

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



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

L'étude de la caractéristique courant-tension pour un précipitateur électrostatique de type tige fileté-plan

Présenté Par :

- 1) Melle. Bekrattou Wassila
- 2) Melle. Bailiche Sabah

Devant le jury composé de :

M ^r MECIRDI	MAA UAT.B.B (Ain T'émouchent)	Président
Dr BERRACHED	MCB UAT.B.B (Ain T'émouchent)	Examineur
Dr AISSOU	M C A UAT.B.B (Ain T'émouchent)	Encadrant
M ^{me} HEBBAR	Doctorante UAT.B.B (Ain T'émouchent)	Co-Encadrant

Année universitaire 2021/2022

Le résumé

Résumé

De nombreux dangers menacent la santé et l'environnement à cause de pollution atmosphérique alors des chercheurs inventé et développé des machine pour purifier l'air parmi ces dernier sont les électro filtres c'est un système typiquement flou, ou 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 à des expériences sur la caractéristique courant-tension pour choisir les matériaux et les dimensions les plus favorables. Ceci via plusieurs effets (effet de polarité, espace inter-électrodes...), puis les caractéristiques de fumé avant et après la filtration afin de mesurer l'efficacité.

D'autre part, nous avons travaillé sur la configuration de type tige filetée-plan, afin d'étudier la courbe courant en fonction de la tension.

Mots clés

Pollution, filtre, électrostatique, identification paramétrique, électrofiltre, décharge à barrière diélectrique, efficacité de collecte, dépollution, haute tension, précipitation électrostatique, décharge couronne, back corona, particules fines, dépoussiérage.



اشهد ان محمداً رسول الله



Remerciement :

Nous remercions ALLAH qui nous a donné la force et la patience nécessaires pour terminer ce travail.

*Nous exprimons nos sincères remerciements
A nos PARENTS pour leur soutien dans chaque travail que nous avons effectué*

*A notre encadreur Monsieur Aïssou. Pour leur aide et leur suivi, leurs orientations et
Nombreuses interventions qui ont permis l'aboutissement de ce travail.*

A l'ensemble des enseignants du département de Génie électrique

Mes remerciements vont également aux responsables et personnels du département de électromécanique Université Belhadj Bouchaïb de Ain Témouchent(UAT).

*Nous ne manquerions pas non plus de dire un grand merci
aux membres du jury*

*Qui ont acceptés, sans aucune réserve, d'évaluer ce mémoire à sa juste valeur, et de nos faire part de leurs remarques surement pertinentes qui, contribueront, sans nul doute, au
Perfectionnement du présent travail*

Enfin nous remercions tous ceux qui nos Encouragés, aidés et contribués de ce mémoire.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

À ma très chère mère, À mon père , à tout mon respect et affection en témoignage de leur soutien, sacrifice, patience, ainsi que pour leurs conseils et orientations dans ma vie.

À mon très cher frère. À mes deux-grands parents.

À tous mes enseignants et à notre promotion de génie mécanique 2021/2022.

À tous mes amis

Le sommaire

Résumé	
Remerciement	
Dédicace	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tables	
Les lettres latines	
L'introduction générale.....	01
Chapitre 01 : Etude théorique de la charge dans le précipitateur électrostatique	
I .1 –Introduction.....	04
I.2- Les particules.....	04
I.3 Force de coulomb.....	05
I.3 Les mécanismes de charge de particules	05
I .3.1Charge « naturelle » par attachement des ions	06
I. 3.2Trio-électrisation	06
I.3.3 La charge par champ.....	07
I.3.4 la charge par diffusion.....	08
I.3.5 la charge mixte.....	09
I.4 Migration des particules chargées	09
I.5 Application des PES	10
I.6 Origine de la technologie des PES	11
I.7 Description des PES	12
I.8-Architecture des précipitateurs électrostatiques	13
I .9 Filtre électrostatique.....	13
I.10 Description du fonctionnement d'un électrofiltre	13
I.11 Différents types d'électro- filtres	15
I.11.1 Humides.....	15
I. 11.2 Electrofiltres à seul étage	17

Le sommaire

I.11.3 Electrofiltres à deux étages	18
I.12 les avantages et les inconvénients d'un précipitateur électrostatique	19
I.12.1 - les avantages	19
I.12.2 les inconvénients	20
La conclusion	21
Chapitre 02 : Explication du modèle experimental	
II .1 Introduction	23
II.2 Matériel utilisé	23
II.2.1 source de haut tension.....	23
II.2.3 MCP regulated power supply	24
II.2.4 Autotransformateur	25
II.2.5 Station de soudure a air chaud	25
II.2.6 Un souffleur.....	26
II.2.7 Une perceuse	27
II.2.8 Analyse de fumé	27
II.2.9 Humidimètre	27
II.2.10 Balance de laboratoire électronique	28
II.2.11 Anémomètre thermique à hélice	29
II.2.12 les pinces crocodile	29
II.2.13 Keithley	30
II.3 description du dispositif expérimentale	31
II.3.1 système d'injection	31
II.3.2 : système d'ionisation et de collection	33
II.3.2.1 Le rectangle en acier inoxydable.....	34
II.3.2.2 les tige électrostatique	34
Les tiges de profondeur de 0.8 ; 0.9 ; 1 ; 1.2(mm).....	34
II.4- les différents types de particule utilisée	35
II.4.1 le ciment.....	35
II.4.2 la sciure de bois	35
II.5.principe de fonctionnement	36

Le sommaire

II.6 Conclusion.....	36
Chapitre 03 : Résultats et discussions	
III .1 Introduction	38
III .2 Méthodes expérimentales	38
III .3 Configuration géométrique	38
Mesures électrique et principe de fonctionnement.....	39
III .4 Théorie de la sonde polarisée de Tassicker.....	40
III .5 Caractéristique courant-tension	41
III .6 Effets du pas (distance entre les anneaux de la tige) sur la décharge couronne.....	41
III .7 Effets de la distance inter-électrodes et du pas de l'électrode sur la décharge couronne.....	45
III. 8 Choix de la polarité	50
III .9 Facteur géométrique K en fonction de la distance inter-électrode.....	55
III .11 Effet de la distance inter-tiges sur la décharge couronne négative	56
III. 12 Conclusion	58
Conclusion générale.....	60
Références bibliographiques	63

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Chapitre 01 : Etude théorique de la charge

Figure (I.1) : Echelle des aérosols.....	
Figure(I.2) : Lignes de champ électrique autour de deux particule de même charges (gauche) et de charges opposées (droite)	
Figure(I.3) : principe d'un précipitateur électrostatique	
Figure (I.4) : un précipitateur électrostatique.....	
Figure(I.5) : Electrofiltres –principe de fonctionnement.....	
Figure (I .6) : Vue schématique des poussières des un ESP.....	
Figure(I.9) : Type d'électrofiltre	
Figure (I .7) : Electro filtre de type plan / plan : à deux étages.....	

Chapitre 02 : Explication du model expérimental

Figure .1 : Source de haute tension (positive et négative)	
Figure .2: MCP regulated power supply.....	
Figure .3 : Autotransformateur.....	
Figure .4 : Station de soudure a air chaud.....	
Figure .5 : Un souffleur aspirateur électrique	
Figure .6 : Analysante de fumé.....	
Figure .7 : Thermo-hygomètre de précision modèle Testo.....	
Figure .8 : Balance de laboratoire électronique.....	
Figure .9: Anémomètre thermique à hélice.....	
Figure .10: Le Pince crocodile.....	
Figure .11 : Le Keithley.....	
Figure .12 : constitution du dispositif expérimentale.....	
Figure .13: Le système d'injection	
Figure .14: les system d'ionisation	
Figure .14 : Photo du plan INOX qui utilisé dans l'expérience.....	
Figure .15: La tige électrostatique.....	

LISTE DES FIGURES

Figure II.16: Le system d'ionisation.....

Chapitre 03 : Résultats et discussions

Figure III.1 : PES en tige filetée-plan.....

Figure III.2 : Configuration de l'électrode haute tension.....

Figure : schéma électrique cas libre.

Figure : schéma électrique de cas particule.....

Figure(III.3) Sonde circulaire (a- Vue de dessus, b- Coupe transversale).....

Figur (III .4) : Caractéristique courant-tension en fonction de la distance inter- électrodes en polarité positive.....

Figure (III. 5) : Caractéristique courant-tension en fonction de la distance inter- électrodes en polarité négative.....

Figure (III .6 .a) : Caractéristique courant-tension en fonction de la distance inter-électrode en polarité négative tige 4.....

Figure (III .6.b) : caractéristique courant-tension en fonction de la distance inter-électrodes en polarité négative de la tige1.....

Figure (III. 6 c) : comparaison de la décharge entre trois tiges pour h=70mm.....

Figure (III .7) : caractéristique courant-tension en fonction de la distance inter- électrodes en polarité négative.....

Figure (III .8) : caractéristique courant-tension en fonction de la distance inter- électrodes en polarité positive de tige(1).....

Figure (III .9): Caractéristique courant-tension en fonction de la distance inter- électrodes pour les deux polarités.....

Figure (III .10) : caractéristique courant –tension en fonction de la distance inter –électrodes pour les deux polarités.....

Figure (III .11) : tension de claquage en fonction de la distance inter-électrode pour les deux polarités.....

Figure (III .12) : caractéristique $I/V=f(v)$ pour la détermination de la tension seuil V_0 de la tige (03).....

Figure (III .13): Dépendance du rapport courant/tension (I/V) avec la différence de tension ($V-V_0$) en polarité négative

LISTE DES FIGURES

Figure (III .11) : Dépendance du courant (I) avec différence de tension ($V - V_0$) sur une échelle logarithmique en polarité négative.....

Figure. III. 12 : Variation du K^-/K^+ selon la distance inter-électrode.....

Figure (III. 13) : caractéristique courant-tension en fonction d'espace inter-tiges négatives.....

Figure (III .14) : Caractéristique courant –tension en fonction d'espace inter – tiges positive

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux (III .1) : Nombre de dents et de liges des trois électrodes actives

Tableaux (III .2) : résultats de facteur K des caractéristiques courant-tension).....

Tableaux (III .3) : Résultats de l'exposant n pour la couronne negative.....

**LISTE DES
LETTRES LATINES**

Les lettres latines

Lettres latines

\vec{E} : Un champ électrique,

q_p : Les particules ayant acquis une charge électrique q_p

\vec{F}_e Subissent la force de Coulomb

K_E , constante électrostatique,

e : charge élémentaire,

d_p : Diamètre de particule,

K_B : Constante de Boltzmann ;

T : température.

q : la charge de la particule ©,

Q_s : la charge de saturation ©

T : temps de charge (s)

τ : Constante de temps de charge par champ

(s) et ϵ_0 : la permittivité du vide ($\approx 8.85 \cdot 10^{-12}$ f/m),

ϵ_r : La permittivité relative.

d_p : le diamètre de les particules (m),

E : champ électrique (v/m),

J : la densité de courant (A/m²), ρ_i : la densité de charge (c/m³),

U_i : mobilité des ions (m²/vs),

e : charge électronique ($1.6 \cdot 10^{-19}$ c)

N_i : la Concentration disions dans l'espace (m⁻³)

q^* : la constante de charge par diffusion

Constante de temps de charge par diffusion (s)

K_B : La constante de Boltzmann (j/k) et

T : la température (k)

C_i : la moyenne quadratique de la vitesse des ions (m/s)

r_p : le rayon de la particule

(m) : qui permet de définir différents régimes d'écoulement en termes de continuité :

W_{th} : La vitesse théorique de migration

Introduction générale

Introduction Générale

Introduction Générale

A l'heure actuelle, avec le grand nombre de la production industrielle et son développement dans le monde, la pollution de l'air en a résulté. Là ou, dans les années soixante et soixante-dix du siècle dernier, ils ont réalisé l'importance et la qualité de l'air et que la législation et les normes ont commencé à se développer, ce problème ne se limitait pas à quelques usines, mais était à grande échelle.

C'est ce qui a conduit les gouvernements à réglementer les émissions de polluants dans les rejets industriels et à imposer des normes strictes.

Ces rejets industriels sont constitués de particules solides et de particules ou gouttelettes en suspension dans l'atmosphère. Ces polluants particulaires sont devenus une menace majeure pour la santé humaine et l'environnement.

Ce phénomène a incité les scientifiques à développer des techniques efficaces pour limiter la propagation des émissions de particules.

Le précipitateur électrostatique (PES), également appelé filtre électrique, est un dispositif de contrôle des particules et est considéré comme le plus largement utilisé dans divers domaines industriels. Il est très efficace et présente l'avantage d'économiser de l'énergie.

Le précipitateur électrostatique comporte un filtre électrostatique avec une électrode d'émission reliée à une source de tension et une électrode collectrice reliée à la terre et entre lesquelles circule un gaz contenant des particules électriques neutres. L'objectif de ce procédé est de créer un plasma dans un volume qui est recyclé puis chargé de particules qui dérivent à leur tour sous l'effet des forces électrostatique vers l'électrode collectrice.

