

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
المركز الجامعي بلحاج بوشعيب لعين تموشنت  
Centre Universitaire d'Ain Témouchent - BELHADJ Bouchaib -  
Institut de Technologie  
Département de Génie Electrique



## **Mémoire de Fin d'Etudes**

**En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique**

Domaine : SCIENCES & TECHNOLOGIES

Filière : ELECTROMECHANIQUE

Spécialité : ELECTROMECHANIQUE

**Thème :**

**Etude d'un électro filtre fil-cylindre pour le traitement de  
fumée industrielle**

**Présenté par :**

Benkrama Khedidja

Laouri Nadia Achouak

**Soutenu en Septembre 2020 devant le Jury :**

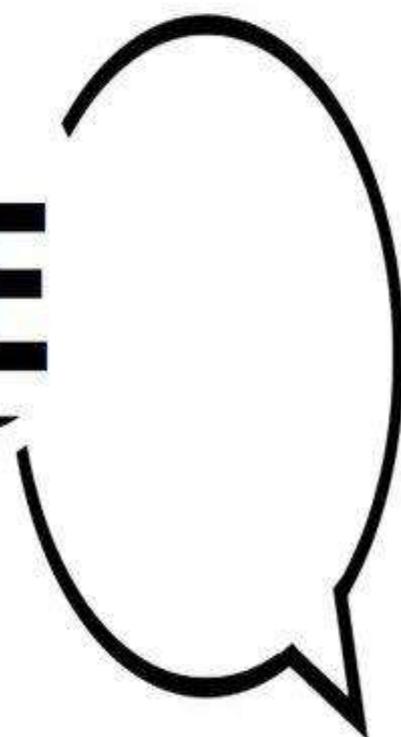
Dr	Attou	Amine	Président
M <sup>me</sup>	Touhami	Aicha	Examineur
Dr	Aissou	Massinissa	Encadrant
Dr	Brakna	Ikrame	Co-encadrant



*A cœur vaillant rien d'impossible*  
*A conscience tranquille tout est accessible*  
*Quand il y a la soif d'apprendre*  
*Tout vient à point à qui sait attendre*  
*Quand il y a le souci de réaliser un dessein*  
*Tout devient facile pour arriver à nos fins*  
*Malgré les obstacles qui s'opposent*  
*En dépit des difficultés qui s'interposent*  
*Les études sont avant tout*  
*Notre unique et seul atout*  
*Ils représentent la lumière de notre existence*  
*L'étoile brillante de notre réjouissance*  
*Comme un vol de gerfauts hors du charnier natal*  
*Nous partons ivres d'un rêve héroïque et brutal*  
*Espérant des lendemains épiques*  
*Un avenir glorieux et magique*  
*Souhaitant que le fruit de nos efforts fournis*  
*Jour et nuit, nous mènera vers le bonheur fleuri*

**DÉDICACE**

---





- ♥ *Je dédier le fruit de mes recherche a ma mère **BENOUIS FATIMA** qui m'a encourager tous le temps avec ces prières, je voudrais lui dire a quelle point je suis chanceuse de l'avoir a mes cotés.*
  
- ♥ *Aussi à ma tante **BENOUIS MELHA** un grand merci d'être dans ma vie et me soutenir tous le long de ce chemin.*
  
- ♥ *A mes chers amis : **YASSINE, ROMAISSA, INES, Oussama** et mon binôme **KHEDIDJA** merci pour les meilleurs moments quand a passé ensemble.*
  
- ♥ *Et à tous les membres de ma promotion.*

Achouak



*Je dédie ce mémoire à ...*

♥ *A ma très chère mère mokrane kheira*

*Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.*

♥ *A mon Père Benkrama abdelhafid*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.*

♥ *A mon très cher frère Yassine que j'adore*

*Mon cher petit frère présent dans tous mes moments d'examens par son soutien moral et ses belles surprises sucrées. Je te souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité.*

♥ *A Mon adorable sœur Fatima, la prunelle de mes yeux*

*Mon conseiller, et amie fidèle, qui m'a assisté dans les moments difficiles et m'a pris doucement par la main pour traverser ensemble des épreuves pénibles....*

♥ *À MES AMIS DE TOUJOURS :*

*En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.*

*Finalement, à mon binôme Achouak qui a partagé avec moi les moments difficiles de ce travail et à sa famille.*

♥ *A moi-même.*

*Khedidja*

*Merçi*



*Ce travail est l'aboutissement d'un dur labeur et de beaucoup de sacrifices; nos remerciements vont d'abord au Créateur de l'univers « Allah » qui nous a doté d'intelligence, et nous a maintenu en santé, volonté, et la patience que nous a donnée durant toutes ces années d'études et pour la réalisation de ce travail modeste que nous espérons être utile.*

*Nous adressons le grand remerciement à notre encadreur qui a proposé le thème de ce mémoire. Nos profondes et sincères gratitudes à Mr. AISSOU MASSINISSA Maitres de conférences Classe (A) au Université Belhadj Bouchaib d'Ain Témouchent, qui a accepté de nous encadrer. Sa gentillesse, son sérieux et son sens de la responsabilité ont été pour nous un précieux encouragement. Il n'a jamais hésité, malgré ses nombreuses obligations, à être à notre disposition, depuis le début de notre travail.*

*Nous tenons également à remercier messieurs les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance,*

*Nous souhaitons exprimer notre gratitude pour avoir fait de lecteur notre mémoire, aller l'examiner et ils peuvent évaluer cette mémoire. Nous vous remercions pour l'intérêt que vous avez porté à ce travail et pour vos précieux conseils et remarques.*

*Nous à dire en particulier un grand merci pour les membres qui se trouvent au Laboratoire de notre université pour La coopération et la sympathie qu'ils nous ont toujours montré.*

*Un grand merci à Hebbar Nihed et Braknan Ikram pour leurs remarques et conseils qui ont évaluées notre travaille.*

*Nous tenons aussi à adresser nos vifs remerciements à tous les enseignants et chercheurs du UAT qui ont contribué à notre formation, à tous nos amis, à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin qui nous ont soutenues moralement le long de ce travail et qui ont su créer une ambiance chaleureuse de camaraderie et de travail qui restera un souvenir que nous conservons de cette période*

*Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos parents, ainsi qu'à toute nos familles qui nous ont toujours soutenues et participent de réaliser ce mémoire.*

# Table de matière

<b>Introduction Générale</b> .....	1
<b>CHAPITRE I : La technologie des filtres électrostatiques</b> .....	4
I.1. Introduction : .....	6
I.2. La pollution atmosphérique : .....	6
I.2.1. Définitions : .....	6
I.2.2. Les polluants de l'air : .....	7
I.2.2.1. Composition de l'atmosphère : .....	7
I.2.2.2. Identification des polluants de l'air : .....	7
I.2.3. Les effets de la pollution de l'air : .....	9
I.2.3.1. Effets sur la santé : .....	9
I.2.3.2. Effets sur le cadre bâti : .....	10
I.2.3.3. Effets sur l'environnement : .....	10
I.2.3.3.1. Effets sur les écosystèmes d'eau douce : .....	10
I.2.3.3.2. Les effets de l'appauvrissement de la couche d'ozone : .....	11
I.2.4. Filtration de l'air : .....	11
I.3. L'électro filtre : .....	12
I.3.1. Origine de technologie : .....	12
I.3.2. Principe de fonctionnement des filtres électrostatiques : .....	12
I.3.3. Type des électro filtres : .....	14
I.3.3.1. Electro filtres à un étage : .....	14
I.3.3.2. Électro filtres à deux étages : .....	15
I.3.3.3. Electro filtres humides : .....	16
I.3.3.4. Electro filtres secs : .....	17
I.3.4. Catégories des filtres industriels : .....	17
I.3.5. La décharge couronne : .....	18
I.3.5.1. En Polarité négative .....	19
I.3.5.2. En polarité positive .....	19
I.3.5.3. Modèle mathématique : .....	20
I.3.6. Les particules chargées : .....	20
I.3.6.1. Mécanisme de charge de particules : .....	20
I.3.6.2 Forces à l'origine de la migration des particules chargées : .....	20

I .3.6.3. Migration des particules chargées : .....	21
I .3.7. Les phénomènes de fonctionnement d'un électro filtre : .....	22
I .3.7.1. Modèles numériques : .....	22
I .3.7.2. Les paramètres influençant sur l'électro filtre : .....	23
I .3.7.2.1. Le réentrainement : .....	23
I .3.7.2.2. Contre émission : .....	23
I .3.7.2.3. Les back corona : .....	23
I .3.7.2.4. Interaction Electro-hydrodynamique.....	24
I .3.7.3. Efficacité de collecte d'un électro filtre : .....	25
I .3.8. Conditions du choix d'un précipitateurs électrostatique : .....	25
I.3.9. Application de précipitateurs industriels : .....	26
I.3.10. Les avantages et les inconvénients d'un électro filtre : .....	27
I.3.10.1. Les avantages : .....	27
I.3.10.2. Les inconvénients : .....	27
I.3.11. Recherche et Innovation autour des précipitateurs électrostatiques : .....	28
I .4. Conclusion : .....	28
<b>CHAPITRE II : Description du model expérimental</b> .....	<b>29</b>
II.1 Introduction : .....	31
II .2. Dispositif expérimental : .....	31
II.3. Principe de fonctionnement : .....	32
II.4. Les matériaux utilisés : .....	32
II.5. Mode opératoire : .....	35
II.5.1. Mesure du courant : .....	36
II.5.2. Caractéristique de la fumée choisie : .....	37
II.5.3. Mesure d'efficacité : .....	42
II.6. Conclusion : .....	43
<b>CHAPITRE III : Résultats et discussions</b> .....	<b>44</b>
III.1. Introduction : .....	46
III.2. Caractéristique Courant - Tension : .....	46
III.2.1. Influence de la distance inter électrode sur la décharge couronne : .....	46
III.2.2. Influence du diamètre du fil sur la décharge couronne : .....	50
III.2.3. Influence du nombre de conducteur : .....	52
III.2.4. Effet de la polarité : .....	53

III.2.5. Rôle du cylindre électrostatique :.....	54
III.3. Filtration de fumées : .....	55
III.3.1. Papier journal : 19g.....	55
III.3.2. Tissus : 15g .....	57
III.3.3. Plateau d'œuf : 18g.....	59
III.4. Influence des fumées sur la décharge électrique : .....	61
III.5. Calcul d'efficacité : .....	62
III.6. La modélisation numérique de l'électro filtre : .....	63
III.6.1. Modèle développé : .....	64
III.6.2. Maillage :.....	65
III.6.3. Résultats et discussion : .....	66
III.6.3.1. Les lignes de champ :.....	66
III.6.3.2. Les surfaces équipotentiels :.....	67
III.6.3.3. Le potentiel électrique :.....	67
III.6.3.4. Densité de courant : .....	69
III.7. Comparaison de la simulation avec les résultats expérimentaux : .....	69
III.8. Conclusion :.....	69
<b>Conclusion Générale et perspectives .....</b>	<b>70</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>75</b>
<b>Résumé.....</b>	<b>76</b>

# Nomenclature

*a* : distance entre deux fils voisins.

*A* : ampère

*Co<sub>2</sub>* : dioxyde de carbone.

*COV* : Les composés organiques volatils

*CO* : le monoxyde de carbone

*CaCO<sub>3</sub>* : carbonate de calcium

*CaO* : oxyde de calcium

*COT* : Composés organiques totaux

*°C* : Celsius

*C* : mobilité

*Cm* : centimètre

*dl* : différence de largeurs.

*Dp* : diamètre de particule

*DC* : courant continu

*Dc* : diamètre de cylindre

*D* : diamètre

*EF* : électro filtre.

*ESP* : Précipitateurs électrostatiques.

*E* : vecteur champ électrique (V/m).

*é* : les électrons.

*Ht* : haut tension

*Hz* : hertz

*H<sub>2</sub>c* : carbone dihydrogène

*HCl* : Chlorure d'hydrogène

*HF* : fluorure d'hydrogène

*I* : courant

*J* : densité de courant électrique (A/m<sup>2</sup>).

*K*: Kelvin

*Kv*: kilovolt

*L*: largeur (m).

*L*: litre

*mA* : milliampère

*Min* : minute

*mM*: millimètre

*M* : mètre

*NO<sub>x</sub>* : les oxydes d'azote

*NH<sub>3</sub>* : Ammoniac

*N*: nombre

*O<sub>2</sub>* : Le dioxygène ou oxygène moléculaire

*O<sub>3</sub>* : Ozone

*PH* : Potentiel hydrogène

*Ps* : Particules en suspension

*Pb* : Plomb

*R<sub>c</sub>* : rayon du cylindre (m).

*r* : coordonnée radiale (m).

*r<sub>0</sub>*: rayon de l'électrode active.

*rH* : point de rosé

*SO<sub>2</sub>* : le dioxyde de soufre

*S* : seconde

*Tr* : Toure

*Tg* : température de gaz

*U* : tension

*UV* : ultraviolet

*U<sub>i</sub>*: vitesse des ions contenus dans le gaz.

*u<sub>g</sub>* : vitesse d'agitation des ions (m.s<sup>-1</sup>)

*V: tension*

*V: volt*

*V<sub>cc</sub> : tension d'alimentation*

*v : vitesse d'écoulement de l'air (m/s).*

*Val : tension d'alimentation*

*w<sub>th</sub> : vitesse d'agitation thermique des ions (m.s-1)*

*W: Watt*

*μA : micro ampère*

## Liste des figures

<b>Chapitre 01 : la technologie de l'électro filtre</b>		
Figure	Titre	Page
01	exemples de la filtration d'air en industrie [5] [6]	11
02	Principe de fonctionnement de l'électro filtre	13
03	Schéma simplifié d'un électro filtre à un seul étage	14
04	Electro filtres classiques à un étage : (a) fil / plan [11] et (b) fil / cylindre [12]	15
05	Schéma simplifié d'un précipitateur électrostatique à deux étages [12]	16
06	Électro filtre de type plan / plan : à deux étages [11]	16
07	Electro filtres : (a) sec [16] et (b) humide [17]	17
08	Représentation schématique de la décharge couronne (géométrie fil / cylindre)	18
09	Paramètres influençant sur la décharge couronne [19]	19
10	Descriptif de la décharge couronne négative [19]	19

11	Descriptif de la décharge couronne positive [19]	20
12	Photographies de back corona	24

<b>Chapitre 02 : description du model expérimental</b>		
Figure	Titre	Page
01	Le Dispositif expérimental	32
02	Le système de nettoyage d'un cylindre d'électro filtre	37
03	Le montage pour la caractéristique courant-tension	38
04	Plateau d'œuf	39
05	Tissus	39
06	Papier absorbant	40
07	Bouteille d'eau en plastique	40
08	bâton lunaire.	41
09	Papier de journal	41
10	Chambre à air	42
11	Déchets de bois	42

<b>Chapitre 03 : résultats et discussions</b>		
Figure	Titre	Page
01	Caractéristiques courant-tension de la distance inter-électrodes sur la décharge couronne positive	48
02	Caractéristiques courant-tension de la distance inter-électrodes sur la décharge couronne négative	49
03	Caractéristiques courant-tension de la distance inter-électrodes sur la décharge couronne positive	49
04	Caractéristiques courant-tension de la distance inter-électrodes sur la décharge couronne négative	50
05	Caractéristiques courant-tension de la distance inter-électrodes sur la décharge couronne positive	50
06	Caractéristiques courant-tension de la distance inter-électrodes sur la décharge couronne négative	51
07	Caractéristiques courant-tension pour deux diamètres de fil différents avec polarité positive	52
08	Caractéristiques courant-tension pour deux diamètres de fil différents avec polarité négative	52
09	Caractéristiques courant – tension en fonction du nombre de	53

	conducteurs de la tension appliquée à polarité positive	
10	Caractéristiques courant – tension en fonction du nombre de conducteurs de la tension appliquée à polarité négative	54
11	Caractéristiques courant – tension en fonction de la polarité de la tension appliquée	55
12	Schématisation d'un cylindre électrostatique	55
13	Comparaison des paramètres de trois fumées avant et après filtration pour trois tensions différentes dans deux polarités	61
14	Caractéristiques courant – tension en fonction des fumés en polarité positive	62
15	Caractéristiques courant – tension en fonction des fumés en polarité négative	63
16	Présentation du logiciel COMSOL MULTIPHYSICS	65
17	Représentation 3D de l'électro filtre	66
18	Représentation 2D de l'électro filtre	66
19	maillage de l'électro filtre	67
20	<b>a:</b> les lignes de champ ((a) : positive, (b) : négative)	68

20	<b>b</b> : les vecteurs de champ ((a) : positive, (b) : négative)	68
21	Le surfaces équipotentiels ((a) : positive, (b) : négative)	68
22	le potentiel électrique ((a) : positive, (b) : négative)	69
23	La variation du potentiel électrique en fonction de l'espace inter électrodes : ((a) : négative, (b) : positive)	70
24	Variation de la densité du courant ionique total en fonction de la tension appliquée	70
25	La comparaison entre la simulation et l'expérimental	71

## Liste des tableaux

<b>Chapitre 01 : la technologie de l'électro filtre</b>		
Tableau	Titre	Page
01	la composition de l'atmosphère [9]	07
02	nature et origine des principales substances pollutant l'atmosphère [9]	08
03	les effets de la pollution d'air sur la santé [9]	10
04	Catégories des précipitateurs industriels	18
05	Les forces de la migration des particules chargées [22]	21

<b>Chapitre 02 : description du model expérimental</b>		
Tableau	Titre	Page
01	Les matériels utilisés	36
02	Les caractéristiques de gaz de fumée de plateau d'œuf avant filtration	38
03	Les caractéristiques de gaz de fumée de tissus avant filtration	39

04	Les caractéristiques de gaz de fumée de papier absorbant avant filtration	39
05	Les caractéristiques de gaz de fumée de Bouteille d'eau en plastique avant filtration	40
06	Les caractéristiques de gaz de fumée de bâton lunaire avant filtration	40
07	Les caractéristiques de gaz de fumée de papier de journal avant filtration	41
08	Les caractéristiques de gaz de fumée de chambre à air avant filtration	41
09	Les caractéristiques de gaz de fumée de déchets de bois avant filtration	42
10	Les caractéristiques de gaz de fumée de plateau d'œuf (18 g) avant filtration	43
11	Les caractéristiques de gaz de fumée de chambre à air avant filtration	43
12	Les caractéristiques de gaz de fumée de papier de journal (19 g) avant filtration	43
13	Les caractéristiques de gaz de fumée de tissus (15 g) avant filtration	43

<b>Chapitre 03 : résultats et discussions</b>		
Tableau	Titre	Page
01	La différence entre la polarité positive et négative	54
02	Les caractéristiques de fumée du papier journal après filtration	56
03	Les caractéristiques de fumée du tissu après filtration	58
04	Les caractéristiques de fumée du plateau d'œuf après filtration	60
05	Les calculs d'efficacité de trois types de fumés	64

# *Introduction Générale*



*« Je suis de ceux qui pensent que la science est d'une grande beauté. Un scientifique dans son laboratoire est non seulement un technicien : il est aussi un enfant placé devant des phénomènes naturels qui l'impressionnent comme des contes de fées. »*

*Madame Curie, Ève Curie, éd. Gallimard, 1938 de Marie Curie*

**A**vec le développement rapide de l'urbanisation et de l'industrialisation, la pollution atmosphérique est devenue l'un des défis mondiaux les plus graves auxquels nous sommes confrontés aujourd'hui. Parmi toutes les sources de pollution atmosphérique, les polluants particulaires ont des effets particulièrement néfastes sur la santé humaine, ce qui a nécessité la mise au point de technologies efficaces pour éliminer les émissions de particules au cours des dernières décennies. Le précipitateur électrostatique (ESP) est l'appareil de contrôle des particules le plus utilisé actuellement dans divers domaines industriels, en raison de ses propriétés de haute efficacité et d'économie d'énergie.

L'objectif de notre travail consiste à étudier la technologie de l'électro filtre en configuration fil-cylindrique. Ainsi, l'amélioration de la qualité de l'air à travers la filtration.

Ce mémoire est composé de trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous introduisons la pollution atmosphérique, ses paramètres et conséquences et proposons une solution. Ensuite, nous nous consacrons à l'étude des différents précipitateurs électrostatiques existants, de leurs principes de fonctionnement et de leurs performances.

Le deuxième chapitre décrit le dispositif expérimental, le principe de fonctionnement et les méthodes de mesure des paramètres.

Le troisième et dernier chapitre est consacré aux résultats et à la discussion du dispositif expérimental et de son efficacité de filtration. Aussi pour la modélisation numérique.

Enfin, nous concluons par une conclusion générale et quelques perspectives.

***CHAPITRE I***  
***La technologie des filtres***  
***électrostatiques***



*« La vie n'a pas besoin d'être facile, à condition qu'elle ne soit pas vide. »*

Lise Meitner

## **I.1. Introduction :**

La lutte contre la pollution atmosphérique est un enjeu majeur de ce siècle pour cela la technologie a développé plusieurs systèmes de filtration parmi eux il existe l'électro filtre.

Notre chapitre est composé de deux points importants :

- Des généralités sur la pollution atmosphérique.
- Des notions de bases sur l'électro filtre.

