelle que soit la polarité, il y a toujours création d'électrons. Dans ce cas, les ions positifs créés (dans la zone d'ionisation auprès de la pointe) reviennent activement à la cathode (figure II.5). Alors que, les ions négatifs sont repoussés par l'électrode sous tension vers la zone où le champ est plus faible (zone de dérive) et peuvent être déplacés vers la plaque reliée à la masse [13].

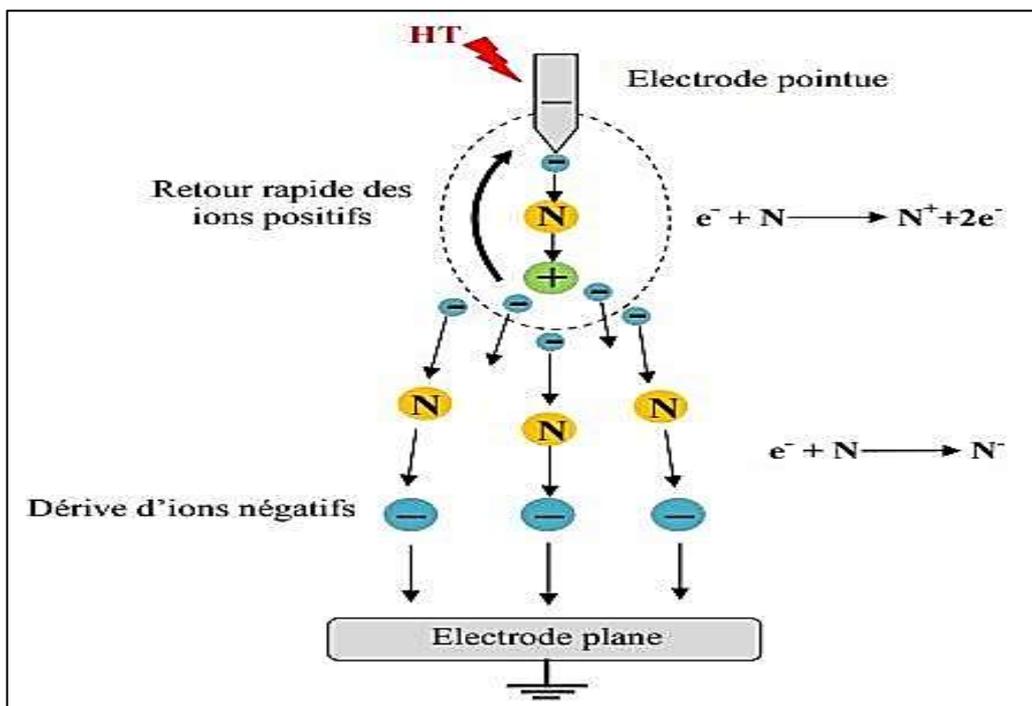


Figure II.5 : Description de la décharge couronne négative.

Avec l'accroissement de la tension, la décharge couronne négative atteint le régime d'impulsions de Trichel à une fréquence qui dépend du courant moyen. 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 électronique [13].

II.3.2. Caractéristiques électrique macroscopique

Le champ de disruptive correspond à une valeur de l'ordre de 30 kV.cm⁻¹ à partir de laquelle apparaît un courant électrique mesurable. Pour des valeurs du champ inférieures à cette valeur, l'air est considéré isolant et sa résistivité est de l'ordre de 10¹⁴ Ω.m. Au-delà de celle-ci, l'air s'ionise et devient conducteur ; sa résistivité est de l'ordre de 10³ Ω.m. Ce gradient peut être calculé à l'aide d'une relation semi-empirique en fonction de la géométrie du système. Il y a peu de différence dans le champ critique entre une décharge négative et une décharge positive. En pratique, on observe cependant que le champ critique correspondant à l'amorçage est généralement un peu plus faible pour une décharge négative que positive. Des formules empiriques ont été développées par Peek en 1929 pour calculer le champ critique E₀ exprimé en V.m⁻¹. Ces équations sont valables uniquement si l'on suppose que le champ électrique est le même en tout point de l'électrode de décharge [7].

Si l'électrode de décharge est un fil cylindrique.

$$E_0 = 3.1 \cdot 10^6 \alpha \delta \left(1 + \frac{0.0308}{\sqrt{\alpha r_f}} \right) \quad (\text{II.1})$$

Avec α la densité de l'air :

$$\alpha = \frac{293}{293 + T(c)} \cdot \frac{P}{1.01325 \cdot 10^5} \quad (\text{II.2})$$

Où f est le facteur de rugosité de la surface du fil, qui n'intervient qu'en tension négative. Il est égal à 1 pour une surface lisse et inférieure à 1 pour une surface rugueuse. r_f est le rayon de l'électrode émissive (m) [7].

La différence de potentiel appliquée entre les deux électrodes correspondant au champ de disruptive est appelée tension d'amorçage V₀. Elle peut être calculée de la manière suivante :

Pour une géométrie fil-cylindre :

$$V_0 = E_0 r_f \ln \frac{r_c}{r_f} \quad (\text{II.3})$$

- Pour une géométrie fil- plaque et aux faibles courant de décharge :

$$V_0 = E_0 r_f \ln \frac{R_{eff}}{r_f} \quad (\text{II.4})$$

- Ou r_c est la distance entre le fil et le cylindre périphérique (m) et R_{eff} un rayon efficace défini par :

$$R_{eff} = \frac{4.b}{\pi} \quad (\text{II.5})$$

Avec b la distance fil-plaque.

Lorsque la tension appliquée augmente et atteint une certaine valeur, il apparaît des arcs électriques entre le fil et le cylindre périphérique. Cette valeur correspond à la tension de claquage V_c . En fait, lorsqu'un arc électrique apparaît, la tension chute brutalement, entraînant un dysfonctionnement de l'électrofiltre. Généralement, la tension de claquage ne peut pas être calculée de manière théorique ; il s'agit plutôt d'une probabilité d'apparition. Néanmoins, Peek a proposé une relation permettant de calculer un ordre de grandeur du champ de claquage E_c en fonction du rayon de la zone d'ionisation r_i [7]:

$$E_c = 3.1 \cdot 10^6 \alpha f \left(1 + \frac{0.0308 r_c}{2.718 r_f \sqrt{a r_i}} \right) \quad (\text{II.6})$$

Avec :

$$r_i = r_f + 0.03 \sqrt{r_f} \quad (\text{II.7})$$

Et ce que nous donne la tension de claquage équivalente à :

$$V_c = E_c r_f \ln \frac{r_c}{r_f} \quad (\text{II.8})$$

La relation entre la tension appliquée et le courant généré est une caractéristique fondamentale d'un électro filtre. 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 de l'électro filtre en appliquant les équations de Maxwell aux conditions de géométrie choisie. Une relation empirique simple entre le courant généré et la tension appliquée proposée par Townsend est généralement utilisée, qui s'exprime par [7] :

$$I = C^{st} V (V - V_0) \quad (\text{II.9})$$

Ou C^{st} est une constante qui dépend de la configuration du précipiteur électrostatique de la température pression atmosphérique et composition des gas. D'après Townsend la constante C^{st} il est donné par la relation suivante [7] :

Pour une géométrie fil-cylindre :

$$C^{st} = \frac{8\pi\mu E_0}{r_c^2 \ln \frac{2}{r_f}} \quad (II.10)$$

Pour une géométrie fil-plaque et aux faibles courants de décharge :

$$C^{st} = \frac{3.12\pi\mu_{ion}E_0}{b^2 \ln \frac{2b}{r_f}} \quad (II.11)$$

II.3.2.1. Configuration pointe- plaque

La configuration pointe-plaque est constituée de plusieurs aiguilles métalliques et d'une électrode plane. Les mécanismes sont identiques à ceux décrits en configuration fil cylindre mais dans ce cas la décharge couronne apparaît comme une lueur lumineuse localisée dans un volume autour de la pointe des aiguilles : c'est la zone d'ionisation. Au-delà, le champ électrique est faible, les électrons rentrent en collision avec les espèces neutres pour former des ions qui dérivent sous l'effet du champ : c'est la zone de dérive [14].

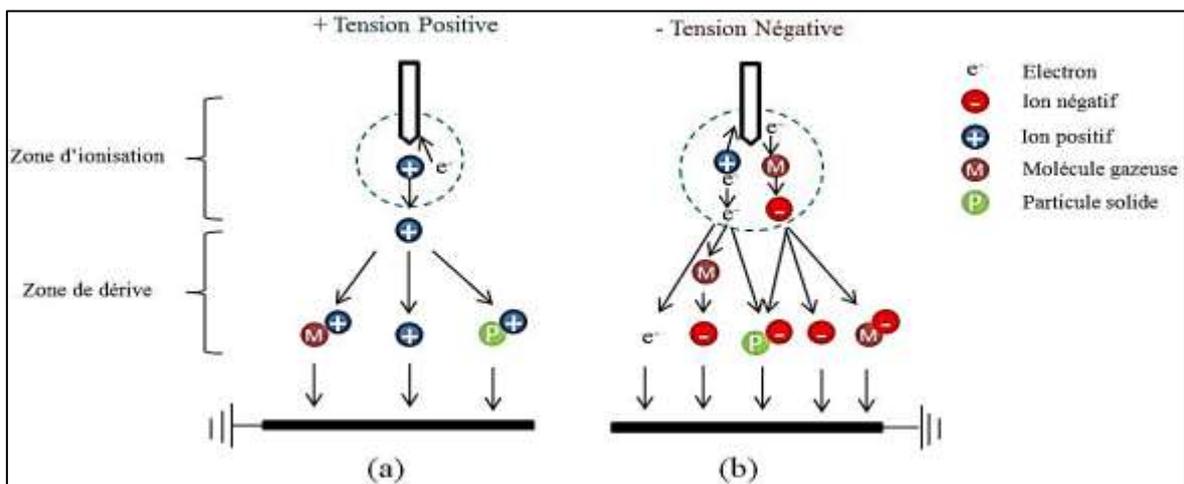


Figure II.6 : Représentation schématique d'une décharge couronne configuration pointe-plaque (a) tension positive et (b) tension négative.

Comme pour la configuration fil-cylindre, le mécanisme de formation de la décharge couronne dépend de la polarité de la décharge. Dans les mêmes conditions, la zone de plasma pour la décharge en tension positive apparaît également inférieure à celle en tension

négative, en raison du nombre plus faible d'électrons libres, comme présenté dans la description de la configuration fil-cylindre [14].

II.4. Description d'une décharge électrique

II.4.1. La décharge de Townsend

Townsend a développé une théorie dans laquelle il explique le phénomène de décharge à partir des observations des courants de conduction dans l'air, l'oxygène et l'hydrogène. Après l'apparition du premier électron libre produit au niveau de la cathode ou dans le gaz par un Agent ionisant (Rayons UV, chaleur, etc.), une avalanche électronique peut se développer sous l'action du champ électrique. L'accroissement d'une quantité dn d'un nombre initial n d'électrons libres qui dérivent d'une longueur dx dans un gaz à pression p sous l'effet d'un Champ uniforme E , est donné par le coefficient [15].

$$\alpha = \frac{1}{n} \frac{dn}{dx} \quad (\text{II.12})$$

Ce coefficient α , est appelé premier coefficient de Townsend. Il dépend du champ électrique, de la pression et de la nature du gaz ($\frac{\alpha}{p}$ avec $\frac{E}{p}$ une influence de la nature du gaz). Chaque ionisation d'un neutre du gaz donne naissance à un électron libre et un ion positif qui se dirige vers la cathode où il donnera à son tour naissance à un nombre γ de nouveaux électrons, Le coefficient γ , est appelé deuxième coefficient de Townsend. Caractérisant l'ionisation en Surface au niveau de la cathode. Si i_0 représente un courant dû aux électrons produits par l'agent ionisant extérieur, le courant i d'une décharge qui s'établit entre les électrodes distantes de d est représenté par la relation Classique :

$$i = i_0 \frac{e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)} \quad (\text{II.13})$$

Pour $\gamma(\alpha d - 1) = 1$ le courant du système devient infini, ce qui signifie que le courant i_0 n'est plus nécessaire à l'entretien de l'ionisation. La décharge est alors dite autonome. Quand le champ électrique n'est pas semblable, ce qui peut se produire avec l'accumulation Localement des ions positifs dans l'intervalle inter électrodes, le foisonnement des électrons S'arrête dans les endroits où le champ électrique est faible. Les électrons autonomes s'attachent Alors à des atomes neutres du gaz. Afin de mieux décrire le foisonnement électronique dans les Régions à faible champ où l'attachement ne peut plus être négligé, on est amené à écrire $\alpha = (\alpha' - \eta)$ Où η est le coefficient d'attachement qui dessiner nombre

d'électrons qui s'attachent par unité de longueur et α' le coefficient d'ionisation globale. Dans le cas où le Champ n'est plus autonome, le critère de Townsend s'écrit :

$$\gamma \exp \left(\int_0^d \alpha \, dx - 1 \right) = 1 \quad (\text{II.14})$$

Pour que la décharge soit uniforme, il est essentiel que les ions positifs, les photons et les Métastables qui apparaissent dans l'espace inter-électrodes produisent au moins un électron Pour remplacer tout électron qui quittera la région d'ionisation. Pour Townsend, le chemin à la décharge autonome est dû à l'effet γ (émission d'électrons secondaires par les ions positifs qui Tombent sur la cathode) [15].

II.4.2. Loi de Paschen

Paschen a établi une loi empirique de comportement des gaz, connue sous le nom de loi de Paschen. Cette dernière, énonce que la tension disruptive d'un gaz qui représente la tension à Partir de laquelle une décharge est observée, entre deux électrodes parallèles, dépend de la Valeur du produit de la pression du gaz avec la distance inter-électrodes (figure II.7) ; la relations' écrit [16] :

$$V_s = f(P \cdot d) \quad (\text{II.15})$$

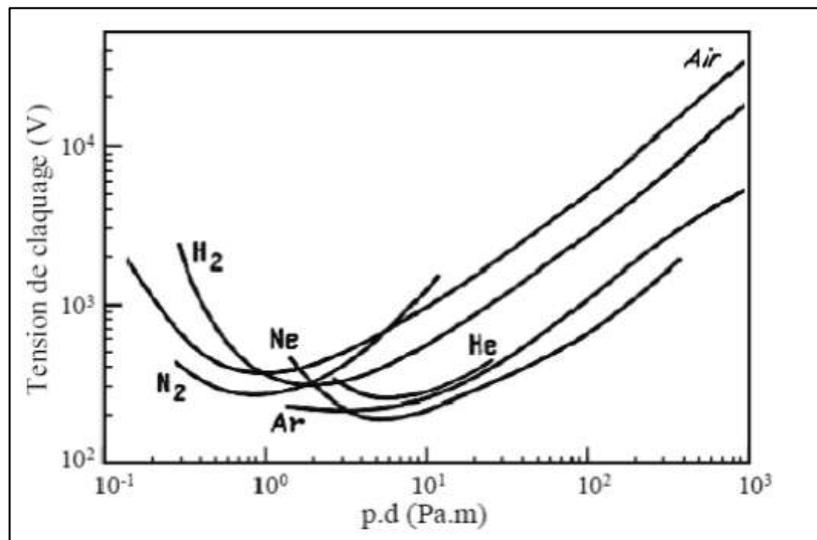


Figure II.7 : Loi de Paschen pour différents gaz.

Le mécanisme proposé par Townsend permet d'expliquer de manière théorique la loi empirique de Paschen décrivant la tension nécessaire à l'apparition d'une décharge disruptive en fonction du produit « p.d » :

$$V = \frac{B \cdot p \cdot d}{\ln A \cdot P \cdot d - \ln(\ln(1 + \frac{1}{V}))} \quad (\text{II.16})$$

Les constantes A et B, qui dépendent du gaz, peuvent être déterminées à partir du premier coefficient d'ionisation « α ».

Avec :

$$\alpha = A \cdot \exp(-B \cdot \frac{E}{P}) \quad (\text{II.17})$$

Les travaux de Coliatene montrent que la tension minimale (minimum de Paschen) d'initiation d'une décharge dans l'air en champ uniforme reste inchangée (≈ 320 V) quelle que soit l'augmentation de la température. Cela signifie que ce minimum est universel [16].

II.4.3. Théorie des streamers

Un "streamer" ou "dard" est un fin canal partiellement ionisé qui se forme à partir de l'avalanche primaire dans lequel coexistent des charges positives et négatives, qui va croître en direction des deux électrodes. Si le streamer se dirige vers la cathode, il est dit "positif". Dans le cas contraire, correspondant à de très fortes tensions et de grandes distances inter-électrodes on parle du streamer "négatif". La situation intermédiaire restant possible. L'instruction d'un streamer s'explique par les mécanismes de photo ionisation se produisant à l'intérieur de l'avalanche primaire. Les électrons activés par le champ électrique excitent par collision des atomes du gaz environnant qui reviennent à leur état cardinal avec émission des photons. Si ces photons ont une énergie inférieure à l'énergie d'ionisation des atomes du gaz environnant, ils peuvent être absorbés par ces atomes avant d'être émis de nouveau. Si leur énergie est supérieure à l'énergie d'ionisation des atomes du gaz, de nouveaux des électrons peuvent être libérés. Si les électrons ainsi produits sont situés au voisinage de l'avalanche primaire, ils vont créer de nouvelles avalanches dites secondaires [17].

Ainsi le streamer consiste en :

- Une région ionisée, légèrement conductrice (5kV/cm) composée d'ions positifs et d'électrons.
- Une région "active" composée d'ions positifs qui favorisent le développement d'avalanches.

II.5. Les facteurs influençant la décharge couronne

Plusieurs facteurs peuvent influencer le seuil et les caractéristiques de la décharge couronne on distingue trois facteurs essentiels : (les facteurs d'influence vont être étudiés en détails dans le chapitre suivant).

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

II.5.1. Facteurs géométriques

II.5.1.1. Rayon de courbure

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

II.5.1.2. Distance inter-électrodes

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

Il apparaît clairement que le courant est plus important et croît plus rapidement avec la tension appliquée pour de faibles distances inter-électrodes. De plus, les seuils de décharge couronne apparaissent pour des valeurs de tension inférieures dans le cas de faibles distances inter-électrodes [19].

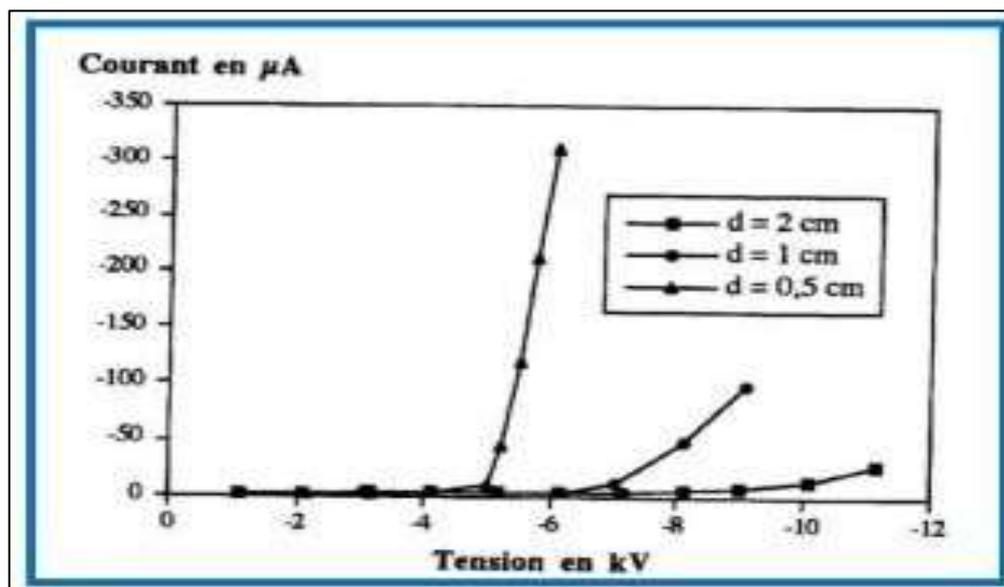


Figure II.8 : influence de la distance inter-électrodes sur le décharge couronne.