Cet mémoire est composé de trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présentons la pollution atmosphérique, et ces critères et résultats suggèrent une solution. Ensuite, nous étudions les différents précipitateurs électrostatique ainsi que leurs principes de fonctionnement et leurs performances.

Dans le deuxième chapitre, nous avons décrit tous les appareils utilisés dans l'expérience, le principe de fonctionnement et les méthodes de mesure des paramètres.

Introduction Générale

Le troisième et dernier chapitre traitait des résultats obtenus dans l'expérience et des discussions sur l'appareil expérimental et l'efficacité de sa candidature.

Enfin, nous fournirons des conclusions générales sur les recherches que nous avons effectuées.

CHAPITRE 01 :
ETUDE THÉORIQUE DE
LA CHARGE DANS LE
PRÉCIPITATEUR
ÉLECTROSTATIQUE

I.1 -Introduction

Au cours des dernières décennies, les exigences en matière d'efficacité des mesures de protection de l'environnement ont évolué considérablement, ce qui imposé la mise au point de technologies innovatrices susceptibles d'être à la hauteur des dispositions légales de plus en plus strictes. Ce phénomène extrêmement complexe est devenu de nos jours l'objet d'observations continues de plusieurs organisations internationales, car les conséquences de la pollution atmosphérique ignorent les frontières des pays ou des régions de la terre. Parmi les moyens de filtration utilisés, une place très importante revient aux précipitateurs électrostatiques.

Ces installations de filtration sont largement utilisées depuis le début du 20^{ème} 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 [1].

I.2- Les particules

Le terme de particules est employé pour définir les aérosols, qui sont créés par la dispersion, dans un milieu gazeux (ex : air) de solides. (Ex : poussière et de liquides de natures minérales ou organique .dans cette catégorie). Il existe donc les poussière les fumées, les suies, les brunes, les brouillardes ,leurs origines sont diverses(figure .2) elle peuvent être dues à des phénomènes naturels comme les éruptions volcanique ; les feux de forêt, le plein , les érosions éoliennes ou d'origines anthropique comme les combustions, les procédés industriel ,(sidérurgie, cimenterie ...) certains de ces matières particulaires (PM), majoritairement les poussières, demeurent en suspension dans l'atmosphère (vitesse de chute négligeable)

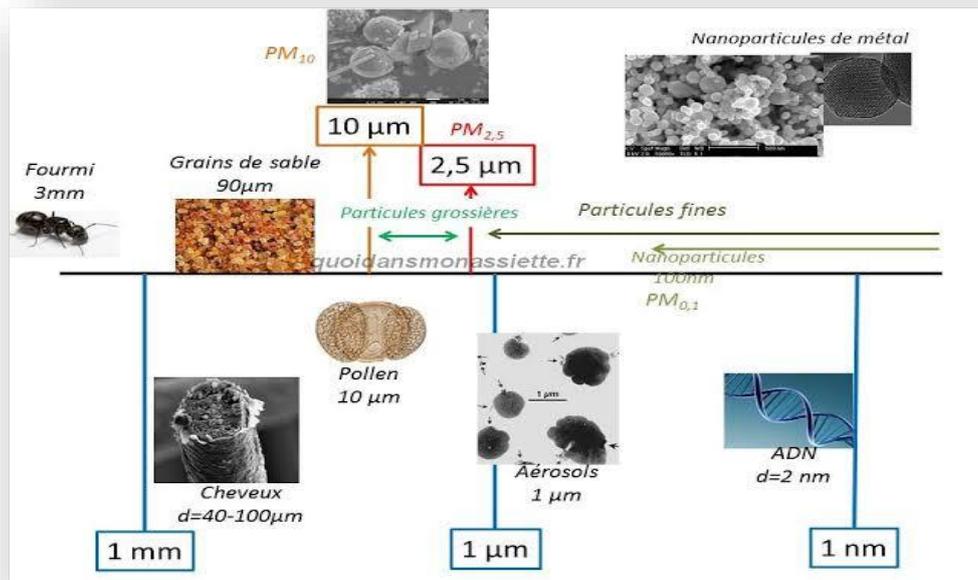


Figure (I.1) : Echelle des aérosols [2]

I.3 Force de coulomb

Une particule chargée est soumise à une force électrostatique dès qu'elle est proche de surfaces chargées ou d'autres particules chargées. En présence d'un champ électrique \vec{E} , les particules ayant acquis une charge électrique q_p

Subissent la force de Coulomb \vec{F}_e

Proportionnelle à la charge, dont l'expression est :

$$\vec{F}_e = q_p \cdot \vec{E} \quad (1.1)$$

L'expression précédente est l'équation de base de la force électrostatique agissant sur les particules en suspension dans les précipitateurs électrostatiques

I.3 Les mécanismes de charge de particules

Dans le fonctionnement d'un précipitateur électrostatique ces deux mécanismes de charges sont secondaires. Un autre est utilisé ; il s'agit de la charge des particules à partir d'une charge d'espace ionique d'origine électrique [02,03 ,04 ,05] ce processus fait

Intervenir trois phénomènes à savoir ; la charge par champ, la charge par diffusion, et la charge mixte (combinaison de la charge par diffusion et par champ), il consiste en l'interaction des particules avec les ions générés dans l'espace inter-électrodes par une décharge électrique. Il va donc dépendre de l'intensité du champ électrique et de la densité d'ions créée :

I.3.1 Charge « naturelle » par attachement des ions

Dans l'atmosphère terrestre, il existe des ions positifs et négatifs générés sans interruption par l'action des radiations cosmiques et des gaz radioactifs émanant du sol. Comme présenté par Hinds [06], l'air contient environ 1000 ions/cm³ avec en première approximation un nombre égal d'ions positifs et négatifs. Les particules d'aérosol qui sont initialement neutres, peuvent acquérir une charge par collision (due à leur mouvement thermique aléatoire) avec des ions. Les particules chargées vont avoir tendance à perdre leur charge lentement en attirant des ions de signe opposée. Donc, ce processus tend vers un état d'équilibre appelé « distribution de charge en équilibre de Boltzmann ». Cet équilibre de Boltzmann représente la distribution de charge d'un aérosol en présence d'ions bipolaires. Pour des concentrations égales d'ions positifs et négatifs dans l'air, en première approximation la fraction des particules fin de taille donnée ayant n charges élémentaires positives ou négatives est donnée par :

$$(1.2)$$

Où K_E , constante électrostatique, e charge élémentaire, d_p diamètre de particule, K_B constante de Boltzmann ; T , température.

I. 3.2 Trio-électrisation

La tribo-électrisation regroupe deux causes d'électrisation : le frottement et le contact. Dans la charge par frottement, c'est-à-dire quand deux particules (ou particule/substrat) différentes frottent l'une contre l'autre, il y a un transfert d'électrons (charges) à partir de la surface d'une particule vers celle de l'autre. Ce processus utilise la différence de structure

électronique des deux surfaces en fonction desquelles une des particules devient positivement chargée et l'autre négativement chargée. Ce phénomène fait que dans les nuages de particules entraînées par un flux d'air, une forte proportion des particules est chargée par contact avec les parois ou par collisions. La charge par contact se produit pendant l'attachement séparation de particules sèches et non-conductrices de surfaces solides. Dans ce processus, quand une particule touche une surface, des charges sont transférées, si bien que la particule acquiert une charge nette positive ou négative quand elle se sépare de la surface. La polarité de la particule chargée et le nombre de charges sur celle-ci dépendent des matériaux et de leurs relatives dans positions les séries

I.3.3 La charge par champ

Dans les séries Il s'agit du mécanisme prépondérant dans un ESP qui se produit par logique grâce au champ électrique extérieur .ce mécanisme concerne , selon white [02] .les particules dans le diamètres est supérieur à 0.5u m ,bien que certains auteurs proposent une limite à 1u m [04][07] lorsque la particule se charge dans l'électrofiltre, le champ électrique crée va engendrer une distorsion locale du champ électrique externe. Il en résulte une concentration de la particule et une augmentation du champ électrique sur sa surface .la distorsion du champ électrique dépend de la nature de la particule et plus précisément de sa résistivité et de sa permittivité relative [02]. Les lignes en tiret illustrent la limite de champ passant à travers la particule tout ion circulant dans les limites imposées par les lignes de champ va entrer en collision avec les particules et lui transférer sa charge, chaque nouvel ion adhérant aux particules va modifie localement le champ électrique générant ainsi un champ de répulsion qui va croît avec le nombre d'ions captés. Ce processus se reproduit tant que la

Force radiale de répulsion créée par les charges cumulées sur la particule ne surpasse par la force électrostatique causée par le champ électrique extérieur [08] L'équation de pauthenier

(1.1), reprise et reformulée dans de nombreux ouvrages, donne la charge par champ $q(t)$ d'une particule sphérique [02, 09, 03, 05, 07, 10, 11, 12].

$$Q(t) = q_s \cdot \frac{t}{t+\tau} \tag{1.3}$$

$$Q_s = \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{3 \cdot \epsilon_r}{\epsilon_r + 2} \cdot d_p^2 \cdot E$$

Pour une particule conductrice ($\epsilon_r \rightarrow \infty$)

Donc $q_s = 3 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot d_p^2 \cdot E$

$$\tau = 4 \cdot \frac{\epsilon_0}{\rho_i \cdot \mu_i} \cdot 4 \cdot \frac{\epsilon_0}{e \cdot n_i \cdot \mu_i} = 4 \cdot \frac{\epsilon_0 \cdot E}{J} \tag{1.4}$$

Avec : q : la charge de la particule, Qs : la charge de saturation, T : temps de charge (s) et τ : constante de temps de charge par champ (s) et ϵ_0 : la permittivité du vide ($\approx 8.85 \cdot 10^{-12}$ f/m), ϵ_r : la permittivité relative. Et dp : le diamètre de la particules (m), E : champ électrique (v/m), J : la densité de courant (A/m²), ρ_i : la densité de charge (c/m³), μ_i : mobilité des ions (m²/v.s), e : charge électronique (1.6*10⁻¹⁹c) n_i : la Concentration des ions dans l'espace (m⁻³)

I.3.4 la charge par diffusion

La charge par diffusion est liée aux collisions rontre les particules et les ions de l'air animés d'un mouvement brownien due à l'agitation thermique : ce processus est indépendant du champ électrique l'agitation thermique va permettre aux ions d'acquérir une énergie suffisante pour vaincre la force de répulsion de coulomb.

Leur permettant ainsi d'atteindre la particule et d'être captés [08], plus la répulsion va augmenter, en raison de la charge accumulée sur la particule ;

Plus la probabilité qu'un ion soit capté par la particule ne va diminuer. Ce mécanisme de charge est prépondérant pour les petites particules .selon white [02], ce processus est valable pour des particules de diamètre inférieur à 0.2u m et de 0.1u

Figure(I.2) : Lignes de champ électrique autour de deux particules même charges (gauche) et de charges opposées (droite) [4]

Le total de charges accumulées sur une particule, à un instant t , après un chargement par diffusion , en supposant que tous les ions frappant une particule sont capturés

$$Q(t) = q^* \cdot \ln \left(1 + \frac{t}{\tau^*} \right) \tag{1.5}$$

$$q^* = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot d_p \cdot K_B \cdot T}{e} \tag{1.5 .1}$$

$$\tau^* = \frac{8 \cdot \epsilon_0 \cdot K_B \cdot T}{d_p \cdot C_i \cdot n_i \cdot e^2} \quad (1.5.2)$$

Avec q^* : la constante de charge par diffusion et Constante de temps de charge par diffusion (s) et K_B : la constante de Boltzmann (j/k) et T : la température (k) et C_i : la moyenne quadratique de la vitesse des ions (m/s)

I.3.5 la charge mixte

Dans le processus de charge mixte, les deux mécanismes de charge interviennent simultanément pour les particules de taille intermédiaire comprise entre 0.2 μ m et 1 μ m [02] sudrajad [10] propose d'utiliser la méthode développée par cochet [45] qui a posé comme hypothèse que, si le temps est infini, la charge collectée est la même pour toutes les particules de taille identique :

$$Q = \left(1 + 2 \cdot \frac{\delta}{d_p}\right)^2 + \left(\frac{2}{1 + 2 \cdot \frac{\delta}{d_p}}\right) \cdot \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 2}\right) \cdot \pi \epsilon_0 \cdot d^2 \cdot E \quad (1.6)$$

Avec δ : le libre parcours moyen des molécules d'air (m)

Un autre modèle numérique a été introduit par lawless [13] qui a modifié les travaux précisant afin d'aboutir à des relations simplifiées prenant en compte ces deux modes de charge [03] [05]

D'autres modèles de charge existent également dans la littérature. Certains utilisent la norme de knudsen ; $Kn = \frac{\delta}{r_p}$ avec r_p : le rayon de la particule (m) : qui permet de définir différents régimes d'écoulement en termes de continuité : régime de molécule libre ($Kn > 10$) régime de transition ($0.1 < Kn < 10$), régime continu ($Kn < 0.1$) [14]. Selon le régime, divers processus de charge par champ et par diffusion existent

I.4 Migration des particules chargées

Les mouvements des particules à l'intérieur d'un précipitateur électrostatique sont définis par l'équilibre des forces (1.8), mais seules les forces de trainée et électrostatique sont prises

en compte, les autres étant négligeable(48) une particule en suspension dans un gaz, dont l'écoulement laminaire est de vitesse U_g , est animée d'une vitesse w

$$F_e + F_d = m_P * \frac{d\omega}{dt} \rightarrow q_s * E - \frac{3 * \pi * n_g * d_P * \omega}{c_u} = m_P * \frac{d\omega}{dt} \quad (1.7)$$

En considérant comme condition initial $W(t = 0)$, la solution de l'équation ci-dessus donne la vitesse effective de migration $w(t)$ au cours de temps (1.9) [03] [04]

$$W(t) = W_{th} * [1 - \exp^{-\left(\frac{t}{\tau_p}\right)}] \quad (1.8)$$

Avec W_{th} : la vitesse théorique de migration

$$W_{th} = \frac{q_s * E}{3 * \pi * n_g * d_p} * c_u \quad (1.8.1)$$

$$\text{Et } \tau_p = \frac{m_p * c_u}{3 * \pi * n_g * d_p} = \frac{\rho_p * d^2 * c_u}{18 * n_g} \quad (1.8.2)$$

Le temps de relaxation des particules son comportement transitoire, jusqu'à ce qu'elle atteigne la vitesse théorique , cette vitesse de migration des particules dépend de nombreux paramètres tels que :

- les caractéristiques des poussières (composition chimique, résistivité, taille, densité)
- les caractéristiques du gaz (composition, pression, température)
- la géométrie de l'ESP : dimensions de l'électrode émissive, forme de l'électrode de collecte, ... [15]

Notons que cette vitesse être réduit de 20% 30% par rapport aux conditions normales, sous l'effet des back corona [16]

Ce paramètre est tout aussi important que la charge des particules dans le fonctionnement d'un [36] ESP : si cette vitesse est faible, le transport des particules vers l'électrode de collecte va diminuer et donc l'efficacité sera moindre.