## **I.2.La pollution atmosphérique :**

L'air demeure un élément fondamental et indispensable pour les êtres vivants. Ainsi, chaque jour, nous inspirons environ 20 m<sup>3</sup> d'air. Celui-ci est composé de 99% de deux gaz (azote 78%, oxygène 21%), le dernier pourcentage étant un mélange d'une multitude de substances très diverses (gaz carbonique, gaz rares, composés organiques...). La présence et la concentration de ces derniers sont telles que la vie est possible, ce qui reste pour l'instant un cas unique dans l'ensemble des planètes connues. [1]

### **I.2.1. Définitions :**

Selon le dictionnaire encyclopédique des pollutions [28]

1. L'air : « l'air est un mélange gazeux constituant l'atmosphère terrestre ».
2. L'air ambiant: « un terme désignant l'état physicochimique de l'air se trouvant au niveau du sol dans une zone donnée ou encore celui qui est propre à des locaux d'habitations ou professionnels ».
3. L'atmosphère : « l'atmosphère est une couche la plus extérieure de la planète, de nature gazeuse, constituant donc la partie la plus extérieure de l'écosphère, et dont la présence constitue l'agent moteur du cycle de l'eau. ».
4. La pollution : « est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, au travers des effets directes ou indirects altérant les critères de répartition des flux de l'énergie des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau et en produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède ou les possibilités récréatives du milieu »

5. Pollution atmosphérique : La pollution atmosphérique est définie dans la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 (lien vers Comment le droit protège-t-il la qualité de l'air ?). Elle résulte du rejet direct de composés gazeux ou sous forme de particules, nocifs pour l'homme et la biosphère, qui proviennent des diverses activités humaines, industrielles, domestiques, agricoles, des transports, des combustions diverses, etc. Les polluants ainsi émis sont dits d'origine anthropique. [29]

## I.2.2. Les polluants de l'air :

### I.2.2.1. Composition de l'atmosphère :

Constituants	Pourcentage en volume	Pourcentage en masse
Azote	78.01	75.53
Oxygène	20.95	23.14
Argon	0.93	1.28
Gaz carbonique (CO <sub>2</sub> )	0.036	0.051
Néon	1.8.10 <sup>-3</sup>	1.25. 10 <sup>-3</sup>
Hélium	5.24.10 <sup>-4</sup>	5.24.10 <sup>-4</sup>
Méthane	1.7.10 <sup>-4</sup>	9.41. 10 <sup>-4</sup>
Krypton	1.14.10 <sup>-4</sup>	3.3.10 <sup>-4</sup>
Protoxyde d'azote (N <sub>2</sub> O)	5.10 <sup>-5</sup>	7.6.10 <sup>-5</sup>

**Tableau I.1** : La composition de l'atmosphère [2]

### I.2.2.2. Identification des polluants de l'air :

Il existe un grand nombre de polluants atmosphériques ces derniers peuvent être classés en deux grands groupes : les effluents gazeux et les particules.

Types de polluants atmosphériques	Nature de polluant	Source d'émission
	CO <sub>2</sub>	Volcanisme, respiration des êtres vivants, combustibles fossiles, feux de végétation, déforestation.

Gazeux	CO (oxyde de carbone)	Moteurs à explosion, combustions incomplètes, feux de végétation, bactéries, océan.
	Hydrocarbures	Moteurs à explosion, foyers au fuel ou au charbon industries chimiques.
	Composé organique	Incinération d'ordures, combustions diverses, volcanisme.
	SO <sub>2</sub> et d'autres dérivés gazeux du soufre	Volcanisme, embruns, marins, bactéries, combustions.
	NO <sub>x</sub> et d'autres dérivés gazeux de l'azote	Combustions, moteurs à explosion, industrie nucléaire.
	Radionucléides	Essais atomiques
Particulaires	Métaux composé minéraux	Volcanisme-météorites, érosion éolienne-embruns marins, combustions, moteurs à exposition, métallurgie et divers industries.
	Carbonées (particules)	Incendies de végétation, combustion de charbon et fuel, moteurs diesel.
	Composes organiques naturels et de synthèse	Incendies de végétation, industrie chimique, combustion de charbon et fuel, moteurs diesel, incinérateurs d'ordures, solvants, pesticides.

	Radionucléides	Industrie nucléaire, essais atmosphériques d'armes atomiques.
--	----------------	---

**Tableau I.2 :** Nature et origine des principales substances polluantes l'atmosphère [2]

### I.2.3. Les effets de la pollution de l'air :

L'air est indispensable à la vie, mais il peut avoir des effets nocifs si sa qualité est mauvaise.

#### I.2.3.1. Effets sur la santé :

Origine	Conséquences	Effets sur la santé
Oxydes d'azotes (NO <sub>x</sub> ) : Le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> ) sont principalement produits par les transports et les centrales thermiques.	Formation d'ozone dans la base atmosphère et favorise les pluies acides.	Puissant irritant des voies respiratoires en s'infiltrant jusque dans les alvéoles. au niveau des bronches, il favorise les infections bactériennes chez les enfants et une hyperactivité chez les asthmatiques.
Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> ) : Provient de la combustion du fuel, charbon et diesel.	Contribue au phénomène des pluies acides.	Gaz irritant avec effets bronchoconstricteurs et essoufflement chez les asthmatiques. Toux et gêne respiratoire chez l'adulte. Altération des fonctions respiratoires chez l'enfant.
Monoxyde de carbone (CO) : les moteurs à essence	Formation d'ozone dans la base atmosphère.	Liaison irréversible sur l'hémoglobine. Baisse de l'oxygénation.
Particules en suspension (Ps) Produits de combustion : Industrielle, chauffage et incinération de déchets, les particules les plus fines sont	Salissure des surfaces pour les plus grosses et transports de composés toxiques (sulfates, métaux lourds, hydrocarbures) par les plus	Très dangereuse même à de faibles concentrations altération de la fonction respiratoire chez l'enfant. Propriétés cancérogènes pour les composés n'émis pas les

émises par les moteurs diesel.	fines.	moteurs diesel.
Ozone (O <sub>3</sub> ) : Produit dans la base atmosphère par interaction entre les ultraviolets et les gaz tels que CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , COV et hydrocarbures.	Forte dégradation de la qualité de l'air, pluies acides et effet de serre.	Atteint facilement les alvéoles pulmonaires, toux, altération pulmonaire surtout chez l'enfant et l'asthmatique. Effets aggravés par l'exercice physique
Composés organiques volatils (COV) : Proviennent des hydrocarbures (benzène, 1-3butadiène) émis dans les gaz d'échappement et des solvants.	Formation d'ozone dans la basse atmosphère.	Irritants pour les yeux, gorge, nez, poumons. Capacité respiratoire diminuée. Risque d'effets cancérogènes.
Plomb(Pb) : Provient des hydrocarbures plombés		Modifie la composition du sang en gênant la fabrication de l'hémoglobine.

**Tableau I.3 :** Les effets de la pollution d'air sur la santé [2]

### **I.2.3.2. Effets sur le cadre bâti :**

Les matériaux sont essentiellement affectés par la pollution acide qui entraîne une dégradation des édifices, monuments ou façades d'immeubles. La pollution atmosphérique met en danger notre patrimoine culturel et occasionne d'onéreux travaux de ravalement de façades ou de restauration des monuments. [3]

### **I.2.3.3. Effets sur l'environnement :**

#### **I.2.3.3.1. Effets sur les écosystèmes d'eau douce :**

L'acidification des lacs et des cours d'eau entraîne une destruction parfois irréversible de la vie aquatique. La baisse du pH provoque la mise en solution de métaux contenus naturellement

dans le sol, comme l'aluminium toxique à l'état dissous pour presque la totalité des organismes vivants. [3]

### **I.2.3.3.2. Les effets de l'appauvrissement de la couche d'ozone :**

La diminution de la couche d'ozone représente un redoutable problème environnemental. Le rayonnement des ultraviolets causant les coups de soleil. Il a été prouvé que l'exposition à ces rayons ultraviolets a des effets importants sur notre environnement. Elle peut causer la détérioration de l'écosystème aquatique, réduire le rendement des cultures agricoles et être néfaste pour les forêts. [3]

### **I.2.4. Filtration de l'air :**

La filtration de l'air est devenue nécessaire voire indispensable surtout dans les environnements urbains et pollués.

La filtration d'air industrielle est règlementée par des lois spécifiques qui exigent l'utilisation de technologies adéquates afin de maintenir les niveaux de pollution de l'air en dessous de certains seuils. Il est en effet indispensable de se doter de systèmes de filtration adéquats de façon à protéger la salubrité de l'environnement de travail et limiter l'émission dans l'atmosphère de substances polluantes.

Dans la plupart des secteurs de production, la filtration d'air industrielle vise à traiter les différentes substances parmi lesquelles les brouillards d'huile et les poussières, même très fines, qui sont émises lors de différents procédés. Dans ces deux cas, il existe des technologies spécifiques qui permettent de filtrer l'air puis de le réintroduire dépuré dans l'environnement dans les limites légales. [4]



**Figure I .1:** Exemples de la filtration d'air en industrie [5] [6]

D'après le développement des filtres ; le meilleur élément pour l'évaluation de la qualité d'air est le filtre électrostatique.

### **I.3.L'électro filtre :**

Les filtres électrostatiques sont des filtres industriels robustes, également appelés filtres à air électrostatiques, utilisés pour une élimination efficace des cendres transportées par les fumées et des poussières présentes dans l'air [7-10]. Grâce à leur durée de vie importante, ces filtres sont extrêmement économiques.

Ces installations de filtration sont largement utilisées depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle pour retenir les particules présentes dans les gaz résultants, par exemple, de l'industrie métallurgie, l'industrie chimique ou celle de ciment ainsi que pour épurer les gaz produits par les centrales électriques brûlant du charbon [7].

#### **I.3.1. Origine de technologie :**

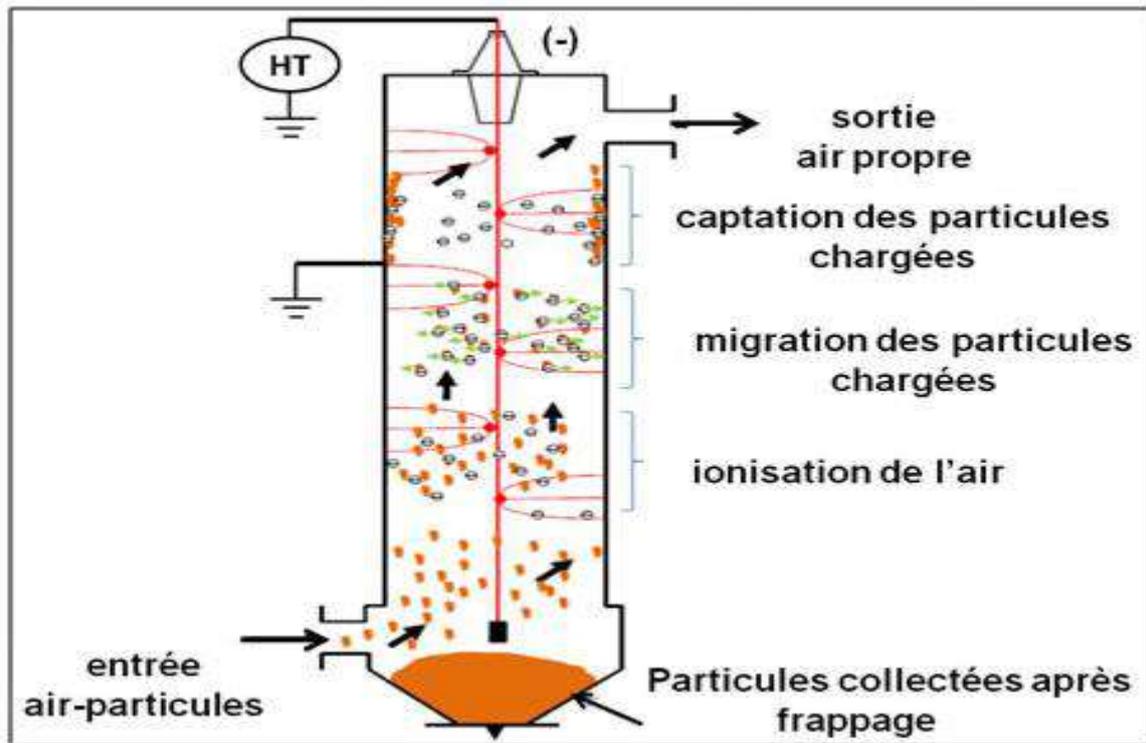
En 1824, M. Hohlfeld, professeur de mathématiques à Leipzig, a décrit pour la première fois la précipitation de particules de fumée par l'électricité. Le premier procédé commercialement réussi a été breveté en 1908 à la suite d'expériences menées par le chimiste américain Frederick Gardner Cottrell à l'Université de Californie à Berkeley Sous la forme d'un brevet : " Art of separating suspended particules from gaseous bodies". Les premières unités ont été utilisées pour éliminer les brouillards d'acide sulfurique et les fumées d'oxyde de plomb émis par les activités d'acidification et de fusion. Les appareils ont aidé à protéger les vignobles du nord de la Californie contre les émissions de plomb. [8]

#### **I.3.2. Principe de fonctionnement des filtres électrostatiques :**

Le processus de précipitation électrostatique se compose de trois étapes :

- Chargement des particules
- Collecte des particules.
- Élimination des particules collectées. [9]

Le chargement des particules s'effectue au moyen d'une corona qui produit des ions qui s'attachent aux particules, en présence d'un champ électrique, génère une nouvelle force dirigée vers l'électrode de collecte. Cette force induit la déposition des particules sur l'électrode de collecte. Une fois recueillies, les particules sont déchargées de l'électrode à l'aide d'un impact ou d'un râteau.



**Figure I.2** : Principe de fonctionnement de l'électro filtre. [11]

Afin d'expliquer le principe de fonctionnement d'un électro filtre, prenons l'exemple d'un précipitateur électrostatique de géométrie cylindrique. Il est constitué d'un cylindre métallique disposé verticalement (l'électrode de collecte) et d'un fil suspendu le long de l'axe central du cylindre (l'électrode active). L'électrode active est reliée à la haute tension continue tandis que l'électrode de collecte est reliée à la masse [11]. Lorsqu'on applique une tension au-delà d'un seuil (tension d'allumage de la décharge), une décharge couronne apparaît autour du fil. Elle apparaît soit sous la forme de spots lumineux (tension DC négative) répartis le long du fil et appelés « Tufts » ou sous la forme d'une « gaine lumineuse » (tension DC positive). Les phénomènes lumineux représentent localement les régions ionisées du gaz à partir desquelles des ions de même polarité que l'électrode active sont émis vers l'électrode de collecte. Ces ions traversent l'espace inter-électrodes sous l'action d'un champ électrique continu, en direction de l'électrode de collecte. Lorsqu'on introduit des gaz pollués par la partie basse de l'électro filtre, ils traversent l'espace inter-électrodes en montant. Les particules qu'ils contiennent captent au passage des ions et se chargent fortement ; elles sont alors soumises à la force de Coulomb qui les dirige vers la surface interne de l'électro filtre où elles se déposent. Les gaz sortent donc dépollués par la partie haute de l'électro filtre tandis que les particules piégées s'accumulent sur sa surface interne en formant une couche de poussières. Par un procédé mécanique qui consiste à frapper les parois de l'électro filtre à l'aide d'un

marteau, on fait tomber les poussières dans le fond de l'électro filtre où un dispositif prévu à cet effet permet de les évacuer. [12]

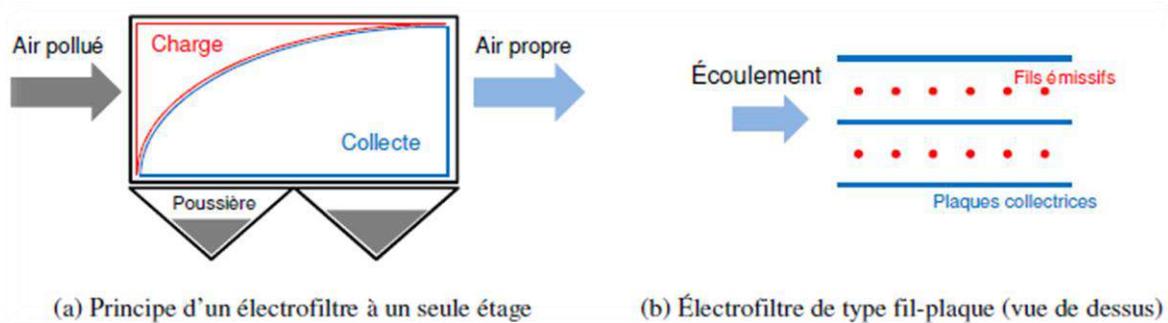
### I.3.3. Type des électro filtres :

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

- Electro filtres à un étage.
- Electro filtres à deux étages.
- Electro filtres humides.
- Electro filtre sec.

#### I .3.3.1. Electro filtres à un étage :

La plupart des ESP qui réduisent les émissions de particules des chaudières et autres procédés industriels sont des ESP à un seul étage, les étapes de chargement et de collecte se déroulent dans la même région et par le même champ électrique. Les ESP à un étage utilisent une très haute tension (50 à 70 kV) pour charger les particules, qui sont ensuite collectées dans la même chambre sur les surfaces de collecte de charge opposée.

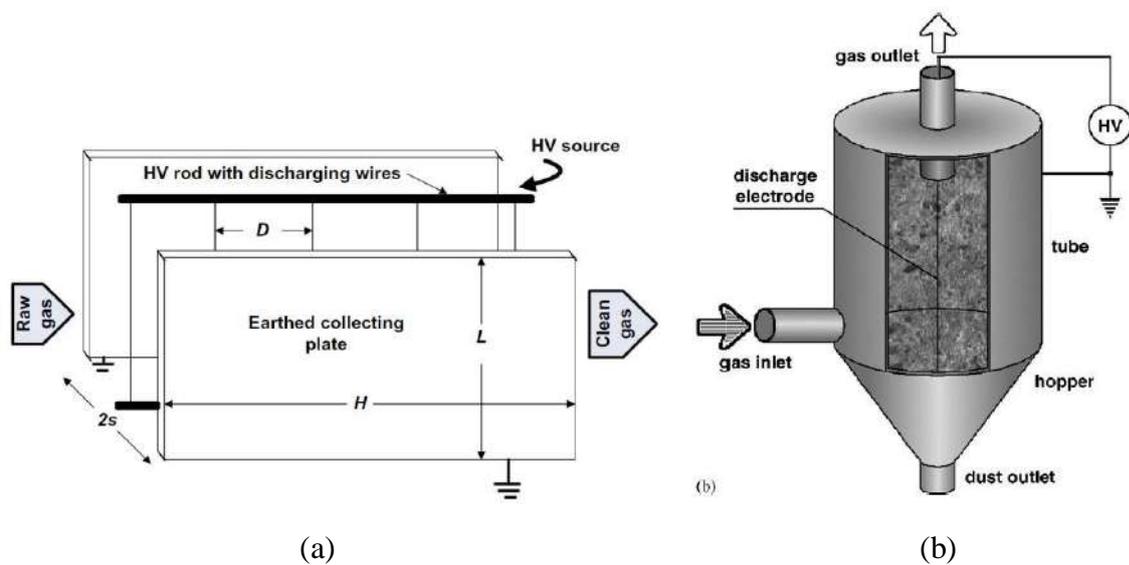


**Figure I .3** : Schéma simplifié d'un électro filtre à un seul étage [12]

Parmi les électro filtres à un seul étage, ceux du type plaque – plaque sont les plus répandus. Ici, les électrodes de dépôts sont des plaques parallèles et équidistantes et le gaz est ionisé à partir d'électrodes ionisantes situées dans les plans verticaux à mi-distance entre les plaques. Les particules collectées sont habituellement déchargées par rap ou par un choc dans le cas des précipitateurs électrostatiques secs ou par film liquide dans le cas des précipitateurs électrostatiques humides. Les particules tombent alors par gravité dans une trémie où elles sont entreposées avant d'être enlevées et l'élimination finale.

Les précipitateurs industriels ayant des longueurs de plusieurs dizaines de mètres, sont divisés en plusieurs segments nommés champs. Chaque champ a sa propre alimentation électrique, indépendante des autres parties de l'électro filtre ; cela permet l'adaptation des conditions électriques en fonction de la taille et de la concentration des particules dans chaque champ.

Les précipitateurs tubulaires électrostatiques sont constitués d'électrodes de collecte cylindriques munies d'électrodes de décharge situées en leurs centres. Le gaz sale circule dans le cylindre où se produit la précipitation. La poussière récupérée est éliminée en lavant les tubes avec des pulvérisateurs d'eau situés directement au-dessus des tubes. Ainsi, les agglomérats se détachent, sous l'influence de la gravité, ils tombent dans les trémies situées dans la partie inférieure du filtre. C'est pour cette raison que ce type de filtre électrostatique est fréquemment utilisé pour enlever des particules liquides (divers acides, huiles), le goudron, etc. [13]

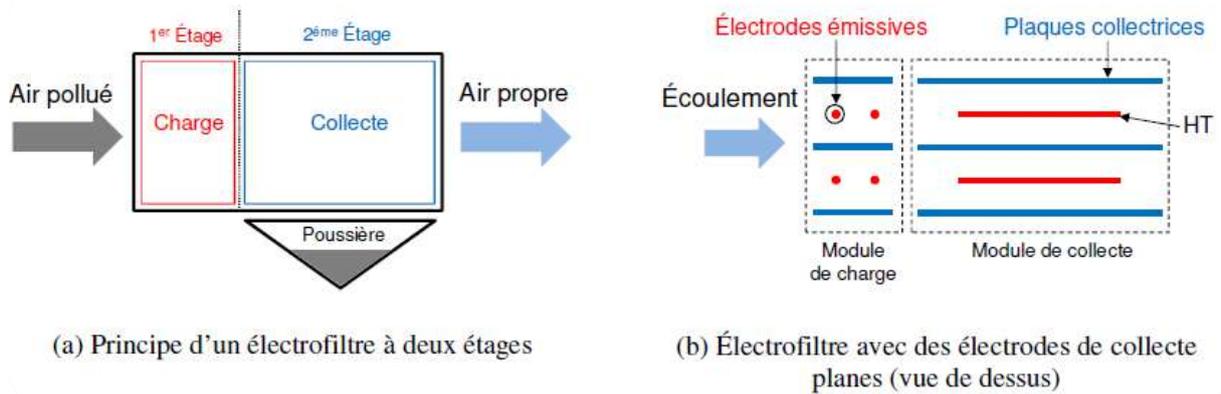


**Figure I.4** : Electro filtres classiques à un étage : (a) fil / plan [11] et (b) fil / cylindre [12]

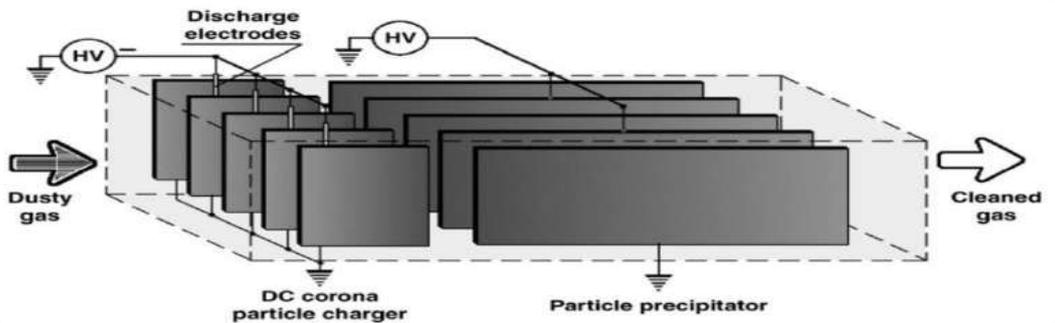
### I.3.3.2. Électro filtres à deux étages :

Les filtres électrostatiques à double étage ont une construction plus compliquée ce qui conduit à des coûts de fabrication plus élevés. C'est la principale raison pour laquelle ces appareils ont des dimensions réduites et sont utilisés principalement pour la filtration de l'air ambiant dans certains bâtiments et halles de production. Les deux sections d'un tel électro filtre sont alimentées séparément en tension ce qui nécessite en général une double source de tension ainsi que des câblages électriques séparés. Le premier étage nommé ioniseur, comporte des électrodes de décharge en forme de fil ou de tube. Les électrodes de collecte peuvent être soit

des plaques parallèles et équidistantes, soit des cylindres coaxiaux. La figure présente un précipitateur électrostatique à deux étages ayant des électrodes de collecte sous forme de plaques. Un problème pour ce type de précipitateurs est l'impossibilité d'utiliser le système de frappement car il provoque le renvoi des poussières non chargées. Le lavage des électrodes est donc adopté. Afin d'avoir une production d'ozone la plus faible possible, les électrodes couronne sont portées à un potentiel électrique de polarité positive [14].