II.5.1.3. La nature des électrodes

La caractéristique courant-tension est représentée selon la nature des électrodes (cuivre, aluminium, et acier) sur la figure (II.9) [19].

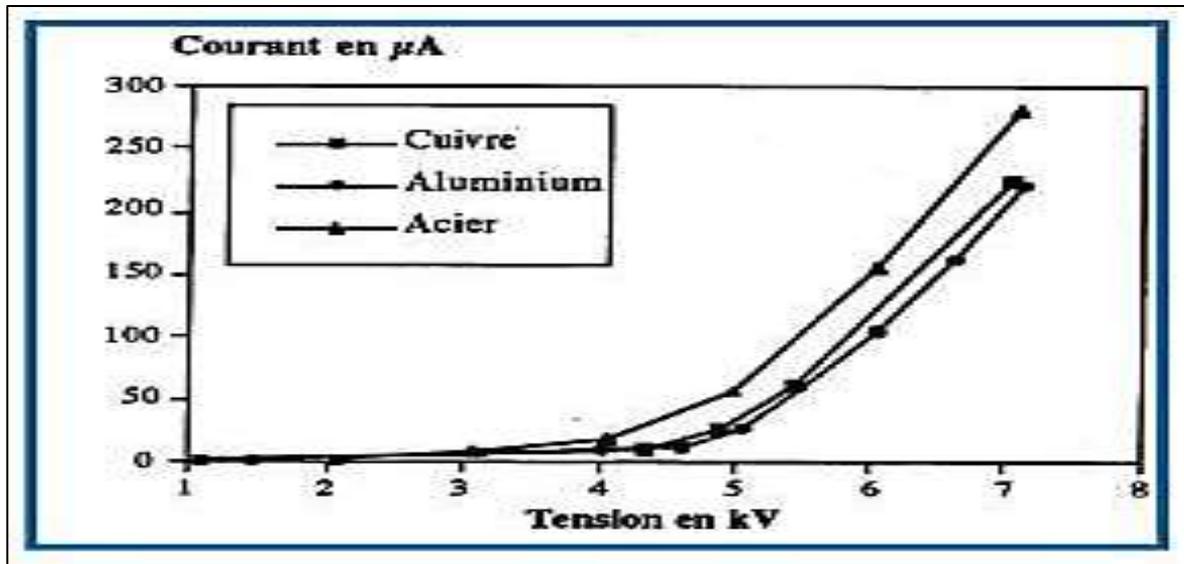


Figure II.9 : Caractéristique courant-tension selon la nature des électrodes.

II.5.2. Les facteurs physico-chimiques

II.5.2.1. La température

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

II.5.2.2. L'humidité

L'influence de l'humidité sur la rigidité diélectrique de l'air est très importante surtout dans le cas où le champ électrique est non uniforme.

Ce phénomène serait lié d'une part à l'accroissement de l'attachement des électrons libres, du fait de la présence de vapeur d'eau dans l'air (grande électronégativité) et d'autre part à la plus grande absorption des photons en tête des streamers, dans la région où se produisent les avalanches secondaires par photo-ionisation. Le seuil d'apparition de la décharge couronne survient à des tensions toujours plus basses pour 90% que pour 5% d'humidité relative.

Cette différence pourrait s'expliquer par l'augmentation de la conductivité de l'air lorsque l'humidité relative de la cellule de décharge augmente [19].

II.5.2.3. La pression

L'effet de la pression est proportionnel à la tension d'amorçage et inversement proportionnel au courant. La figure (II.10) montre l'effet de la pression sur la décharge [20].

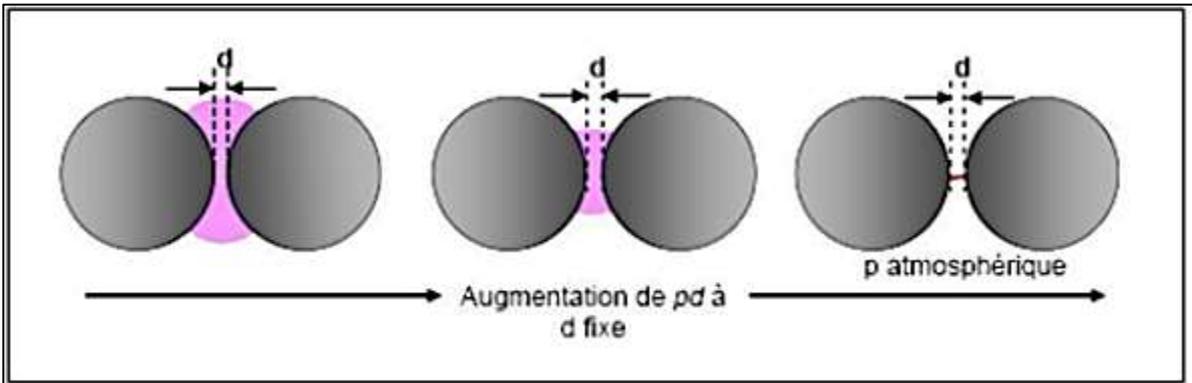


Figure II.10 : Schéma d'évolution de la décharge observée en fonction de la pression.

II.5.2.4. 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 « U_d » est proportionnelle à la densité de l'air :

$$U_{dn} = \frac{U_d K_n}{\delta} \quad (\text{II.18})$$

Avec :

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

$\frac{K_n}{\delta}$: Correction à apporter pour avoir les conditions normales.

II.5.2.5. 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 [19].

II.6. Problèmes liés aux décharges couronne

Les décharges couronnes peuvent produire des bruits audibles et des perturbations sur les fréquences radio, en particulier à proximité des lignes à haute tension. Elles représentent également une perte de puissance. Enfin, les réactions qu'elles provoquent dans l'atmosphère pourraient avoir un impact sur la santé. C'est pourquoi les installations de transport d'énergie sont conçues pour minimiser la formation des décharges couronne [20].

Les décharges de couronne sont particulièrement à éviter dans :

- Les installations de transmission électrique où elles provoquent une perte d'énergie et du bruit.
- La plupart des équipements électriques : transformateurs, machines électriques (aussi bien générateurs que moteurs), etc. où elles endommagent progressivement les isolants amenant à une détérioration prématurée dans équipements.
- Toutes les situations nécessitant une tension importante mais où la production d'ozone doit être minimale [20].

II.7. Collecte des particules par décharge couronne**II.7.1. Mise en œuvre, technologies existantes****II.7.1.1. Electro filtres****A. Principe de fonctionnement**

L'électro filtration est une technologie mature employée depuis plusieurs décennies dans le domaine industriel. Son efficacité avérée, notamment pour les particules de petites dimensions, font de cette technologie un procédé de séparation gaz/solide de haute efficacité. Cette technologie est basée sur trois étapes successives : la charge des particules, leur migration sous l'action du champ électrique et leur collecte, comme illustré sur la Figure II-11. Dans la zone de dérive, les particules se chargent par champ et/ou par diffusion jusqu'à atteindre une charge limite. Les particules chargées subissent alors une force électrostatique, appelée force de Coulomb, due au champ électrique. Cette force fait migrer les particules chargées vers l'électrode de collecte qui est reliée à la masse. En conséquence, les particules sont séparées de la phase gazeuse et se déposent sur l'électrode de collecte. Enfin, les particules collectées sont enlevées par lavage, grattage ou frappe [7]

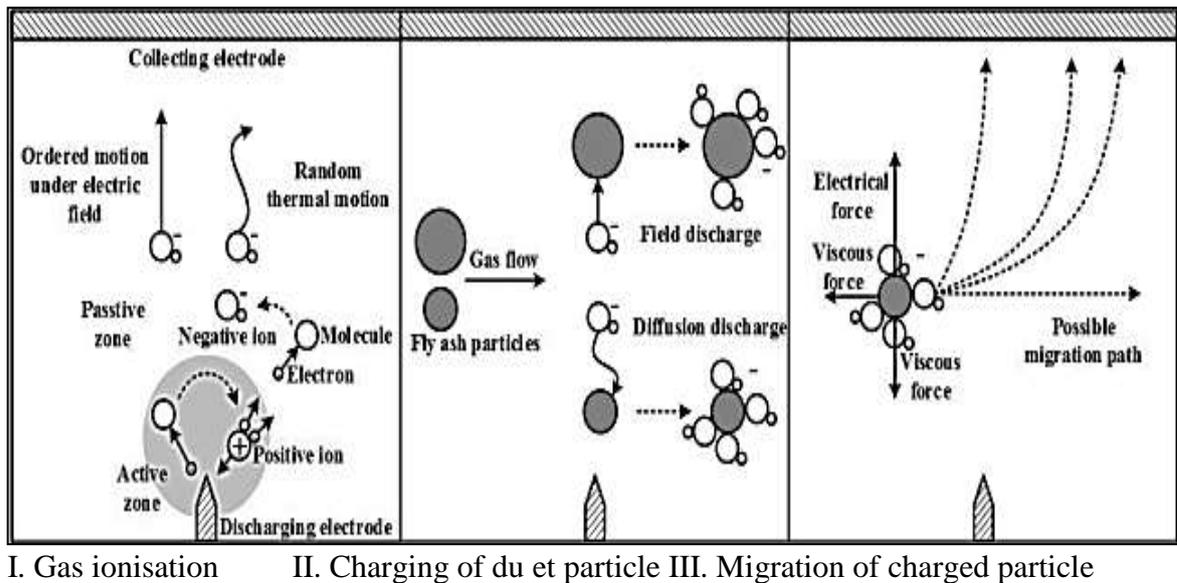


Figure II.11 : Schéma représentatif le fonctionnement d'un ESP.

B. Electro filtres à un ou deux étages

Les électro filtres à un seul étage réalisent la charge et la collecte des particules simultanément dans le même étage. Ils se présentent le plus souvent sous forme de fil-cylindre ou de fil-plaque (Figure II-12). Pour la 1^{ère} configuration, le fil de décharge est tendu le long de l'axe central du cylindre périphérique relié à la masse ; pour la 2^{ème}, les électrodes de collecte sont des plaques parallèles et équidistantes, les électrodes de décharge sont situées dans les plans verticaux à mi-distance entre les plaques.

L'ESP à un seul étage est le plus utilisé dans les applications industrielles suite à sa simplicité de conception et sa robustesse. Les électrodes de collecte sont périodiquement secouées, afin de décoller et détacher les agrégats de particules sous l'effet de la gravité et les déposer dans une trémie [7].

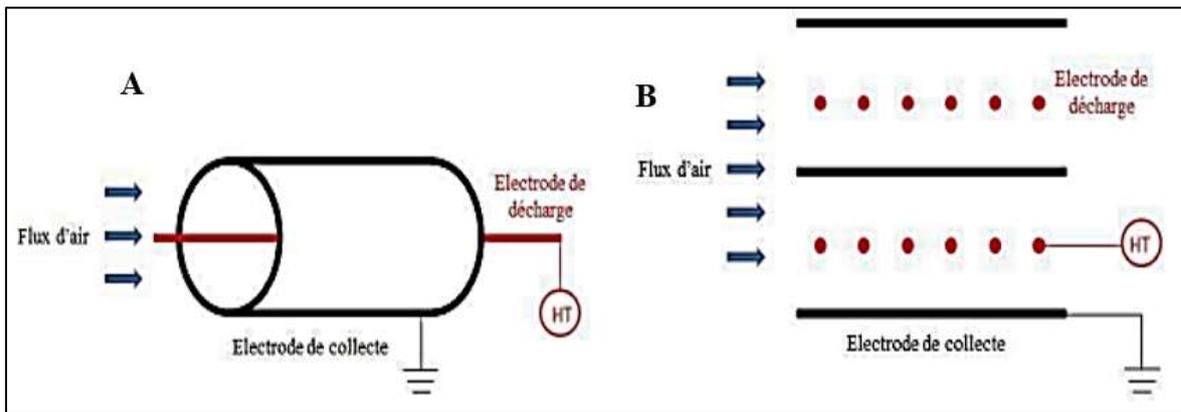


Figure II.12 : Schéma représentatif d'un ESP à un seul étage: (a) fil-cylindre et (b) fil-plaque.

II.7.2. Principe de la collecte des particules

II.7.2.1. Charge des particules

Dans l'électrofiltre ou l'ioniseur, les particules se chargent en collectant les ions gazeux. De nombreuses études ont montré que cette collection est principalement attribuée à deux mécanismes : la charge par champ et la charge par diffusion. Les deux mécanismes de charge interviennent ensemble et leur importance relative est déterminée principalement par la dimension de la particule.

Pour les particules supérieures à environ $1 \mu\text{m}$, la charge par champ est prépondérante, alors que la charge par diffusion est majoritaire pour les particules ayant une taille de l'ordre du libre parcours moyen des ions dans le gaz (particule de diamètre inférieur à $0,1 \mu\text{m}$). Leur importance relative dépend également de la tension et de l'intensité : une tension élevée favorise la charge par champ alors qu'une intensité élevée favorise la charge par diffusion [7].

II.7.2.2. Dynamique des particules

La trajectoire des particules dans l'espace inter-électrode est conditionnée par l'écoulement de l'air. Pour décrire les champs de vitesse différents modèles sont proposés, allant d'un simple modèle laminaire [7].

II.8. Dégradation des COV par plasma non-thermique

II.8.1. Dégradation des COV dans l'air intérieur

La grande majorité des études concernant la dégradation des COV par le plasma ont été menées à des concentrations en COV très élevées, généralement au-delà de 100 ppmv, avec des densités d'énergie supérieures à 100 J.L⁻¹. La réactivité du plasma a été très peu étudiée à faible concentration ; de l'ordre de quelques centaines de ppbv voire des dizaines de ppbv, qui sont des concentrations représentatives des COV dans l'air intérieur. De ce fait, afin d'atteindre une maturité suffisante pour être employés communément dans le traitement de l'air intérieur, les procédés à plasma froid nécessitent encore des études menées dans des conditions représentatives de l'air intérieur [7].

II.8.2. Couplage du plasma et de la catalyse hétérogène

L'utilisation du plasma non-thermique pour la dégradation des COV dans le traitement de l'air intérieur est prometteuse. Cependant, l'élimination des sous-produits formés à savoir l'ozone et les oxydes d'azote est obligatoire avant le rejet dans l'air intérieur. Au début des années 2000, les procédés plasma et les catalyseurs ont été couplés afin de proposer des nouveaux procédés plus efficaces et moins énergivores. Ces études ont montré que l'utilisation du catalyseur permet de dégrader l'ozone et les NO_x mais également d'augmenter l'efficacité de dégradation des COV. De cette manière, le couplage de plasma-catalyseur combine les avantages du plasma (simplicité de mise en œuvre, grande réactivité) et de la catalyse (grande sélectivité). Cette méthode pourrait garantir en sortie du procédé de couplage des concentrations en polluants acceptables. La compréhension des mécanismes d'interaction et des effets synergétiques entre le plasma et le catalyseur représente un défi important [7].

II.9. Application utilisant la décharge couronne

II.9.1. Parafoudre

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

II.9.2. Neutralisation

La surface de l'avion se charge par frottement avec l'air. Les charges créées par effet couronne produit par des flèches disposées sur les ailes de l'avion éliminent par neutralisation les charges surfaciques [21].

II.9.3. Filtre électrostatique

Le fil central produit par effet couronne des charges électriques négatives. Les grains de poussière qui se chargent négativement sont attirés et captés par le cylindre qui les empêche de ressortir. Le cylindre joue le rôle d'un filtre de poussières, lequel une fois saturé sera remplacé par un nouveau filtre [21].

II.9.4. Séparateur électrostatique

Un mélange de particules granuleuses acquiert des charges électriques créées par effet couronne grâce à une électrode à pointes reliée à une source de haute tension négative. Ces particules se comportent différemment selon qu'elles sont isolantes ou métalliques et tombent dans des endroits différents [21].

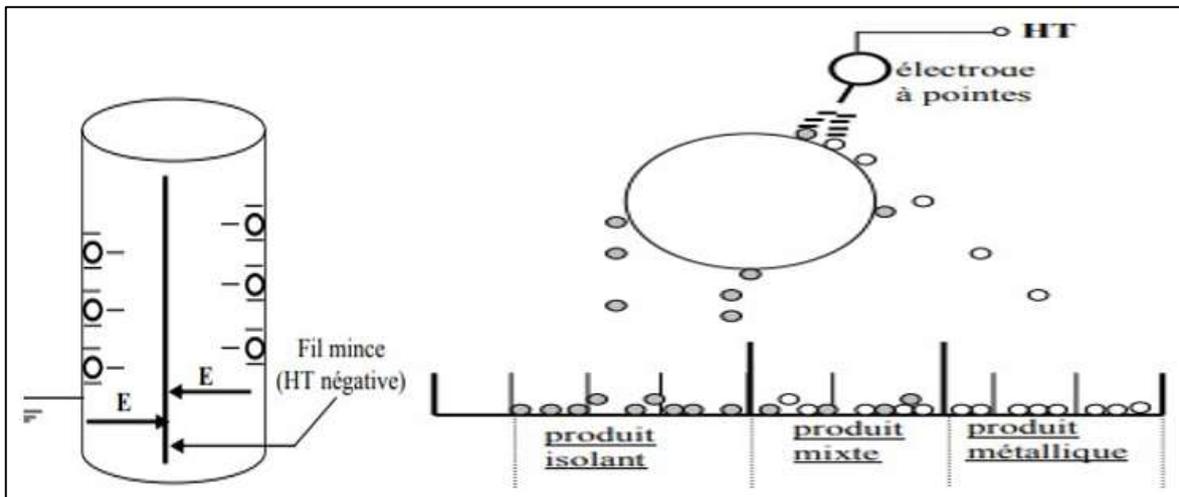


Figure II.13 : Utilisation de la décharge de couronne dans le filtre électrostatique et la séparation électrostatique.

Conclusion

La décharge de couronne à pression atmosphérique permet de générer des ions pour charger et déplacer des particules. Ses caractéristiques dépendent de la polarité, de la géométrie et des conditions du milieu. Elle est essentielle dans des applications comme la filtration électrostatique.

Chapitre III

Influence de la géométrie des électrodes sur la décharge couronne

III.1. Introduction

Dans la plupart des secteurs de production, la filtration d'air industriel vise à traiter les différents rejets parmi lesquelles les brouillards d'huile et les poussières, même très fines, qui sont émises lors de différents procédés. La filtration de l'air dépend de trois objectifs :

- Assurer la protection des personnes et de l'environnement.
- Obtenir des environnements de propriété spécifique.
- Réduire les coûts d'exploitation des équipements de climatisation.