I.5 Application des PES

L'application la plus courante d'un précipitateur électrostatique est une application électrostatique industrielle pour une fumée cela ressemble à un gaz ; mais il s'agit

Essentiellement d'une accumulation d'éléments peuvent être excités, les laissant composé d'énormes précipitateurs commerciaux.

* Les précipitateurs électrostatiques secs sont utilisées pour collecter les particules sèches comme le ciment, les cendres, etc.

* Les précipitateurs électrostatiques humides sont utilisés pour éliminer les particules humides telles que l'huile, le goudron, la résine, l'acide, etc

* Les précipitateurs électrostatiques sont utilisées dans les usines à vapeur pour éliminer la poussière des gaz de combustion.

* Les précipitateurs électrostatiques sont utilisées dans les ateliers d'usinage et les usines chimiques pour éliminer les brouillards d'huile et les brouillards acides.

* Ceux-ci sont utilisés pour nettoyer le souffle ou les gaz du système de chauffage métallurgique.

* Le PES sont utilisées pour éliminer les bactéries et les champignons dans le domaine médical.

* Les PES sont utilisées dans les systèmes de climatisation pour assainir l'air.

* Les PES sont utilisées pour récupérer les matériaux dans le flux de gaz.

Les PES sont utilisées dans le sable de zirconium pour détacher le rutile dans les plantes comme les moulins à sec et le rutile ainsi, il s'agit d'un aperçu de l'ESP ou des Précipitateurs électrostatique ; ainsi ; à partir des informations ci-dessus, nous pouvons conclure que l'installation de ESP dans les petites industries est compliquée en raison de son coût. Bien qu'avec le soutien du gouvernement, le coût l'ESP sera diminué par une bonne planification ainsi que pour l'attribution des terres, les inconvénients peuvent être annulés. Ces appareils sont utilisés pour les polluants humides et secs, par conséquent la fixation des PES dans les centrales électriques peut présenter de nombreux avantages pour maintenir l'atmosphère inoffensive.

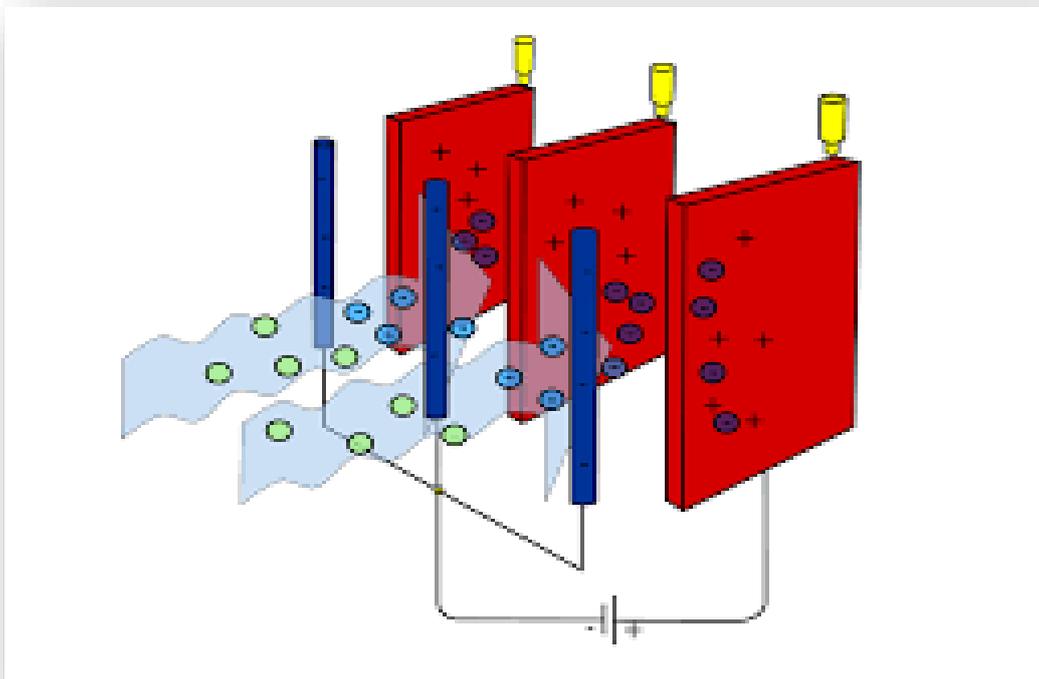
I.6 Origine de la technologie des PES

La première utilisation de la décharge corona pour éliminer les particules des aérosols a été faite par Hohfeld en 1824. Cependant, elle n'a été commercialisée qu'environ un siècle plus tard.

En 1907, Frederick Gardner Cottrell, professeur de chimie à l'université de Californie à Berkeley a déposé une demande de brevet sur un dispositif permettant de charger des particules puis de les collecter par attraction électrostatique le premier précipitateur.

I.7 Description des PES

Le précipitateur électrostatique le plus simple contient une ligne de fils très fins devant une pile de plaques métalliques, espacées généralement d'environ 1 cm à 40 cm. L'air passe



Figure(I.3) : principe d'un précipitateur électrostatique [1]

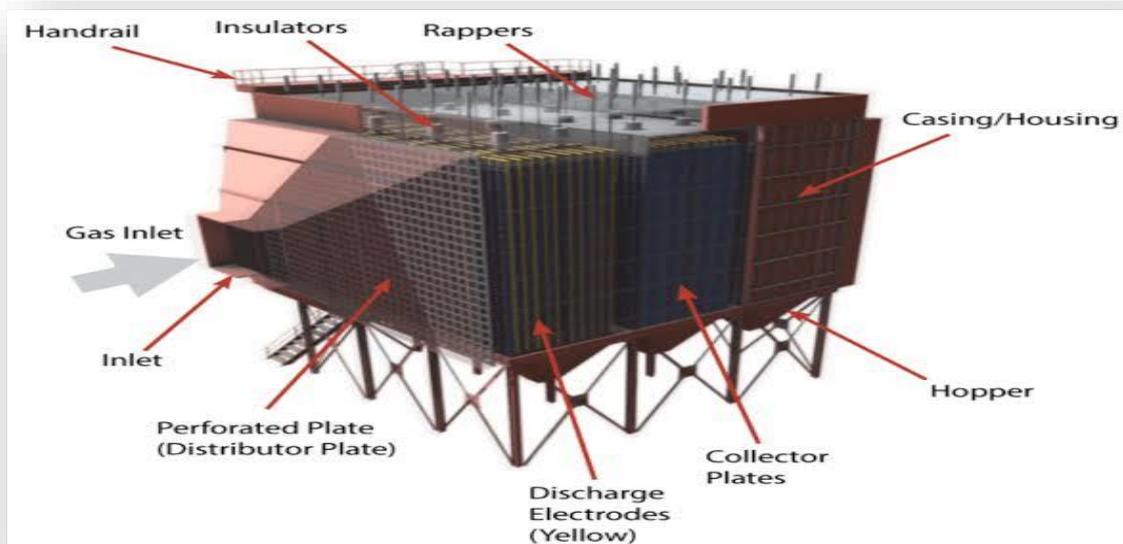
Un courant continu à haute tension charge les fils négativement et les plaques positivement, ce qui développe une différence de potentiel de 1000 v à 150000 v selon les

Applications. La matière solide se charge négativement en passant à proximité des fils : c'est une ionisation. Lorsque ces particules ionisées arrivent entre les plaques chargées positivement, elles sont attirées par elles du fait du champ électrique. Les particules, adhèrent

Aux plaques puis tombent dans un collecteur (par lavage, frappe ou vibration). Le gaz traité est couramment débarrassé de 90 % à 98 % des particules solides qu'il contenait. [18]

I.8-Architecture des précipitateurs électrostatiques

Deux formes principales de filtres électrostatiques se sont imposées dans le temps : les électrofiltres appelés plaque – plaque où les électrodes de collecte sont des plaques parallèles et des électrodes cylindriques, où les électrodes de dépôt sont des cylindres. De plus, ces deux catégories d'électrofiltres peuvent être réalisées en un seul ou deux étages.



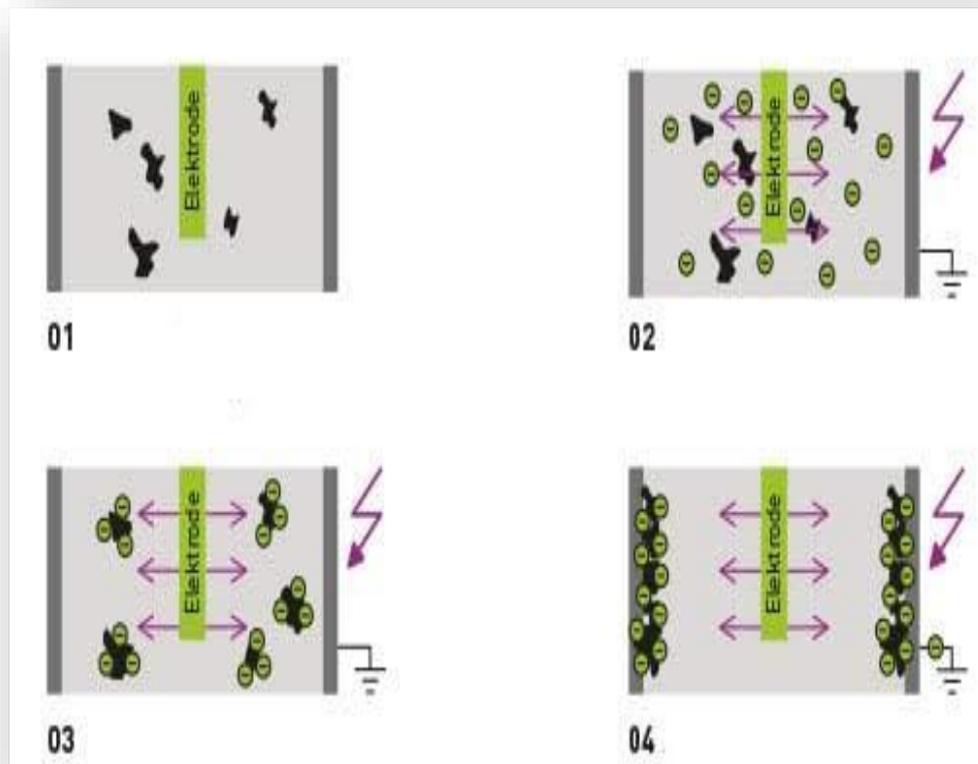
La Figure (I.4) : un précipitateur électrostatique typique [3]

I.9 Filtre électrostatique

I.10 Description du fonctionnement d'un électrofiltre

Le fonctionnement d'un électrofiltre est basé sur trois principes :

- 1-charger électriquement les particules en suspension dans les gaz à traiter.
- 2-collecter les particules chargées par l'intermédiaire d'un champ électrique.
- 3-enlever les poussières précipitées sur les plaques de collection [18]



Figure(I.5) : Électrofiltres –principe de fonctionnement [2]

Le principe de base du fonctionnement d'un électrofiltre est relativement aisé à comprendre il consiste à charger des particules de poussières, initialement neutres, présentes dans un effluent gazeux ; puis à les récupérer par collecte pour, un fine, libérer un gaz purifié derrière cette explication simplifiée se cachent de nombreux phénomènes physico-chimique.