**Figure I.5** : Schéma simplifié d'un précipitateur électrostatique à deux étages [12]



**Figure I.6** : Électro filtre de type plan / plan : à deux étages [11]

### I.3.3.3. Electro filtres humides :

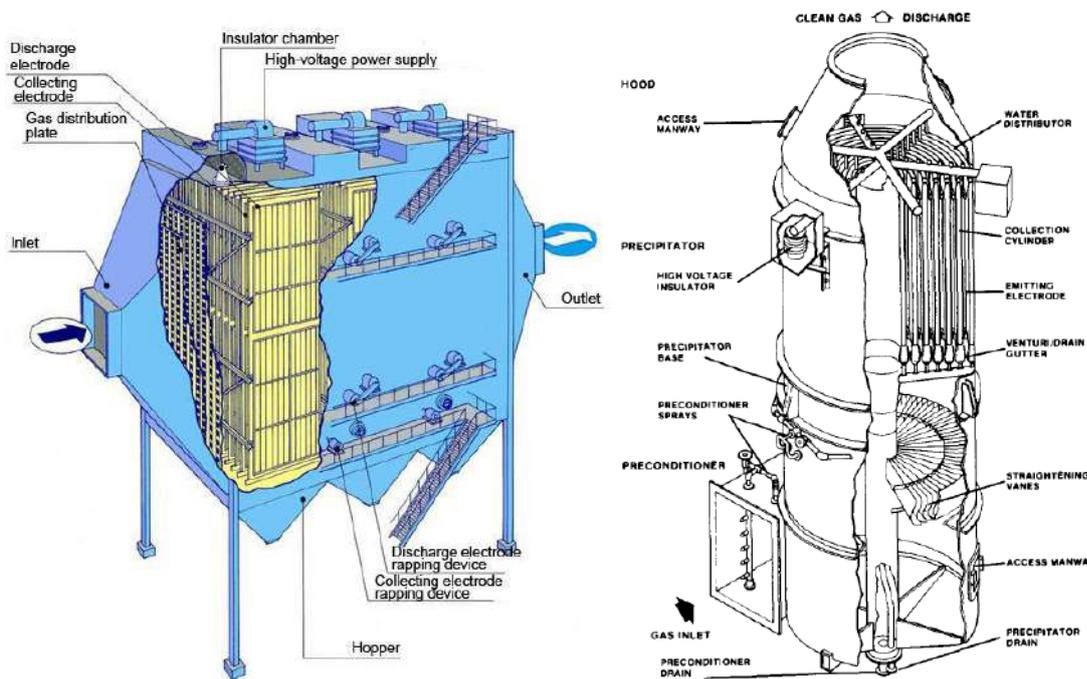
Les électro filtres humides fonctionnent avec des courants d'air saturés qui ont une humidité relative de 100%.

Les précipitateurs humides sont couramment utilisés pour éliminer les gouttelettes liquides, y compris l'huile, la résine, le goudron et le brouillard d'acide sulfurique, des flux de gaz dans les milieux industriels. Ils sont appliqués là où les gaz sont chargés d'humidité, contiennent des particules combustibles ou ont des particules qui peuvent être collantes. L'avantage d'utiliser un ESP mouillé est qu'il n'a pas de problèmes de réentraînement au rap ou de corona arrière. [13]

**I.3.3.4. Electro filtres secs :**

Les précipitateurs électrostatiques secs fonctionnent au-dessus du point de rosée du flux gazeux pour éliminer les impuretés de la fumée et de la poussière, Le terme sec est utilisé parce que les particules sont chargées et collectées dans un état sec et sont éliminées par rap.

La plupart des précipitateurs électrostatiques fonctionnent à sec et utilisent des rappeurs pour éliminer les particules collectées, contrairement au lavage à l'eau utilisé avec des ESP humides. Il résiste bien aux températures élevées et il a un bon rendement. [15]



**Figure I.7 :** Electro filtres : (a) sec [16] et (b) humide [17]

**I.3.4. Catégories des filtres industriels :**

Type de précipitation	Principe d'épuration
Séparateur mécanique	Forces d'inertie, de pesanteur et de centrifugation
Séparateur hydraulique	Mise en contact des particules avec le liquide de lavage (forces d'inertie, de pesanteur et de centrifugation)
Séparateur filtrant	Le flux traverse une couche de matière solide ou un lit granulaire consistant en un empilement de grains (sable, gravier, alumine...)

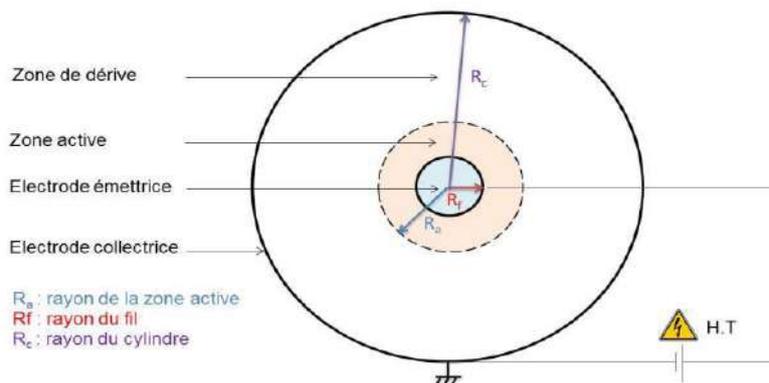
Séparateur électrique	Charger les particules dans le gaz ; collecter les particules chargées par le champ électrique ; enlever les poussières captées
-----------------------	---

**Tableau I.4 :** Catégories des précipitateurs industriels

### I.3.5. La décharge couronne :

La décharge couronne est une décharge non-homogène en milieu gazeux, à pression atmosphérique et en champ non-uniforme. Cette décharge se produit pour un champ électrique élevé, mais non-disruptif et se caractérise par une gaine lumineuse qui a donné lieu à l'expression d'effet couronne. Elle se développe, en général, depuis une électrode ayant un faible rayon de courbure. Les géométries les plus courantes sont : pointe / plan, fil / cylindre, fil / plan, sphère / plan, etc. L'espace inter-électrodes est divisible en deux zones [18] :

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



**Figure I.8:** Représentation schématique de la décharge couronne (géométrie fil / cylindre)[18]

La décharge couronne se caractérise par des phénomènes de nature optique, acoustique et électrique qui dépendent de trois classes de paramètres :

- Électriques tels que la nature et la polarité de la tension appliquée à l'électrode active.
- Géométriques tels que la forme, et les dimensions des électrodes ainsi que la distance inter-électrodes.
- Physiques, liés à la nature du gaz inter-électrodes, à sa densité, à sa pression, à sa température et à sa teneur en vapeur d'eau et en impuretés. Le (ou les) matériau(x) constituant les électrodes jouent également un rôle non négligeable.

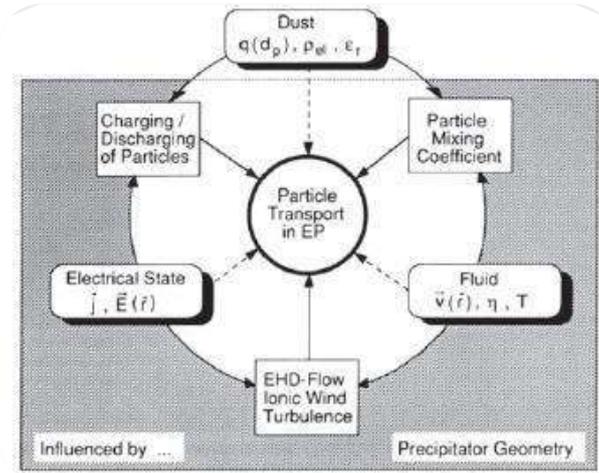


Figure I.9: Paramètres influençant sur la décharge couronne [19]

**I .3.5.1. En Polarité négative**

Dans le cas d'une décharge négative, l'avalanche électronique se développe depuis la cathode vers l'extérieur. Elle s'arrête au rayon critique. Les électrons fournis par l'avalanche s'attachent aux molécules neutres de la zone de dérive pour former des ions négatifs. Les ions positifs, se concentrent au voisinage immédiat de l'électrode active. Cette décharge présente l'inconvénient de produire des molécules d'ozone. [20]

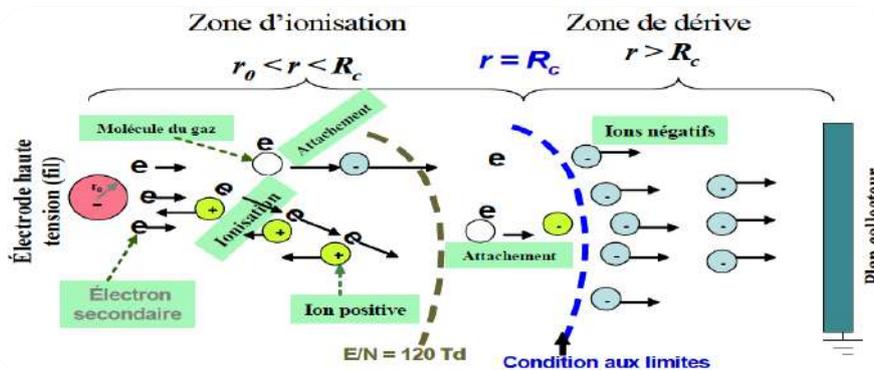


Figure I .10 : Descriptif de la décharge couronne négative [19]

**I .3.5.2. En polarité positive**

Pour une décharge positive, les avalanches électroniques prennent naissance dans zone interne au rayon critique et se développent vers la cathode. Au-delà du rayon critique il ne reste qu'un nuage d'ions positifs. Ces derniers beaucoup moins mobiles (400 fois moins mobiles que les électrons [8]) ne peuvent générer une ionisation supplémentaire.

En polarité positive, les ions produisent une charge d'espace importante dans la zone de fort champ électrostatique, il en résulte un claquage plus rapide ainsi pour un gaz donné, la décharge électrique négative est la plus stable [20]

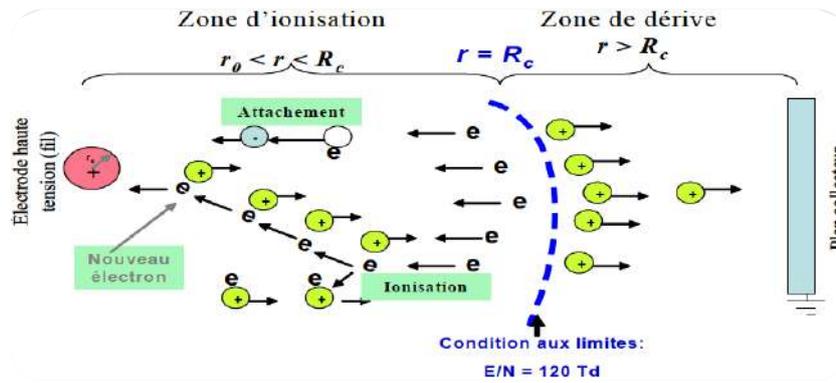


Figure I.11 : Descriptif de la décharge couronne positive [19]

### I.3.5.3. Modèle mathématique :

En utilisant l'équation donnée par Cooperman [19], on peut déterminer le champ seuil  $E_s$  de la décharge couronne à la surface de la nappe, où le système nappe de fils- deux plans est équivalent à un système cylindrique coaxiale (fil- cylindre) :

$$E = \frac{u}{r \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right)} \left(\frac{KV}{M}\right) \tag{1.1}$$

$$\text{Avec ; } R = \frac{a}{2\pi} \exp\left(\frac{\pi d}{a}\right) \tag{1.2}$$

$r$  : rayon du conducteur actif ;

$a$  : distance entre deux fils voisins ;

$d$  : distance nappe – plan ;

$R$  : Rayon équivalent du cylindre.

### I.3.6. Les particules chargées :

#### I.3.6.1. Mécanisme de charge de particules :

Les fines particules en suspension dans l'air recueillent des charges électriques grâce à plusieurs mécanismes qui sont : [21]

- La charge « naturelle » par attachement des ions existant dans l'atmosphère.
- La tribo électrisation qui regroupe la charge par contact et la charge par frottement.
- La charge par charge d'espace ionique qui regroupe la charge par champ, la charge par diffusion et la charge mixte ; les ions gazeux étant produits dans ce cas principalement à l'aide d'une source radioactive ou d'une décharge électrique.

La densité d'ion peut être unipolaire (positive ou négative utilisée pour la charge des particules) ou bipolaire (utilisée pour la neutralisation de l'aérosol).

#### I.3.6.2 Forces à l'origine de la migration des particules chargées :

Les particules dans la nature peuvent être soumises à diverses forces :

- Les forces de volume (force de flottabilité, force électrique, force magnétique) ;

- Les forces de surface (force diélectrophorétique, force de traînée).

<b>La force électrostatique</b>	$\vec{F}_e = q_s \cdot \vec{E}$	1.3
<b>La force d'Archimède</b>	$\vec{F}_a = -\rho_g \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot r_p^3}{3} \cdot \vec{g}$	1.4
<b>La force de pesanteur</b>	$\vec{F}_g = -m_p \cdot \vec{g}$	1.5
<b>La force de traînée</b>	$\vec{F}_d = -3 \cdot \pi \cdot \eta_g \cdot d_p \cdot \vec{W}$	1.6
	$\vec{F}_d = -3 \cdot \pi \cdot \eta_g \cdot d_p \left(\frac{1}{Cu}\right) \cdot \vec{W}$	1.7
	<p>Facteur de Cunningham :</p> $Cu = 1 + 1.246 \cdot \frac{2 \cdot \lambda}{d_p} \cdot \exp\left(-0.87 \cdot \frac{d_p}{2 \cdot \lambda}\right)$ <p>Si <math>Re \ll 1</math> et <math>d_p &lt; 20 \mu m</math></p> <p>Coefficient de traînée : <math>C_W = \frac{24}{Re}</math></p> <p>Nombre de Reynolds :</p> $Re = \frac{d_p \cdot \vec{W}}{v_g}$	1.8

**Tableau I.5 :** Les forces de la migration des particules chargées [22]

Avec :  $\vec{W}$  la vitesse de la particule (m/s),  $\eta_g$  viscosité dynamique du gaz (Pa/s),  $v_g$  viscosité cinématique du gaz (m<sup>2</sup>/s),  $\rho_g$  masse volumique du gaz (kg/m<sup>3</sup>),  $\vec{g}$  accélération (m/s<sup>2</sup>),  $m_p$  masse de la particule (g).

### I.3.6.3. Migration des particules chargées :

Les particules chargées dans un gaz, de même type et en absence de forces extérieures, n'ont aucune direction privilégiée. Si on applique un champ électrique  $E^{\rightarrow}$  à ces particules, celles-ci vont alors se déplacer dans la direction de la force induite par le champ électrique. La vitesse avec laquelle elles se déplacent dans la direction du champ électrique est appelée vitesse de dérive, notée par  $v^{\rightarrow}$  :

$$\vec{v} = k \cdot \vec{E} \quad (1.9)$$

$$k = \frac{q}{3\pi\eta d_p} \quad (1.10)$$

q : est la charge portée par la particule,

$d_p$  : Le diamètre de la particule,

$\eta$  : La viscosité dynamique du gaz

Où  $k$  représente la mobilité de ce type de particules.

La mobilité des électrons et des ions dans un gaz est une fonction complexe de la densité des molécules du gaz, des espèces constituant le gaz et du champ électrique  $E \vec{r}$  appliqué. Il existe une grande différence d'ordre de grandeur entre les vitesses de dérive électroniques et ioniques, à savoir que la vitesse de dérive des électrons est de l'ordre de  $10^7$  pour les valeurs du champ réduit  $E_r$  voisine de  $10^{-20} \text{ V.m}^{-1}.\text{Torr}^{-1}$ , soit beaucoup plus grande que celle des ions qui est de l'ordre  $10^5 \text{ cm.s}^{-1}$  dans les mêmes conditions.

La topographie du champ électrique est la représentation graphique de la distribution du champ électrostatique et du potentiel électrostatique. Cette représentation permet de connaître les caractéristiques qualitatives du précipitateurs électrostatique, notamment la trajectoire des particules chargées électriquement sous l'action du champ électrique et la variation de la force électrique. [23]

### **I .3.7. Les phénomènes de fonctionnement d'un électro filtre :**

#### **I .3.7.1. Modèles du fonctionnement :**

Au cours du temps, de nombreux travaux ont été menés pour créer des modèles théoriques capables d'offrir des informations sur le rendement et le fonctionnement de certaines installations. Au début il y a eu des approches simples (laminaire et turbulent...), semi-empiriques, qui ont leurs racines dans l'observation directe du fonctionnement des électro filtres existants. Ce sont les modèles qu'on appelle analytiques (Deutsch) ; ils permettent de décrire l'efficacité de collecte en fonction de paramètres géométriques, électriques et mécaniques [7]. De nos jours, le développement des moyens de calcul a permis de développer des modèles numériques, basés sur la simulation des phénomènes produits au sein d'un électro filtre.

- **Modèles numériques :**

- L'équation de maxwell :

$$\nabla \cdot \vec{E} = \pm \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (1.11)$$

- L'équation de continuité du courant :

$$\nabla \cdot \vec{J} = 0 \quad (1.12)$$

- L'équation de la densité de courant :

$$\vec{J} = \pm \rho \cdot \mu \cdot \vec{E} \quad (1.13)$$

- L'équation de champ :

$$\vec{E} = -\nabla\varphi \quad (1.14)$$

- En remplaçant (1.14) dans (1.11), on obtient l'équation de Poisson :

$$\nabla^2 \varphi = \pm \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (1.15)$$

Où :

- $\vec{E}$  est le vecteur champ électrique (V/m). Le signe dans l'équation (1.11) est positif si l'électrode active est soumise à une tension de polarité positive et négative dans le cas contraire.
- $\varphi$  est le potentiel électrique (V)
- $\rho$  est la densité de la charge d'espace (C/m<sup>3</sup>), elle est toujours positive.
- $\vec{J}$  est le vecteur de densité de courant (A/m<sup>2</sup>). Le signe dans (1.13) est positif si la tension appliquée est de polarité positive et négatif dans le cas contraire.
- $\mu$  est la mobilité des ions positifs ou négatifs selon la polarité de l'électrode active (m<sup>2</sup>/Vs).
- $\epsilon_0$  est la permittivité de l'air,  $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$  (F/m)

### I .3.7.2. Les paramètres influençant sur l'électro filtre :

#### I .3.7.2.1. Le réentraînement :

Les propriétés physico-chimiques des poussières traitées sont d'une importance capitale. En effet, l'efficacité de filtration d'un ESP va dépendre de la résistivité des poussières traitées [11], [13]. Pour une résistivité comprise entre 10<sup>2</sup> Ω. Cm et 3.10<sup>8</sup> Ω. Cm, l'ESP sera considéré comme étant dans des conditions optimales de fonctionnement.

Le réentraînement dépend de la vitesse du flux gazeux, de la cohésion des particules, du type d'écoulement, des forces électrostatiques, de la densité de courant ou encore des phénomènes de contre émission [10].

#### I .3.7.2.2. Contre émission :

La contre-émission est un terme décrivant la décharge électrique locale sur une électrode normalement passive dans le système lorsque celle-ci est recouverte de poussières faiblement conductrices.

#### I .3.7.2.3. Les back corona :

Si la résistivité est élevée, le phénomène de contre émission appelé back corona se développe et occasionne une chute du rendement.

L'apparition et la formation de back corona est un paramètre difficile à contrôler, dépendant de la tension et du courant de décharge et qui affecte considérablement l'efficacité des électrofiltres [14].



**Figure I.12 :** Photographies de back corona [14]

#### I .3.7.2.4. Interaction Electro-hydrodynamique :

La précipitation électrostatique implique l'interaction entre un champ électrique et un flux gazeux neutre. Cette interaction est appelée électro-hydrodynamique et est définie par un nombre adimensionnel  $N_{EHD}$  [15]

$$N_{EHD} = \frac{J \cdot D}{\rho_g \cdot u_g^2 \cdot \mu_i} \quad (1.16)$$

$D$  : la distance entre les électrodes de collecte (m)

$\frac{J \cdot D}{\mu_i}$  : L'énergie de la charge électrique des ions qui se déplacent dans le champ électrique.

$\rho_g$  Et  $u_g^2$  : l'énergie cinétique du flux gazeux neutre.

Il est possible de définir si l'efficacité de précipitation est favorisée par la décharge électrique ( $N_{EHD} > 1$ ), ou si c'est la turbulence du flux gazeux qui est le facteur contribuant ( $N_{EHD} < 1$ ).

### I.3.7.3. Efficacité de collecte d'un électro filtre :

L'efficacité de collecte globale  $\eta_t$  de tout système de traitement de gaz, en dépit de son type peut être déterminée grâce à la formule ci-après :

$$\eta_t = 1 - \frac{ns}{ne} \quad (1.17)$$

Où  $ne$  et  $ns$  représentent respectivement, le nombre global de particules à l'entrée et à la sortie du filtre. L'efficacité de collecte peut également être déterminée à partir de la concentration ( $c$ ) et de la masse de particules ( $m$ ). Généralement, le rendement de collecte d'un précipitateurs électrostatique est élevé, approchant les 100%. Plusieurs installations ont des rendements de 98% et de 99%. Quelques matières s'ionisent plus facilement que d'autres et sont ainsi plus appropriés pour l'élimination par précipitation électrostatique. [20]

### I.3.8. Conditions du choix d'un précipitateurs électrostatique :

Lorsqu'il s'agit de choisir un système de précipitation électrostatique pour éliminer la pollution en suspension dans un courant gazeux, il est important de tenir compte des éléments suivants : [21]

#### ➤ Caractéristiques des particules :

- Dimension, formes réelles et densité des particules ;
- Propriétés physico-chimiques : adhésivité, hygroscopie, tendance à l'agglomération, fluidité, conductivité électrique, inflammabilité, toxicité, etc.