Le rôle d'un filtre à air est d'emprisonner le débit des particules poussiéreuses contenues dans l'air, sans autant diminuer le débit d'air, piégeage des pollens et des particules fines dommageables pour la santé, amélioration de la qualité sanitaire de l'air intérieur et l'élimination des odeurs ou des poussières industrielles ...

La qualité de l'air intérieur revêt d'une importance cruciale, aussi bien pour la protection des personnes que pour le bon fonctionnement de nombreux procédés industrielles.

A noter que la nature chimique des particules n'est pas leur seul facteur de nocivité: Plus les particules sont fines, plus les risques sur la santé sont élevés, car elles peuvent pénétrer profondément dans les voies respiratoires et atteindre les alvéoles pulmonaires ; plus les particules sont légères, plus elles restent longtemps en suspension dans l'air, avec à la clef un temps d'exposition plus long pour les opérateurs.

L'objectif de cette étude est le dimensionnement et la construction d'un filtre à effet couronne et d'analyser l'influence de la forme de la tension sur tous ces paramètres.

III.2. Les systèmes électrode

Une électrode est conducteur électrique captant ou libérant des électrons. Il existe plusieurs systèmes d'électrodes (fil- cylindre ; pointe-plan ; fil-plan...)

III.2.1. Système fil -cylindre

Le système se compose d'une électrode active, qui se compose principalement d'un fil métallique très fin et d'un cylindre. Ce dernier est destiné à diriger les lignes de champ vers le plan de masse [22].

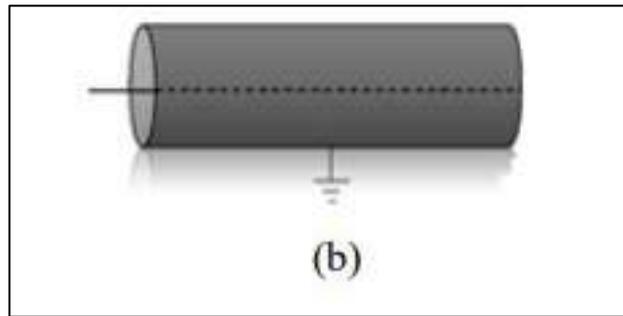


Figure III.1 : Système d'électrodes (fil-cylindre).

III.2.2. Système Pointe -plan

La décharge d'air est générée par deux électrodes dans une configuration pointe-plan comme il lustré dans la figure (III.2)

Le rayon de courbure de la pointe est d'environ 100 μm . L'obtention d'une décharge sans ramification est essentielle. Cette stabilité est due au rayon de courbure de la pointe et la tension de claquage est nettement inférieure à la tension de claquage habituelle [23].

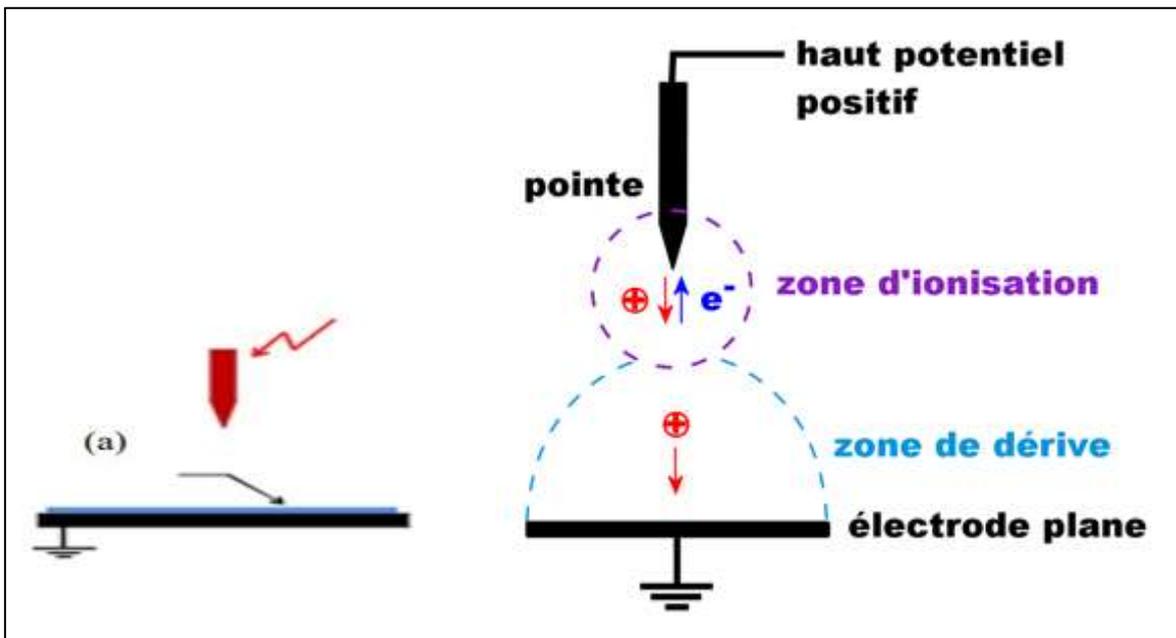


Figure III.2 : Système d'électrodes points-plan.

III.3. Paramètres influençant la décharge couronne

III.3.1. Influence du type de la tension appliquée

➤ **En tension continue**

On peut définir un niveau de tension minimum qui correspond à l'apparition du premier streamer. Si ce niveau est appliqué ou même dépassé, S'il atteint le plan, un court circuit limité par le circuit extérieur prend place. Si le champ n'est pas suffisant pour que le streamer traverse tout l'intervalle inter-électrodes, la partie passive a pour effet de réduire le champ au voisinage de l'électrode privant tout phénomène d'ionisation. Les processus de recombinaison, de dérive et de diffusion vont dégager petit à petit le voisinage de la pointe.

Le champ électrique augmente et les conditions d'initiation d'avalanche et de streamer réapparaissent. Le résultat est une succession de petites décharges streamer à fréquence régulière dépendant du niveau de tension [20].

➤ **En tension alternative (50 ou 60 Hz)**

Les processus sont identiques, car la fréquence appliquée est inférieure à celle des streamers. La fréquence de répétition des couronnes est du domaine de l'audible. C'est précisément les bourdonnements que l'on entend sur les lignes HT. Dans ce cas, les streamers se développent autour du câble HT et on parle de décharge couronne [20].

III.3.2. Influence de la distance inter-électrodes

La première série d'essais consiste à faire varier la distance inter-électrodes de 10 à 30 mm par pas de 5 mm, et ce dans les deux polarités de la pointe, d'abord en polarité négative puis en polarité positive de la pointe [20].

III.3.2.1. Polarité négative de la pointe

Les figures (III.3) et (III.4) montre l'effet de la distance inter-électrodes en polarité négative. Dans la première la configuration la pointe est en cuivre de rayon $R_p = 300 \mu\text{m}$.

Dans la seconde courbe, le plan est en aluminium. Plus la distance inter-électrodes augmente, plus la tension appliquée pour le même courant augmente. Nous remarquons aussi que le seuil d'appariation de l'effet couronne est d'autant plus faible que la distance est réduite, ce qui nous apparait d'ailleurs prévisible [20].

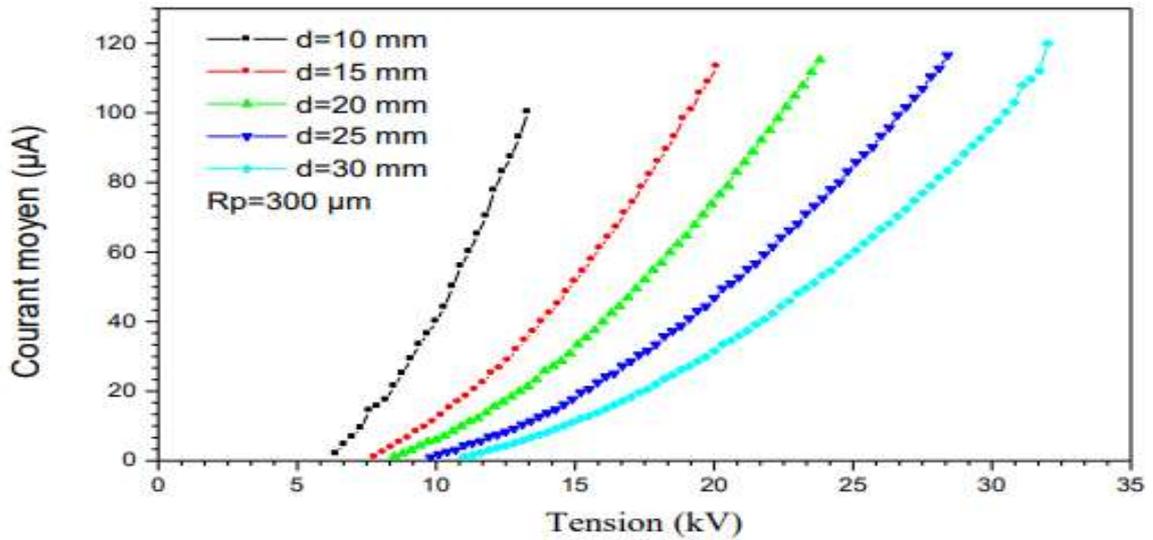


Figure III.3 : Caractéristique I-V d'une décharge négative: pointe en cuivre et plan en cuivre.

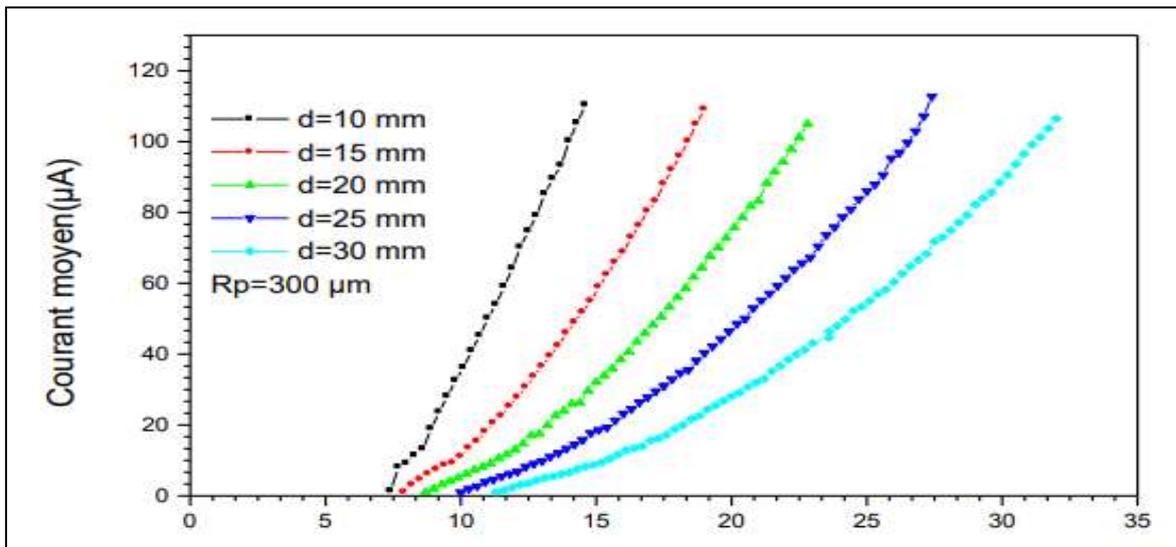


Figure III.4 : Caractéristique I-V d'une décharge négative: pointe en cuivre et plan en aluminium.

III.3.2.2. Polarité positive de la pointe

Les figures (III.5) et (III.6) représentent les résultats obtenus avec une pointe en cuivre couplée aux plans respectivement en cuivre et en aluminium. Le courant moyen est représenté dans ce cas pour les distances inter-électrodes variant de 10 à 30mm. En observant ces figures, il apparaît clairement que le courant moyen est plus important et augmente rapidement avec la tension appliquée pour des faibles distances [20].

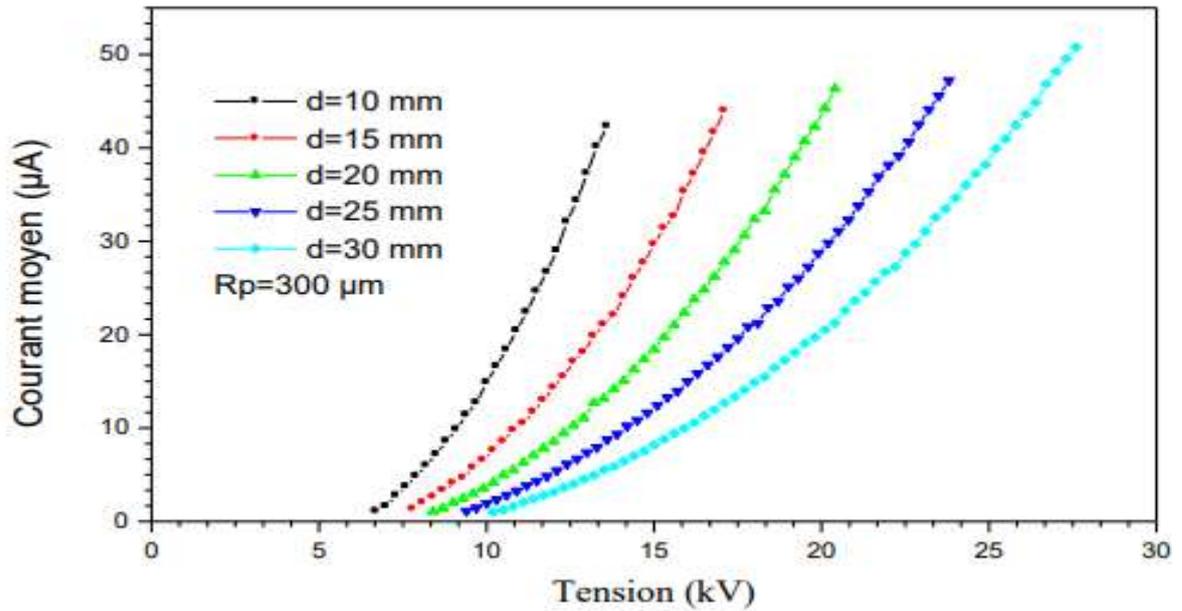


Figure III.5 : Caractéristique d'une décharge positive : pointe et plan en cuivre.

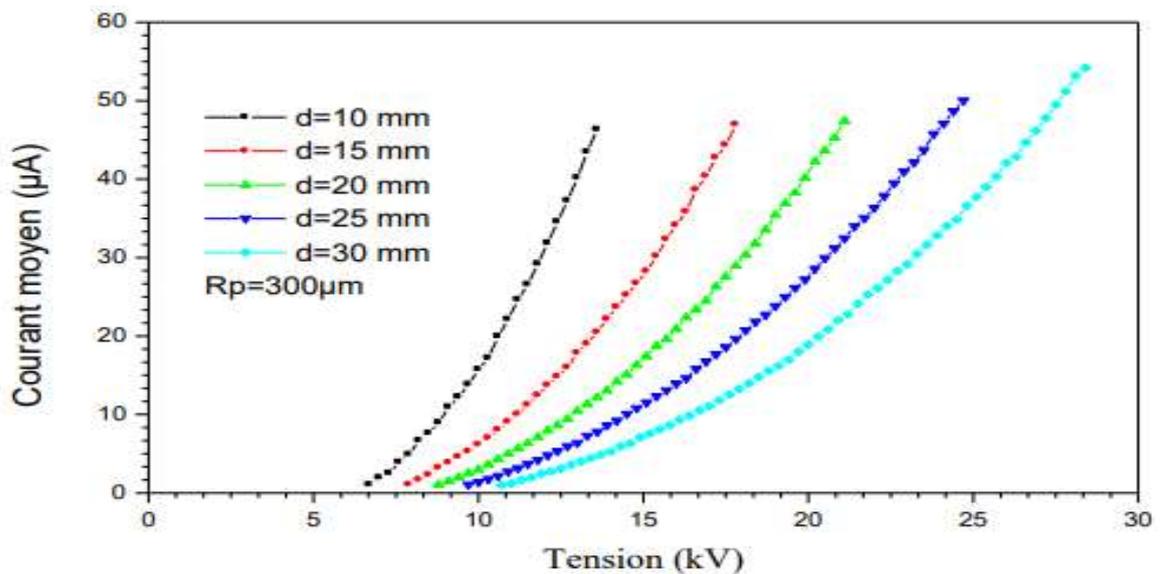


Figure III.6 : Caractéristique d'une décharge positive : pointe en cuivre et en aluminium.

III.3.3. Influence du rayon de courbure de la pointe

Les figures (II.7 et II.8) représentent la caractéristique pour des pointes en cuivre avec des rayons de courbures différents.

En polarité positive de la pointe, on voit clairement l'effet du rayon de courbure de la pointe [20].

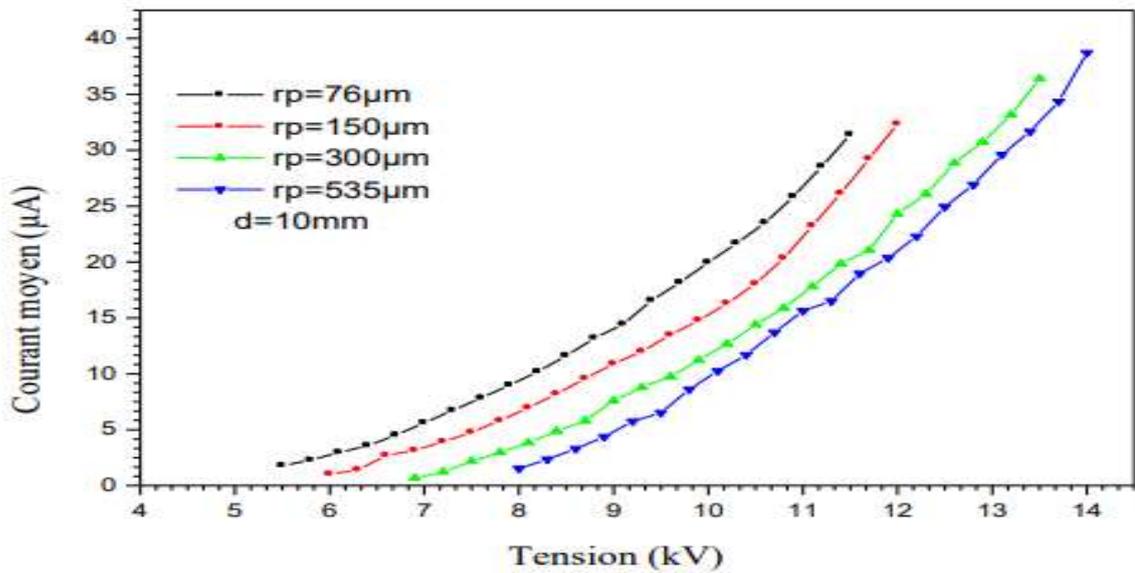


Figure III.7 : Caractéristique d'une décharge positive: pointe en cuivre et plan en acier.