Tout d'abord, l'électrode émissive, connectée à une alimentation en tension, génère un champ électrique suffisamment élevé pour initier une décharge électrique dans

L'intervalle inter _ électrodes [19] .la géométrie favorisent la formation d'un nombre de charge électriques de polarité négative.

Les charges créés dans le gaz vont ainsi être transférées aux particules de poussières en suspension [03]. [20]. Sous 00 des forces 0, les particules chargées de même polarité que l'électrode émissive vont dériver vers l'électrode de collecte reliée à la masse. Dans le cas idéal, le gaz dépourvu de poussières sort « dépolluer » les poussières 0 amassées sur l'électrode collectrice sont récupérées en frappant (00 sec) ou en 00 couler un liquide (filtre

Humide) .selon k .R Parker [04] le transport de la dérive de ces particules sont gouvernés par de nombreux phénomènes physico-chimiques inter connectés (Figures 8). 0

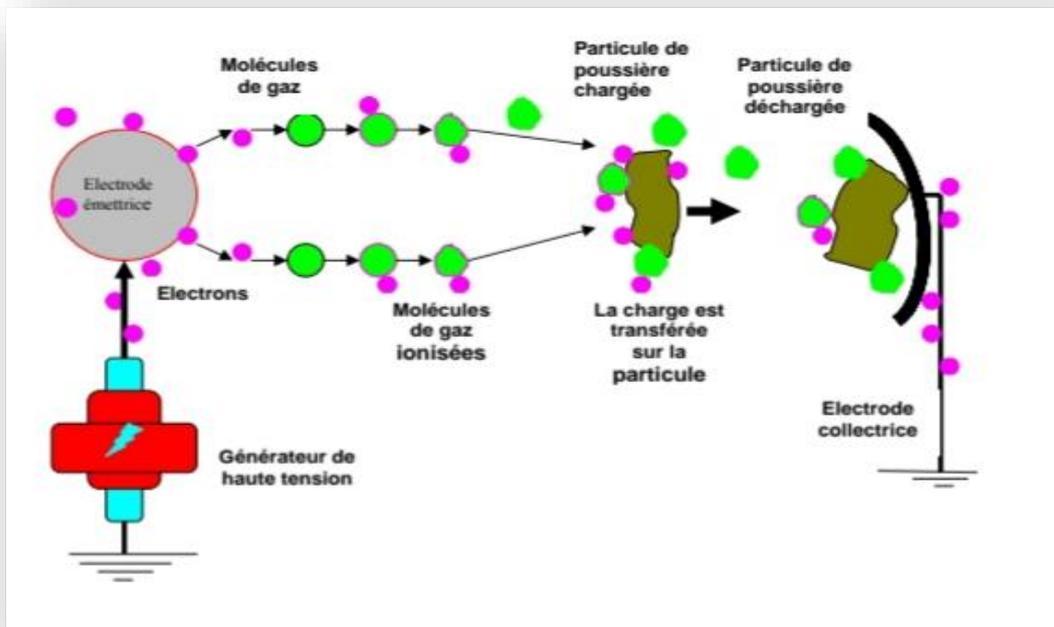


Figure (I .6) : Vue schématisée des poussières d'un ESP [10]

I.11 Différents types d'électro- filtres

On distingue plusieurs types de précipitateurs :

- *Les électro-filtres à un seul étage.
- *Les électro –filtres à double étage.
- *Les électro-filtres humides.

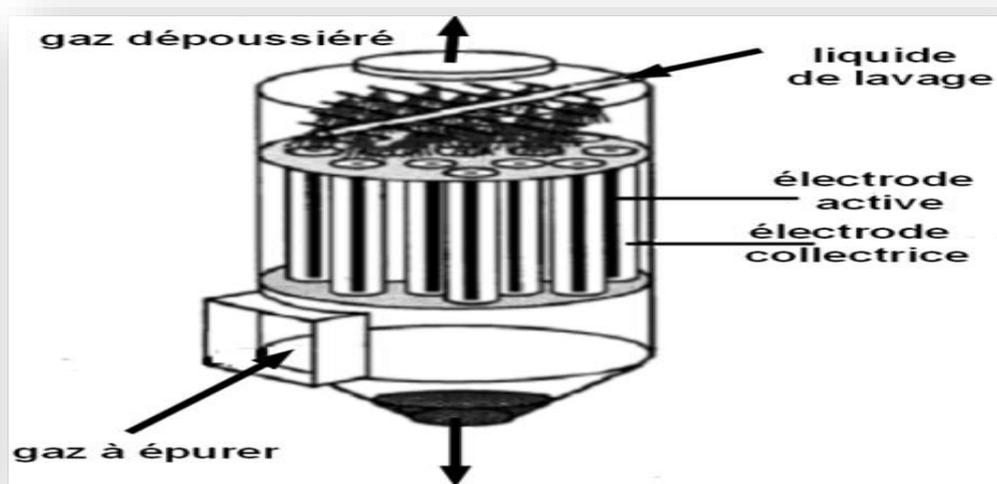
I.11.1 Humides

Le gaz brut est refroidi dans la tuyauterie par injection d'eau de recirculation jusqu'au point de saturation et parvient au filtre. Là, il est réparti équitablement sur toute la section. La valeur de gaz brut pré-épuré traverse maintenant l'électrofiltre humide.

Ce dernier se compose d'un champ haute tension avec des électrodes collectrices et des électrodes émettrices centrées les particules et aérosols encore présents dans le gaz sont chargés négativement et dans le champ électrique jusqu'à la surface collectrice. Des nettoyages périodiques garantissent la propreté des surfaces collectrices et des électrodes émettrices suite à un traitement interne, l'eau de ces lavages est transférée dans le circuit. Des installations de sédimentation des solides contenus dans l'eau qui sont ensuite évacués sous forme de boue par une vis de répartition et une unité de drainage .l'ajout d'additifs garantit une qualité de l'eau correcte et constante.

Ces dernières années, l'électrofiltre humide a été mis en œuvre pour épurer tout particulièrement. Les gaz issus de sécheurs de l'industrie des produits dérivés du bois (MDF ,copeaux ,OSB) , car les systèmes de ce type permettent non seulement de séparer de manière exceptionnelle les poussières et aérosols , mais également de réduire efficacement les odeurs .l'électrofiltre humide combine laveur humide et électrofiltre .les procédés seka et sena reposent sur la technologie de l'électrofiltre humides , mais scheuch a cependant revisité le concept et l'a spécialement adapté à ce cas d'utilisation .

Le procédé sena est un électrofiltre humide avec une étape destinée à séparer les poussières les aérosols et dont les surfaces collectrices sont alvéolées. Ce système est privilégié dans l'industrie des produits dérivés du bois, dans l'industrie du contre-plaqué et de l'isolation, ainsi que dans l'industrie des pellets .au besoin .en ajoutant de manière ciblée des additifs. Il est possible de séparer des matières organiques, en particulier le formaldéhyde.



Figure(I.9) : Type d'électrofiltre humide [27]

I. 11.2 les Electrofiltres à seul étage

A cause de leur construction plus simple et de leur robustesse en fonctionnement, les électrofiltres à seul étage sont les plus utilisés dans les applications industrielles. La charge et la collecte des particules sont réalisées simultanément tout au long du filtre. [02] Parmi les électrofiltres à un seul étage, ceux de type plaque-plaque sont les plus répondus, ici, les électrodes de dépôts sont des plaques parallèles et équidés tantes et le gaz est ionisé à partir d'électrodes ionisantes situées dans les plans verticaux à mi-distance entre les plaques (figures 2-2). En général les électrodes de collecte sont soumises périodiquement au frappement, ce qui permet de décoller les agrégats afin de les retenir dans des bacs-spéciaux placés dans la partie inférieur du filtre.

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'électrofiltre, cela permet l'adaptation des condition électriques en fonction de la taille et de la concentration des particules dans chaque champ.

Dans le cas de précipitateur fil-cylindre, l'électrode ionisante est tendue le long de l'axe du cylindre placé verticalement. Classiquement .le début de particules formé sur la face intérieure du cylindre et nettoyé par l'intermédiaire d'un film liquide .ainsi les agglomérats se détachent et, sous l'influence de la gravité, ils tombent dans les trémies situées dans la partie inférieur des 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, ...En dehors des électrodes de collecte et d'ionisation (souvent appelées (électrodes émissives ou injectrices) un filtre électrostatique comporte aussi des systèmes de frappement et l'extraction des poussières, un dispositif de répartition des gaz, constitué en général par des grilles ou des chicanes placée en amont, ainsi qu'une alimentation haute tension. Lors du dimensionnement d'un précipitateur plusieurs paramètres doivent être pris en considération .parmi ceux-ci, les plus importants sont : la concentration et la natures des poussières, la vitesse moyenne et la température du gaz à travers le filtre, les pertes de pression acceptées pas l'installation [02]

Les précipitateurs électrostatique sont alimentés par une tension positive ou négative cependant, pour une configuration d'électrodes données, la valeur du potentiel électrique à

partir de laquelle se produit l'amorçage de la décharge couronne, ainsi que celle du potentiel de claquage entre les électrodes sont plus grand en polarité négative. Afin d'obtenir un maximum d'intensité du champ électrique et d'efficacité de collecte, les électrodes d'ionisation des filtres industriels sont portés à un potentiel négatif et les plaque collectrices sont reliées à la terre.

I .11.3 Les Electrofiltres à deux étages

Les filtres électrostatiques à double étage ont une construction plus compliquées ce qui conduit à des couts 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 électrofiltre sont alimentées séparément en tension ce qui nécessite en général une double source de tension ainsi que des câblages électrique séparés le premier étage nommé ioniseur, comporte des électrodes de décharge en

Forme de fil ou de tube. Les électrodes de collecte pouvant être soit des plaques parallèles et équidistante, soit des cylindres coaxiaux la figure (2-3) présenté une vue schématique d'un précipitateur électrostatique à deux étages ayant des électrodes de collecte sous forme de plaques un problème pour ce type de précipitateur est l'impossibilité d'utiliser le système de frappement car il provoque le renvoi des poussières non chargées le lavage des électrodes et 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 [28]

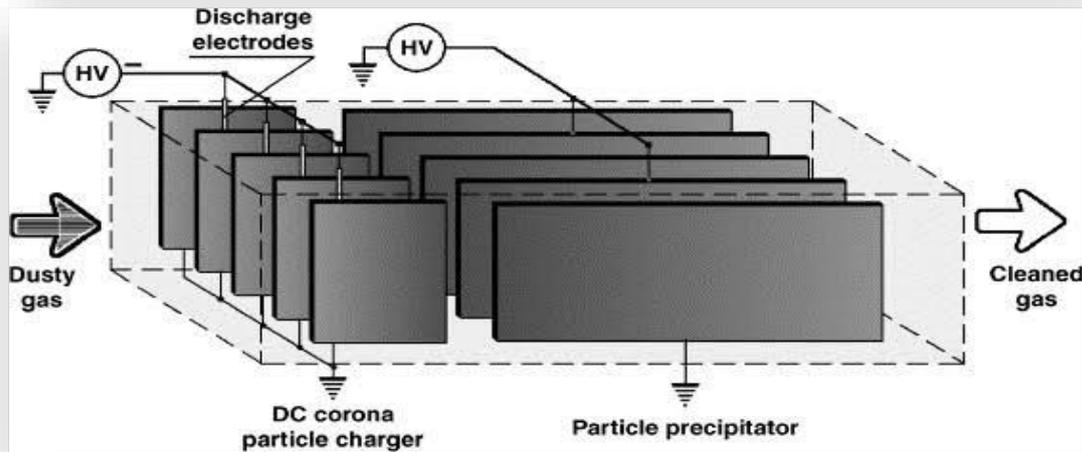


Figure (I .7) : Électrofiltre de type plan / plan : à deux étages [11]

I.12 les avantages et les inconvénients d'un précipitateur électrostatique

Mais tous les appareils ont leurs avantages et leurs inconvénients et nous allons en discuter dans cet article. Après nous être familiarisés avec les avantages et inconvénients des précipitateurs électrostatiques, nous allons décider si leur installation dans une centrale thermique ajoute une valeur globale.

I.12.1 - les avantages

- le rendement élevé de l'élimination des particules et des polluants l'efficacité d'un précipitateur électrostatique dépend de nombreux facteurs tels que la résistivité des particules ;
- le rapport de puissance corona ; ect ; pour une élimination des particules dans des circonstances normales ; leur efficacité est très élevée ; à 99% de l'élimination des particules de poussière.
- les précipitateurs électrostatique ont des efficacités de collecte relativement élevées (99-100%) sur une large gamme de tailles de particules (environ 0.05 à 5 μ m)
- collecte des polluants secs et humides il existe deux types d'électrostatique précipitateurs humide et sec.
- Le PES secs est utilisé pour la collecte des polluants secs tels que les cendres ou les particules de ciment. les PES humides sont utilisés pour éliminer les particules humides telles

que la résine ; l'huile, la peinture, le goudron, l'acide ou tout ce qui n'est pas sec au sens classique du terme.

- faibles couts d'exploitation les couts d'exploitation des précipitateurs électrostatiques sont faibles et économiquement réalisables à long terme.