#### ➤ Caractéristiques du gaz porteur :

- Température, pression et humidité ;
- Propriétés physique : densité, point de rosée des composés condensable viscosité, conductivité électrique, inflammabilité, toxicité, etc.

#### ➤ Caractéristiques du procédé :

- Flux de gaz constant ou variable ;
- Débit volumique gazeux ;
- Concentration des particules ;
- Rendement de captation exigé ;
- Perte de charge permise ;
- Qualité exigée pour les produits.

**➤ Caractéristiques de fonctionnement :**

- Entretien et continuité du fonctionnement ;
- Sécurité et protection sanitaire ;
- Utilisation finale des substances recueillies.
- Limites structurales (surface au sol et hauteur libre) ;
- Limites physiques (pression, température) ;
- Service d'entretien anticorrosion.

**I.3.9. Application de précipitateurs industriels :**

Les applications importantes des précipitateurs électrostatiques dans les industries sont énumérées ci-dessous : [22]

**➤ Cimenteries :**

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

**➤ Moulins à pulpe et à papier :**

- récupération des fumées de soude dans les moulins à pulpe de kraft ;

**➤ Aciéries :**

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

**➤ Industrie de métaux non ferreux :**

- Récupération des matières valorisables des gaz d'échappement ;
- Collecte de la brume acide ;

**➤ Industrie chimique :**

- Collecte des brumes d'acides sulfurique et phosphorique ;
- Nettoyage de divers types de gaz, tels que l'hydrogène, le CO<sub>2</sub> et le SO<sub>2</sub>;
- Elimination des fines particules du phosphore élémentaire en état vapeur ;

**➤ Industrie pétrolière :**

- Récupération des fines particules des catalyseurs ;

**➤ Industrie du carbone noir :**

- Agglomération et collecte du carbone noir ;

**➤ Centrales électriques :**

- Collecte des cendres volantes des chaudières chauffées à la houille.

**➤ Coté médical :**

- élimination des bactéries et des champignons dans les établissements médicaux et les installations de production pharmaceutique.
- purifier l'air dans les systèmes de ventilation et de climatisation.

**I.3.10. Les avantages et les inconvénients d'un électro filtre :****I.3.10.1. Les avantages : [23]**

- Il protège le personnel ou limite les impacts sur l'environnement par une équation des gaz rejeté dans l'atmosphère.
- Il est très efficace pour réduire la pollution des particules, y compris les particules dont la taille avoisine 1 micron (0,00004 pouce) de diamètre, et certains précipitateurs peuvent éliminer les particules de 0,01 micron de diamètre. De plus, ils peuvent manipuler de grands volumes de gaz à différentes températures et débits, éliminant ainsi les particules solides ou les gouttelettes liquides donc ; Pouvoir de séparation élevé, même dans la plage des particules fines. Ou bien il récupéré sous certaines conditions des poussières, des matériaux à partir du flux de gaz qui peuvent présenter une valeur marchande et être valorisées par réutilisation ou par recyclage.
- Faibles coûts de fonctionnement en raison de pertes de charge peu importantes et d'un entretien minime. (Longue durée de vie et grande disponibilité).

**I.3.10.2. Les inconvénients : [24]**

- Risques électriques ;
- Performances limitées pour capter certains types de poussières ou les très fines et pour l'abattement des polluants gazeux ;
- Risques d'inflammation et d'explosion suivant les caractéristiques du gaz et des poussières.
- Induit coût génie civil plus élevé, lorsque le filtre est placé à l'intérieur
- Nécessite habilitation électrique pour entretien
- Nuisances acoustiques

**I.3.11. Recherche et Innovation autour des précipitateurs électrostatiques :**

Le développement actuel des précipitateurs électrostatiques s'articule autour de trois axes :

- L'élargissement des situations d'usage (automobile, particuliers et entreprises).

- Les solutions pour traiter les poussières de haute/basse résistivité ainsi que les gaz à forte densité de pollution. [25]
- La simulation numérique de phénomènes complexes comme la turbulence dans l'ESP ou les mécanismes de charge et déposition des particules. [26]

#### **I .4.Conclusion :**

La pollution de l'air par les émissions industrielles ou par les moyens de transports représente une nuisance pour les citoyens mais aussi une source de dégradation de l'environnement à l'échelle de la planète. On distingue plusieurs vecteurs de la pollution atmosphérique au nombre desquels les aérosols liquides ou solides occupent une place de choix. Leur degré de toxicité est directement lié à leurs tailles.

Parmi les techniques de traitement des particules en suspension dans l'air existantes, la précipitation électrostatique se révèle être la plus prometteuse en matière de captation des plus fines particules. Généralement les précipitateurs électrostatiques industriels utilisent une décharge volumique à pression atmosphérique. La plus répandue est la couronne volumique dont les avantages ne sont plus à démontrer. Néanmoins, les rares inconvénients de cette décharge obligent à s'intéresser à la décharge à barrière diélectrique. [24]

Dans ce chapitre, nous avons traité les phénomènes physiques de la précipitation électrostatique, De plus, les modèles de fonctionnement des électro filtres ont été présentés et critiqués. Dans le cadre de cette étude, nous allons étudier la faisabilité de l'électro filtration de la façon suivante :

- Un électro filtre de type fil-cylindre concentriques, conçu et réalisé dans notre laboratoire, va être testé, un ensemble de données expérimentales concernant le fonctionnement électrique et les performances de filtration seront alors à notre disposition.
- Un modèle numérique pour prédire l'efficacité de filtration et les paramètres électriques, va être développé et éprouvé avec les mesures expérimentales et les données de la littérature.

Le chapitre suivant présente les moyens expérimentaux mis en œuvre pour réaliser les objectifs de cette étude. Ainsi, l'installation expérimentale, les techniques et les moyens de mesures seront détaillés.

# **CHAPITRE II**

## **Description du model expérimental**



« Il est dramatique qu'il y ait si peu de femmes impliquées dans la science ... Il y a une idée fausse en Amérique que les femmes scientifiques sont toutes des femmes célibataires, c'est la faute des hommes. »

Chien-Shiung Wu

## II.1 Introduction :

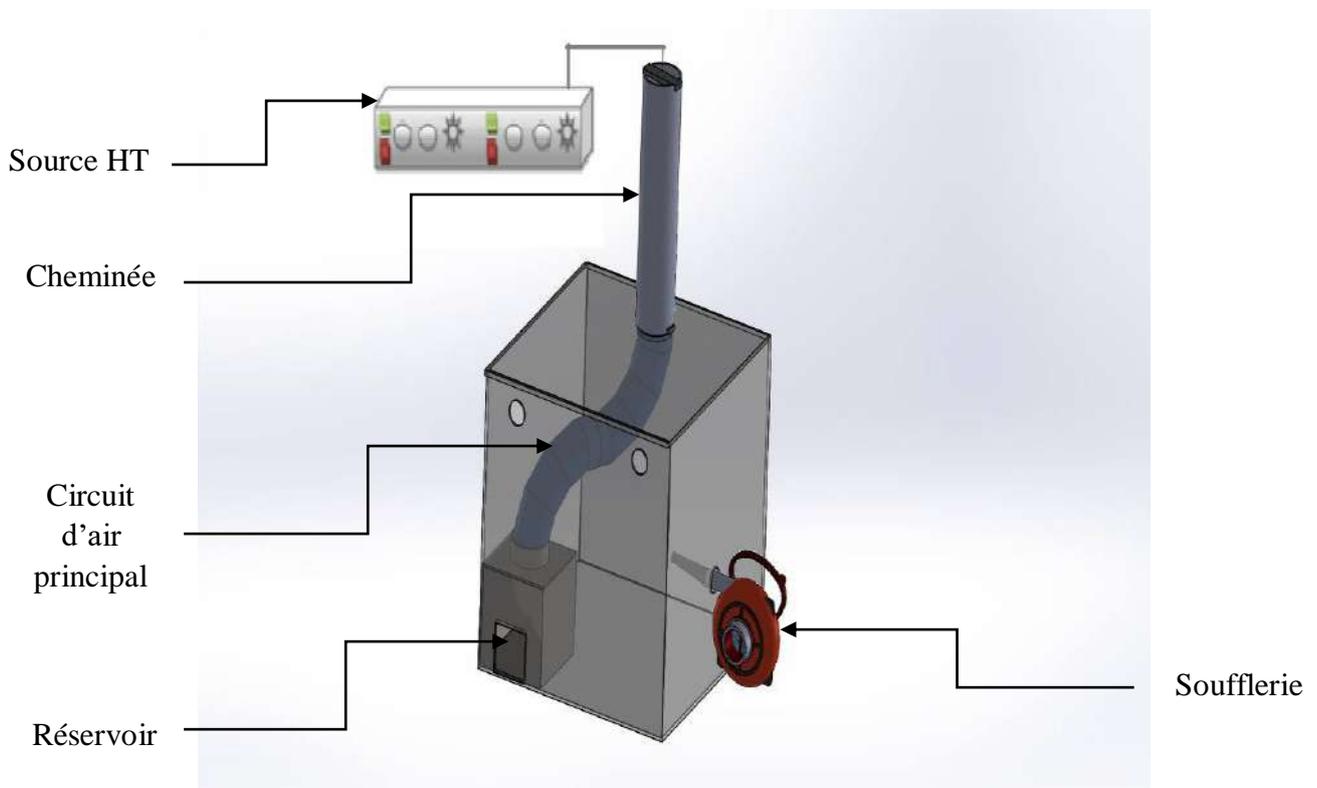
Les travaux ont été réalisés dans le laboratoire d'électrotechnique de l'Université Belhadj Bouchaib à Ain Temouchent .

Ce chapitre est dédié à la description du dispositif expérimental ainsi qu'au principe de fonctionnement utilisé dans nos recherches utilisant divers matériaux, détaillant le mode de fonctionnement pas à pas des expériences.

## II .2. Dispositif expérimental :

Le dispositif d'essai est illustré à la Figure (II.1). Il se compose de quatre parties :

- 1- Mélange air-particules (réservoir) : est le contenu dans lequel les polluants sont placés et peuvent être enflammés.
- 2- Circuit d'air principal : Le circuit d'air se compose d'un tube cylindrique en aluminium et d'une soufflerie qui aspire l'air ambiant et le délivre à un débit maximum de 1300 t / m.
- 3- Cheminée (filtre électrostatique) : Il se compose d'un cylindre en aluminium métallique d'un diamètre de 10 cm et d'une longueur de 50 cm, et est relié à la terre. L'électrode émettrice est constituée d'un fil central de nickel d'un diamètre de 0,40 mm.
- 4- Module d'alimentation: Il comprend l'alimentation (source HT).



**Figure II.1 :** Le Dispositif expérimental.

### II.3. Principe de fonctionnement :

Le principe de fonctionnement est simple, les polluants sont brûlés dans le réservoir. Une fois que la fumée pénètre dans le circuit d'air principal, elle se dirige vers la cheminée. Dans la cheminée, le fil est connecté à une source de tension continue, le cylindre est mis à la terre après l'application de la décharge corona, l'air sort propre.

### II.4. Les matériaux utilisés :

Le nom	L'image	Caractéristiques techniques	description
MCP regulated power supply		Tension : 220 V	est une alimentation stabilisée et un dispositif électronique généralement conçu pour être utilisé comme générateur idéal de tension et de courant
Autotransformateur		Tension : 260 V Courant continue : 8 A Courant alternative : 6 A	L'autotransformateur nous permet de réguler la vitesse du souffleur en variant la valeur de sa tension. La variation de la vitesse d'écoulement $v$ est obtenue en modifiant la tension d'alimentation du ventilateur ( $V_{al}$ ).

<p>Multimètre numérique</p>		<p>Tension : 9 V Fréquence : 50 Hz Puissance : 1.5*6 W</p>	<p>Un multimètre numérique est un outil de test utilisé pour mesurer deux ou plusieurs valeurs électriques, principalement la tension (volts), le courant (ampères) et la résistance (ohms). Il s'agit d'un outil de diagnostic standard pour les techniciens dans les domaines électrique et électronique</p>
<p>Station de soudure a air chaud</p>		<p>Volume d'air : 23l/min Tension : 220 V Puissance : 550 W Fréquence : 50 Hz Température :+952 k</p>	<p>Cet appareil est utilisé pour souder ou fondre des matériaux, tout comme nous fixons le fil au milieu du cylindre</p>
<p>Un souffleur</p>		<p>Tension : 220-240 V Fréquence : 50/60 Hz Puissance : 600 W Vitesse : 1300 Tr/min</p>	<p>Nous avons utilisé un souffleur pour assurer l'écoulement de la fumée à une certaine vitesse et même pour refroidir notre appareil.</p>

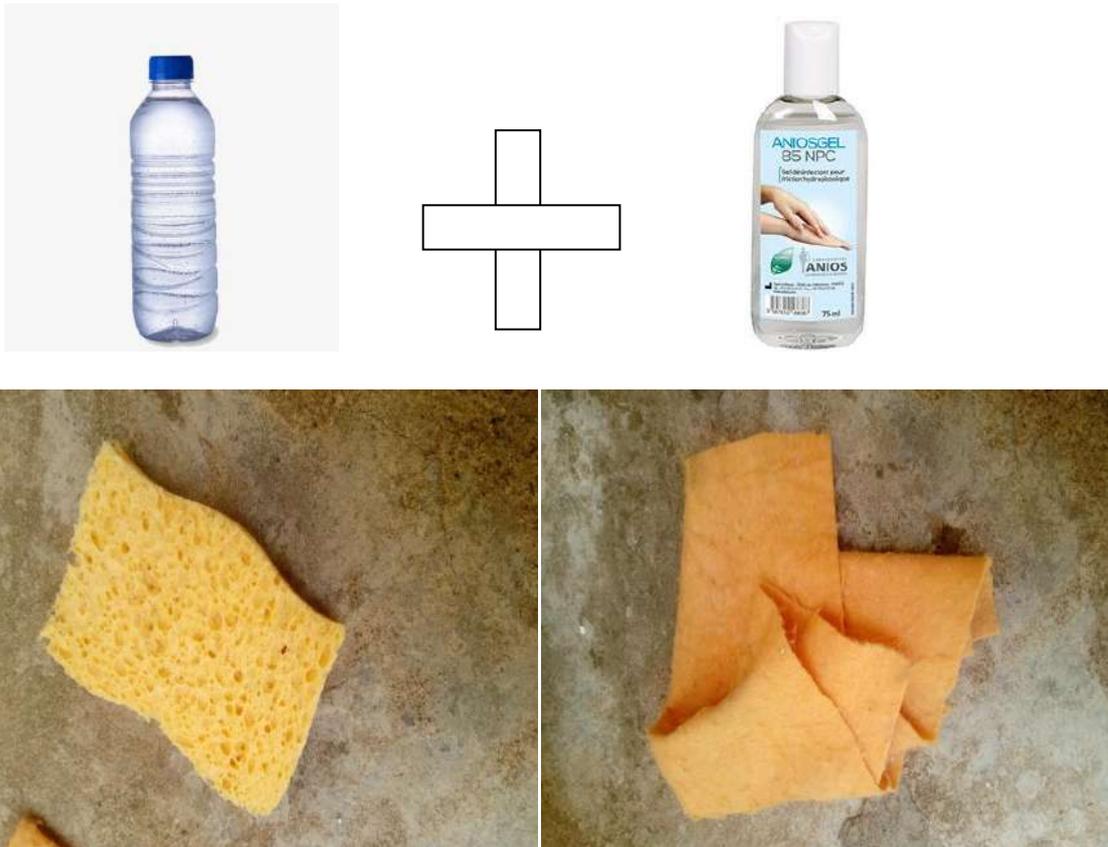
<p>Une perceuse</p>		<p>Tension : 220/240 V Fréquence : 50/60 Hz Puissance : 125 W</p>	<p>pour faire un trou dans le plexiglas et fixer le fil au milieu</p>
<p>Source d'alimentation</p>		<p>Fréquence : 48/53 Hz Tension : 220 V</p>	<p>une source de haute tension continue bipolaire délivre une tension variable entre 0 et 30 kV et de courant variable De 0 à 0.5 mA.</p>
<p>Analysante de fumé</p>		<p>Tension : 230 V Fréquence : 50/60 Hz Température : 10°C-40°C Puissance : 0.2 Kw</p>	<p>Analyser les composés dans la fumée</p>

Humidimètre		Température de service : -20 à +50 °C Type de pile : pile 9 V, 6F22	affiche les valeurs de température et d'humidité
Cylindre (aluminium)			est l'électrode collectrice, nous avons utilisé 15, 35 et 50 cm de longueur.
Fil (nickel)			Nous utilisons des fils de diamètre 0,40 et 0,45 cm pour passer la haute tension

Tableau II.1 : Les matériels utilisés

### II.5. Mode opératoire :

La mesure expérimentale réalisée dans notre laboratoire, d'une part, consiste à mesurer l'efficacité de filtration de différents types de fumées en modifiant plusieurs paramètres, d'autre part, il s'agit de mesurer les paramètres du filtre électrique. Avant chaque expérience, on dilue d'abord le gel d'alcool avec de l'eau, puis on nettoie soigneusement l'équipement avec un souffleur d'air comprimé propre.



**Figure II.2:** Le système de nettoyage d'un cylindre d'électro filtre.

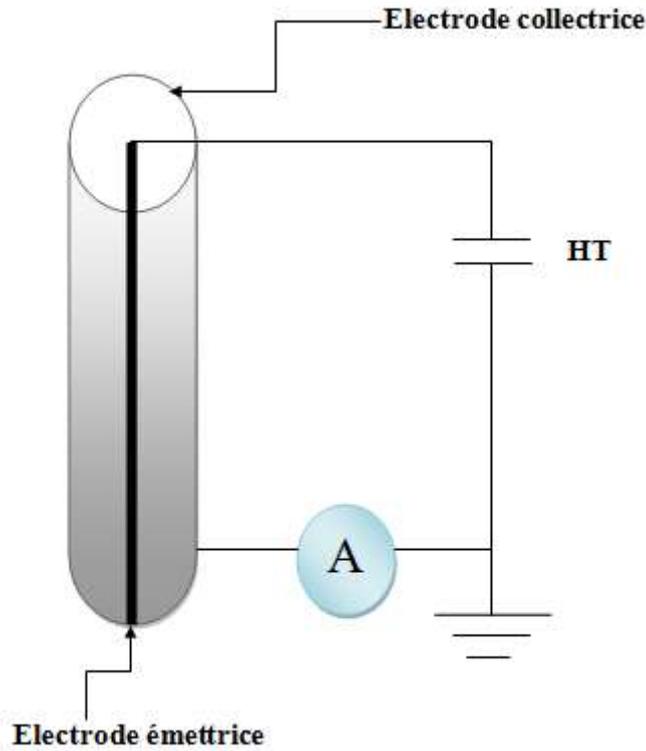
### II.5.1. Mesure du courant :

Dans notre expérience, nous avons deux cylindres en aluminium ( $L = 1\text{m}$ ,  $dc_1 = 10\text{cm}$ ,  $dc_2 = 8\text{cm}$ ) coupés en trois longueurs (15 cm, 35 cm et 50 cm) et du fil de nickel ( $D1 = 0.45\text{mm}$ ,  $D2 = 0,40\text{ mm}$ ) ; la longueur du fil dépend de la longueur du cylindre.

Dans des conditions climatiques normales, nous fixons le fil tendu au milieu du cylindre à travers un support en plexiglas Le support en plexiglas contient un trou pour saisir le fil et éviter les effets de points.

L'opération de mesure est la suivante :

- Nous appliquons un potentiel bipolaire continu au fil, puis nous mesurons la valeur du courant de décharge sur l'électrode externe (cylindre) mise à la terre par le multimètre. L'appareil est utilisé comme ampèremètre en série. Dans ce cas, il peut mesurer le courant moyen collecté au cylindre.



**Figure II.3 :** Le montage pour la caractéristique courant-tension

- Nous augmentons progressivement la tension appliquée au fil et mesurons le courant sur le cylindre. Nous fonctionnons de la même manière jusqu'à ce que on proche de la tension de claquage. Par conséquent, nous obtenons un ensemble de points tension-courant.

Nous avons dessiné un tableau contenant les valeurs de courant et de tension des deux polarités (en annexe).

### II.5.2 Caractéristique de la fumée choisie :

Pour mesurer les caractéristiques des gaz d'échappement avant et après filtration ; d'abord, nous avons déclenché la fumée, puis placé l'analyseur de gaz sous un support relié à la terre perpendiculaire à la cheminée, en laissant un certain espace pour éviter les effets de pointe où la fumée peut être détectée.

#### 1- Plateau d'œuf :

O <sub>2</sub>	CO	NO	Tg	Vcc	rH	H <sub>2</sub> c
1352.1 mV	58.3 mV	4 mV	80°c	7.12 V	7300 d	8d
10812 d	435 d	40 d			902.7 mV	1.03 mV

**Tableau II.2:** Les caractéristiques de gaz de fumée de plateau d'œuf avant filtration.



**Figure II.4 :** Plateau d'œuf

## 2- Tissus :

O <sub>2</sub>	CO	NO	Tg	Vcc	rH	H <sub>2</sub> c
1054 d	1644 d	28d	539 d	5649 d	6783 d	9d
7.12 mV	207.9 mV	3.5 mV	54°C	7.12 V	845.9 mV	1.1 mV

**Tableau II .3 :** Les caractéristiques de gaz de fumée de tissus avant filtration.



**Figure II.5 :** Tissus

## 3- Papier absorbant :

O <sub>2</sub>	CO	NO	Tg	Vcc	rH	H <sub>2</sub> c
10355d	1111d	29 d	1146 d	5657 d	6547 d	7 d
1300.9 mV	145 mV	3.6 mV	101°C	7.14 V	815 mV	0.9 mV

**Tableau II .4 :** Les caractéristiques de gaz de fumée de papier absorbant avant filtration.



**Figure II.6:** Papier absorbant

#### 4- Bouteille d'eau en plastique :

O <sub>2</sub>	CO	NO	Tg	Vcc	rH	H <sub>2</sub> c
10382 d	241 d	24 d	50.7 d	5647 d	6436 d	5 d
1305.6 mv	26.9 mV	3.4 mV	51 °c	7.12 V	802.1 mV	0.6 mV

**Tableau II .5 :** Les caractéristiques de gaz de fumée de Bouteille d'eau en plastique avant filtration.



**Figure II.7 :** Bouteille d'eau en plastique

#### 5- Bâton lunaire :

O <sub>2</sub>	CO	NO	Tg	Vcc	rH	H <sub>2</sub> c
10686 d	1358 d	35 d	282 d	7.14 d	6396 d	8 d
1319.6 mV	237.5 Mv	3.8 Mv	28.5 °c	5656 V	801.4 Mv	1 Mv

**Tableau II .6:** Les caractéristiques de gaz de fumée de bâton lunaire.



Figure II.8 : bâton lunaire.