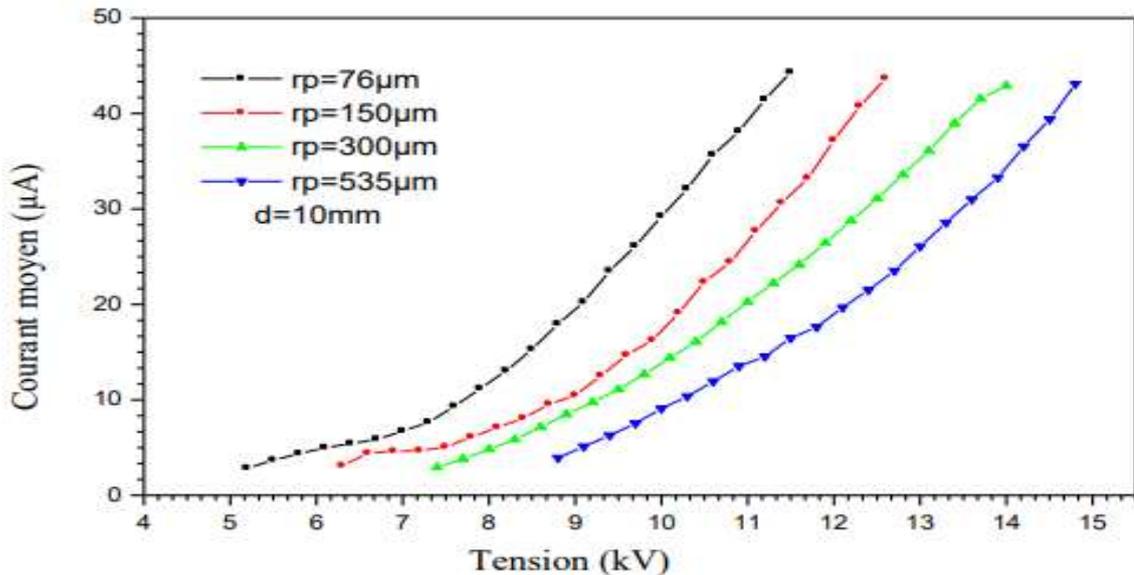


Figure III.8 : Caractéristique d'une décharge positive : pointe et plan en cuivre.

Par contre en polarité négative (Figure III.9), l'effet du rayon de courbure de la pointe est moindre, pour ne pas dire inexistant, cela peut s'expliquer par le fait que la pointe dans ce cas joue le rôle d'anode [20].

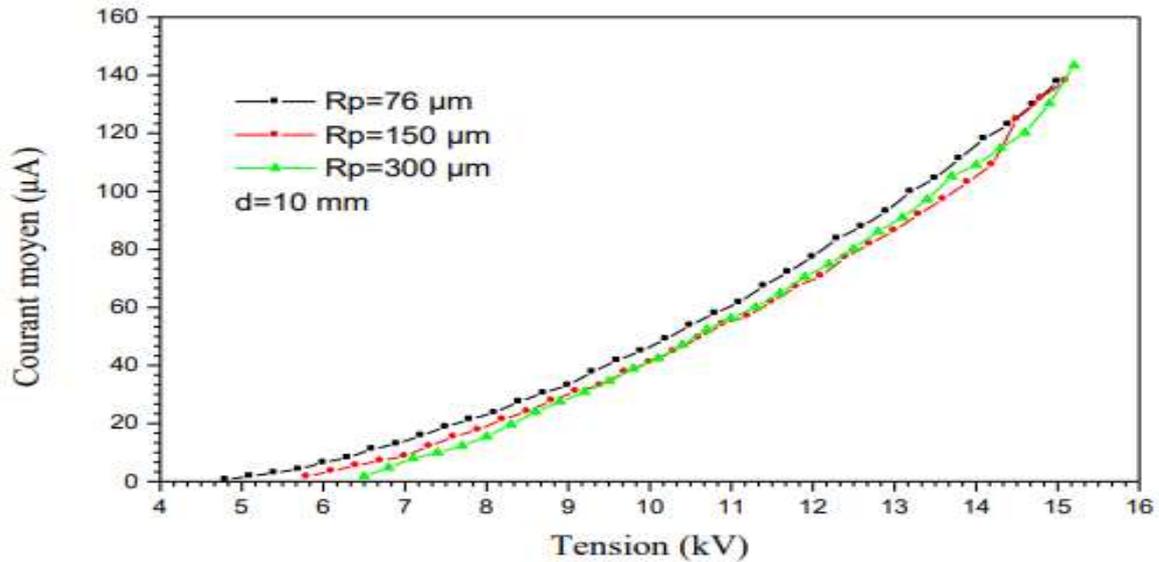


Figure III.9 : Caractéristique I-V d'une décharge négative : pointe en cuivre et plan en acier.

III.4. Effet du matériau des électrodes

Un ensemble d'essais a été réalisé dans le but de voir l'effet du matériau des électrodes passive et active. Une série de tests est faite en changeant le matériau de la pointe et d'autre, pour une pointe donnée, on change le matériau de l'électrode plane [20].

III.4.1. Polarité négative de la Pointe

Dans cette polarité, les figures (III.10) et (III.11) montrent l'évolution du courant moyen avec la tension appliquée pour des pointes en cuivre, aluminium, bronze et en acier pour une distance de 10 mm et pour différents matériaux de l'électrode plane à savoir le cuivre et l'acier.

De ce résultat, on voit que la caractéristique I-V est de forme parabolique ainsi que le courant de la pointe en aluminium est plus intense par rapport aux autres pointes (cuivre et bronze) et ce pour les différents matériaux du plans (cuivre et acier). Cela peut s'expliquer par le travail de sortie de l'aluminium qui est plus petit que celui du cuivre, de ce fait il est plus facile d'arracher un électron à l'aluminium qu'au cuivre [20].

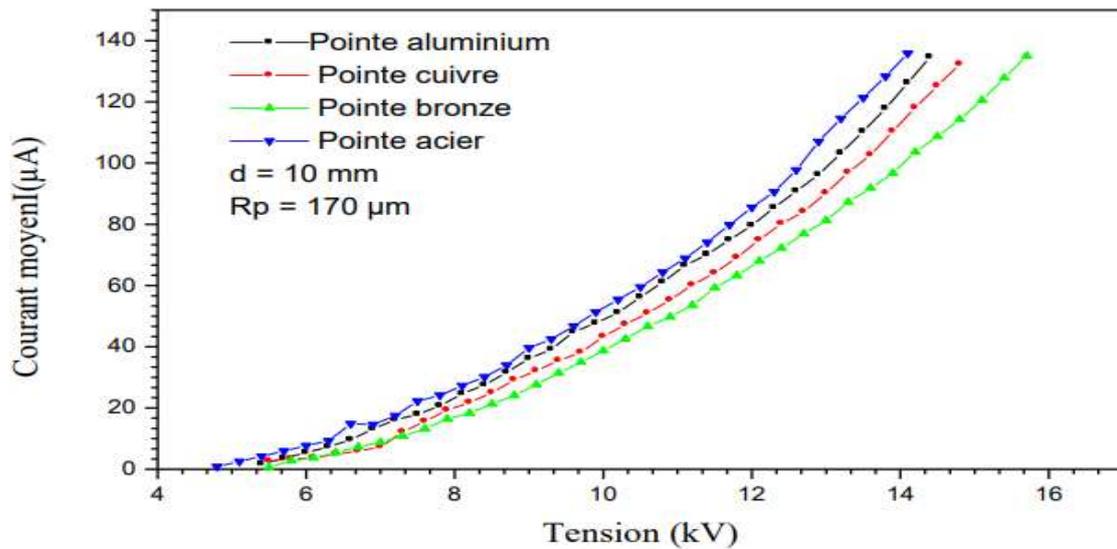


Figure III.10 : Evolution de la vitesse de migration des particules en fonction de leur diamètre.

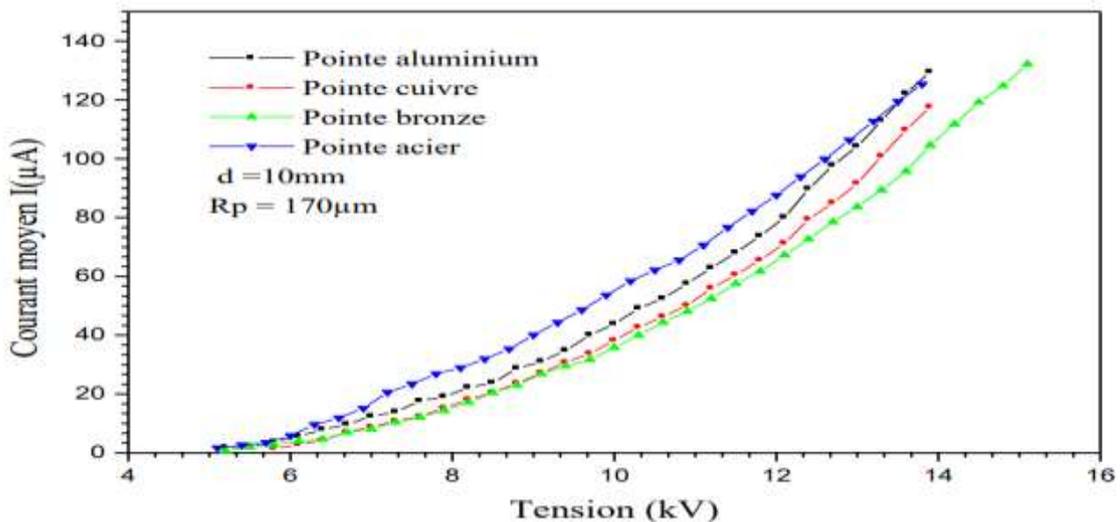


Figure III.11 : Caractéristique I-V d'une décharge négative : Plan en cuivre.

Les figures (III.12) et (III.13) représentent la caractéristique I-V d'une pointe en acier avec des plans en cuivre, aluminium et acier pour les distances inter-électrodes de 8 et 10mm. Il est montré clairement qu'en polarité négative de la pointe, le matériau du plan n'a pratiquement aucun effet [20].

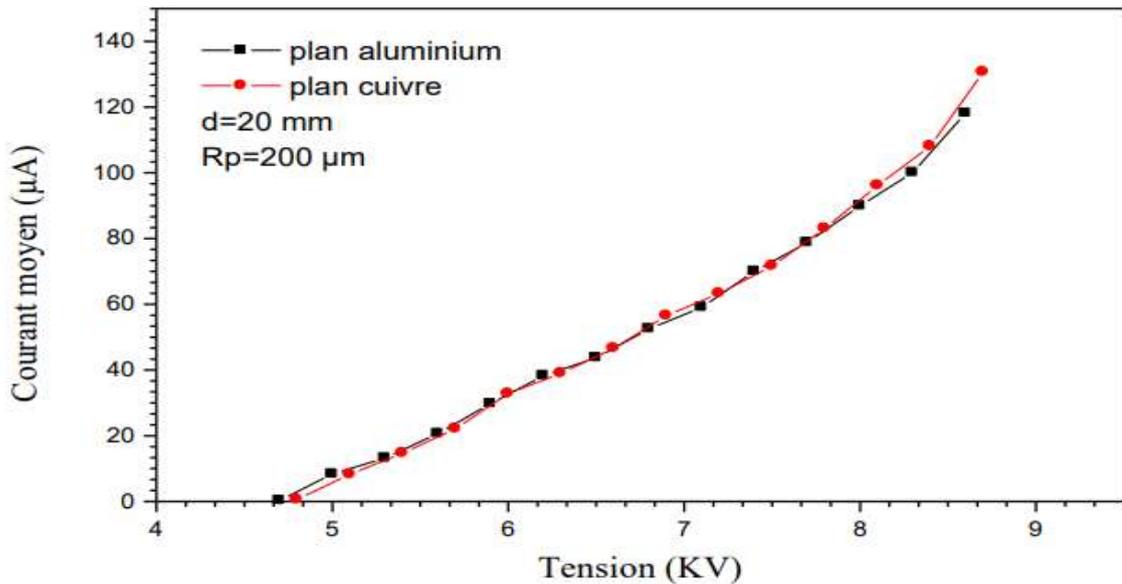


Figure III.12 : Caractéristique I-V d'une décharge négative : Pointe en acier.

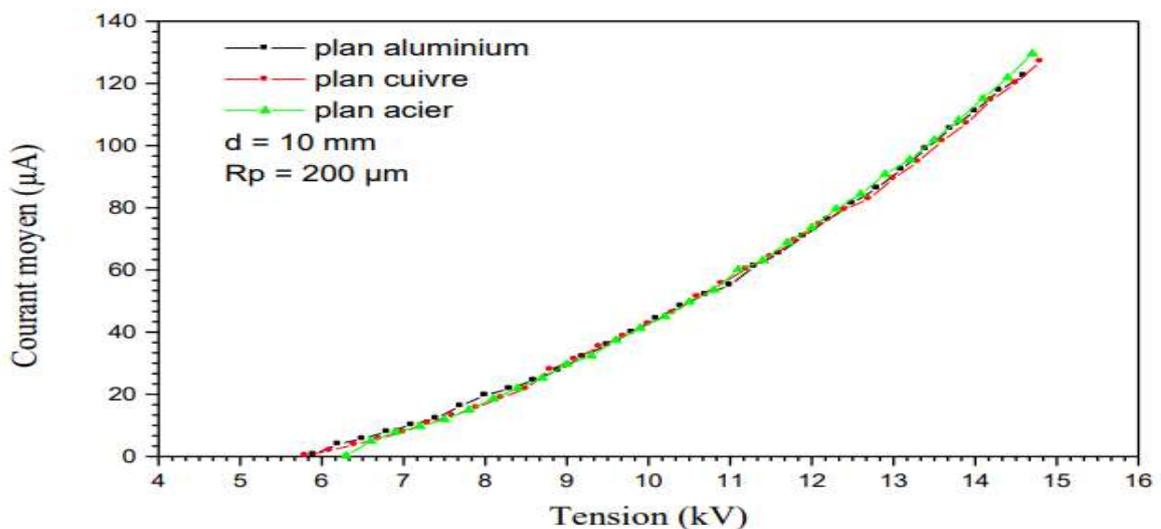


Figure III.13 : Caractéristique I-V d'une décharge négative : Pointe en acier.

III.4.2. Polarité positive de la Pointe

Comme pour la polarité négative de la pointe, nous avons réalisé deux séries de tests. Dans un premier temps, pour un plan donné, nous avons utilisé trois pointes (aluminium, cuivre et acier) ayant pratiquement le même rayon de courbure $R_p = 170 \mu\text{m}$. Les résultats obtenus sont consignés dans les figures (III.14) et (III.15).

On voit clairement que dans ce cas, le matériau de la pointe n'a pratiquement pas d'effet sur la caractéristique I-V en régime de décharge couronne [20].

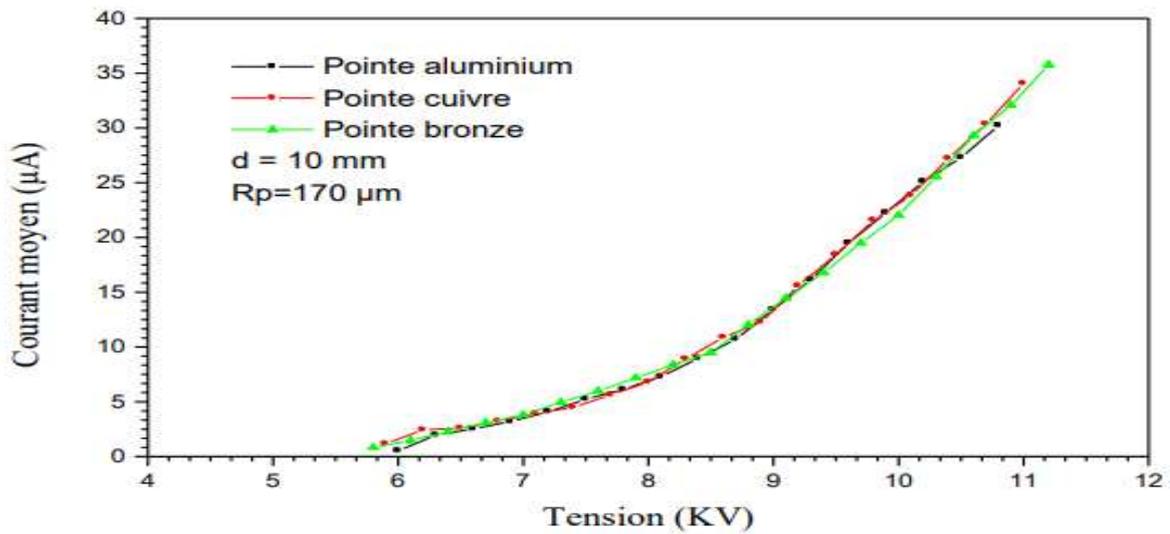


Figure III.14 : Caractéristique I-V d'une décharge positive : Plan en acier.

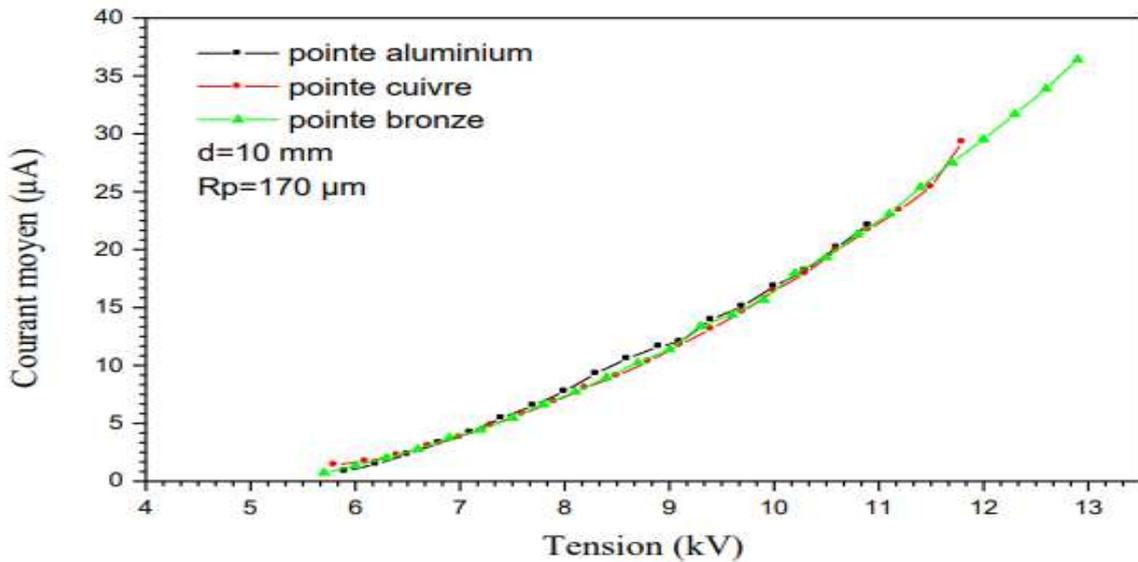


Figure III.15 : Caractéristique I-V d'une décharge positive : Plan en acier.

Dans un second temps, pour une pointe donnée, nous avons utilisé trois plans (aluminium, cuivre et acier), les résultats obtenus sont consignés dans les figures (III.16) et (III.17) [20].