I.12.2 les inconvénients

- Cout en capital élevés dépoussière électrostatiques ont un cout en capital initial élevé ; ce qui le prohibitif pour les petits industriels. ils sont chers à l'achat et à l'installation.

- Nécessite un grand espace. en plus d'être couteux ; ils nécessitent un grand espace pour être mis en place. encore un fois, la proposition de valeur pour les petites industries est réduites car elles sont couteuses et nécessitent beaucoup d'espace pour être aménagées.

- Par flexible une fois installé les précipitateurs électrostatiques n'offrent pas la flexibilité de fonctionnement .une fois installé, il est difficile de modifier la capacité de l'ESP ou de la déplacé vers un autre emplacement, il faut donc bien planifier la capacité, le type et l'emplacement de l'installation de l'ESP.

- Ils ne peuvent pas être utilisés pour collecter des polluants gazeux, un dépoussière électrostatique peut être utilisé pour collecter uniquement des polluants secs et humides et non pour des polluants gazeux c'est un majeur inconvénient de l'ESP.

Conclusion

Dans le premier chapitre nous avons traité de l'étude théorique des phénomènes physiques et de leur relation avec les précipitateurs électrostatiques, et comment les charges des particules dans le champ électrique pour connaître toutes ces questions nous avons présenté des modèles pour l'allumage des filtres électriques et nous avons avancé une étude et expérimentons sur la technologie de filtration électrique de l'air chargé de poussières, de gaz et de matières ligneuses.

Lorsque nous passons au deuxième chapitre nous faisons ces recherches et commençons pour en extraire des faits et des résultats.

Chapitre 02:
Explication du model
expérimental

II .1 Introduction

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

En ce chapitre une description détaillée du dispositif expérimental ainsi le matériel utilisé pour l'expérience de précipitateur électrostatique.

Ces expériences ont été réalisées après de longues études et observations des sources de tension disponibles dans ce laboratoire. Nous avons également vérifié la qualité et qualité des matériaux et équipements utilisés dans cette expérience

Les précipitateurs électrostatiques nécessitent une source de courant continu à haute tension.

II.2 Matériel utilisé

Dans cette recherche, nous avons fourni un ensemble d'équipements de laboratoire pour effectuer les mesures nécessaires. Avec le suivi du superviseur de l'équipe pour la bonne utilisation des appareils et la sécurité de chacun de l'équipe et des appareils.

Cet ensemble est composé d'équipements : générateurs (sources HT) et les appareils de mesures qui fonctionnent bien, ce qui permet un bon déroulement de l'expérience et d'excellents résultats.

II.2.1 source de haut tension

Glassman high voltage DC séries LT, ce modèle génère un courant variable entre 0 et 30 mA et tension variable entre 0 et 80 KV et supporte le court-circuit en cas de décharge du courant (tension de claquage) dans l'expérience.

❖ Caractéristiques techniques :

- Fréquence : 48/53 Hz
- Tension : 220v



Figure (1.1) : Source de haut tension (positive et négative).

1.2.3 MCP regulated power supply

Il s'agit d'une alimentation stabilisée et d'un dispositif électronique généralement conçu pour être utilisé comme générateur idéal de tension et de courant.

- ❖ **Caractéristiques techniques :** Tension : 220V



Figure (1.2) : MCP regulated power supply.

II.2.4 Autotransformateur

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}).

❖ Caractéristique technique :

- ✓ Tension :260v
- ✓ Courant continue :8 A
- ✓ Courant alternative 6 A



Figure (II.3) : Autotransformateur.

II.2.5 Station de soudure à air chaud

Cet appareil est utilisé pour souder ou fondre des matériaux, tout comme nous fixons le fil au milieu du cylindre.

❖ Caractéristique technique :

- Volume d'air : 23l/min
- Tension :220v
- Puissance : 550 w
- Fréquence :50 Hz
- Température :+952 k



Figure (II.4) : Station de soudure a air chaud

II.2.6 Un souffleur

Nous avons utilisé un souffleur pour assurer l'écoulement de la fumée à une certaine vitesse et même pour refroidir notre appareil ;

❖ **Caractéristique technique :**

Tension : 220 V- 240v

Fréquence : 50/60 Hz

Puissance : 600w

Vitesse: 1300 Tr/min



Figure (II.5) : Un souffleur aspirateur électrique.

II.2.7 Une perceuse

Pour faire un trou dans le plexiglas et fixer le fil au milieu.

❖ **Caractéristique technique :**

Tension: 220/240 v

Fréquence : 50/60Hz

Puissance : 125W

II.2.8 Analyse de fumé

Analyser les composés dans la fumée.

❖ **Caractéristique technique :**

Tension : 230v

Fréquence : 50/60 Hz

Température : 10°C - 40°C

Puissance : 0,2 Kw

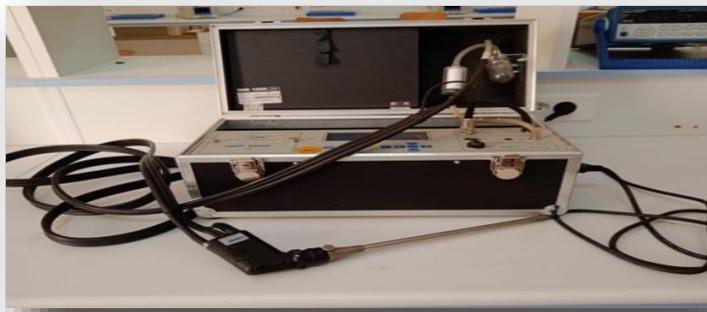


Figure (II.6) : Analysante de fumé.

II.2.9 Humidimètre

Affiche les valeurs de température et d'humidité

❖ **Caractéristique technique :**

Température de service:

-20 à +50°C

Type de pile : pile 9v, 6F22



Figure (11.7) : Thermo-hygromètre de précision modèle Testo.

11.2.10 Balance de laboratoire électronique

cet équipement permet de mesurer la quantité de poussière qui sera injectée dans le filtre, ainsi que la poussière récupérée à la sortie, sa capacité de pesée Max : 24000g .min :240 g .



Figure (11.8) : Balance de laboratoire électronique

II.2.11 Anémomètre thermique à hélice

Les anémomètres à hélice sont des appareils de mesure du vent classique désormais volontiers utilisés tant à l'intérieur qu'à l'extérieur. leur manipulation aisée permet de mesurer la vitesse du vent ou de l'air possible en minimum de temps, sa gamme de mesure : 0,3..20 m/s, avec précision : $\pm 0,1$ m/s ou $\pm 1,5$ % vm.



Figure (II.9) : Anémomètre thermique à hélice.

II.2.12 les pinces crocodile

Les pinces crocodile sont utilisées pour le bricolage en électricité ou électronique, elles sont utilisées en générale avec un multimètre ou autres appareils de mesure.

❖ Caractéristique technique

La largeur maximale d'ouverture des pinces crocodile : 10mm

Tension nominale : 30v à 60v

Longueur : 0.5 m couleur rouge et noir

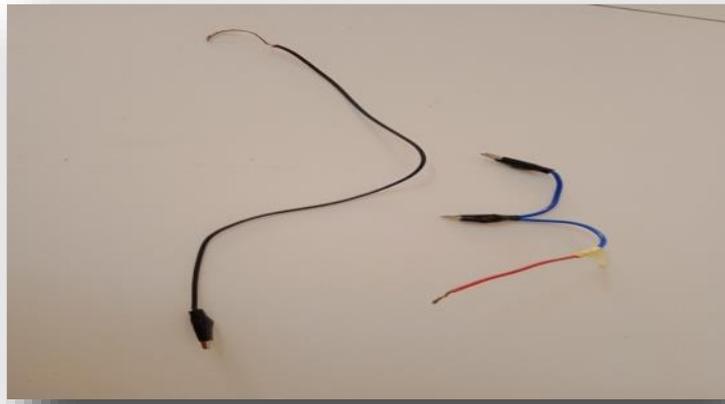


Figure (11.10) : La Pince crocodile.

11.2.13 Keithley

Les mesures précises de haute résistance et de faible courant

❖ **Caractéristique technique**

- -courant 100aA- 20mA
- -Tensiom : 10 μ A-200V
- -Résistance : 10m Ω - 200G Ω
- -Charge : 10fC- 20 μ C



Figure (11.11): Le Keithley.

II.3 description du dispositif expérimentale

Le dispositif d'essai est représenté sur la figure, est constitué de deux parties essentielles :

- -UN système injection.
- -un système d'ionisation et de collection.

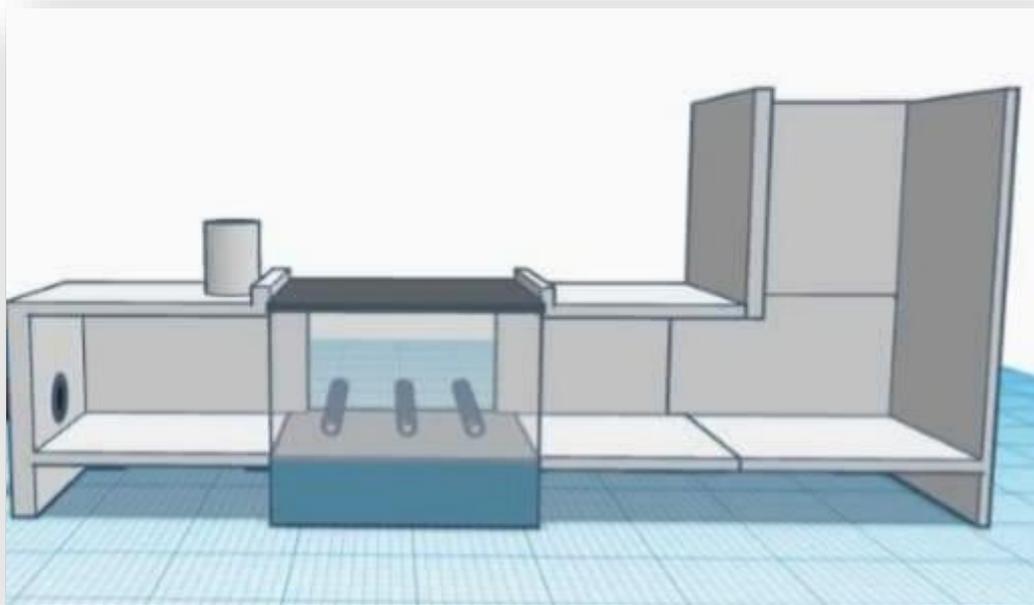


Figure (II.12) : constitution du dispositif expérimentale.

II.3.1 système d'injection

Le système d'injection se compose de :

- -autotransformateur
- -ventilateur

Entrée de poussière cercle rectangulaire en matériau PVC de 20 cm de longueur pour le passage de la poussière

Le système d'injection utilisé dans cette expérience est le système de tous les matériaux mentionnés précédemment, et il se compose de deux paramètres physiques principaux :

Vent et poussière

Ces données sont pour obtenir le flux des vents poussiéreux dans le cercle rectangulaire effectué par le vent et à partir de l'air pollué, un courant a été créé qui nous permet d'atteindre la zone d'ionisation

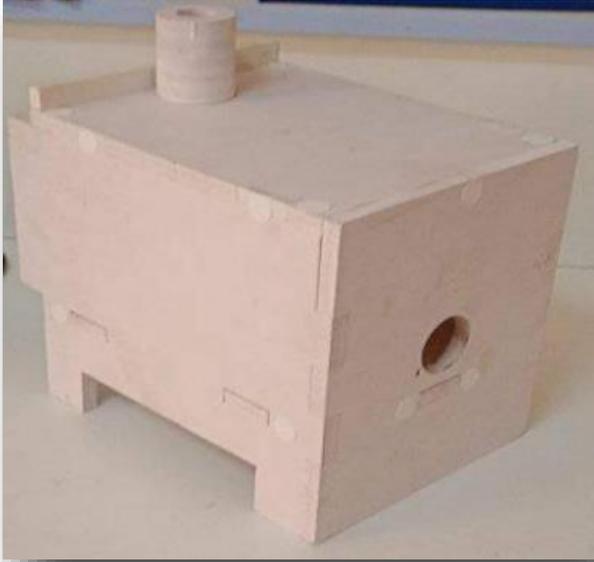


Figure (II.13) : Le système d'injection.