**6- Le papier de journal :**

O <sub>2</sub>	CO	NO	Tg	Vcc	rH	H <sub>2</sub> c
11213 d	40 d	24 d	374 d	5647 d	8201 d	10 d
1400.8 mv	4.8 Mv	3 Mv	54 °c	7.12 V	1024.1 Mv	1.1 Mv

Tableau II .7: Les caractéristiques de gaz de fumée de papier de journal avant filtration.



Figure II.9 : Papier de journal

**7- Chambre à air :**

O <sub>2</sub>	CO	NO	Tg	Vcc	rH	H <sub>2</sub> c
10865 d	446 d	79 d	473 d	5700 d	10984 d	12 d
1366.5 Mv	50.5 Mv	12.5 Mv	52.5 °c	7.19 V	1375.7 Mv	1.4 Mv

Tableau II .8: Les caractéristiques de gaz de fumée de chambre à air avant filtration.



**Figure II.10 :** Chambre à air

### 8- Déchets de bois :

O <sub>2</sub>	CO	NO	Tg	Vcc	rH	H <sub>2</sub> c
11005 d	1256 d	27 d	471 d	5701 d	9433 d	12 d
1380 mv	164.1 Mv	3.1 Mv	51.5 °c	7.19 V	1169 Mv	1.4 Mv

**Tableau II .9:** Les caractéristiques de gaz de fumée de déchets de bois avant filtration.



**Figure II.11 :** Déchets de bois

Parmi ces types de fumée, selon la densité de la fumée, la couleur sombre pour faciliter la visualisation et le niveau de pollution, quatre types sont sélectionnés pour notre expérience. Visuellement, le poids est choisi en fonction de la quantité de fumée dégagée.

**1- Plateau d'œuf :(18 g)**

O <sub>2</sub>	CO	NO	Tg	Vcc	rH	H <sub>2</sub> c
1054 d	4644 d	48d	539 d	5649 d	6783 d	9d
7.12 Mv	507.9 Mv	6.1 Mv	54°C	7.12 V	845.9 Mv	1.1 Mv

**Tableau II.10** : Les caractéristiques de gaz de fumée de plateau d'œuf (18 g) avant filtration.**2- Chambre à air :**

O <sub>2</sub>	CO	NO	Tg	Vcc	rH	H <sub>2</sub> c
10865 d	446 d	79 d	473 d	5700 d	10984 d	12 d
1366.5 Mv	50.5 Mv	12.5 Mv	52.5 °c	7.19 V	1375.7 Mv	1.4 Mv

**Tableau II .11** : Les caractéristiques de gaz de fumée de chambre à air avant filtration.**3- Papier de journal : 19g**

O <sub>2</sub>	CO	NO	Tg	Vcc	rH	H <sub>2</sub> c
959 d	4256 d	57 d	671 d	5701 d	9433 d	15 d
1003 Mv	264.1 Mv	7.1 Mv	71.5 °c	7.19 v	1169 Mv	1.9 Mv

**Tableau II .12** : Les caractéristiques de gaz de fumée de papier de journal (19 g) avant filtration.**4- Tissus : 15g**

O <sub>2</sub>	CO	NO	Tg	Vcc	rH	H <sub>2</sub> c
1005 d	3256 d	77 d	871 d	5701 d	9433 d	12 d
380 Mv	464.1 Mv	9.9 Mv	81.5 °c	7.19 v	1169 Mv	1.4 Mv

**Tableau II.13:** Les caractéristiques de gaz de fumée de tissus (15 g) avant filtration.**II.5.3. Mesure d'efficacité :**

Afin de mesurer l'efficacité, nous avons choisi un filtre électrostatique (cylindre:  $dc = 10cm$ ,  $l = 50cm$ , fil :  $D = 0.4mm, L = 50cm$ ), nous avons ajouté un réservoir pour brûler les matériaux et un circuit d'air pour refroidir la fumée au filtre sélectionné pour protéger nos équipements.

En utilisant la mesure du courant, nous avons obtenu trois valeurs de tension pour lesquelles le câble est en bon état.

Ensuite, des précautions sont prises pour charger le système d'alimentation en fumées afin que le remplissage du cylindre soit uniforme sur toute la longueur. Cela garantit que le contenu est très constant tout au long de la période de semis.

Après avoir effectué ces vérifications, nous pouvons commencer l'essai

- Nous enregistrons la pression atmosphérique et la température de la journée
- Le mélange de particules d'air est mis en mouvement
- Nous attendons que l'ensemencement des particules devienne régulier
- Nous fixons l'une des tensions souhaitées
- Nous mesurons les valeurs des caractéristiques de la fumée. (Avant et après filtration).
- Nous répétons l'opération 2 à 3 fois, tant qu'il y a assez de fumée dans le bac pour assurer un ensemencement continu
- Nous mesurons les valeurs de courant en fonction de la tension
- L'appareil est alors éteint

Les résultats sont présentés sous forme de tableau qui reprend les conditions (température, pression) de la journée, en fonction du poids et des valeurs des courants et des tensions utilisées. (En annexe)

## **II.6. Conclusion :**

On peut dire que grâce à des manipulations effectuées sur notre précipitateur électrostatique, nous avons réussi à sélectionner la taille de fil et la taille de cylindre (longueur, diamètre) les plus favorables, et donc son efficacité de filtration.

Le dernier chapitre sera consacré aux résultats et à la discussion, ainsi qu'au traitement de simulation mis en œuvre dans nos travaux.

# **CHAPITRE III**

## **Résultats et discussions**



« La science, pour moi, donne une explication partielle de la vie, dans la mesure où elle évolue, qu'elle est basée sur des faits, d'expériences et d'expérimentations. »

Rosalind Franklin

### III.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons différents résultats expérimentaux obtenus avec la configuration fil-cylindre de l'ESP.

En premier lieu, il est nécessaire de déterminer les caractéristiques courant-tension sous plusieurs paramètres (effet de distance entre les électrodes, effet de polarité, etc.), ainsi que l'efficacité de filtrage du filtre électrostatique.

En deuxième lieu, la partie simulation visualise les phénomènes électrostatiques (potentiel électrique, champ électrique, densité de courant ...).

En dernier lieu, nous avons comparé la partie expérimentale avec la seconde partie de la modélisation numérique.

### III.2. Caractéristique Courant - Tension :

Nous avons étudié les caractéristiques courant-tension en fonction des paramètres suivants : la distance entre les électrodes, la nature de la tension appliquée  $V +$ ,  $V -$ , le nombre et le diamètre des fils.

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

1. La tension appliquée aux électrodes active (fils)  $V$ .
2. Le courant  $I$  collecté par la surface du cylindre.

#### III.2.1. Influence de la distance inter électrode sur la décharge couronne :

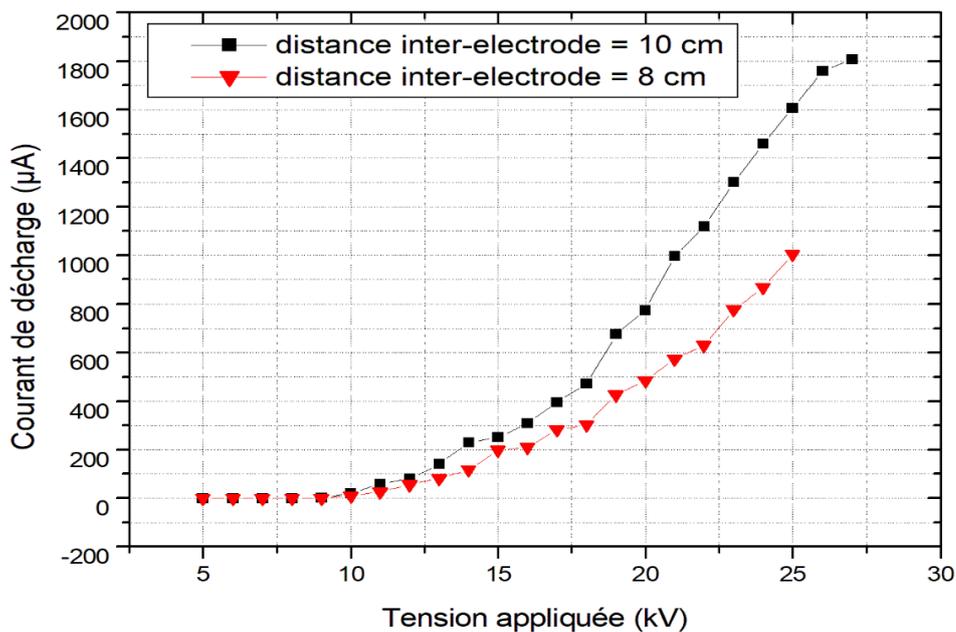
Les résultats des études expérimentales sur l'influence de la distance entre les électrodes du filtre électrostatique sur la décharge couronne de deux polarités sont présentés sur les figures (III.1) (III.2) pour la longueur  $L = 50$  cm, (III.3) (III.4) pour  $L = 35$  cm et (III.5) (III.6) pour  $L = 35$  cm.

Tout d'abord, le courant augmente graduellement avec la tension appliquée jusqu'au claquage. Le courant continu qui traverse l'espace inter-électrodes est une fonction non linéaire de la tension appliquée.

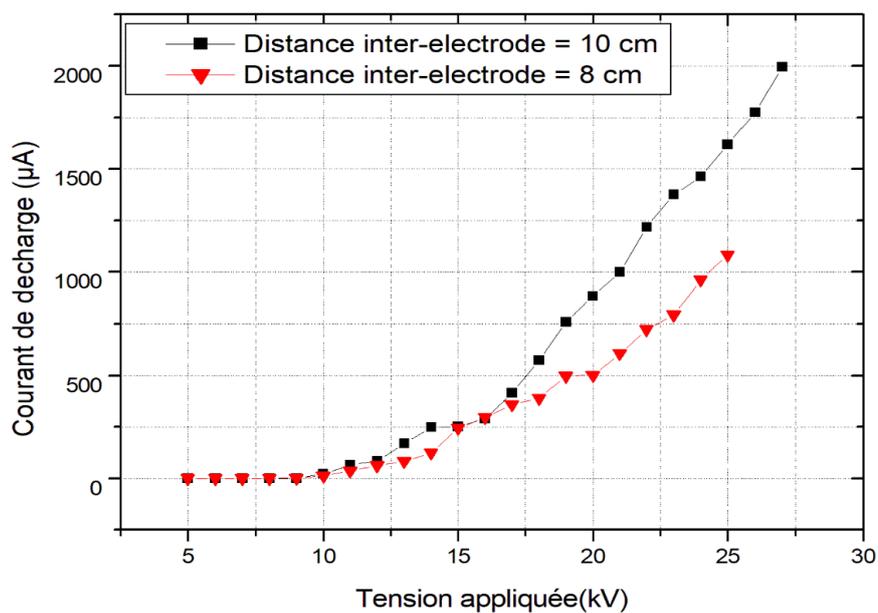
Ensuite, nous avons remarqué que le courant de décharge dans l'espace inter-électrode de 10 cm est supérieur à celui de l'espace inter-électrode de 8 cm. En outre, les seuils de décharge couronne apparaissent pour des valeurs de tension inférieures dans le cas de faible distance inter-électrode. De même, pour la longueur  $L = 50$  cm, la valeur du courant est supérieure aux autres longueurs ceci s'expliquent par le temps de collecte qui se augmente alors ils aident les

particules a atteint une charge limite donc une grand quantité sera collecté même le cambrement diminue.

- A cause des conditions climatiques non stables, distorsion de cylindre ou bien de filles résultats obtenue de cette expérience ne vérifie pas la théorie.
  - Par une comparaison simple des études réalisées par autres chercheurs on constate que l'augmentation de courant mesuré est plus rapide et atteint des valeurs plus grand lors des diamètres de cylindre plus petit alors le courant mesuré est inversement proportionnel a l'espace inter électrode.
  - Ce qui prouve que la configuration de diamètre de 10 cm est plus robuste pour notre dis positive car il assure une langue durée de décharge couronne et la tension de claquage est notamment supérieur a celle des autres diamètres.
- Pour L=50 cm

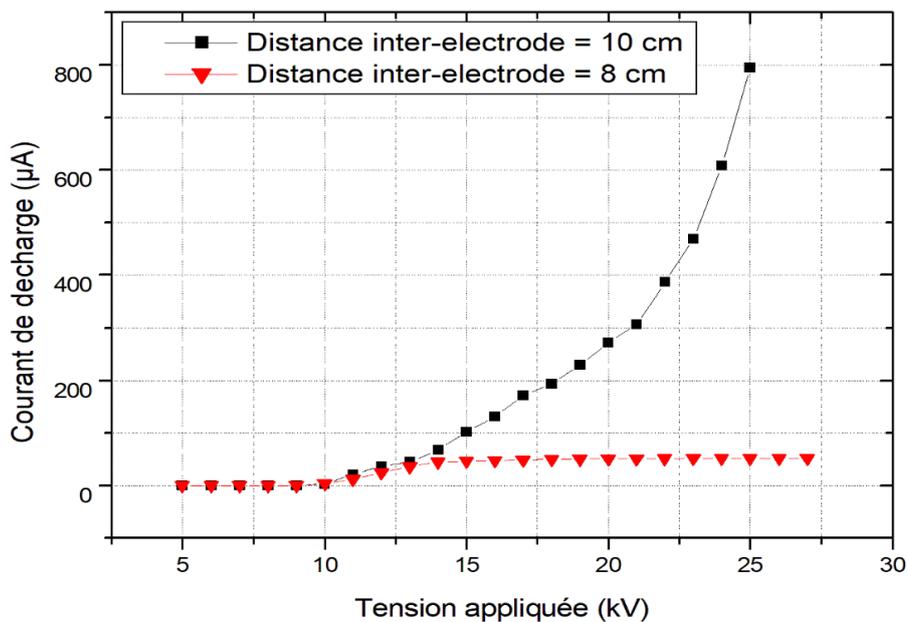


**Figure III.1** : Caractéristiques courant-tension de la distance inter-électrodes sur la décharge couronne positive.

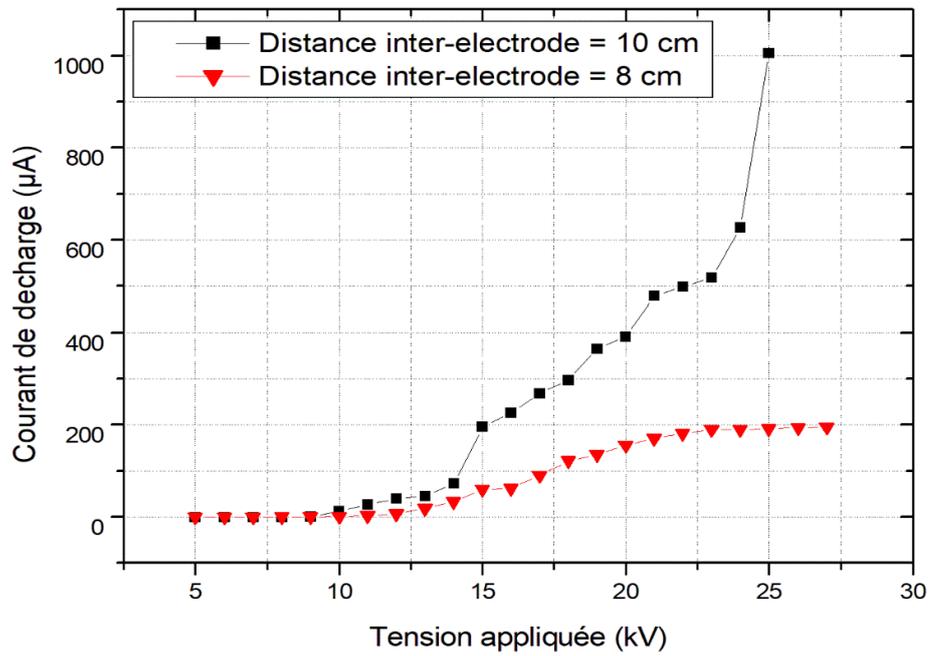


**Figure III.2 :** Caractéristiques courant-tension de la distance inter-électrodes sur la décharge couronne négative.

- Pour L=35 cm :

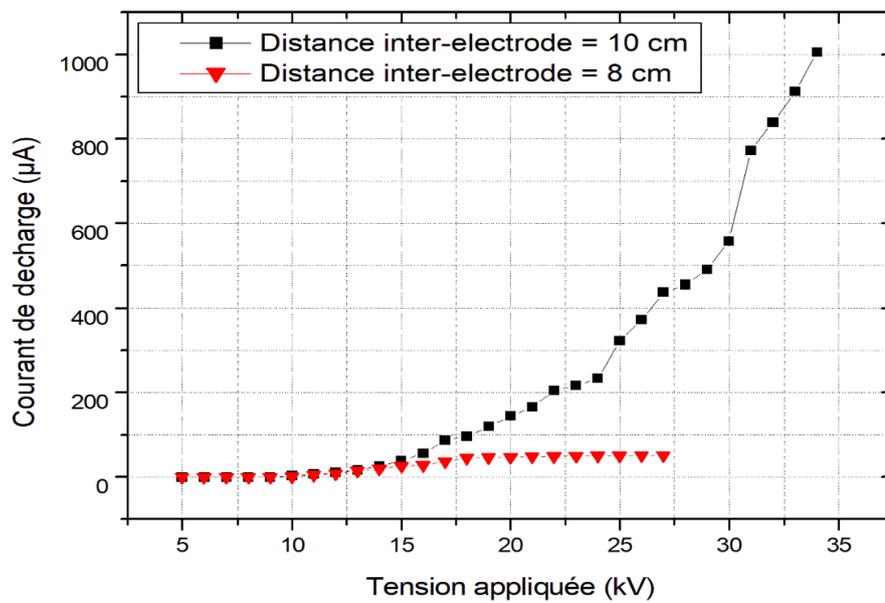


**Figure III.3 :** Caractéristiques courant-tension de la distance inter-électrodes sur la décharge couronne positive.

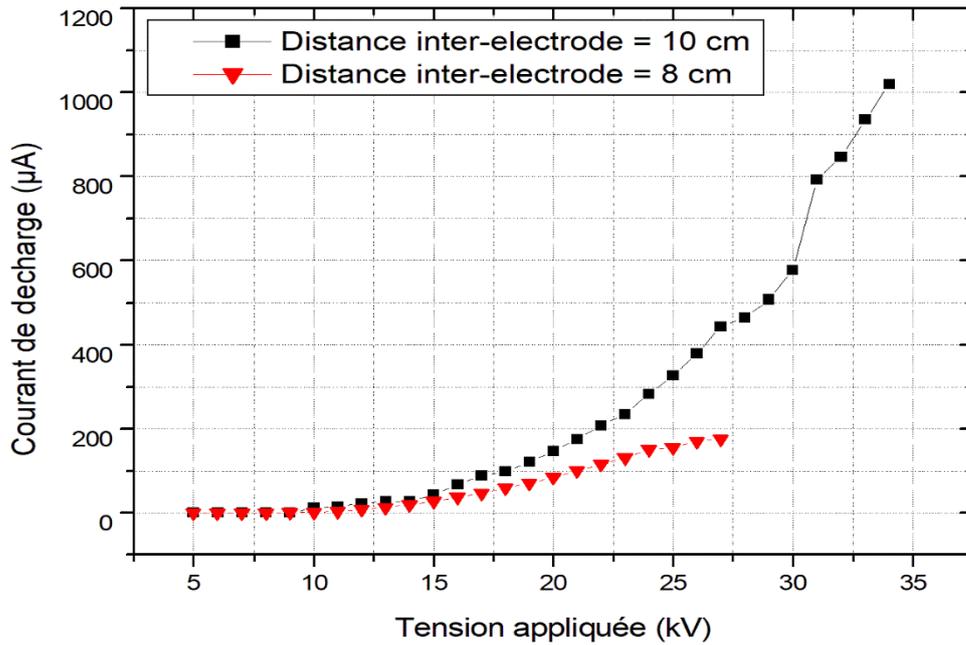


**Figure III.4:** Caractéristiques courant-tension de la distance inter-électrodes sur la décharge couronne négative.

- Pour L=15 cm :



**Figure III.5 :** Caractéristiques courant-tension de la distance inter-électrodes sur la décharge couronne positive.



**Figure III.6 :** Caractéristiques courant-tension de la distance inter-électrodes sur la décharge couronne négative.

### III.2.2. Influence du diamètre du fil sur la décharge couronne :

Les figures (III.7) (III.8) montrent l'effet du diamètre du fil sur la décharge électrique des deux polarités.

Il apparaît clairement que le diamètre du fil est inversement proportionnel à la décharge couronne. Ceci est tout à fait normal, car le champ électrique sur le fil est inversement proportionnel au rayon du fil  $E = \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot R}$ .

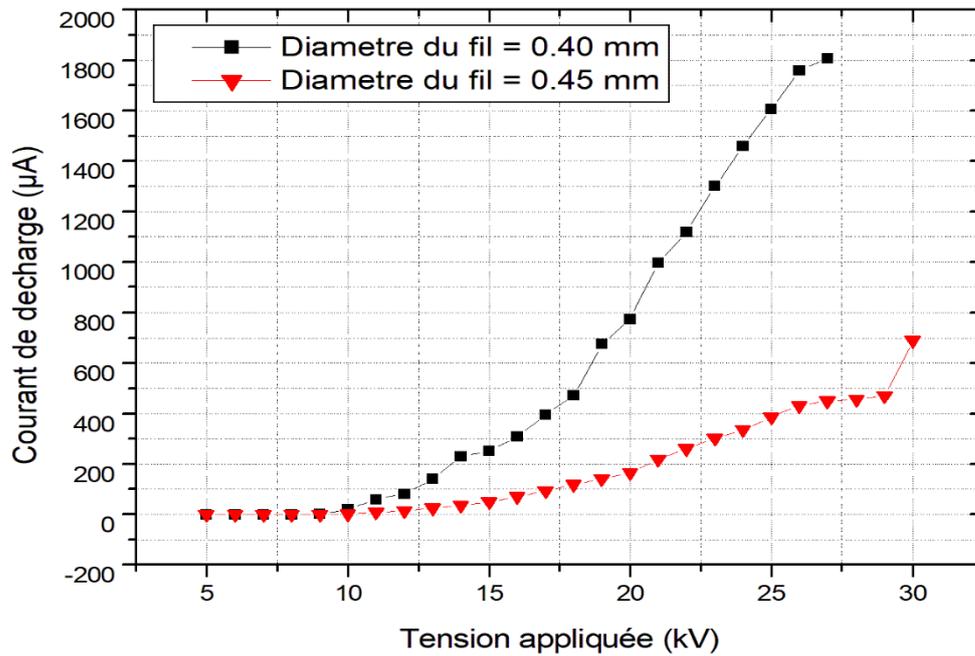


Figure III.7: Caractéristiques courant-tension pour deux diamètres de fil différents avec polarité positive.