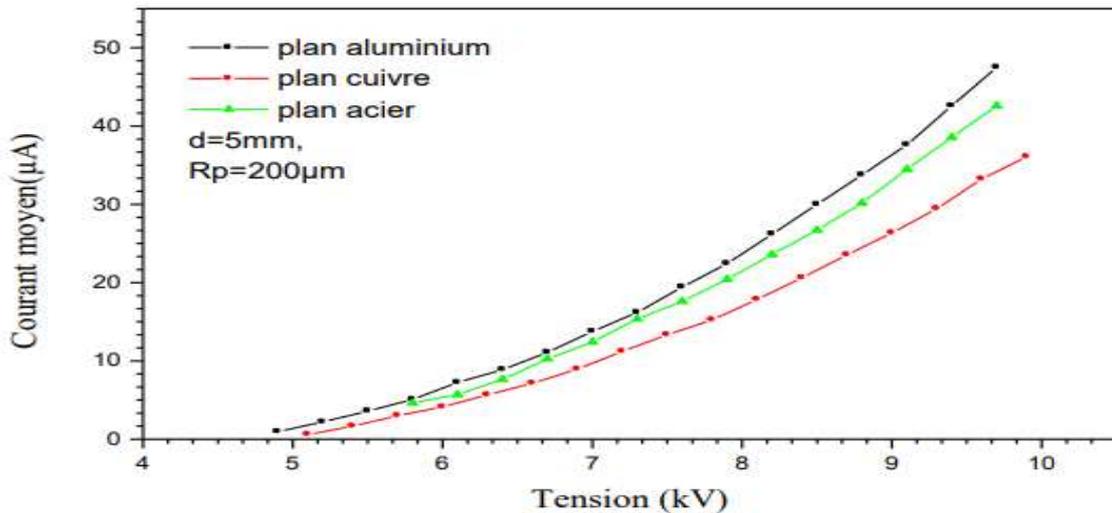


Figure III.16 : Caractéristique I-V d'une décharge positive : Pointe en acier.

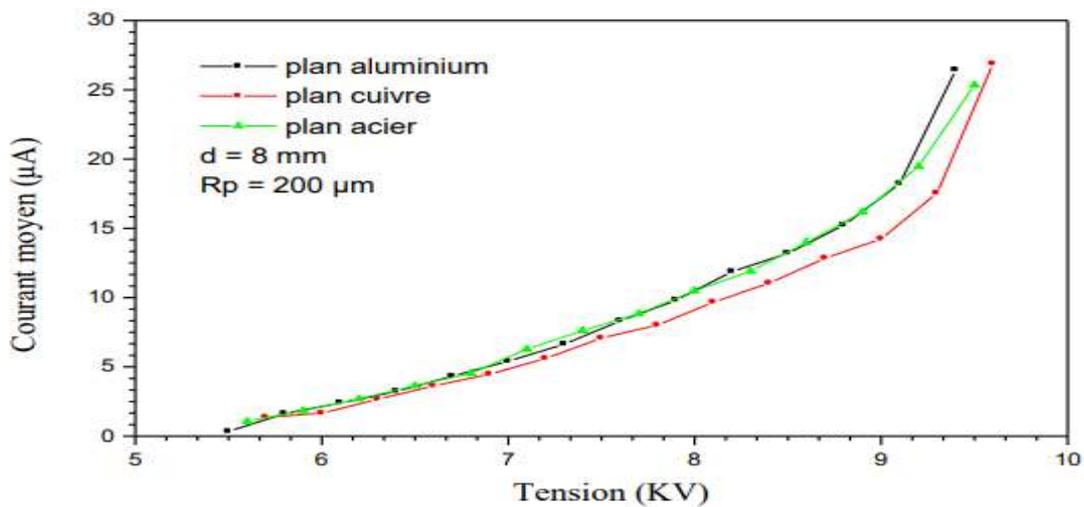


Figure III.17 : Caractéristique I-V d'une décharge positive : Pointe en acier.

III.5. Système fil-Plan

Il se compose de deux électrodes principales. Un fil est l'électrode active (1) le rayon de courbure est petit, et l'autre est un plan, représentant le plan de polarisation ou mesure (4). Et un ensemble de surfaces côtières représentant le schéma de protection (C) est la carte de connexion (III.18).

L'électrode active est tendue parallèlement aux deux supports dans le plexiglas (2) à une hauteur h du plan de mesure. L'une des électrodes (fils) est amenée à potentiel v_a . Le plan de mesure (C) entoure la plaque de polarisation (4) avec un très petit entrefer pour assurer la continuité de la distribution du champ. Bord de la sonde. Ce dernier est fixe, et les

valeurs mesurées du champ en différents points du plan sont réalisés en déplaçant l'électrode active fixée sur un support coulissant [24].

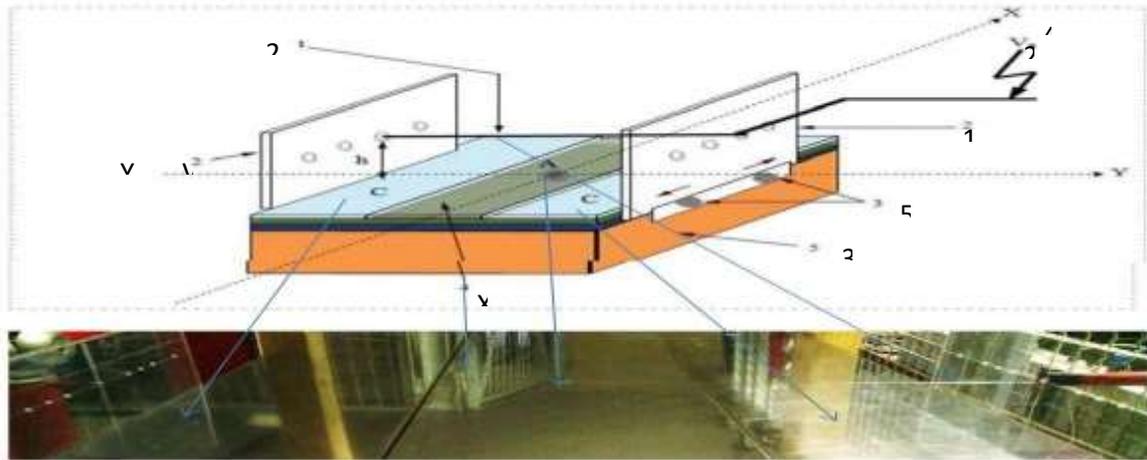


Figure III.18 : Système d'électrodes fil-plan.

III.5.1. Caractéristique courant-tension prélevée système fil-plan

Les valeurs mesurées des caractéristiques courant-tension ont été transcrites dans le code de calcul Matlab. Ce dernier calcule et affiche ensuite les deux caractéristiques courant/tension présentées sur la figure (III.19).

Cette caractéristique indique qu'à un certain moment, aucun courant ne circule. Cela signifie que l'air n'est pas encore ionisé et que la tension appliquée est donc toujours insuffisante.

Mais autour d'une certaine valeur, la caractéristique devient linéaire, suivant le courant collecté par la sonde. Cette valeur correspond à la tension de seuil (V_s), indiquant que l'effet corona n'est évident qu'en dehors de son amplitude enregistrée.

On voit que V_s est presque de 11 kV pour les deux hauteurs $H=4$ cm et $H=5$ cm. Il existe quelques erreurs dans la mesure, principalement dues aux matériaux utilisés et aux conditions atmosphériques ($P=1006$ Pa, $T=520$ à 680 et $U=56$ g/m³), où : P = pression, T = température et U = humidité [25].

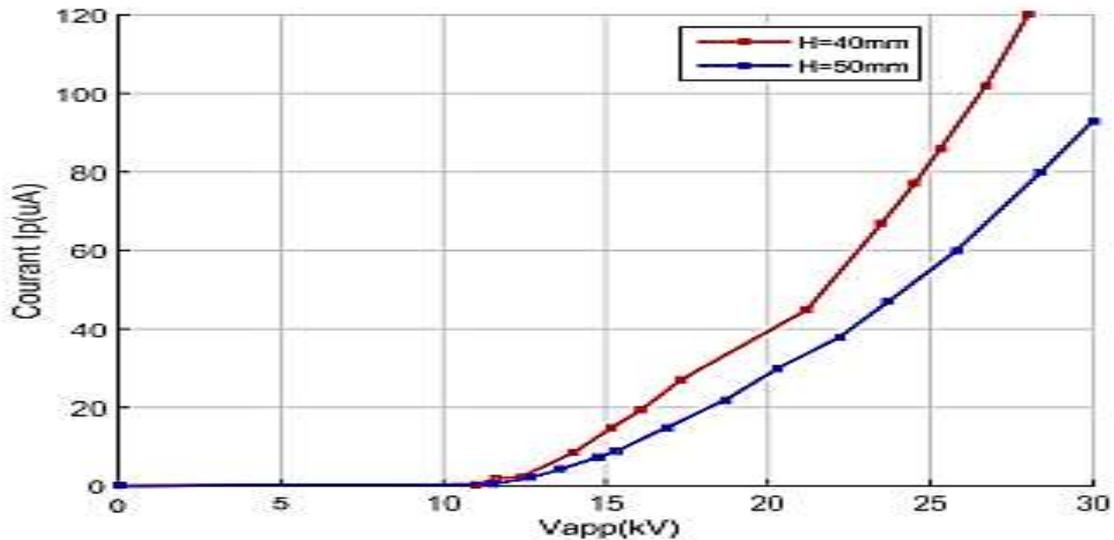


Figure III.19 : Caractéristique courant/ tension pour une géométrie fil-plan dans l'air à la pression atmosphérique pour H=4cm et H=5 cm et V_{app}=26 kV.v.

III.5.2. Paramètres influençant

III.5.2.1. Influence du diamètre du fil

L'efficacité de collecte a été mesurée pour différents diamètres d'électrodes ou de fils émetteurs (Figure III.20). Plus le diamètre du fil est petit, plus l'étape de collecte est efficace [23].

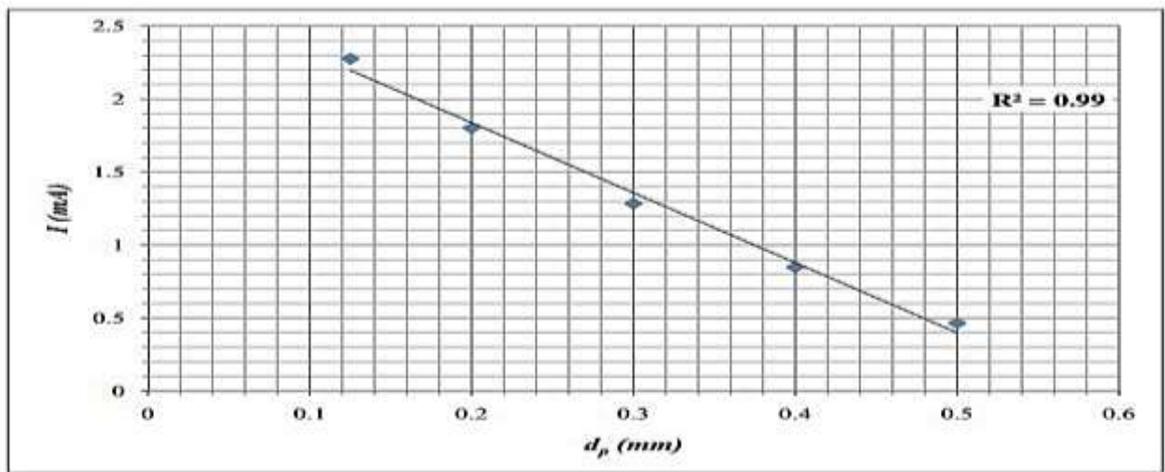


Figure III.20 : Courant total en fonction du diamètre du fil ionisant.

Cela est dû au fait que la densité de charge inter-électrodes et le courant généré sont plus grands lorsque le rayon de courbure est plus petit, Figure III.20). Il faut également noter que selon les résultats de la littérature, plus le diamètre du fil est petit, plus la tension de seuil d'ionisation est faible [26].

III.5.2.2. Influence de la distance inter-électrodes

Les auteurs ont étudié comment le courant change avec la distance entre les électrodes, en utilisant 3 diamètres de fil différents (0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm) pour s'adapter à différentes distances entre les électrodes (1 cm, 1,5 cm et 2 cm). Les figures III.21, III.22 et III.23 montrent les résultats sur la variation du courant avec la distance entre les électrodes. Nous avons observé que la tension de seuil augmente avec l'augmentation de la distance inter-électrodes [27].

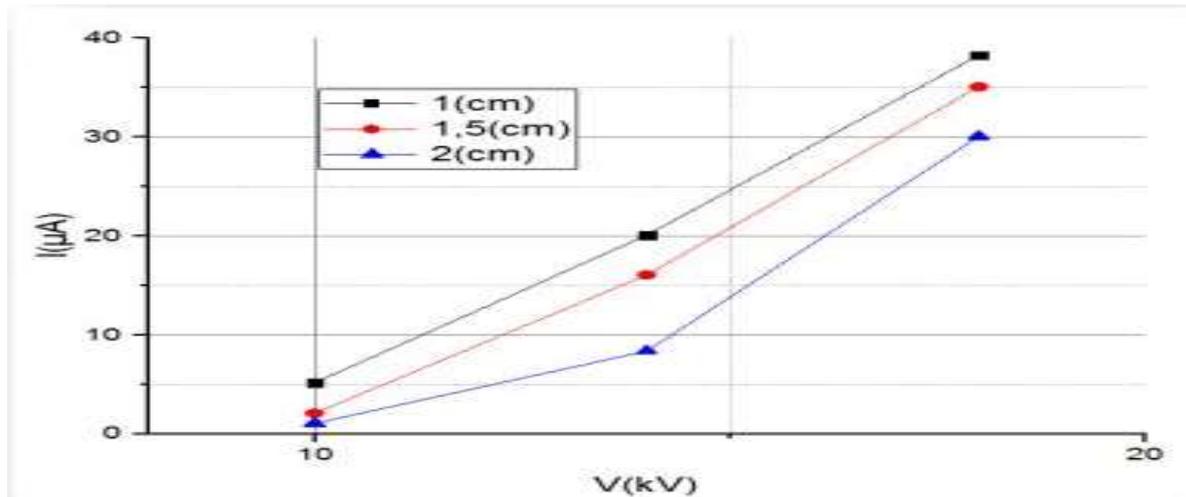


Figure III.21 : Caractéristique $I=f(v)$ pour un fil du diamètre $d=0.5\text{mm}$ pour une distance entre électrode de 1, 1.5 et 2 cm.

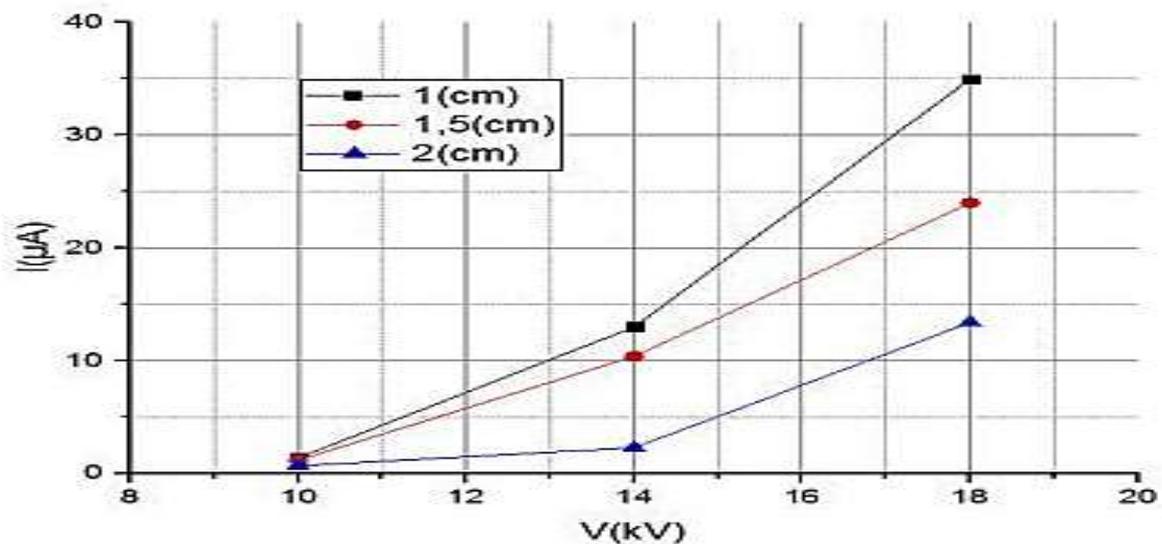


Figure III.22 : Caractéristique $I=f(v)$ pour un fil du diamètre $d=1\text{mm}$ et distance entre-électrode 1 ; 1.5 et 2 cm.

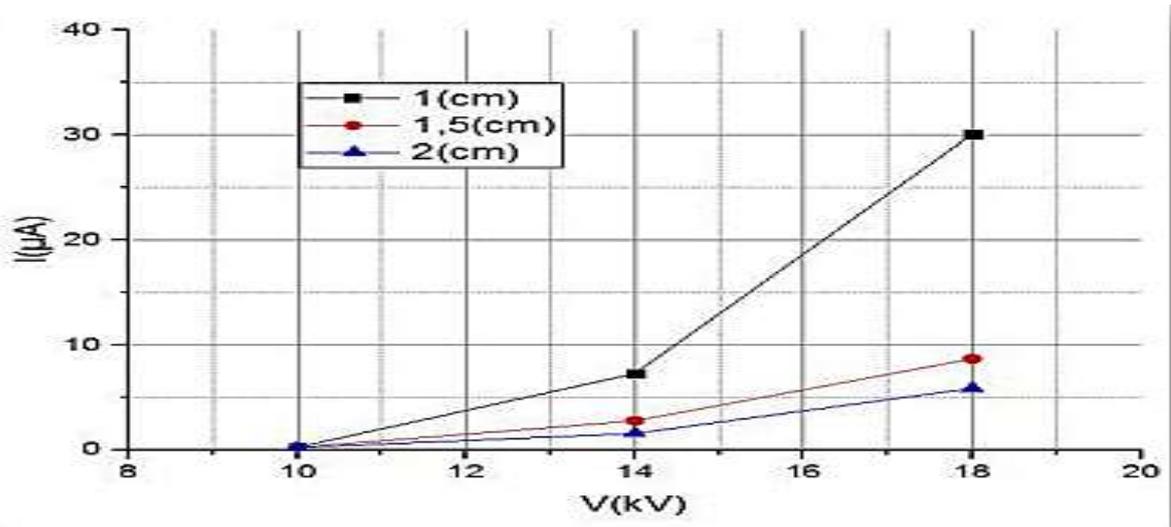


Figure III.23 : Caractéristique $I=f(v)$ pour un fil du diamètre $d=1.5\text{mm}$ et distance entre-électrode de 1, 1.5 et 2 cm.

III.5.2.3. Influence de la tension sur la distribution de champ électrique E

Pour savoir l'influence de la tension appliquée sur la distribution de champ électrique E, nous avons réalisé cette expérience en fixant les tensions $V_{\text{app}}=23\text{ kV}$ et 26 kV et varier les hauteurs $H=4\text{ cm}$ et $H=5\text{ cm}$.