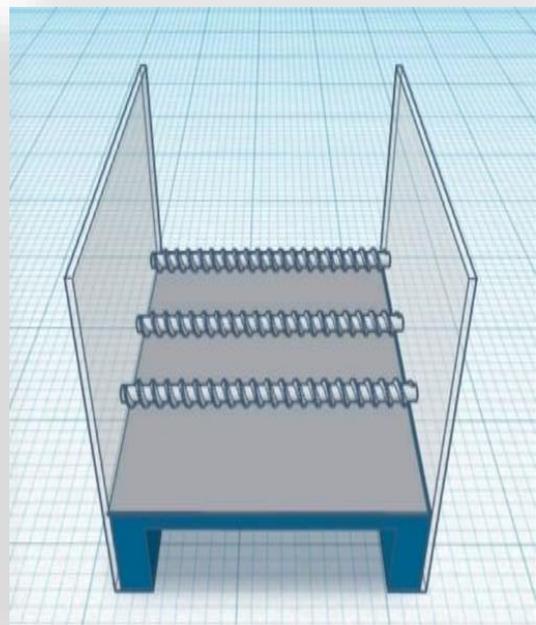
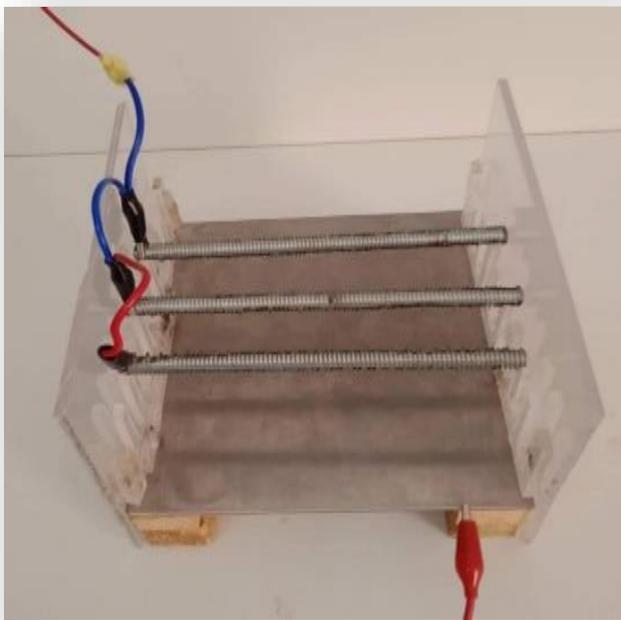


Figure (II.14) : les system d'ionisation.

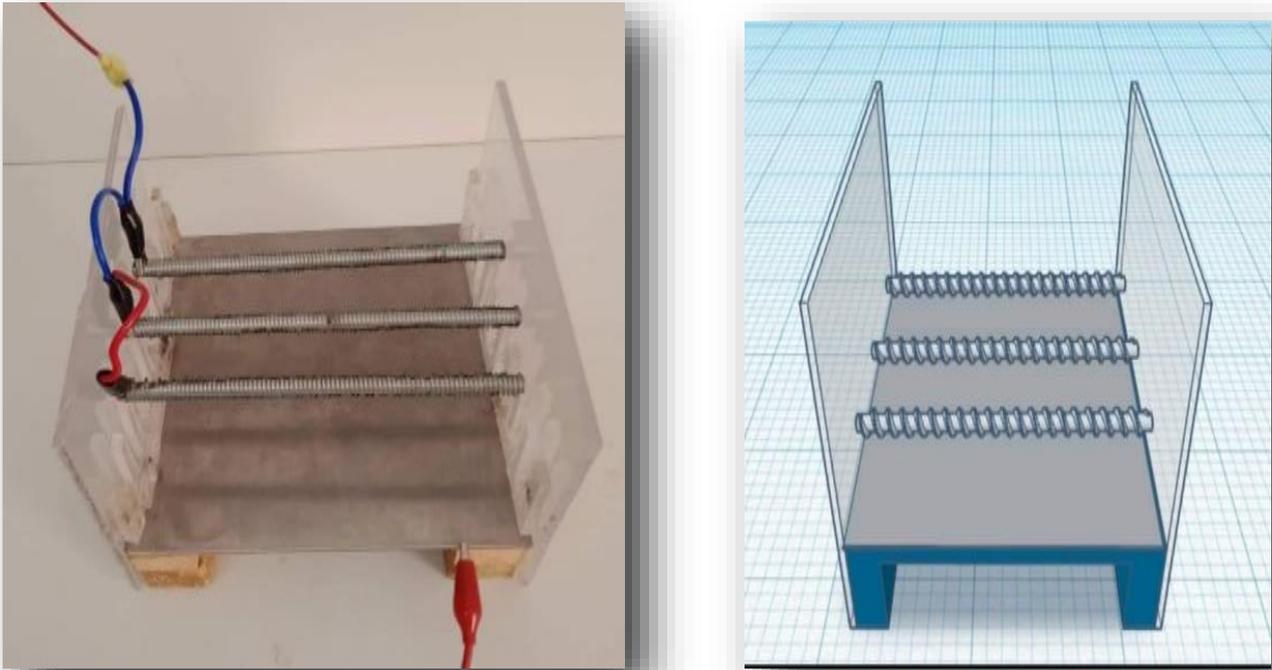


Figure (11.3.2) : le filtre électrostatique de type tige filetée-plan

Le système d'ionisation et de collection se compose de :

- -enceinte en Plexiglas d'épaisseur 5mm
- les tiges de profondeur de 0.8 ; 0.9 ; 1 ; 1.2
- Plan rectangulaire en acier inoxydable de longueur 23 cm et de longueur 30 cm

Le système d'ionisation utilisé est le système de tous les matériaux mentionnés précédemment pour réaliser cette expérience et afin d'obtenir de bons résultats, les matériaux utilisés sont résistants à de nombreuses influences extérieures telles que : correction, désintégration, effet corona. Le groupe de ces matériaux est constitué de :

||.3.2.1 Le rectangle en acier inoxydable

L'acier inoxydable aussi connu sous la contraction « inox » est un alliage métallique ferreux. Il contient plus de 50% de fer ,un minimum de 10,5% de chrome et un maximum de 1.2% de carbone .sa grand résistance à la corrosion est sa principale caractéristique . [35]

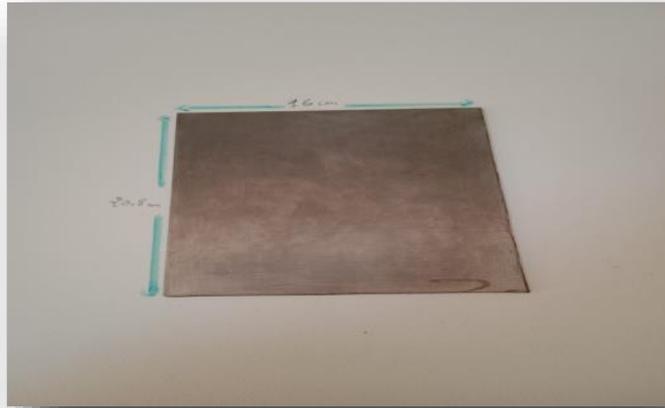


Figure (||.14) : Photo du plan INOX qui est utilisé dans l'expérience.

||.3.2.2 les tige électrostatique

Les tiges de profondeur de 0.8 ; 0.9 ; 1 ; 1.2



Figure (||.15) : La tige filetée

II.4- les différents types de particule utilisée

Dans ce travail, nous avons utilisé plusieurs types de particules de matériaux afin d'enrichir les résultats obtenus.

II.4.1 le ciment

La composition classique du ciment est de 80% de calcaire et 20% d'argile. la composition de base des ciments actuels est un mélange de silicates et d'aluminates de calcium, résultant de la combinaison de la chaux (CaO) avec de la silice (SiO₂), de l'alumine (Al₂O₃), et de l'oxyde de fer (Fe₂O₃). [29]

II.4.2 la sciure de bois

Le bois proprement dit est un mélange de trois polymères naturels : cellulose, lignine et hémicelluloses, dans la proportion approximative de 50%, 25%,25%, en fonction de l'espèce. [29]

II.5.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, 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.

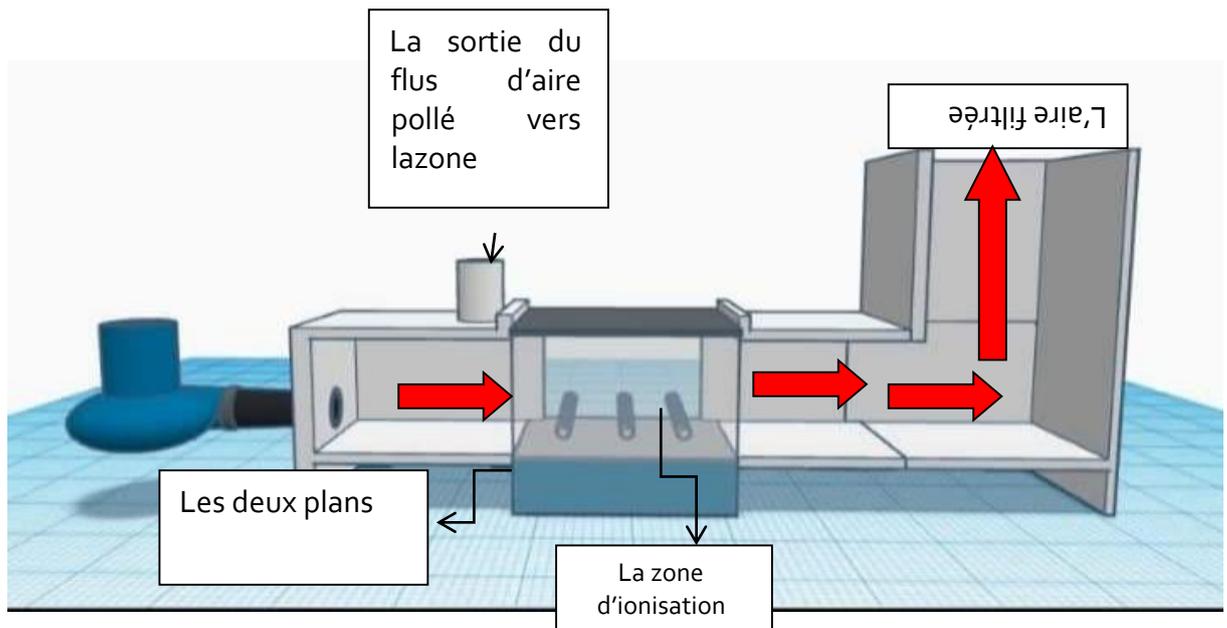


Figure (II.16) : Le system d'Ionisation

II.6 Conclusion

La partie expérimentale est considérée comme une continuité des diverses observations et conclusions, car elle est considérée comme l'étape principale pour réaliser toutes les hypothèses à travers les outils appropriés, le tout en favorisant l'aide de nombreuses méthodes au niveau du laboratoire. La qualité de l'équipement est la principale source de la validité de cette expérience.

Les manipulations qui ont été effectuées sur le CSP spécial porteront sur le dernier chapitre des résultats et de la discussion, ainsi que sur le traitement des simulations appliquées dans notre travail.

Chapitre 03 :

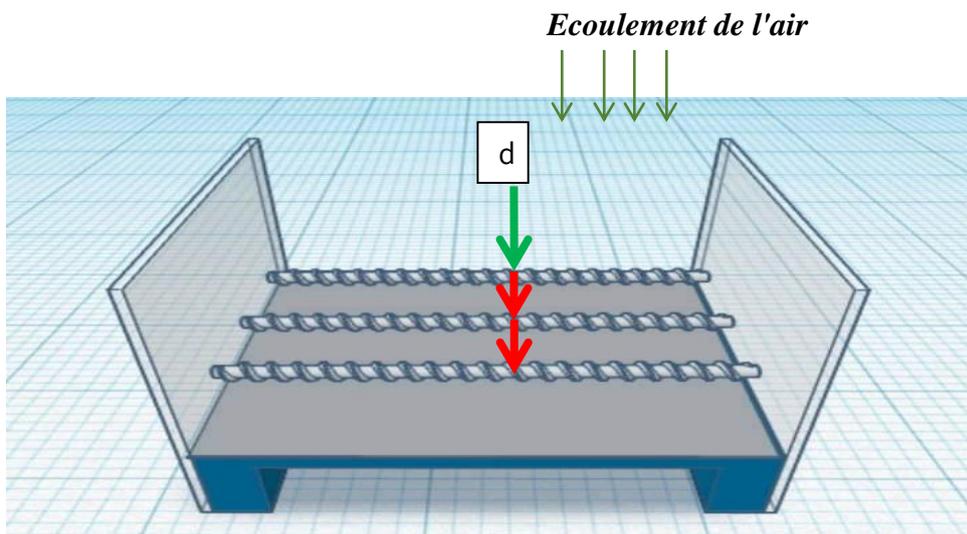
Résultats et discussions

III .1 Introduction

Après avoir terminé nos expériences au niveau de laboratoire .Dans ce chapitre, nous discuterons et analyserons tous les résultats , le but de ce travail et de cette discussion est déterminer les paramètres de décharge couronne (tension seuil, caractéristique courant-tension, la mobilité des porteurs de charges ... ect), ainsi que tout ce qui touche au PES. Par rapport aux paramètres physiques géométriques et confirmer plusieurs théories .

III .2 Méthodes expérimentales

Le dispositif expérimental que nous utiliserons dans notre étude et dont nous vous montrerons l'explication dans la suite de troisième partie . Il est constitué d'un bois de taille rectangulaire et constitue un isolant, puis on pose une glissière en inox encastrée au même niveau que la surface .la longueur du plan de la glissière est $L=20\text{cm}$ selon l'axe y et la largeur est $L=16,3\text{ cm}$ le long de l'axe X . L'électrode est serrée par des fermes isolantes en plexiglas à une distance de $h = 6\text{cm}$ et une distance entre les pôles $d = (2a)$



Figure(III.1) : PES en tige filetée-plan

III .3 Configuration géométrique

L'électrode émise est la base de comparaison entre deux types différents (une électrode et un fil fin) et à partir de là ; nous avons quatre électrodes avec un diamètre de $R=1$ et une longueur de $L=15,9\text{ cm}$. Est très petit et nous le représentons avec des dents. La distance entre les deux anneaux de tige est ce qui rend ce dernier meilleur ou non car la diffusion des lignes de champ dépend directement de la distance.