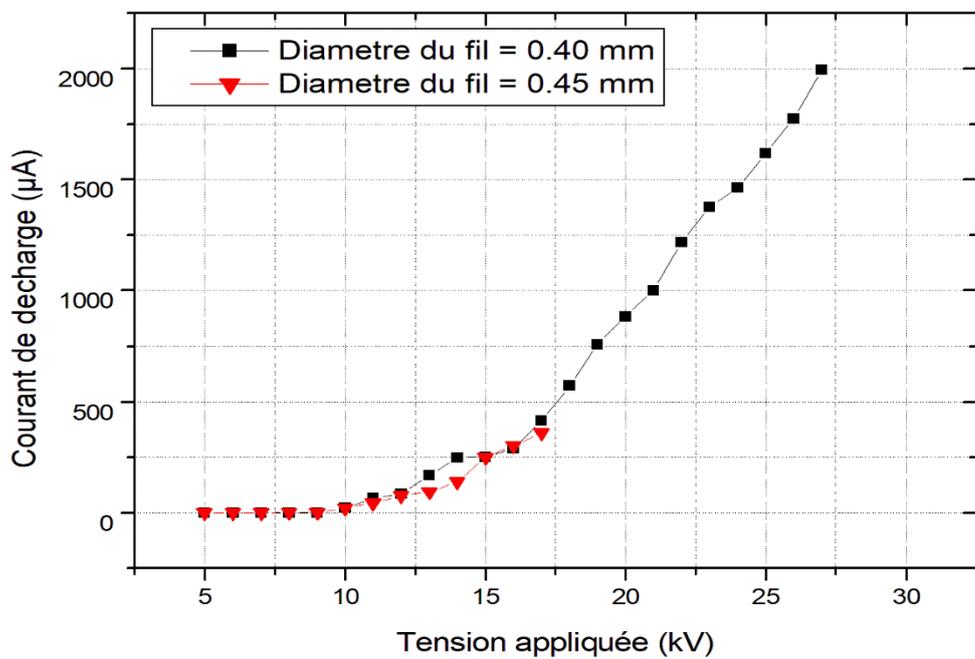
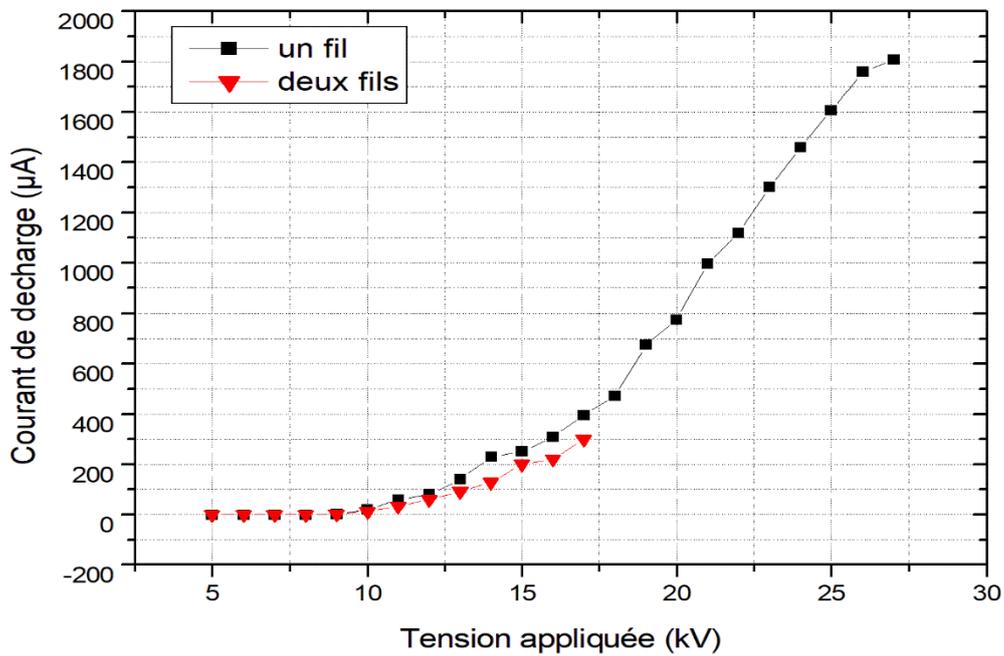


Figure III.8: Caractéristiques courant-tension pour deux diamètres de fil différents avec polarité négative.

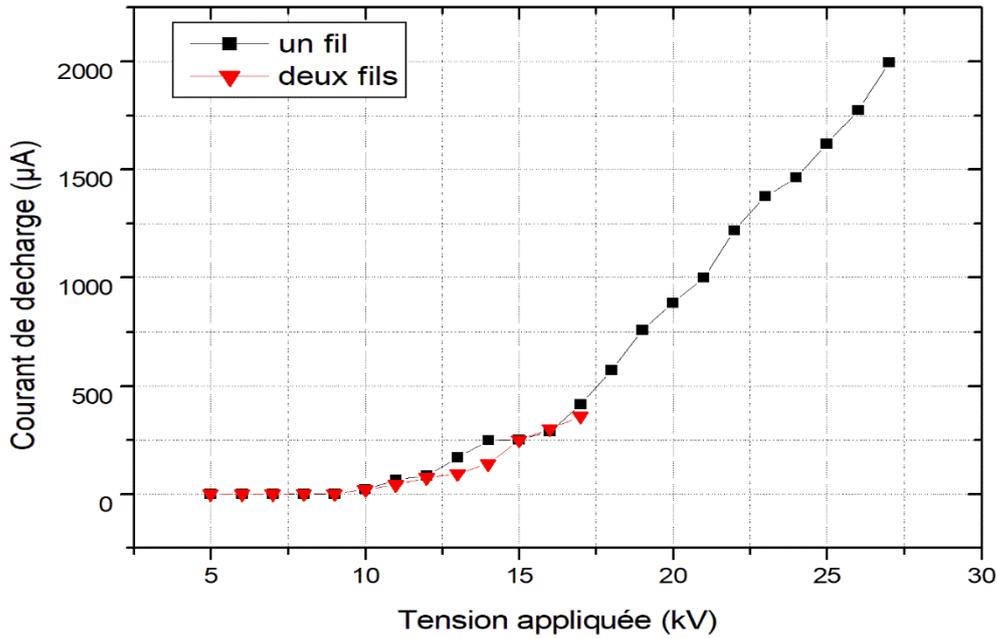
### III.2.3. Influence du nombre de conducteur :

Cette section examine l'effet du nombre de conducteur sur la décharge des deux polarités.

Nous avons constaté que pour deux conducteurs, le claquage se produit rapidement, et le courant est très fort, ce qui est différent d'un seul conducteur, car lorsque nous appliquons une tension  $V$  à deux conducteurs, deux régions d'ionisation seront créées dans les deux conducteur alors un champ électrique inter électrode qu'est très intense aux voisinages des deux fils, donc le champ résultant fournira plus de courant.



**Figure III.9** : Caractéristiques courant – tension en fonction du nombre de conducteurs de la tension appliquée à polarité positive.



**Figure III.10 :** Caractéristiques courant – tension en fonction du nombre de conducteurs de la tension appliquée à polarité négative.

### III.2.4. Effet de la polarité :

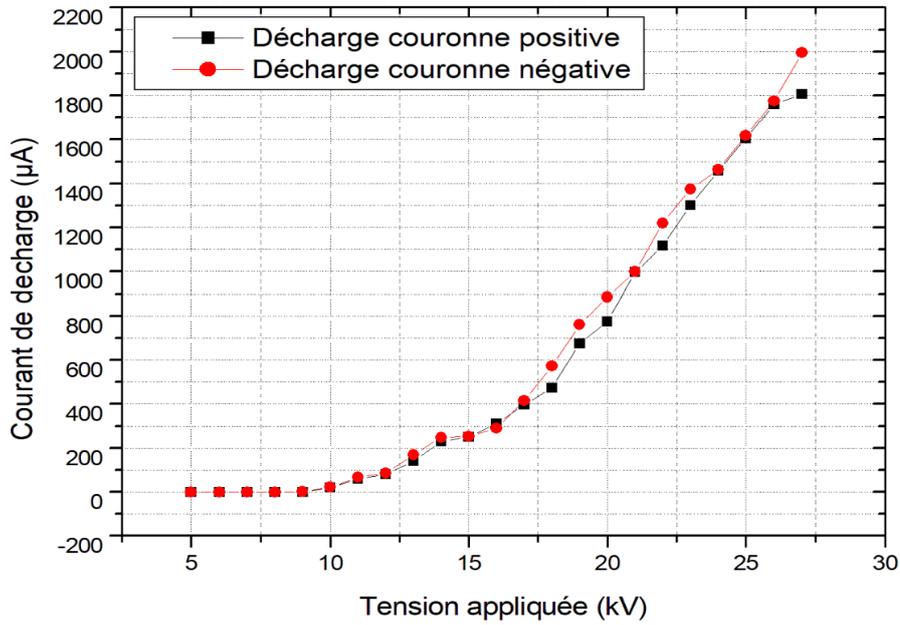
Cette section examine l'influence de la polarité de la tension appliquée, comme indiqué sur la figure (III.11).

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

Le courant de la polarité positive est plus petit que le courant produit par la polarité négative, car la mobilité des porteurs de charge se déplace légèrement dans la polarité négative (C-> C+). De plus, la tension de décharge couronne positive est généralement plus forte que la tension de décharge négative (V - <V+).

Polarité positive	Polarité négative
Décharge silencieuse	Décharge sonore
Moins de production d'ozone	Production d'ozone élevé
Courant de décharge plus faible	Courant de décharge plus élevé

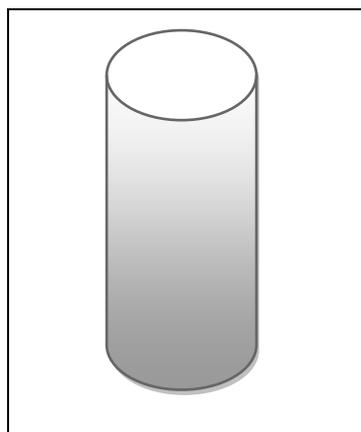
**Tableau III.1:** La différence entre la polarité positive et négative.



**Figure III.11:** Caractéristiques courant – tension en fonction de la polarité de la tension appliquée.

### III.2.5. Rôle du cylindre électrostatique :

Le cylindre électrostatique a une influence significative et ne peut être sous-estimée sur le développement de la décharge couronne. Il garantit la meilleure répartition du gaz à épurer et génère un champ électrique plus efficace et bien concentrer sur une zone limitée ce qui permet d’améliorer le degré de la filtration de l’air ou augmenter la vitesse de cette opération, c’est-à-dire, augmenter le rendement de l’appareil.



**Figure III.12:** Schématisation d’un cylindre électrostatique.

### III.3. Filtration de fumées :

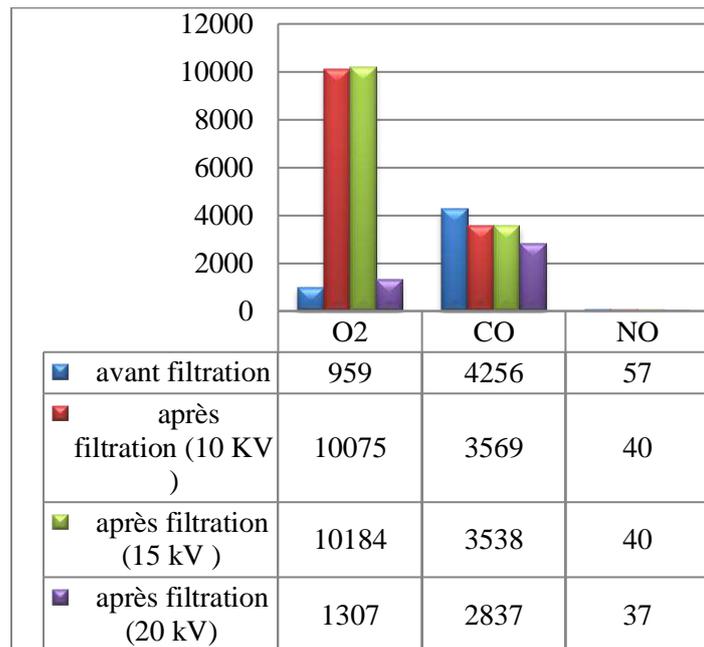
Dans ce test préliminaire, nous nous appuyons sur le principe visuel pour prouver que lorsque l'alimentation haute tension est coupée, la fumée traverse le filtre sans être filtrée. Lorsqu'elle est allumée, beaucoup de fumée est capturée par le filtre.

#### III.3.1. Papier journal : 19g

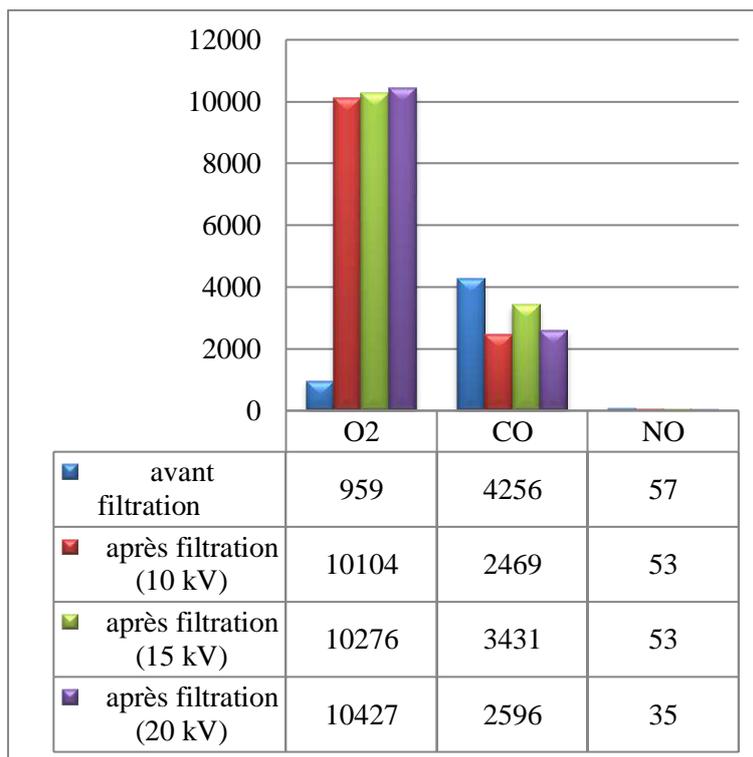
Tension appliquées  Les paramètres de fumée	Polarité positive			Polarité négative		
	10kV	15kV	20kV	10kV	15kV	20kV
O <sub>2</sub>	10075 d 1259.4mV	10184 d 1273.0mV	10307 d 1288.4mV	10104 d 1280.1mV	10276 d 1359.5m V	10427 d 1305.9m V
CO	3569 d 446.1 mV	3538 d 442.3 mV	2837 d 354.6 mV	2469 d 443.1 mV	3431 d 428.9 mV	2596 d 349.5 mV
NO	40 d 5.0 mV	40 d 5.0 mV	37 d 4.6 mV	53 d 6.6 mV	53 d 4.4 mV	35 d 4.4 mV
Tg	659 d 66.0 °C	592 d 60.0 °C	540 d 55.0 °C	618 d 62 °C	528 d 54.0 °C	495 d 50.0 °C
Vcc	5423 d 6.84 v	5418 d 6.83 v	5425 d 6.84 v	5419 d 6.84 v	5419 d 6.84 v	5414 d 6.83 v
rH	7009 d 876.1 mV	6433d 804.1 mV	6236 d 779.5 mV	8096 d 1012.0mV	6239 d 7174 mV	6136 d 750.5mV
H <sub>2</sub> c	14 d 1.8 mV	13 d 1.6 mV	10 d 1.3 mV	11 d 1.4 mV	9d 1.1 mV	9 d 1.1 mV
O	17.4 mV 20.95 %	17.4 mV 20.95 %	17.4 mV 20.95 %	17.4 mV 20.95%	17.4 mV 20.95 %	17.4 mV 20.95 %

**Tableau III.2** : Les caractéristiques de fumée du papier journal après filtration.

- Tension appliquée à polarité positive :



- Tension appliquée à polarité négative :

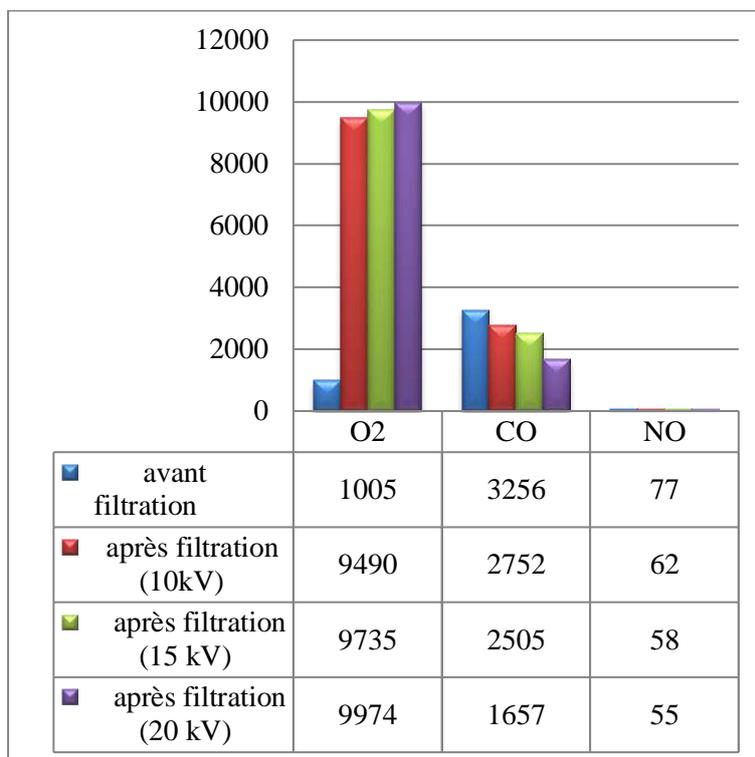


## III.3.2. Tissus : 15g

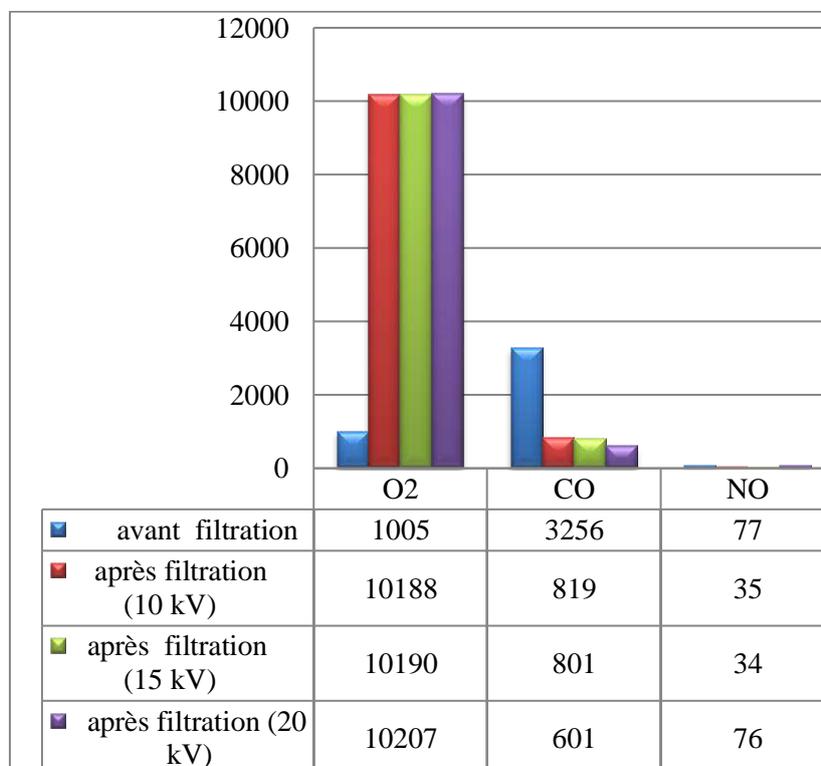
Tension appliquées  Les Paramètres de fumées	Polarité positive			Polarité négative		
	10 kV	15kV	20kV	10kV	15kV	20kV
O <sub>2</sub>	9490 d 1186.2mV	9735 d 1216.9mV	9974 d 1246.7mV	10188 d 1273.5mV	10190 d 1273.7mV	10207 d 2150.9mV
CO	2752 d 344.0 mV	2505 d 313.0 mV	1657 d 207.1 mV	819 d 102.4 mV	801 d 100.1 mV	601 d 75 mV
NO	62 d 7.8 mV	58 d 7.3 mV	55 d 6.9 mV	35 d 4.4 mV	34 d 4.3 mV	76 d 9.5 mV
Tg	655 d 65.5 °C	547 d 56.0 °C	449 d 45.0 °C	760 d 76.0 °C	347 d 35.0 °C	335d 34.0 °C
Vcc	5369 d 6.77 v	5369 d 6.77 v	5368 d 6.77 v	5339 d 6.73 v	5339 d 6.73 v	5366 d 6.77 v
rH	7339 d 917.4 mV	7409 d 926.1 mV	6990 d 873.8 mV	6224 d 778.0 mV	6199 d 774.9mV	7237d 904.6 mV
H <sub>2</sub> c	15 d 1.9 mV	16d 2.0 mV	16 d 2.0 mV	11 d 1.4 mV	15 d 1.9 mV	12 d 1.5 mV
O	17.4 mV 20.95 %	17.4 mV 20.95 %	17.4 mV 20.95%	17.4 mV 20.95 %	17.4 mV 20.95 %	17.4 mV 20.95 %

Tableau III.3 : Les caractéristiques de fumée du tissu après filtration.