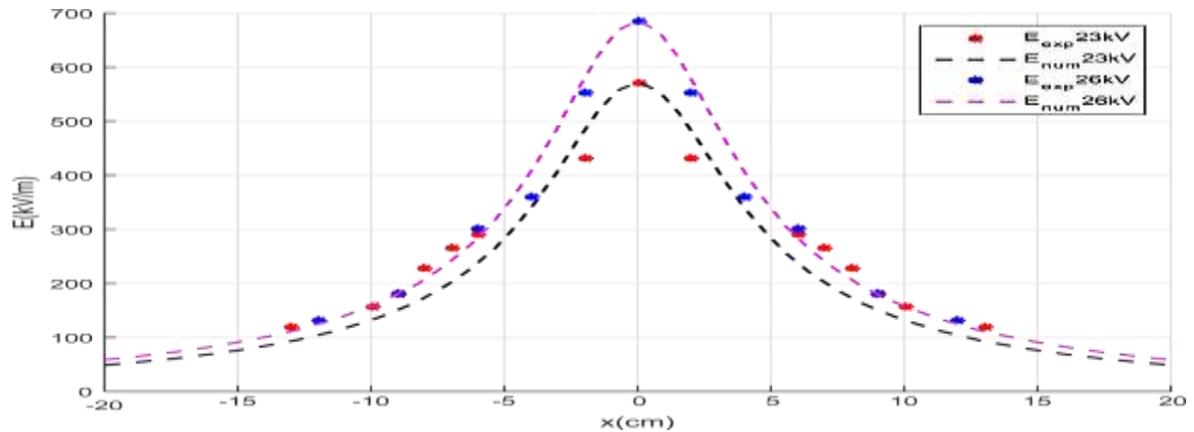


Figure III.24 : Distribution du champ électrique sur le plan de mesure en géométrie fil-plan pour $H=4\text{ cm}$ et $V_{\text{app}}=23$ et 26 kV .

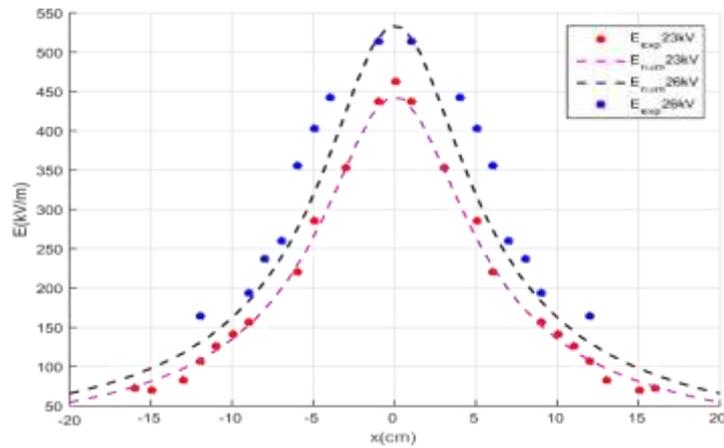


Figure III.25 : Distribution du champ électrique sur le plan de mesure en géométrie fil- plan pour H=5 cm et $V_{app}=23$ et 26 kV.

III.5.2.4. Influence de la hauteur sur la distribution de champ électrique E

Dans le but de savoir l'influence de la hauteur sur la distribution de champ électrique E, nous avons réalisé cette expérience en fixant les hauteurs H=4 cm et H=5 cm et varier les tensions $V_{app}=23$ kV après $V_{app}=26$ kV [25].

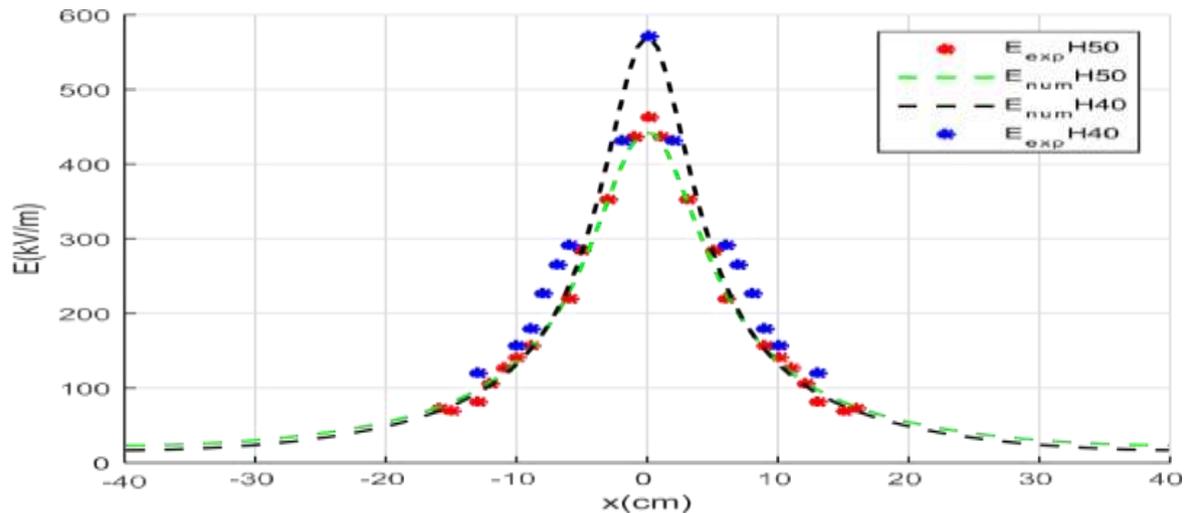


Figure III.26 : Distribution du champ électrique sur le plan de mesure en géométrie fil- plan pour H=4 cm et H=5 cm pour $V_{app}=23$ kV.

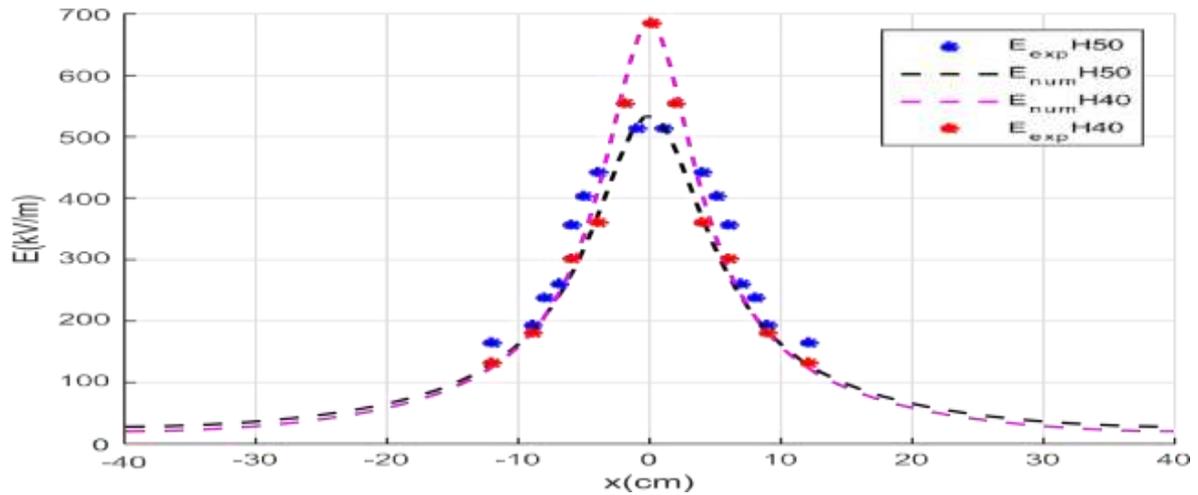


Figure III.27 : Distribution du champ électrique sur le plan de mesure en géométrie fil-plan pour H=4 cm et H=5 cm pour $V_{app}=26$ kV.

III.5.3. Détermination des paramètres de la décharge couronne

III.5.3.1. Détermination du champ électrique E

Les figures (III.24) et (III.25) expose les valeurs moyennes du champ électrique pour différentes Valeurs de la tension appliquée (23-26 kV) et les hauteurs H=4 cm et H=5 cm. L'équation qui permet de calculer ce champ est l'équation.

$$E_{moy} = \frac{c_0 V_b}{\left(\frac{I_s}{I_{s0}} - 1\right) \cdot sm \cdot \epsilon_0} \quad (III.1)$$

Ceci promulgue que le champ électrique est proportionnel aux tensions de polarisations appliquées sur l'électrode passive, et c'est ce que confirme notre courbe.

Les courbes montrent aussi que le champ ne dépend pas uniquement de la tension V_b , mais aussi de la distance inter-électrode. En effet, on faisant éloigner à l'aide du support coulissant le fil par rapport à la sonde circulaire, on constate que le champ diminue relativement. Et de par-là, on résume que le champ électrique présente une valeur maximale au-dessous du voisinage proche de l'électrode active ($x=0$), et diminue progressivement en s'éloignant du centre jusqu'à ce qu'il présente ses valeurs les plus minimales aux extrémités ($x=\pm 40$) [25].

III.5.3.2. Détermination de la densité de courant J

Les valeurs de J sont calculées à partir de l'équation, qui donne la densité du courant en fonction du courant I collecté par la sonde circulaire et de la surface moyenne de cette dernière [25] :

$$J = \frac{I}{s_m} \text{ (III.2)}$$

I : Le courant de la décharge collecté par la sonde.

s_m : La surface effective de sonde.

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté plusieurs paramètres qui caractérisent la décharge couronne pour la configuration fil plan sur la tension seuil de la décharge, la caractéristique courant – tension, la densité de courant sur champ électrique. Après l'étude et l'analyse des paramètres de l'influence on conclue que :

Le champ électrique présente une valeur maximale au-dessous du voisinage proche de l'électrode active et diminue progressivement en s'éloignant du centre jusqu'à ce qu'il présente ses valeurs les plus minimales.

Plus le diamètre du fil est petit plus la tension seuil d'ionisation est petite.

L'augmentation de la tension seuil avec l'augmentation de la distance inter-électrodes.

Chapitre IV

*Partie expérimentale description du
système et analyse des résultats*

IV.1. Introduction

Ce chapitre présente les essais expérimentaux réalisés sur un système de purification de l'air intérieur fonctionnant en deux étages. Le première étage est l'étage d'ionisation de l'air par un système d'électrodes fil- plaque qui permet de charger les particules. Le deuxième étage consiste à collecter ces particules sur des plaques parallèles, grâce à l'application d'une haute tension.

L'objectif de cette étude est d'analyser l'efficacité du dispositif en fonction du diamètre de l'électrode d'ionisation de type tension applique et de la polarité de la tension continue. Les résultats obtenus permettent du système et de détermine les conditions optimales pour une bonne efficacité de purification de l'air.

IV.2. Procédés de dépoussiérage

L'électro- filtration est un procédé de séparation basé sur trois étapes successives : la charge des particules, leurs migrations sous l'action du champ électrique puis leur collecte.

L'électro- filtre à double étage est conçu en deux étages séparés, le premier étage pour la charge des particules et le deuxième étage sans décharge, pour leur migration et collecte.

IV.2.1. L'étage de collecte des particules

L'étage de collecte des particules est de section rectangulaire (10*15) cm². Il est constitué de 9 plaques en acier inoxydable de 1mm d'épaisseur ; 4 plaques sont reliées à la haute tension et les 5 autres mises à la terre la distance entre 2 plaques est de 8mm. Les tests ont été réalisés avec des tensions comprises entre 1.5 et 10kV (figure IV.1).

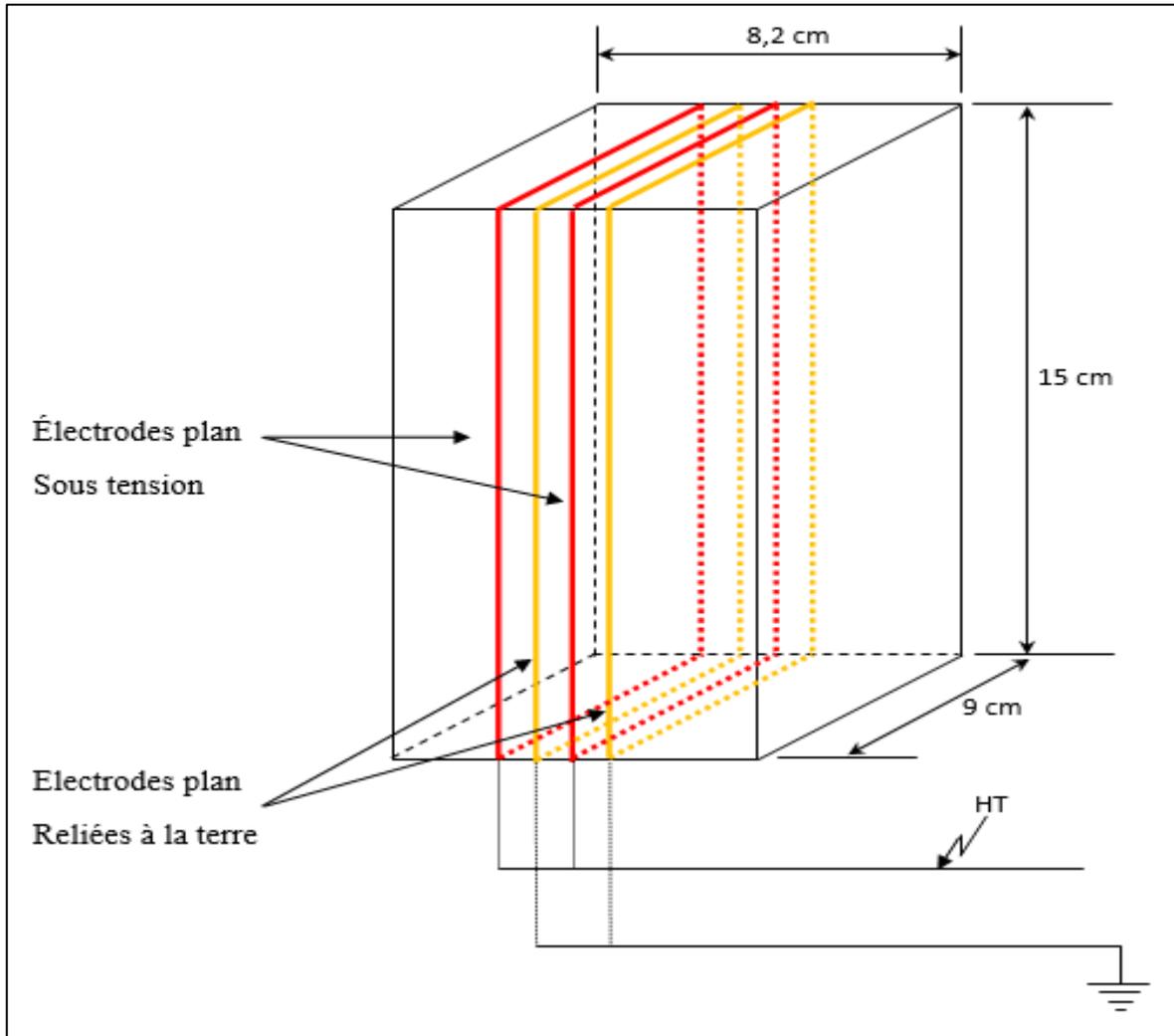


Figure IV.1 : Schéma représentatif de l'étage de migration et de collecte d'un électro filtre à double étage.

IV.2.2. L'étage d'ionisation

IV.2.2.1. L'ioniseur fil-plaque

L'ioniseur fil –deux plaques à une section rectangulaire de (10*5) cm. Il comprend 4 électrodes émissives (fil en acier inoxydable 0.29 mm de diamètre) et 5 contre-électrodes en acier inoxydable rectangulaire de (10*5) cm² et de 1mm d'épaisseur. La distance entre un fil et une plaque est de 8mm la figure (IV.2).

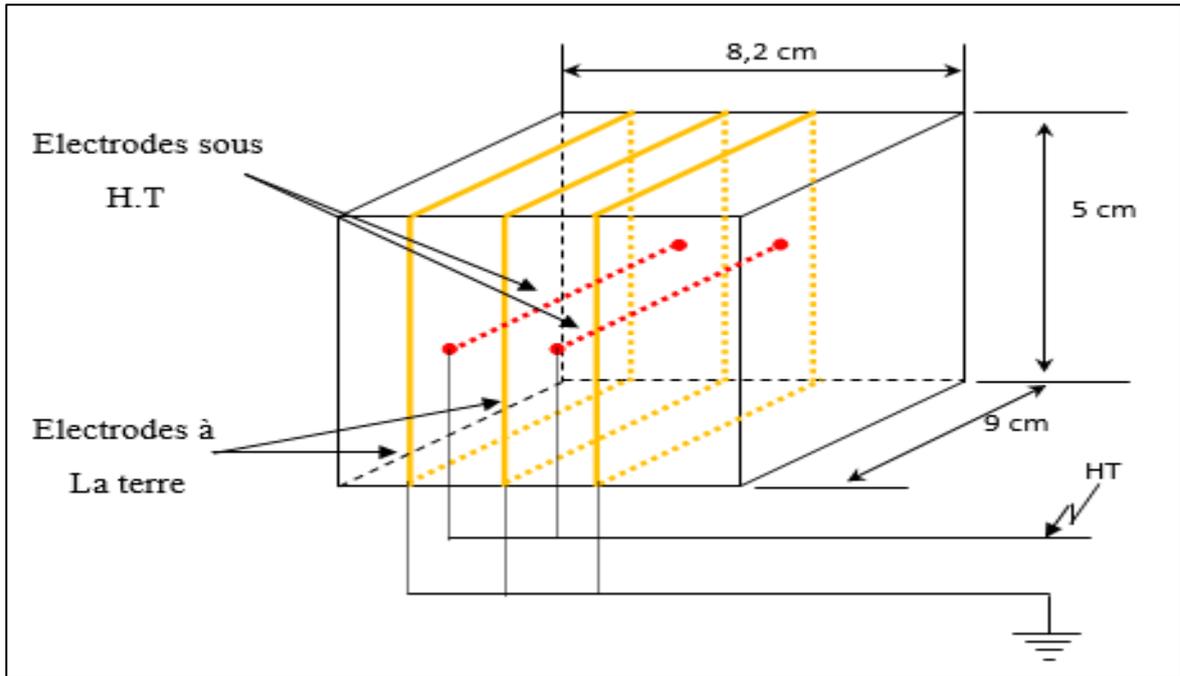


Figure IV.2 : Schéma représentatif de l'étage d'ionisation de l'électro filtre à double étage.

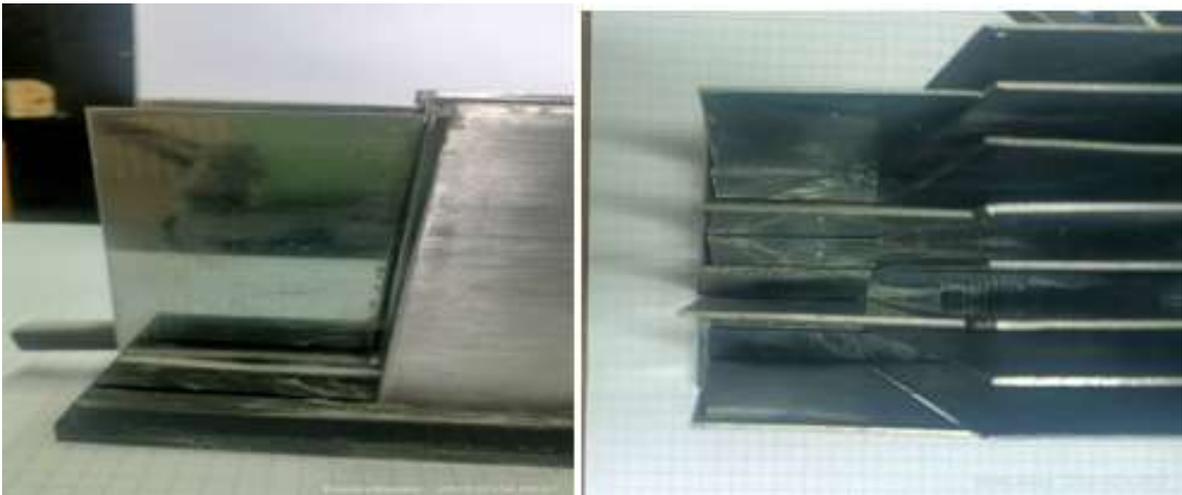


Figure IV.3 : Photo du montage d'ESP.