	1Tige	2Tige	3Tige	4Tige
Le pas	0,5	0,9	1	1,2
Nombre de dents	30	18	16	14
S	0,02	0,05	0,09	0,1

Tableaux (III .1) : Nombre de dents et de liges des trois électrodes actives .

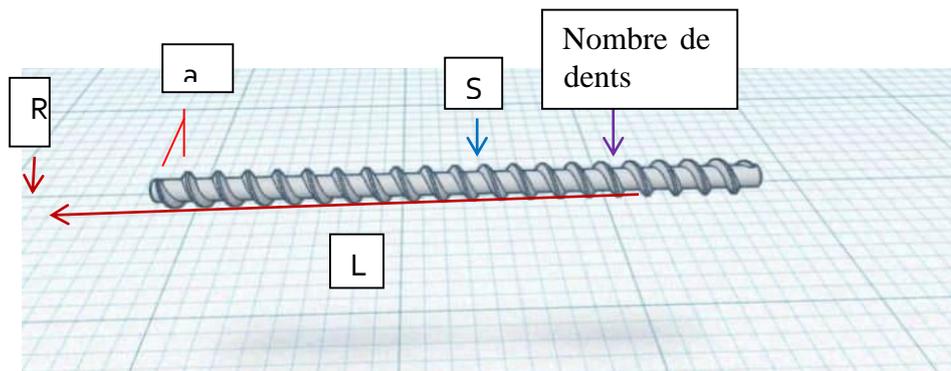


Figure (III.2) : Configuration de l'électrode haute tension

Mesures électrique et principe de fonctionnement

Le dispositif d'essai de la figure montre l'électrode active (11) reliée à un montage haute tension continue (12) pour délivrer une tension, celle-ci alimentée après redressement double alternance constituée d'une diode haute tension au silicium supportant une tension de 270 kv. Un condensateur de lissage de 10nf et une résistance d'amortissement de 106 k0hm R, dont le rôle est de protéger la diode des surintensités.

La création de la tension alternative d'origine se fait en amplifiant une basse tension appliquée au transformateur primaire d'un transformateur élévateur secondaire connecté en diode. Ou le courant de décharge est mesuré par un multimètre (9) relié au plan(E) par une résistance de 1. Les plans de garde (G) sont mis à la terre.

Nous avons effectué des tests pour tous les coefficients de décharge corona et les paramètres physiques de l'effet, au niveau du laboratoire haute tension. Nous avons également pensé à une technique pour mesurer les courants de décharge à travers la résistance appropriée, en insérant simultanément plusieurs sondes dans le plan de mesure. Cette technologie permet à l'utilisateur d'éviter d'entrer dans le réseau à chaque fois que des tests sont effectués, assurant sa protection et facilitant la tâche

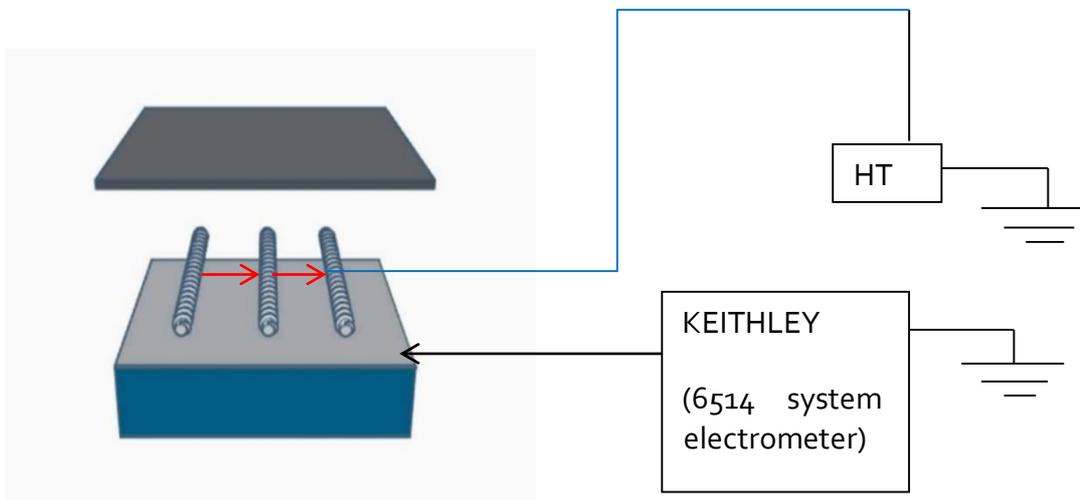


Figure (III. 3) : schéma électrique cas libre

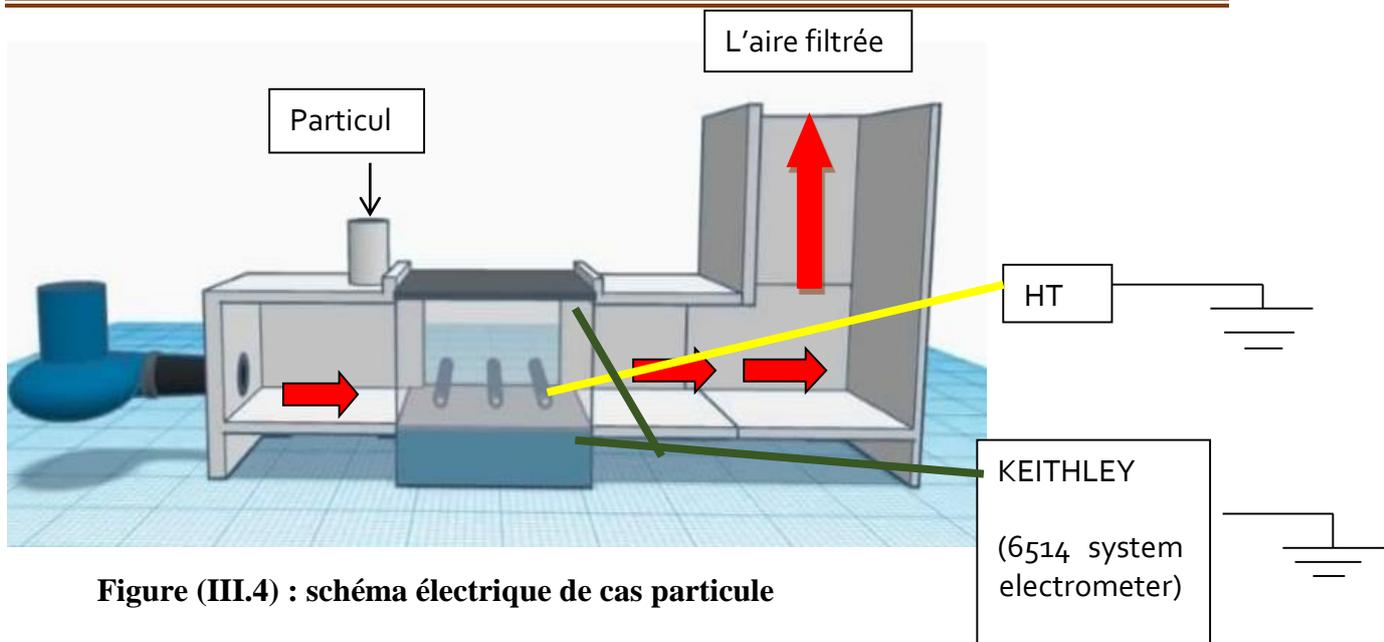


Figure (III.4) : schéma électrique de cas particule

III .5 Caractéristique courant-tension

Lorsque nous étudions les caractéristiques courant-tension, nous sommes appuyés sur ces informations qui sont suivantes :

La tige d (2a), les différents hauteurs de tiges(h), le nombre de tiges, la nature de la tension appliquée $v+$; $v-$.

Nos expérimentations sont basées sur les paramètres suivants :

- la tension appliquée à la tige
- le courant I collecté à la surface du plan
- la vitesse V de l'écoulement de l'air à travers le PES
- les paramètres physiques de l'air (la pression , la température et l'humidité).

III .6 Effets du pas (distance entre les anneaux de la tige) sur la décharge couronne :

Nous commençons plutôt à caractériser les tiges, nous avons identifié une tige haute tension défavorable dans le système avec lequel nous travaillons ;(tige03) elle est très étroite et la distance entre les anneaux est petite, $a=1\text{mm}$.

Nous vous montrons sur la figure(III.4) et (III.5) la caractéristique en tension de la tige 03 des deux types de décharge. Lorsque la tension augmente, le courant augmente lorsqu'il dépasse la valeur de V_0 et jusqu'au milieu gazeux V_C s'effondre.

Par conséquent, le courant est faible et cela est dû à la réflexion des lignes de champ établies dans la région d'ionisation ,qui agissent comme cylindre lisse autour de l'électrode qui fait diminuer le courant de décharge qui est une fonction non linéaire de la tension appliquée V .

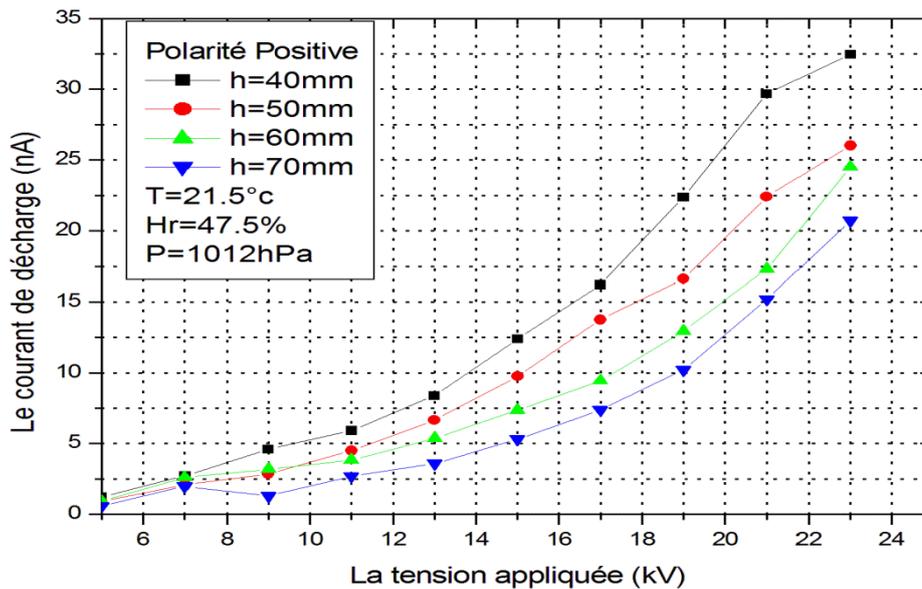


Figure (III .5) : Caractéristique courant-tension en fonction de la distance inter-électrodes en polarité positive.

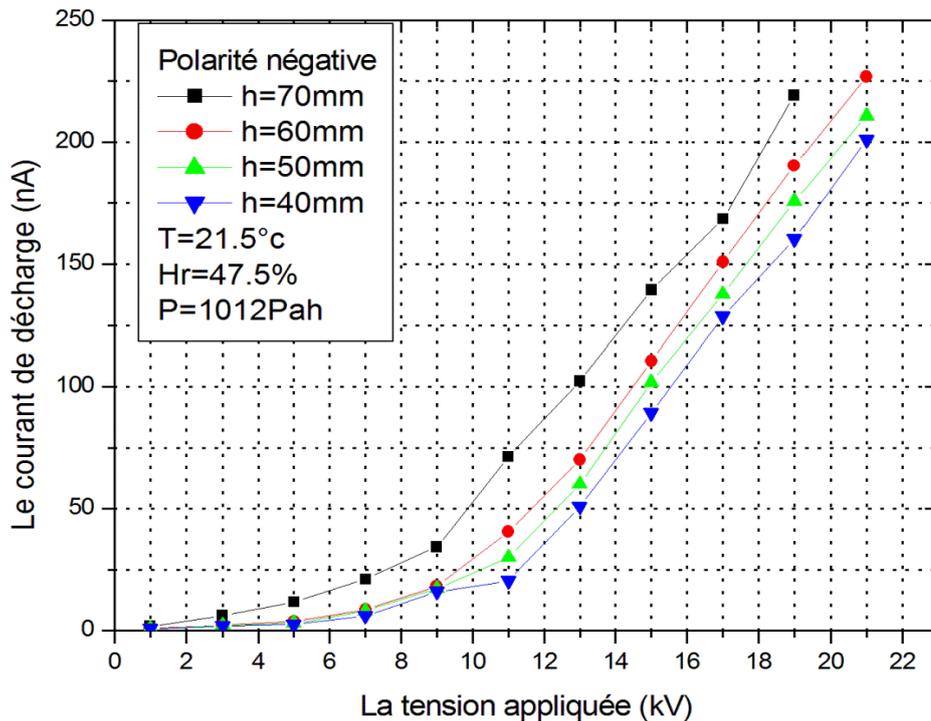


Figure (III. 6) : Caractéristique courant-tension en fonction de la distance inter-électrodes en polarité négative.