- Tension appliquée à polarité positive :



- Tension appliquée à polarité négative

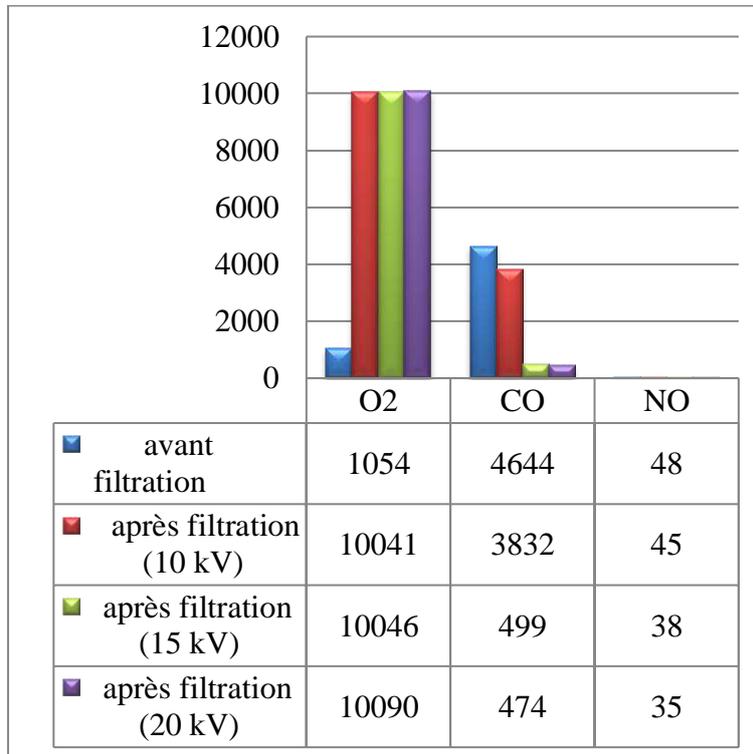


## III.3.3. Plateau d'œuf : 18g

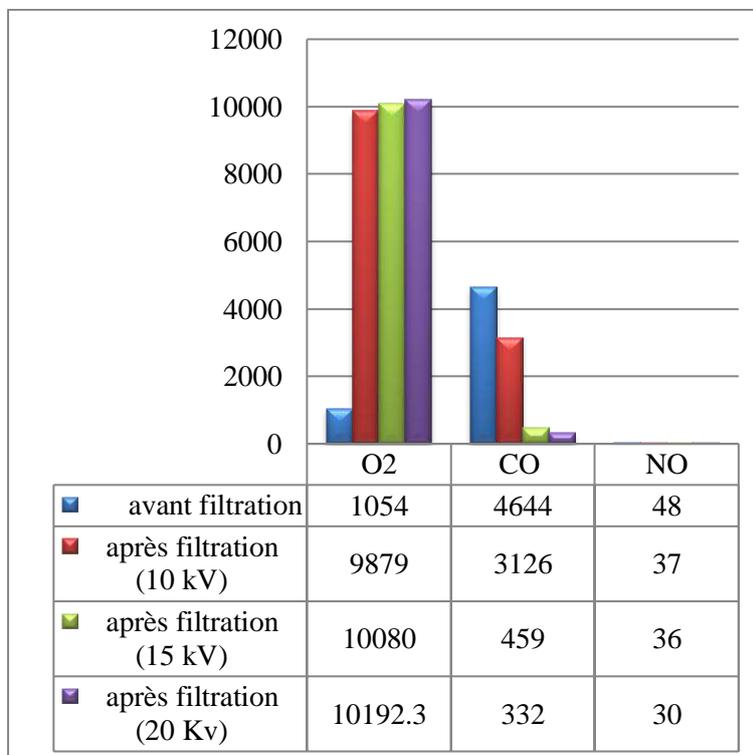
		Polarité positive			Polarité négative		
Tension appliquées	Les Paramètres de fumées	10 kV	15kV	20kV	10kV	15kV	20kV
		O <sub>2</sub>	10041 d 1255.1mV	10046 d 1255.7mV	10090 d 1261.3mV	9879 d 1234.9mV	10080 d 1290.3mV
CO	3832 d 479.0 mV	499 d 62.4 mV	474 d 59.3 mV	3126 d 456.7 mV	459 d 51.9 mV	332 d 50.1 mV	
NO	45 d 5.6 mV	38 d 4.8 mV	35 d 4.4 mV	37 d 4.6 mV	36 d 5.0 mV	30 d 4.0 mV	
Tg	412 d 41.5 °C	401 d 40.5 °C	378 d 38.0 °C	493 d 50.0 °C	386 d 39.1 °C	303 d 30.1 °C	
Vcc	5366 d 6.77 v	5340 d 6.74 v	5338 d 6.73 v	5355 d 6.75 v	5368 d 6.77 mV	5369 d 6.77 v	
rH	8159 d 1019.9mV	6778 d 847.2 mV	6666 d 833.3 mV	8852 d 1106.5mV	8079 d 1009.9mV	6130 d 803.1 mV	
H <sub>2</sub> c	9 d 1.1 mV	14 d 1.8 mV	12 d 1.5 mV	10 d 1.3 mV	11 d 1.4 mV	9 d 1.1 mV	
O	17.4 mV 20.95 %	17.4 mV 20.95 %	17.4 mV 20.95 %	17.4 mV 20.95 %	17.4 mV 20.95 %	174 mV 20.95 %	

Tableau III.4 : Les caractéristiques de fumée du plateau d'œuf après filtration.

- Tension appliquée à polarité positive :



- Tension appliquée à Polarité négative :



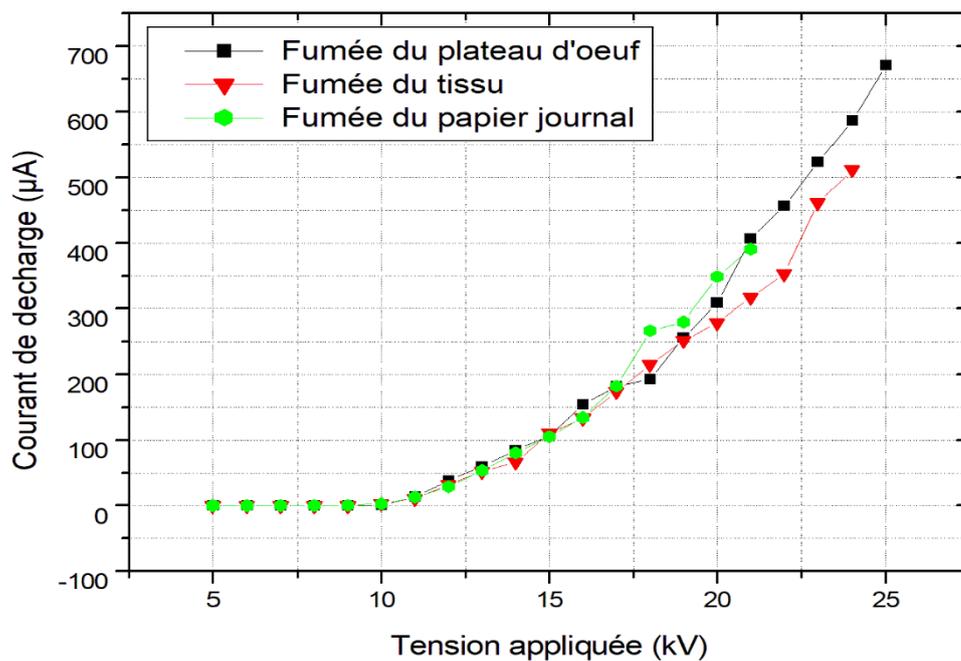
**Figure III.13:** Comparaison des paramètres de trois fumées avant et après filtration pour trois tensions différentes dans deux polarités.

Nous avons remarqué qu'aux trois niveaux de tension, la quantité de CO et de NO diminuait tandis que la quantité d'O<sub>2</sub> augmentait, mais elle était plus élevée à 20 kV. On peut conclure que pour une tension de 20 kV, notre filtre électrostatique a une efficacité de filtration plus élevée.

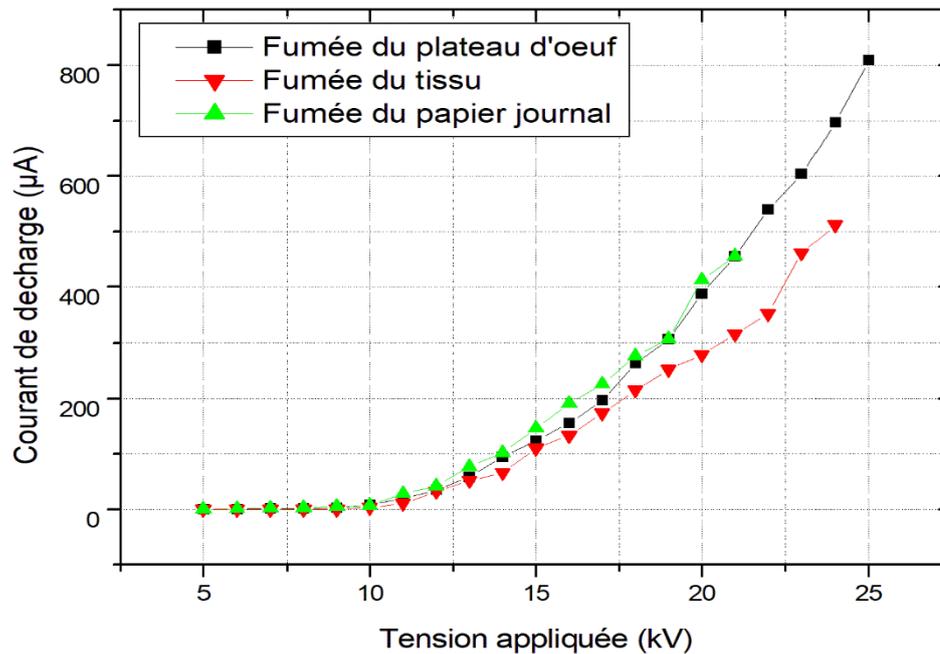
### III.4. Influence des fumées sur la décharge électrique :

Les figures (III.14) (III.15) illustrent les courbes caractéristiques courant-tension des trois types de fumée filtrées par deux types de décharge.

Nous avons constaté que la tension est proportionnelle au courant, car l'ionisation des particules d'air se produit à haute densité lors de la charge du cylindre, de sorte que le phénomène de décharge corona s'accélère. Par conséquent, le courant augmente progressivement avec la présence de particules de fumée collectées dans le cylindre, ce qui a une grande influence sur la tension de claquage.



**Figure III.14:** Caractéristiques courant – tension en fonction des fumés en polarité positive.



**Figure III.15:** Caractéristiques courant – tension en fonction des fumés en polarité négative.

Nous avons laissé la fumée de la chambre à air comme une expérience visuelle pendant la présentation.

### III.5. Calcul d'efficacité :

Par la relation théorique de l'efficacité on a pu calculées le rendement de chaque fumée utilisés.

On remarque que le rendement est de bonnes valeurs surtout pour la polarité négative ce qui confirme l'exactitude de la recherche scientifique et prouve l'importance de son utilisation dans la purification d'air.

		Polarité positive : 20 KV	Polarité négative : 20 KV
Papier journal	O <sub>2</sub>	$\eta = 1 - \frac{959}{10307} \times 100$ = 90.7 %	$\eta = 1 - \frac{959}{10427} \times 100$ = 90.8 %
	CO	$\eta = 1 - \frac{2837}{4256} \times 100$ = 34 %	$\eta = 1 - \frac{2596}{4256} \times 100 = 39 \%$
tissus	O <sub>2</sub>	$\eta = 1 - \frac{1005}{9974} \times 100$ = 90 %	$\eta = 1 - \frac{1005}{10207} \times 100$ = 90.2 %
	CO	$\eta = 1 - \frac{1657}{3256} \times 100$ = 49 %	$\eta = 1 - \frac{601}{3256} \times 100$ = 81.6 %
Plateau d'œuf	O <sub>2</sub>	$\eta = 1 - \frac{1054}{10090} \times 100$ = 89.6 %	$\eta = 1 - \frac{1056}{10192} \times 100$ = 89.7 %
	CO	$\eta = 1 - \frac{474}{4644} \times 100$ = 89.8 %	$\eta = 1 - \frac{332}{4644} \times 100$ = 92.9 %

Tableau III.5 : Les calculs d'efficacité de trois types de fumés

### III.6. La modélisation numérique de l'électro filtre :

Que soit le type de phénomène physique (mécanique ou électrique), peut être décrit à l'aide des règles. Ces derniers peuvent être représentés soit par des équations algébriques, différentielles ou intégrales qui rapportent des informations sur le comportement du phénomène.

Les systèmes d'électrodes produisant la décharge couronne doit s'appuyer sur un modèle de simulation. Un modèle précis et fiable permet de décrire l'impact du choix des conditions de fonctionnement sur les performances de ces systèmes d'électrodes.

La détermination du champ électrique et des distributions de densité de courant dans l'espace inter-électrodes est encore compliquée par la présence du phénomène couronne. La distribution de charge d'espace peut être calculée analytiquement uniquement pour des arrangements de symétrie particuliers sous certaines hypothèses simplificatrices Plusieurs

modèles ont été proposés pour le calcul du champ électrique et de la distribution de la densité de charge en utilisant la méthode des différences finies, techniques des éléments finis qui sont généralement associées à la méthode des caractéristiques (MOC), méthode des éléments aux limites avec MOC et élément de frontière combiné avec la méthode des différences finies. Aussi, des méthodologies alternatives ont été développées telles que les fonctions R et MOC, la méthode de la cellule donneuse avec éléments finis, la technique de simulation de charge (CSM) et un modèle qui combine des différences finies et des éléments . Le calcul des grandeurs électriques est effectué à l'aide du logiciel éléments finis COMSOL MULTIPHYSICS 5.5.

Le logiciel Comsol est un outil de résolution d'équations aux dérivées partielles (EDP) par la méthode des éléments finis .il permet une résolution des problèmes physiques en une dimension(1D), en deux dimensions(2D) et en trois dimensions(3D) qu'ils soient stationnaires ou instationnaires.il permet de simuler divers processus physiques tels que les écoulements internes et externes avec ou sans transfert de chaleur, ainsi que le couplage multiphysique.la résolution du modèle physique(continu) nécessite l'écriture des équations dans un espace discret représenté schématiquement par le maillage. Ce dernier est automatique et il est possible de l'affiner globalement ou d'une manière localisée. Comsol autorise différents types de maillage (2D et 3D) notamment les maillages triangulaires et rectangulaires.

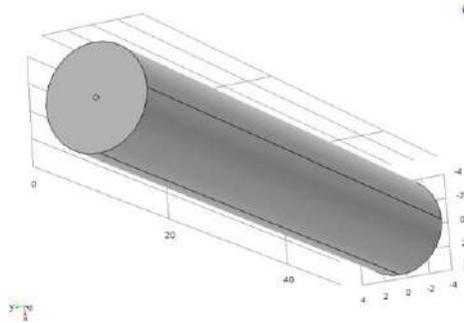


**Figure III.16:** Présentation du logiciel COMSOL MULTIPHYSICS.

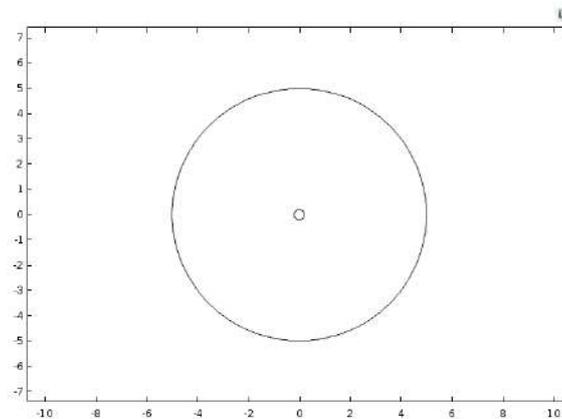
### III.6.1. Modèle développé :

Notre modèle se compose d'une électrode interne d'un diamètre de 0,4 mm, d'une électrode externe de 50 cm de long et l'écart entre les électrodes est de 10 cm. La simulation montrée est en régime permanent avec une décharge positive de 10kV et négative de -10 kV dans l'air

à pression atmosphérique appliqués à l'électrode interne tandis que l'électrode externe est mise à la terre.



**Figure III.17:** Représentation 3D de l'électro filtre.



**Figure III.18 :** Représentation 2D de l'électro filtre.

### III.6.2. Maillage :

Les différentes procédures suivirent pour discrétiser la géométrie sont : [27]

- Création d'un système de discrétisation.
- Discrétisation des différents éléments composants la géométrie (on impose la méthode utilisée par le logiciel pour le découpage).
- Maillage des différentes faces, on a spécifié pour notre étude les dimensions des éléments les plus fines possibles (fin).
- Les différentes surfaces ainsi délimitées, sont ensuite découpées en éléments finis et constituent le maillage du problème.

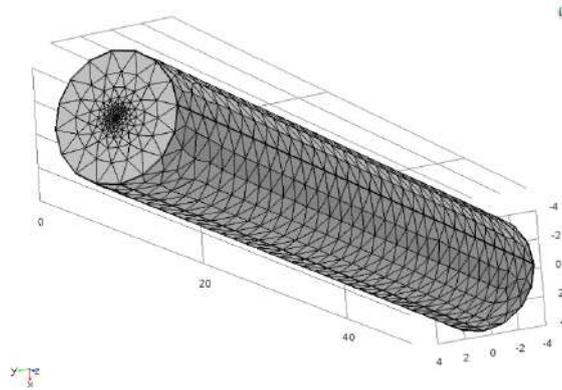


Figure III.19 : maillage de l'électro filtre.

### III.6.3. Résultats et discussion :

#### III.6.3.1. Les lignes de champ :

Les lignes de champ sont orientées selon le vecteur de champ. Le vecteur champ est tangent à la ligne de champ, on peut tirer les conclusions suivantes :

- La valeur du champ diminue en s'éloignant du fil
- Si la charge est négative, les vecteurs de champ sont orientés vers la charge, et si elle est positive, les vecteurs de champ s'éloignent de la charge

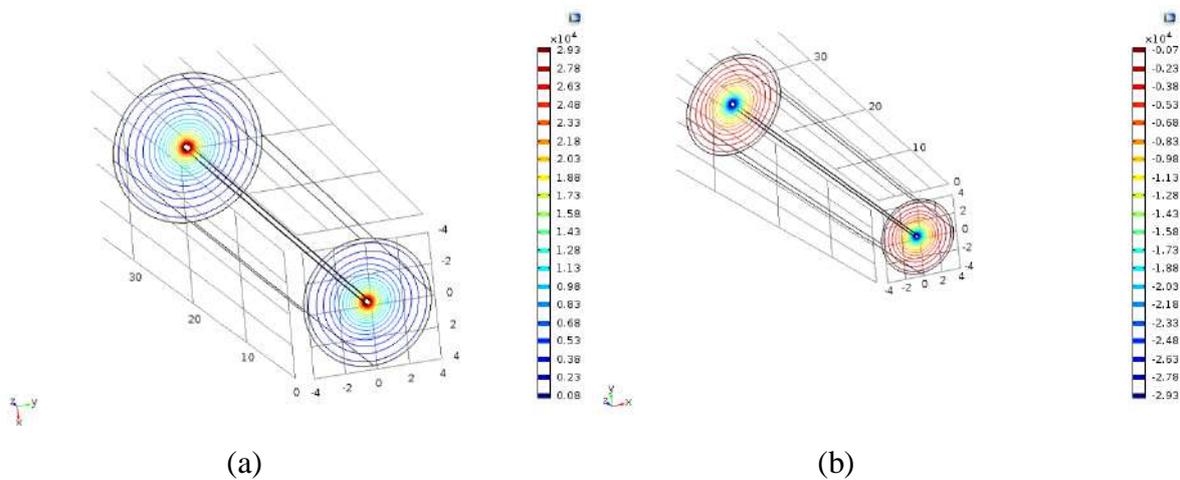
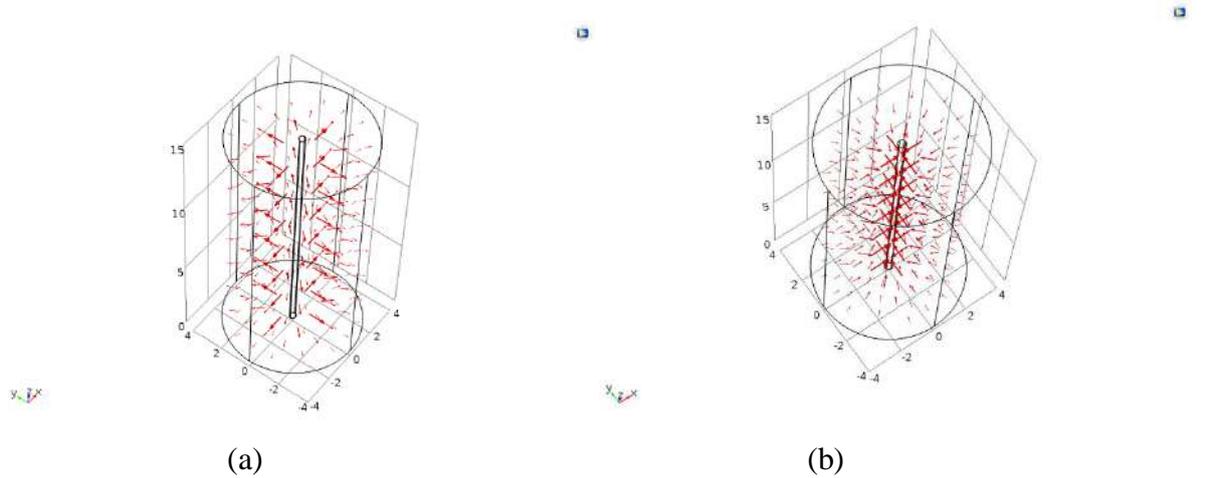


Figure III.20.a: les lignes de champ ((a) : positive, (b) : négative).