IV.3. Dispositifs expérimentaux et techniques de caractérisation

Le couplage de l'étage d'ionisation avec l'étage de collecte nous permet d'obtenir un précipitateur électrostatique à double étage qui sera noté par suite « ESP » et c'est le même générateur haute tension qui alimente les deux étages ; c'est donc la même tension qui sera appliquée pour les deux étages.

L'ensemble du dispositif expérimental pour la géométrie fil-plan réalisé est représenté sur la figure (IV.4).

Le système d'électrodes et les éléments mis sous haute tension sont isolés par rapport aux autres appareils de mesure basse tension. L'électrode active (1), tendue à une hauteur par des supports isolants et reliée à l'installation haute tension (des essais ont été réalisés sous tension alternative et continue positive et négative).



Figure IV.4 : Photo d'ensemble des deux étages d'ESP dans une enveloppe en plexiglas.

Le dispositif nous permet de mesurer l'efficacité de notre procédé de dépoussiérage dans des conditions contrôlées de débit, de concentration en particules. Il se compose de trois parties :

- La génération des particules.
- L'introduction et l'homogénéisation des particules.
- Le procédé de dépoussiérage.

Le dispositif est équipé de la métrologie nécessaire au suivi des paramètres et la mesure de l'efficacité des particules.

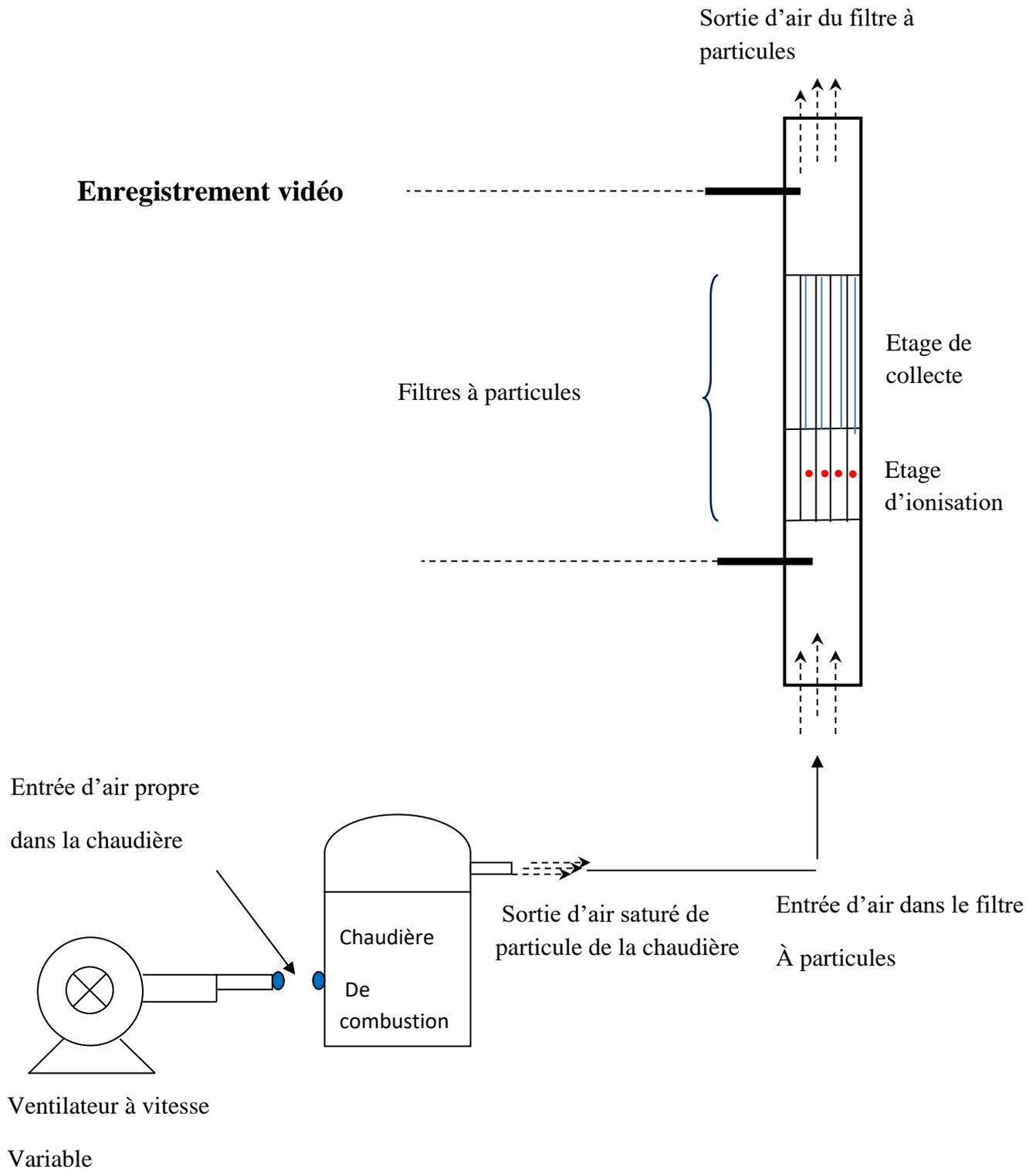


Figure IV.5 : Schéma global du dispositif expérimental à deux étages.

IV.4. Générateur de fumée

Le générateur de fumée est constitué d'une chaudière où on place le combustible (cellulose), on injecte de l'air à l'aide d'un soufflet de la fumée claire s'échappe d'une cheminée conique qui sera dirigé vers l'entrée du filtre à décharge couronne. La combustion complète de la cellulose produit une fumée dont la composition est complexe dont les principaux composants sont le monoxyde de carbone, le dioxyde de carbone les composés organiques volatils (ex le benzène et le formaldéhyde), les oxydes d'azote (NO_x), les particules fines (suies) ou particules de carbone et les composés polycyclique souvent associées aux suies.



Figure IV.6 : Générateur de fumée.

IV.5. Résultats et discussions

IV.5.1. Tension continue

IV.5.1.1. Polarité positive

Les images de la figure (IV.7) représentent le suivi de la fumée à la sortie du filtre en fonction du niveau de tension appliquée. En premier lieu nous utilisons un fil de 0.29mm de diamètre comme électrode d'ionisation dans l'étage d'ionisation et selon les données

Recueillies dans notre recherche bibliographie sur la décharge couronne dans le chapitre 3 la tension seuil d'apparition de la décharge couronne en polarité positive et en configuration d'électrodes fil-plan.

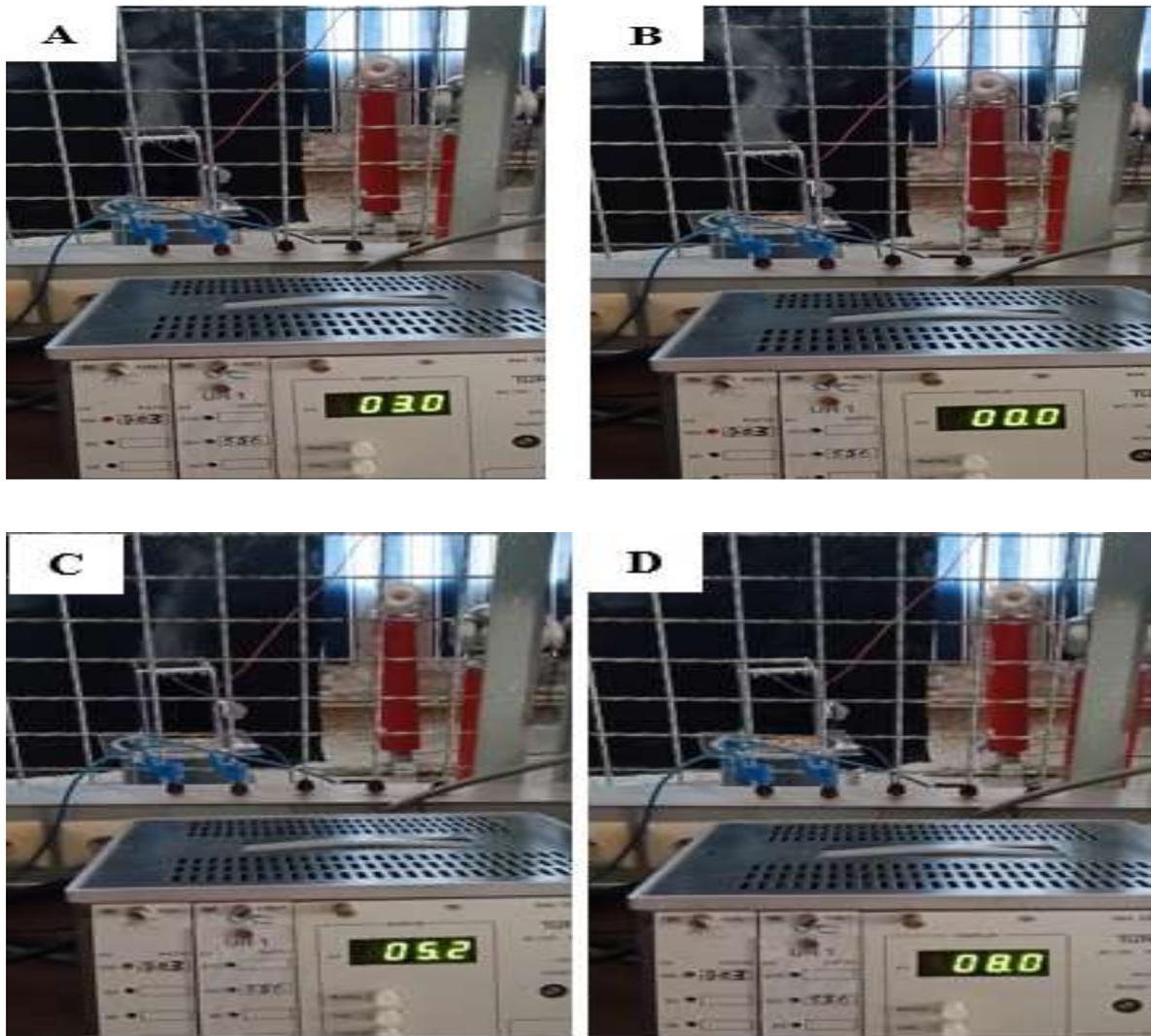


Figure IV.7 : Extraits de l'enregistrement vidéo montrant l'efficacité de l'ESP en fonction de la tension appliquée « tension DC polarité positive ».

En tension continue et en polarité positive, on remarque que la fumée devient de moins en moins dense au fur et à mesure que la tension augmente. Au début, sans tension (0kV) (figureIV.7), la fumée est très dense. En augmentant la tension à 3kV, la fumée devient légère (figureIV.7). Pour une tension de 5.2kV, la fumée est très claire, presque invisible. Enfin, lorsque la tension atteint 8kV, ou la décharge couronne est très marquée (crépitement +effet lumineux) nous observons l'absence totale de la fumée à la sortie du filtre.

IV.5.1.2. Polarité négative

Les images de figures (IV.8) montrent clairement l'évolution de la densité de la fumée en fonction de l'augmentation de la tension négative appliquée au système.

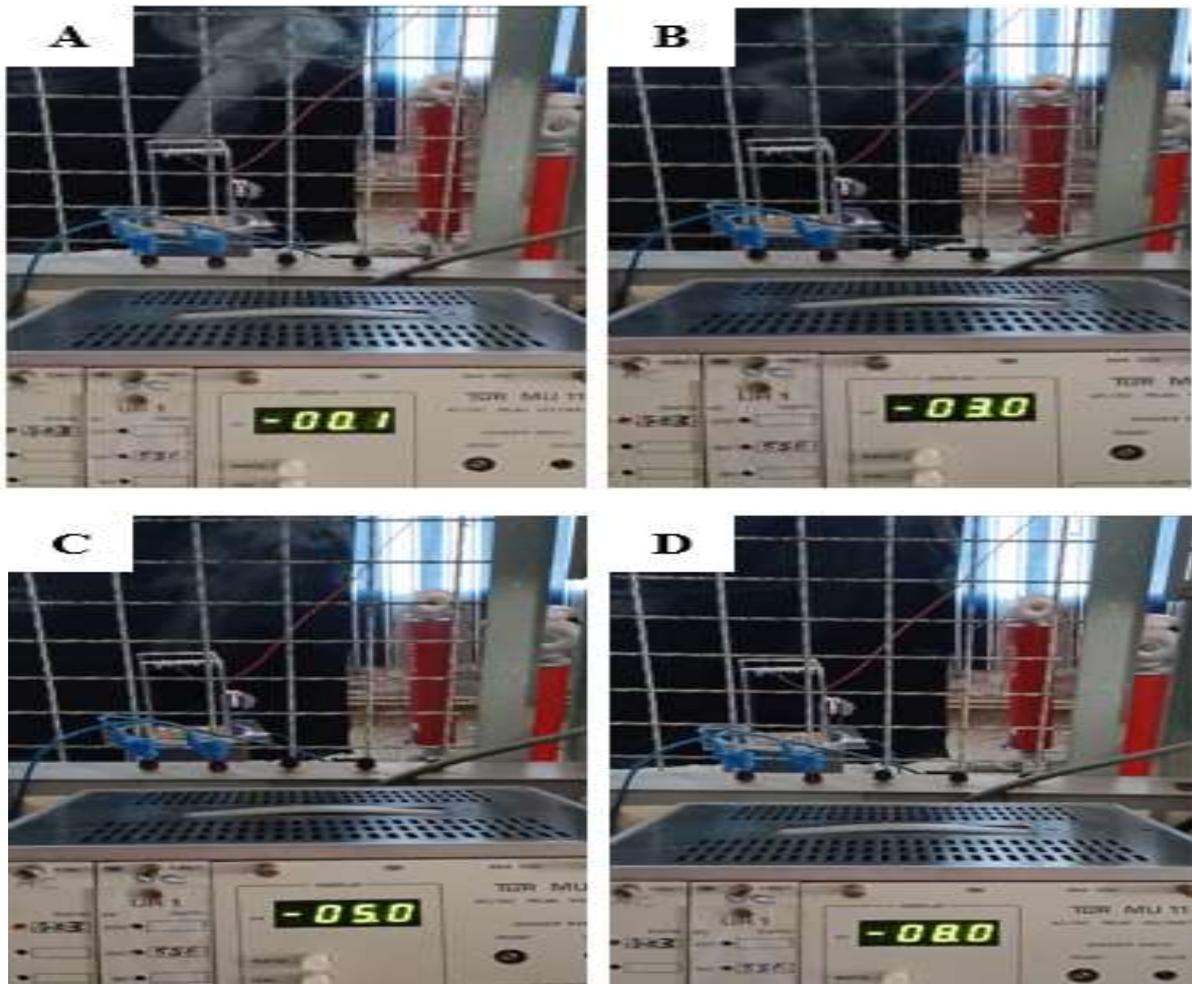


Figure IV.8 : Extrait de l'enregistrement vidéo montrant l'efficacité de l'ESP en fonction de la tension appliquée (DC négative).

Nous augmentons la tension manuellement et progressivement à partir de 0 kV, où nous observons une fumée très épaisse et visible (figure IV.8). En appliquant ensuite une tension continue négative de -3 kV (figure IV.8), la fumée devient moins visible, ce qui montre que le système commence à capter une partie des particules. Lorsque la tension atteint -5.0kV (figure IV.8) la fumée est très légère, presque invisible à l'œil nu, ce qui signifie que le champ électrique est déjà bien efficace. Enfin à une tension de -8.0kV (figure IV.7) il n'y a plus du tout de fumée en sortie le dispositif fonctionne parfaitement à cette tension. On entend aussi un léger bruit.

IV.5.1.3. Comparaison entre polarité positive et négative

Ce pouvoir d'ionisation en polarité positive est dû aux faits que la décharge couronne en polarité positive s'étend dans l'espace à l'inverse de la décharge en polarité négative qu'est concentrée autour de l'électrode active où le champ de la charge d'espace s'oppose au champ appliqué.

IV.5.2. Tension alternative

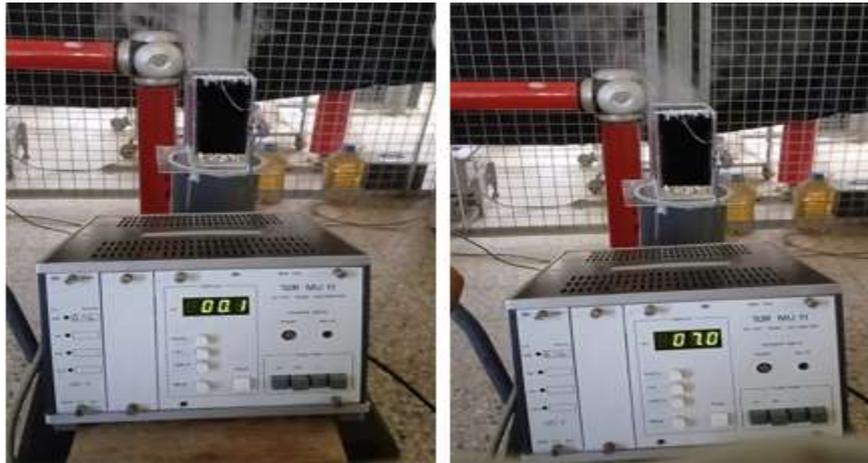


Figure IV.9 : Extraits de l'enregistrement vidéo montrant l'efficacité de l'ESP en fonction de la tension appliquée (AC).

Lorsque l'on applique une tension alternative, on remarque que le système commence à agir progressivement sur la fumée. À 0kV (figureIV.9), la fumée est très dense, en augmentant la tension à 7 kV (figureIV.9), de la fumée devient un peu plus légère, ce qui indique un début d'efficacité du système. Cependant, la fumée reste toujours visible, ce qui montre que la tension alternative est moins efficace pour éliminer complètement la fumée.

IV.5.3. Comparaison entre tension continue et alternative

Les essais réalisés en tension continue et en tension alternative montrent des différences notables. En tension continue, l'ionisation est stable et bien maîtrisée, ce qui permet une diminution progressive et visible de la fumée. Le système fonctionne de manière plus efficace, surtout en polarité positive. En revanche, avec la tension alternative, le champ électrique change constamment à cause de l'inversion de polarité et le passage par zéro, et l'émission de charges est restreint au passage de la tension par la valeur crête. Ce qui rend l'ionisation moins stable. La fumée reste plus diffuse et le dispositif est moins performant. Ces observations montrent que la tension continue est plus adaptée pour assurer une bonne

efficacité du système, et nous suggérons de multiplier le nombre d'électrodes d'ionisation pour augmenter l'efficacité de l'ESP en tension alternative.

IV.6. Influence du diamètre du fil de l'électrode d'ionisation

Après les essais avec un fil de 0.29mm, on a refait la même expérience comme électrode active un fil de 0.52mm de diamètre. Le but est d'explorer l'effet du rayon de courbure de l'électrode d'ionisation influence sur les performances du système.

IV.6.1. Polarité positive

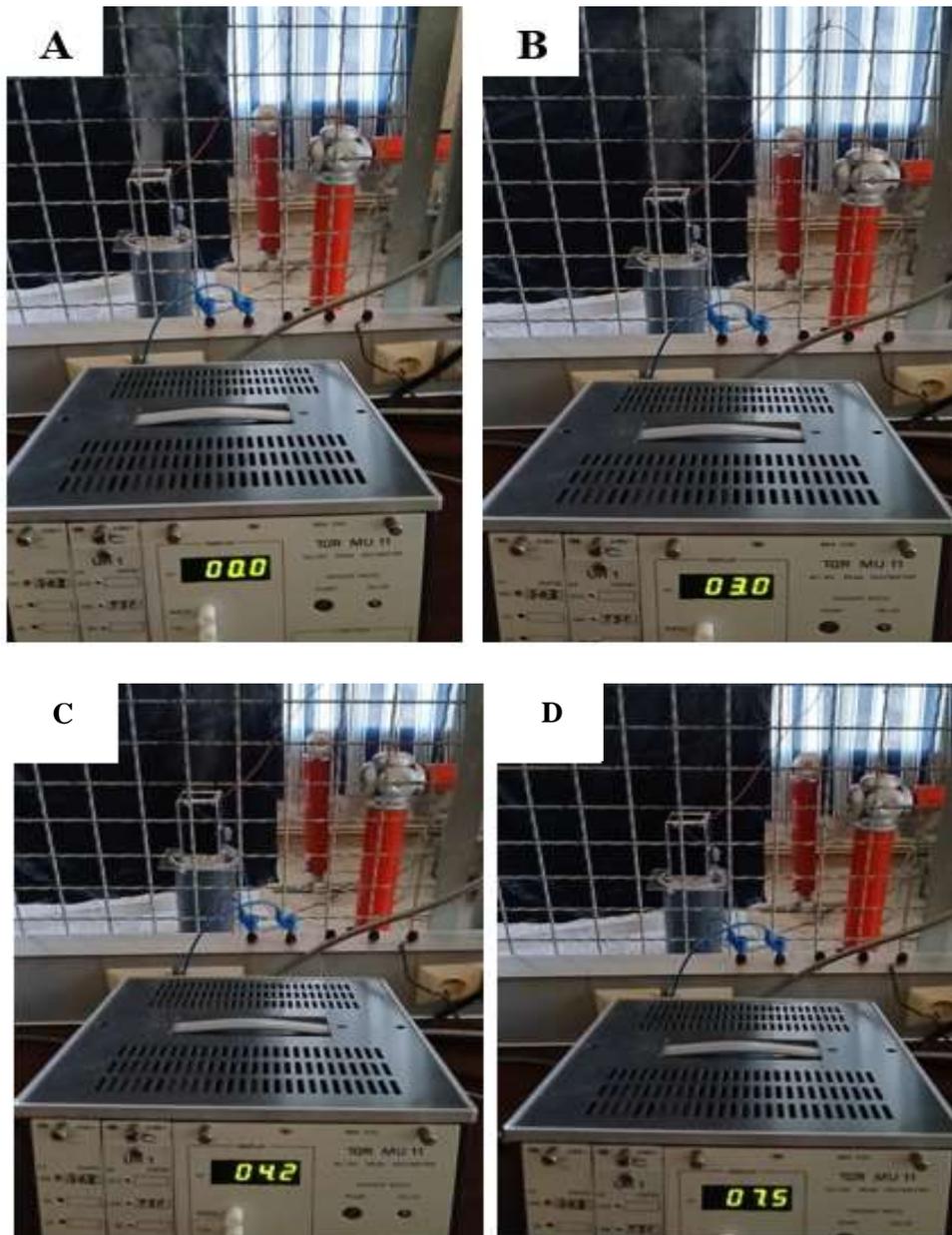


Figure IV.10 : Extraits de l'enregistrement vidéo montrant l'efficacité de l'ESP en fonction de la tension appliquée « tension DC polarité positive ».

- Image (a) 0kV : La fumée est très visible et très dense.
- Image (b) 3.0 kV : La fumée devient relativement plus légère.
- Image (c) 4.2 kV : la fumée est claire, on voit que le flux de fumée diminue beaucoup.
- Image (d) 7.5kV : Absence de fumée et nous entendons des crépitements un bruit qui caractérise l'apparition de l'effet couronne.

IV.6.2. Polarité négative

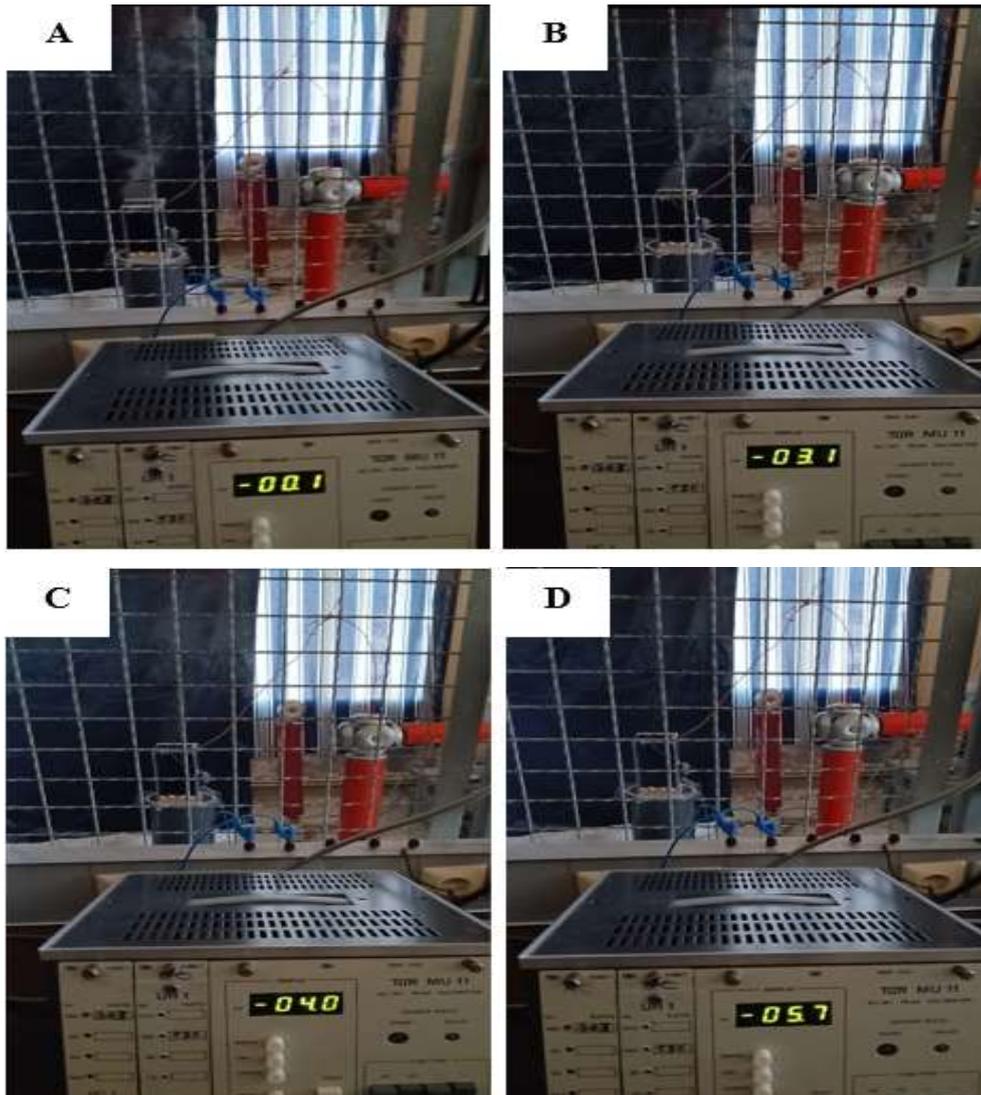


Figure IV.11 : Extrait de l'enregistrement vidéo montrant l'efficacité de l'ESP en fonction de la tension appliquée (DC négative).

- Image (a) -0.1kV : La fumée est très visible et très dense.
- Image (b) -3.1kV : La fumée devient relativement plus légère.
- Image (c) -4 kV : la fumée est claire, on voit que le flux de fumée diminue considérablement.

– Image (d) -5.7kV : Absence de fumée et nous entendons des crépitements, un bruit caractérisant l'effet couronne.

IV.7. Discussions des résultats

Les essais ont montré que le fil de 0.29mm est plus efficace que celui de 0.52mm. En effet, avec le fil de 0.29mm, la fumée commence à disparaître plus tôt, pour des tensions appliquées relativement plus petite pour les deux polarités de la tension du fait que, selon la littérature plus le diamètre du fil est petit plus, la tension seuil d'ionisation est faible et pour le même niveau de tension appliquée la densité de charge inter-électrode est plus grande lorsque le rayon de courbure est plus petit.

Ce qui montre une bonne efficacité du système à une tension relativement basse. Tandis qu'avec le fil de 0.52mm, il faut augmenter la tension à des valeurs plus élevée pour obtenir le même effet. Cela signifie que le fil à faible rayon de courbure permet une meilleure efficacité du dispositif.

IV.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié la configuration fil-plan dans l'étage d'ionisation le cadre de la dégradation des composés organiques volatils. L'objectif était d'analyser l'impact de différents paramètres sur l'efficacité du système notamment le type de la tension appliquée (continue et alternative), la polarité de la tension ainsi que le diamètre du fil.

L'électro filtre construit a une bonne efficacité de collecte de particule avec des énergies mises en jeux très faible (courant de la décharge couronne très faible de l'ordre de μA) surtout en polarité positive associé à des électrodes ionisantes à faible rayon de courbure.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le travail que nous avons mené s'inscrit dans le cadre de l'étude de la décharge couronne appliquée au traitement de l'air intérieur, un sujet d'intérêt croissant en raison des effets nocifs de la pollution sur la santé humaine.

Notre objectif principal était d'évaluer l'efficacité de cette technique dans des conditions expérimentales contrôlées, en utilisant une configuration fil-plan pour l'ionisation, couplée à un système de collecte par plaques parallèles

L'étude expérimentale a été réalisée au laboratoire haute tension de l'université de Bejaia, à l'aide d'un dispositif de collecte et de dégradation conçu dans le cadre de notre projet de fin d'étude. Ce système à deux étages comprenait un étage d'ionisation par décharge couronne fil-plan et un étage de collecte électrostatique par plaques parallèles. Des essais ont été réalisés en utilisant tout d'abord un fil de diamètre 0.29mm, puis remplacé par un fil de 0.52mm. Trois types de tension ont été appliqués (continue positive, continue négative et alternative), afin d'évaluer leur influence sur les performances du dispositif.

Les résultats obtenus ont permis d'identifier les configurations les plus favorables pour un fonctionnement du dispositif et de mieux comprendre comment la décharge couronne agit dans le traitement de l'air.

En conclusion, Cette étude a permis de tester un dispositif de purification de l'air par décharge couronne et de mieux comprendre son fonctionnement, ce qui ouvre la voie à des améliorations futures dans ce domaine.

Références bibliographiques

Référence bibliographie

- [1] Techniques de l'Ingénieur, <https://www.techniques-ingenieur.fr> ›, Définitions et ressources Qualité de l'air intérieur.
- [2] CHAPITRE 4 – PRATIQUES DE BASE. QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR.
- [3] Document de référence sur la qualité de l'air dans les établissements scolaires, octobre 2020, minister de l'éducation.
- [4]http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/education/reseau/Guide_moisissu » res.pdf.
- [5] Awa Ndong, « Pollution de l'air extérieur et intérieur a Dakar (Sénégal) : caractérisation de la pollution, impact toxicologique et évaluation épidémiologique des effets sanitaires, thèse en cotutelle entre l'université cheikh Anta Diop de Dakar, 2019
- [6] ilocis.org, <https://www.ilocis.org> › documents › ilo044, Chapitre 44 - La qualité de l'air intérieur.
- [7] LONGWEN CHEN, “ Etude Expérimentale de la décharge couronne pour le traitement de l'Air intérieur : COV et particules ”, Thèse de doctorat, université Grenoble Alpe, 2018.
- [8] Stéphane François, « Méthodologie d'établissement de cadastres d'émissions à l'échelle régionale : application au cadastre escompte et a son extension a la région Paca, thèse présentée pour obtenir le grade de docteur de l'université louis pasteur - Strasbourg 1, thèse soutenue publiquement 2004.
- [9] De : www.asef-asso.fr,1141_Guide_air intérieure.pdf.
- [10] <https://www.france-air.com/guides-et-documents/reglementation-qai/nouveaux-decrets-qai-2023>.
- [11] MIHOUBI Soumia et KERDOUSSI Hakima, « Décharge Couronne en Configuration Coaxiale : Application à la neutralisation des charges, mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER Académique, 2020
- [12] MEGHAR Abdelghani et OUNNOUGHI Tacfarinas, “ Etude de la distribution du potentiel de surface de films en PVC chargés par décharge couronne négative”, Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, juin 2014.
- [13] NADJEM Abdelkader, « Etude et exploitation des charges électriques dans les procédés électrostatiques, thèse en vue de l'obtention du diplôme de doctorat, Faculté des Sciences et

Référence bibliographie

de la Technologie Département de Génie Electrotechnique et Automatique Laboratoire de Génie Electrique de Guelma – LGEG, 2018.

[14] AHMERLAINE Selma BENDJAKHNOUNE Hassina, « Etude de la décharge couronne en configurations multipoints-plan et Fil-Cylindre », MEMOIRE Présenté pour l’obtention du diplôme de MASTER Académique, R Ministère de l’Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Université 8Mai 1945 – Guelma Faculté des Sciences et de la Technologie Département de Génie Electrotechnique et Automatique, 2021.

[15] HANDALA Mohand Amokrane, « Etude de la décharge de surface sous tension alternative 50 Hz - Effets sur une interface isolante air/solide », thèse de doctorat d’état, université mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2007.

[16] Hamou SADOUD « Dépôt de charges électriques sur la surface d’un diélectrique fibreux » Mémoire de fin d’étude, Université A. Mira - Bejaia, 2015.

[17] BOUREK Yacine, « Etude de la décharge électrique par l’intelligence artificielle », thèse présentée pour l’obtention du diplôme de doctorat en sciences en électrotechnique, université de batna2, 2016.

[18] Mohamed Sofiane BENDILMI, « Etude expérimentale de la décharge couronne multipoints pour applications à la modification de surfaces des matériaux diélectriques et à la séparation électrostatique », thèse doctorat, l’université frères Mentouri Constantine 1, 2022.

[19] Mademoiselle SAAD Djedjiga, « Effet de la décharge couronne sur les surfaces isolantes et les surfaces métalliques, magister en Electrotechnique », Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2011.

[20] TIFAOUI Djilali, LADJEL Amine, Etude de la décharge couronne en géométrie pointe plan sous tension continue, Mémoire de Fin d’Etudes, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2016.

[21] Chapitre 4 : « Décharge Couronne », Cours de A Tilmatine.

[22] HAMMICHE Koceila, CHOULAK Mohamed, « Caractérisation de la décharge couronne en géométrie Fil-Cylindre-Grille », mémoire de fin d’étude, université A. Mira Bejaïa, 2022.

Référence bibliographie

- [23] Analyse par diffusion Raman spontanée 1D d'une décharge nanoseconde : évolution spatio-temporelle des températures dans la post-décharge, Congrès Francophone de Techniques Laser, CFTL 2010, Vandœuvre-lès-Nancy, 2010.
- [24] BACHA Mohand Arezki, « Etude de la décharge couronne en géométrie fil-plan », Mémoire de fin d'étude, Université Abderrahmane Mira –Bejaia.
- [25] MEDJDOUB Bachir, AISSOU Yousef, « Décharge couronne fil-plan en polarité positive », Mémoire fin d'étude, Université Abderrahmane Mira_ Bejaia, octobre 2021.
- [26] Brahim BENAMAR, « La faisabilité de l'électro filtration d'une atmosphère chargée en poussières de bois : étude expérimentale et numérique », thèse doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy 1, 2008.
- [27] BENAMAR Khaldia, KHELIL Zohra, « Modèle dimensionnel de la caractéristique courant tension en géométrie fil-plan », mémoire de fin d'études, université Ibn Khaldoun de Tiaret, 2016.

Résumé

La décharge couronne est une technique reposant sur la génération d'un champ électrique intense capable d'ioniser les particules présentes dans l'air. Elle permet de traiter efficacement les polluants atmosphériques tels que les particules fines, les bactéries, les virus et les composés organiques volatils (COV), sans recourir à des filtres mécaniques. Cette technologie offre une solution économique et peu encombrante pour purifier l'air intérieur.

Cependant, l'un des inconvénients majeurs de ce procédé est la production d'ozone, un gaz potentiellement nocif pour la santé humaine. Les recherches actuelles visent à améliorer les performances du système tout en minimisant les effets secondaires indésirables. Ainsi, la décharge couronne représente une méthode innovante et prometteuse pour améliorer durablement la qualité de l'air dans les espaces clos.

Mots clés : Décharge couronne, Qualité de l'air, Ionisation, Polluants, Particules fines, ozone, Purification.

Abstract

Corona discharge is a technique based on the generation of a high-intensity electric field capable of ionizing particles present in the air. It effectively treats atmospheric pollutants such as fine particles, bacteria, viruses, and volatile organic compounds (VOCs), without relying on mechanical filters. This technology provides a cost-effective and space-saving solution for indoor air purification.

However, one of the major drawbacks of this process is the production of ozone, a gas that can be harmful to human health. Current research focuses on improving system performance while minimizing undesirable side effects. Thus, corona discharge represents an innovative and promising method for sustainably improving air quality in enclosed spaces.

Keywords: Corona discharge, Air quality, Ionization, Pollutants, Fine particles, Ozone, Purification.

المخلص

تُعدّ تفريغ تقنية تعتمد على توليد مجال كهربائي عالي الشدة قادر على تأيين الجزيئات الموجودة في الهواء، وتُمكن هذه التقنية من معالجة الملوثات الجوية بكفاءة، مثل الجسيمات الدقيقة والبكتيريا والفيروسات والمركبات العضوية المتطايرة (VOCs)، دون الحاجة إلى استخدام مرشحات ميكانيكية، وتُعد هذه التكنولوجيا حلاً اقتصادياً وموفرًا للمساحة لتنقية الهواء الداخلي.

ومع ذلك، فإن من بين العيوب الرئيسية لهذه العملية هو إنتاج غاز الأوزون، الذي يمكن أن يكون ضارًا بصحة الإنسان. وتتركز الأبحاث الحالية على تحسين أداء النظام مع تقليل الآثار الجانبية غير المرغوب فيها. وبالتالي، يُعتبر تفريغ الكورونا طريقة مبتكرة وواعدة لتحسين جودة الهواء بشكل مستدام في الأماكن المغلقة.

الكلمات المفتاحية: تفريغ الكورونا، جودة الهواء، التأيين، الملوثات، الجسيمات الدقيقة، الأوزون، التنقية.