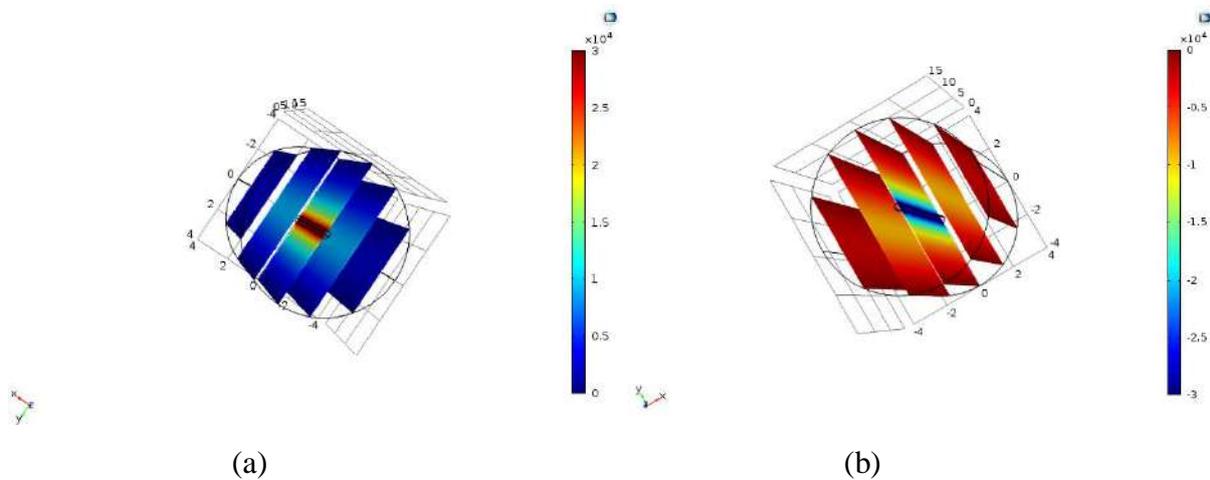


**Figure III.20.b:** les vecteurs de champ ((a) : positive, (b) : négative).

**III.6.3.2. Les surfaces équipotentielles :**

La Figure (III.21) représente les surfaces équipotentielles.

Les surfaces équipotentielles sont les surfaces dans lesquelles le potentiel est identique en tous points et deux surfaces équipotentielles ne se croisent jamais. Les lignes de champ électrique sont perpendiculaires aux surfaces équipotentielles.



**Figure III.21 :** les surfaces équipotentielles ((a) : positive, (b) : négative).

**III.6.3.3. Le potentiel électrique :**

La figure (III.23) montre la forme correspondant à l'évolution du potentiel en fonction de l'espace entre les électrodes.

Comme on peut le voir, le potentiel électrique est inversement proportionnel à la distance entre les électrodes, car plus on est éloigné de l'électrode active (fil), plus la concentration de charge baisse, donc le potentiel électrique diminue.

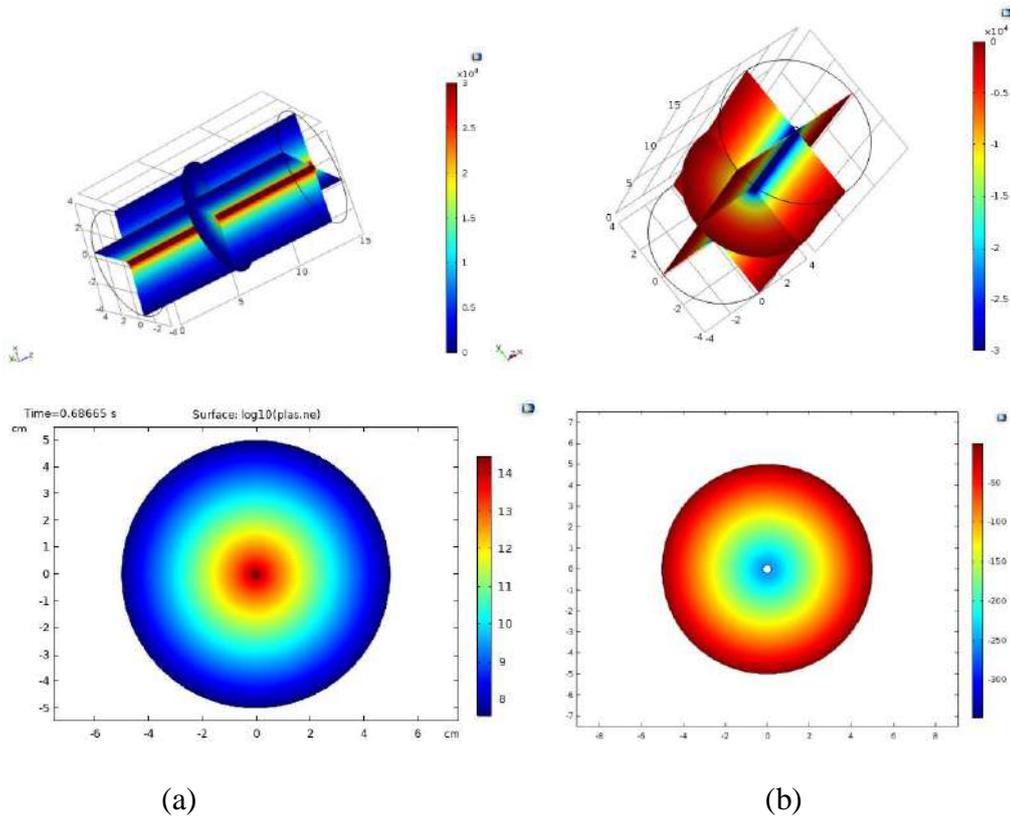
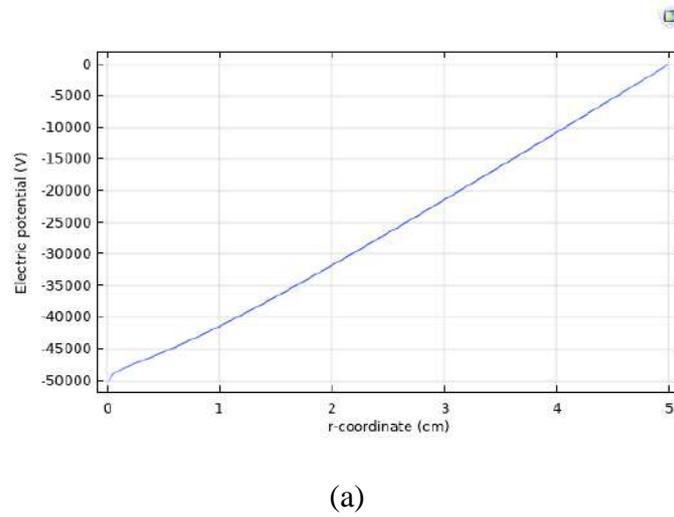
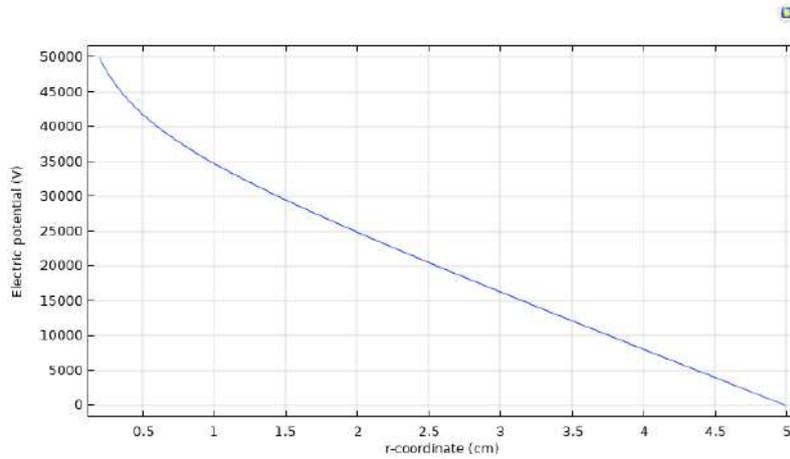


Figure III.22: le potentiel électrique ((a) : positive, (b) : négative).





(b)

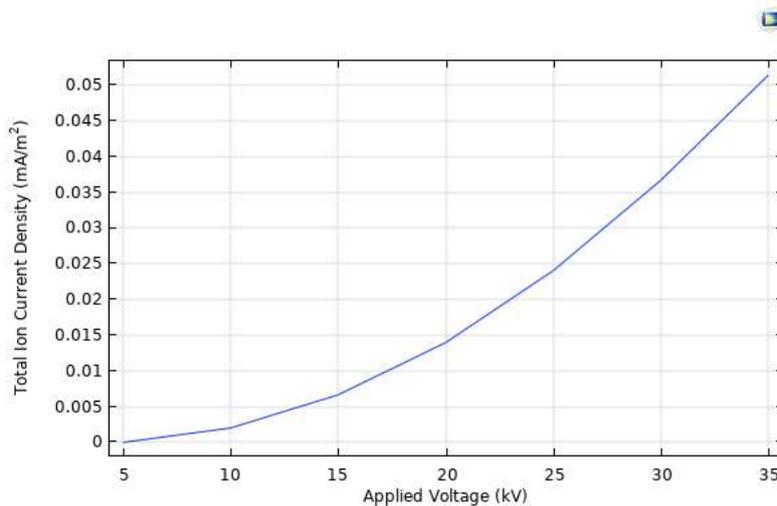
**Figure III.23** : La variation du potentiel électrique en fonction de l'espace inter électrodes :

((a) : négative, (b) : positive).

### III.6.3.4. Densité de courant :

La variation de la densité de courant ionique total en fonction de tension appliquée est représentée par la figure (III.24).

La caractéristique courant tension répond aux attentes. La cohérence des valeurs calculées et mesurées est satisfaisante.

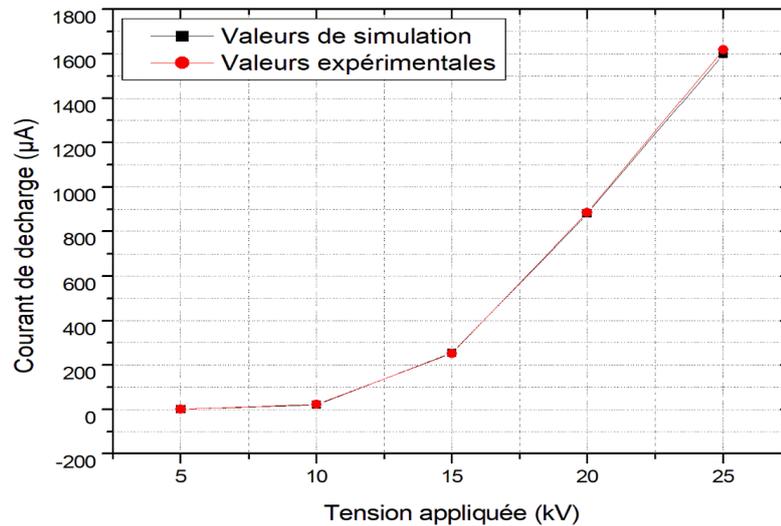


**Figure III.24** : Variation de la densité du courant ionique total en fonction de la tension appliquée.

### III.7. Comparaison de la simulation avec les résultats expérimentaux :

Tout d'abord, nous avons démontré la capacité de COMSOL MULTIPHYSICS à calculer et modéliser avec succès les champs électriques, les potentiels et les densités de courant.

Ensuite, afin de vérifier la validité et la praticabilité des résultats expérimentaux, nous les comparons avec les résultats de la modélisation numérique. Les résultats obtenus par modélisation numérique sont cohérents avec les résultats expérimentaux donc la comparaison entre les résultats des calculs montre un bon accord.



**Figure III.25:** La comparaison entre la simulation et l'expérimental.

### III.8. Conclusion :

Nous avons mené une étude expérimentale qui nous permet de comprendre l'influence de plusieurs paramètres sur la décharge couronne. Par conséquent, en mesurant les caractéristiques courant-tension, nous pouvons sélectionner la taille appropriée pour le filtre électrostatique, la longueur est  $L = 50$  cm, la distance entre les électrodes est de 10 cm et le diamètre du fil est de 0,4 mm. De plus, nous avons prouvé que la filtration électrique est réalisable avec une efficacité allant jusqu'à 95%, nous espérons que le filtre électrostatique produit sera utilisé dans l'enseignement et la recherche en laboratoire, et sera utilisé dans de nombreuses expériences.

Enfin, les résultats obtenus avec le modèle numérique sont très satisfaisants et concordent très bien avec les résultats expérimentaux.

# **Conclusion Générale et perspectives**



«Toutes sortes de choses peuvent se produire lorsque vous êtes ouvert aux nouvelles idées et que vous jouez avec les choses.»

Stéphanie K

La séparation électrique est la technique la plus prometteuse pour capturer les particules les plus fines parmi les procédés de traitement de l'air. Ces procédés propres doivent obéir à de nombreuses contraintes (économiques, techniques, etc.)

Les travaux contenus dans notre thèse s'inscrivent dans le cadre de la recherche, de la réalisation et de la simulation, dont le but est de mener des recherches expérimentales sur la filtration des particules polluées en déterminant d'abord les dimensions appropriées pour le choix du modèle de précipitateur électrostatique dans la configuration du fil cylindre et vérifier l'efficacité de la filtration en modifiant les fumées en tenant compte de leurs propriétés.

Notre étude expérimentale du système ESP fil-cylindre nous permet de tirer les conclusions suivantes :

- ♣ Les mesures des caractéristiques courant-tension des paramètres influençant la décharge couronne (distance entre les électrodes, diamètre du fil, etc.) nous ont permis à choisir les dimensions de notre filtre électrostatique.
- ♣ En mesurant les caractéristiques de la fumée, nous pouvons spécifier le niveau de pollution de la fumée
- ♣ Le filtre électrostatique en configuration fil-cylindre est un bon élément pour la purification d'air.

De nombreuses perspectives sont prévues pour poursuivre ce travail et compléter nos résultats.

Pour compléter cette recherche, il sera intéressant :

- ♣ De construire et étudier différentes géométries d'électro filtres
- ♣ De développer le model numérique du phénomène de décharge couronne.
- ♣ D'effectuer des mesures sur les effets de la géométrie de l'électrode, du nombre d'électrodes (autres types d'électro filtres) et de la vitesse du flux d'air sur les paramètres de la décharge couronne.

Enfin, nous espérons que d'autres travaux pratiques et numériques se poursuivront pour améliorer l'efficacité des précipitateurs électrostatiques.

# **Bibliographie**

1. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), (2008), « pollution olfactive, origine, législation, analyse du nord », ADEME, Paris.
2. Lacour S, (2001), Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique CEREAA (<http://cerea.enpc.fr/fr/>)
3. Ministère de l'environnement, (1983), Code de l'environnement : La loi n° 83-03 du 5 février 1983, relative à la protection de l'environnement, Paris.
4. Pacyna J.M, (1984), Estimation of the Atmospheric Emissions of Trace Elements from Anthropogenic Sources in Europe. «Atmospheric Environment». pp. 18, 41-50. Albin M, (1998), Encyclopédie Universalis, (1998), Paris.
5. Pacyna J.M, & Graedel T.E, (1995), Atmospheric emissions inventories: status and prospects. « Annual Review of Energy and the Environment », pp.20, 265-300.
6. Ramade F, (2000), « les polluants de l'environnement et de l'homme» dictionnaire
7. Saiyasitpanich P. (2006) Control of Diesel Particulate and Gaseous Emissions Using a Single-Stage Tubular Wet Electrostatic Precipitator. Thèse de doctorat de l'université de Cincinnati, USA.
- 8- F.G. Cottrell, Art of separating suspended particles from gaseous bodies, 1908, US 895729 A
- 9- MILLIKAN R .A - phys. Pp 22-2,1, 1923
- 10- Benamar B., La faisabilité de l'électrofiltration d'une atmosphère chargée en poussières de bois : étude expérimentale et numérique, Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy 1, France, 2008.
- 11- B. Navarrete, L. F. Vilches, M. Rodriguez-Galan, B. Alonso-Fariñas, et L. Cañadas, « A pilot scale study of the rapping reentrainment and fouling in electrostatic precipitation », *Environ. Prog. Sustain. Energy*, vol. 34, no 1, p. 7-14, janv. 2015.
- 12- KHIM, K.D., MITCHNER M. & SELF S.A. Comparison of wire-plate and plate-plate electrostatic precipitators in turbulent flow. *Journal of electrostatics*, 19, pp. 21-32, 1987.
- 13- J. Electrostatics, 67, 37-47. Dumitran L. M. (2001) Collection des fines particules dans un dépoussiéreur électrostatique. Thèse de Doctorat de l'Université Joseph Fourier, Grenoble, France.
- 14- W. Deutsch, "Bewegung und ladung der elektrizitatstrager im zylinderkondensator", *Annals of Physics*, Vol. 68, pp.335-344, 1922.
- 15- SELF.S.A., MITCHNER M., KHIM K.D., CHOI D.H., LEACH R. – Effect of turbulence on precipitator performance – Presented at second International Conference on Electrostatic Precipitation, Kyoto, Japan, Nov. 1984.
- 16- ] J.-B. Lee, J.-H. Hwang, et G.-N. Bae, « Soot Particle Re-entrainment in a Corona Discharge Reactor », *JSME Int. J. Ser. B*, vol. 43, no 4, p. 602-607, 2000.
- 17- D. Blanchard, P. Atten, et L.-M. Dumitran, « Correlation between current density and layer structure for fine particle deposition in a laboratory electrostatic precipitator », *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 38, no 3, p. 832-839, mai 2002.
- 18- Gooch J. P. & Francis N. L. (1975] A theoretically based mathematical model for calculation of electrostatic precipitator performance. *Journal of The Air Pollution Control ASS.*, 25 (2), 108 – 113.
- 19- James H. Turner, Phil A. Lawless, Toshiaki Yamamoto, David W. Coy, 68 pages, September 1999.

- 20- ] F. Paschen, “Sur la différence de potentiel nécessaire à la formation d’arc électrique dans de l’air, de l’hydrogène et du gaz carbonique sous différentes pressions (Traduction de : Über die zum Funkenübergang in Luft, Wasserstoff and Kohlensäure bei verschiedenen Drücken erforderliche Potentialdifferenz)”, Wied. Annales de physique, Vol. 37, pp. 69–96. 1889.
- 21- Gooch J. P. & Francis N. L. (1975] A theoretically based mathematical model for calculation of electrostatic precipitator performance. Journal of The Air Pollution Control ASS., 25 (2), 108 – 113.
- 22- Lawless P. A. (1989) Numerical solution of Laplace’s equation and ion current flow by the use of flux tube / equipotential relaxation. IEEE- IAS annual meeting, San-Diego, 1999-2006.
- 23- POINTU, A.M. – Decharge électrique – *Techniques de l’ingenieur* D322.
- 24- Medlin A. J. (1998) Electrohydrodynamic modelling of fine particle collection in electrostatic precipitators. Ph.D. Thesis, university of New South Wales, Australia.
- 25- WHITE H.J. – industrial electrostatic precipitation – Addison Wesley Publishing Company, New York, 1963.
- 26- Cristina S. & Feliziani M. (1995) Calculation of ionised fields in DC electrostatic precipitators in the presence of dust and electric wind. IEEE Trans. Ind. Appl.. IA31 (6), 1446- 1451.
- 27- Medlin A. J. (1998) Electrohydrodynamic modelling of fine particle collection in electrostatic precipitators. Ph.D. Thesis, university of New South Wales, Australia.
- 28- Dictionnaire Ramade, 2000.
- 29- Camille Flammarion, L’atmosphère, Librairie Hachette, 1872.



## Résumé :

De nombreux dangers menacent la santé et l'environnement a cause de pollution atmosphérique alors des chercheurs inventé et développé des machine pour purifié l'air parmi ces dernier sont les électro filtres C'est un système typiquement flou, où un grand nombre de facteurs affectent ses performances d'une manière compliquée.

L'objectif du présent travail consiste à étudier la faisabilité de cette méthode pour l'épuration des fumées , ceci via une étude expérimentale et théorique de bon fonctionnement de filtre électrostatique réel de type fil cylindre avec un rendement important pour cela nous avons élargi notre recherche a des expériences sur la caractéristique courante tension pour choisir les matériaux et les tailles plus favorable ceci via plusieurs effets (effet de polarité, espace inter électrodes ...), puis les caractéristiques de fumé avant et après la filtration a fin de mesurer l'efficacité .

A la fin on a enrichi notre travail par une simulation pour comparer les résultats obtenue dans les deux études pour mieux comprendre les différents phénomènes liée à notre sujet.

**Mots clés:** Pollution, Filtre, Electrostatique, Identification paramétrique, électro filtre, décharge a barrière diélectrique, efficacité de collecte, Dépollution, haute tension, précipitation électrostatique, décharge couronne, back corona, particules fines, dépoussiérage.



## المخلص :

العديد من الأخطار تهدد الصحة والبيئة بسبب تلوث الغلاف الجوي لذلك ابتكر الباحثون وطوروا آلات لتنقية الهواء من على أدائه بطريقة معقدة. بينها المرشحات الكهربائية وهو نظام غامض عادة حيث يؤثر عدد كبير من العوامل

الهدف من هذا العمل هو دراسة جدوى هذه الطريقة لتنقية غازات المداخن ، وذلك من خلال دراسة تجريبية ونظرية للتشغيل الجيد لمرشح إلكتروستاتيكي حقيقي من نوع سلك بالاسطوانة بكفاءة عالية لذلك قمنا بتوسيع بحثنا عن طريق تجارب على خصائص التيار الكهربائي لاختيار المواد والأحجام الأكثر ملائمة من خلال عدة تأثيرات (تأثير القطبية ، المسافة بين الأقطاب الكهربائية... ) ، ثم خصائص الدخان قبل وبعد الترشيح لقياس الكفاءة.

في النهاية قمنا بإثراء عملنا بمحاكاة لمقارنة النتائج التي تم الحصول عليها في الدراستين لفهم الظواهر المختلفة المتعلقة بموضوعنا بشكل أفضل.

**الكلمات الرئيسية:** التلوث ، الفلتر ، الكهرياء الساكنة ، تحديد البارامترية ، الفلاتر الكهربائي ، تفريغ حاجز الحواجز ، كفاءة التجميع ، التحكم في التلوث ، الجهد العالي ، الترسيب الكهروستاتيكي ، تفريغ الهالة ، الجسيمات الخلفية ، إزالة الغبار



### **Abstract:**

Many dangers threaten health and the environment because of atmospheric pollution so researchers invented and developed machines to purify the air among these are the electro filters It is a typically vague system, where a large number of factors affect its performance in a complicated way.

The objective of this work is to study the feasibility of this method for the purification of flue gases, this via an experimental and theoretical study of the proper functioning of a real electrostatic filter of the cylinder wire type with a high efficiency for this we have widened our research has experiments on the current characteristic voltage to choose the materials and the most favorable sizes this via several effects (effect of polarity, space between electrodes...), then the characteristics of smoke before and after the filtration in order to measure the efficiency.

At the end we enriched our work by a simulation to compare the results obtained in the two studies to better understand the different phenomena related to our subject.

**Keywords:** Pollution, Filter, Electrostatic, Parametric identification, electro filter , dielectric barrier discharge, collection efficiency , Pollution control, high voltage, electrostatic Precipitation, corona discharge, back corona, fine particles, dust removal.