Afin de pouvoir améliorer la décharge, nous avons augmenté le degré d'inclinaison de la tige à $d=2\text{mm}$ et cela apparaît sur les figures (III. 6.a et III. 6.b), la décharge a augmenté par rapport à celle de la tige 04 et nous avons évité la répulsion de charge et la propagation du champ dans régions d'ionisation de l'électrode, c'est-à-dire que si l'on prend deux anneaux de l'électrode active comme deux régions d'ionisation par rapport au courant qui les traverse, lorsqu'il se touchent, la tige perd sa force ponctuelle en termes de vitesse, ces derniers préférant produire une décharge.

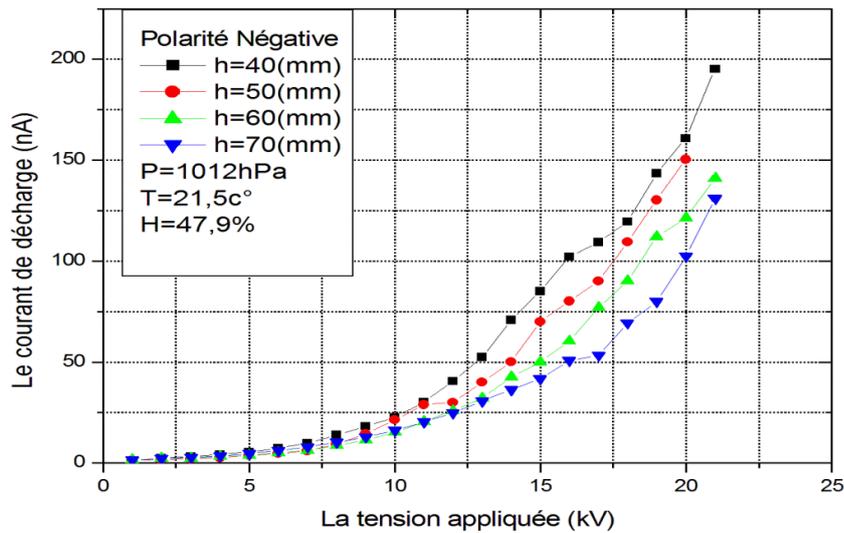


Figure (III .6 .a) : Caractéristique courant-tension en fonction de la distance inter électrode en polarité négative tige 4.

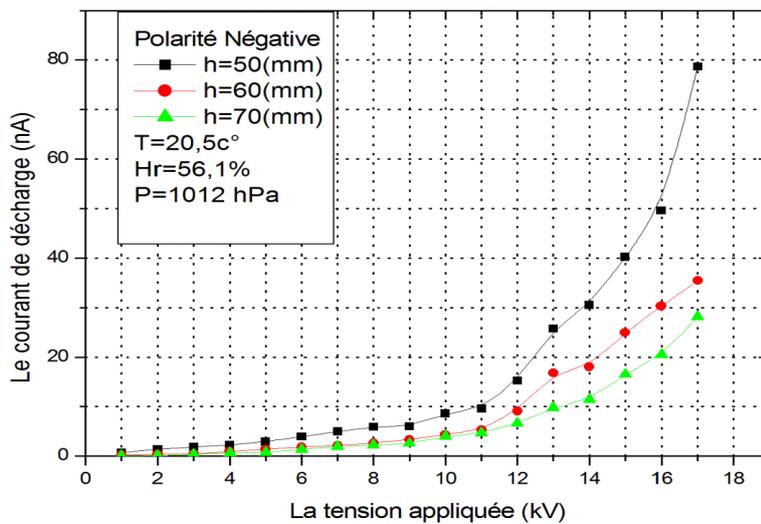


Figure (III .6.b) : caractéristique courant-tension en fonction de la distance inter-électrodes en polarité négative de la tige1

En comparant les courants des tiges (01, 02,03 ,04), on remarque que pour les hautes tensions la décharge est proche des quatre tiges, et cela est dû à la compensation énergétique

due à l'augmentation des anneaux de tige

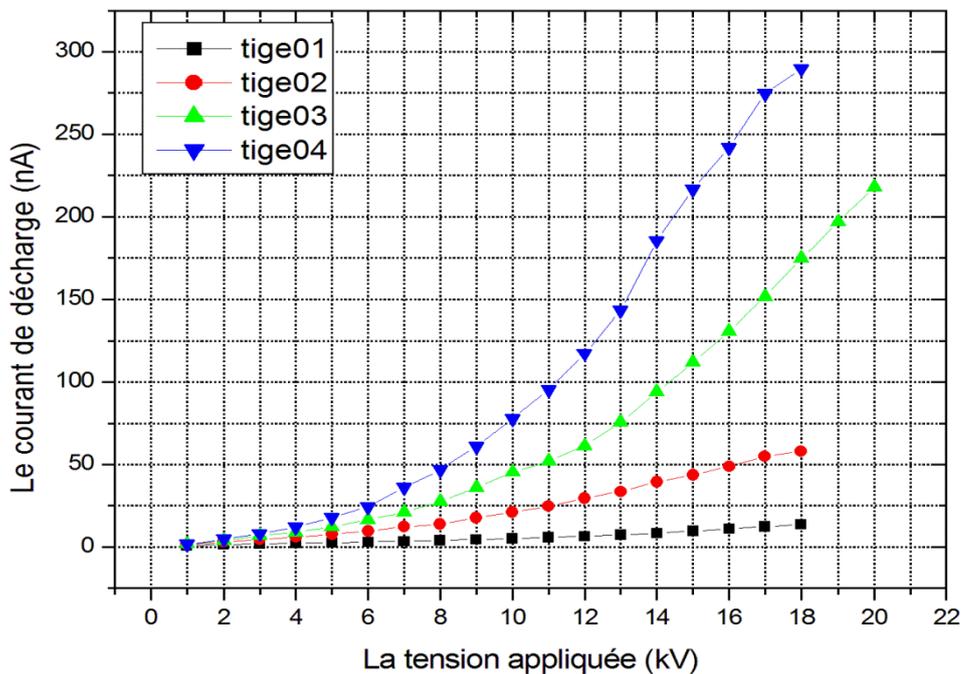


Figure (III. 6 c) : comparaison de la décharge entre trois tiges pour $h=70\text{mm}$.

III .7 Effets de la distance inter-électrodes et du pas de l'électrode sur la décharge couronne :

La spécificité de la décharge DC positive ou négative est l'existence d'une zone de Dérive des ions qui agissent comme une impédance en série avec la zone d'ionisation et donne aux décharges couronne leur stabilité [31],

Dans une décharge négative, les ions positifs résultant de l'ionisation retournent rapidement à la cathode, tandis que les ions négatifs résultant de la liaison électronique migrent vers la région de dérive où il se trouve le champ est plus faible. Avec une décharge positive, les ions positifs sont générés directement dans la région d'ionisation puis migrent à travers l'espace inter-électrode, (IV3) et (IV4), montrant l'évolution des courbes de décharge caractéristique courant-tension pour deux types de polarité.

Le premier exemple de l'électrode émettrice (tige 03). nous avons affuté le fil par rapport à l'exemple précédent et l'avons serré à $d=7\text{mm}$.

Le courant est plus important et augmente plus rapidement de manière proportionnelle à la tension appliquée pour les faibles distance entre électrodes, des seuils de décharge corona apparaissent pour les faibles valeurs de tension.

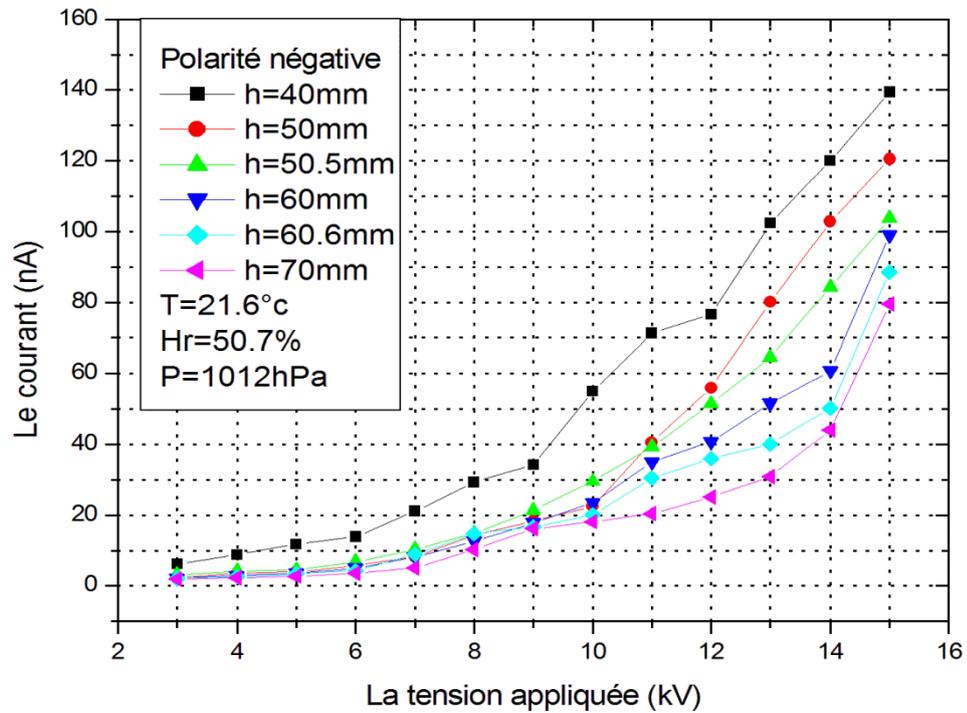


Figure (III .7) : caractéristique courant-tension en fonction de la distance inter-électrodes en polarité négative

Il en va de même pour la polarité positive ; sauf qu'ici le courant de décharge se produit à de petites valeurs tout en conservant les mêmes valeurs de tension appliquée en polarité négative

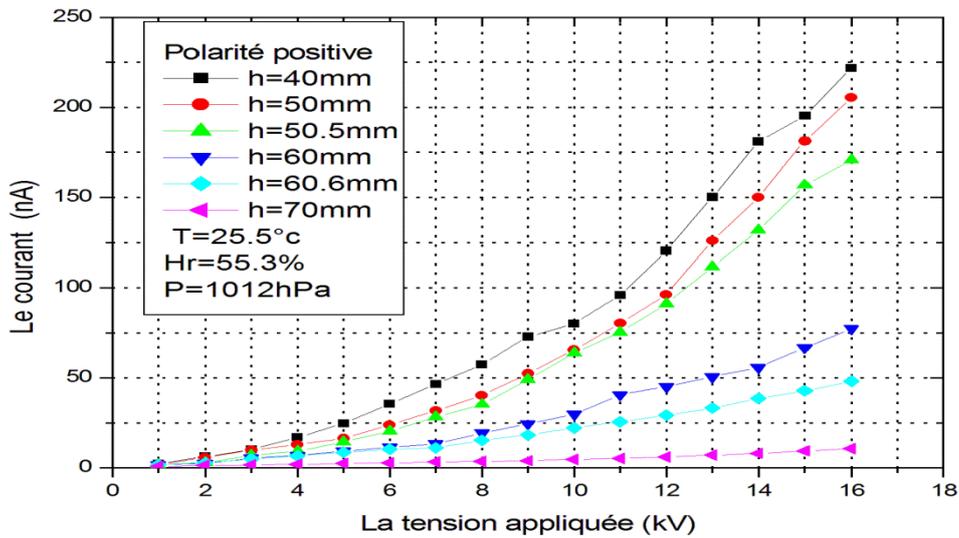


Figure (III .8) : caractéristique courant-tension en fonction de la distance inter-électrodes en polarité positive de tige(1)

Le courant continu qui traverse l'espace inter-électrodes est une fonction non linéaire de la tension appliquée. Bien que les décharges recouvrent des phénomènes complexes, une relation empirique classique simple dite loi courant-tension de Townsend est généralement utilisée. En 1914, Townsend [19,20] a tiré une formule pour la caractérisation courant-tension et la stabilité de phénomène dans un système fil-cylindre, plus tard il a été empiriquement constaté que la relation Townsend pourrait également être utilisée pour les géométries fil-plan et pointe-plan, comme Henson publie [68] cette formule est donnée :

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

Ou bien :

$$\frac{1}{V} = K (V - V_0) \tag{IV.2}$$

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

La propriété $I = f(v)$ a une forme quadratique et confirme la loi de Townsend, et pour vérifier, la tension de seuil doivent être déterminées pour chaque électrodes.

La tension de seuil V_0 augmente avec l'augmentation de la distance entre les tiges. Pour l'électrode active négative, les électrons collent très vite aux atomes, où se forment des ions négatifs et tout se passe comme polarité d'émetteur sont émis vers le plan collecteur sous l'influence de l'ionisation, nous utilisons une décharge corona négative qui Elle conduit à une comparaison entre les sécrétions négatives de corona et la décharge de corona positif.

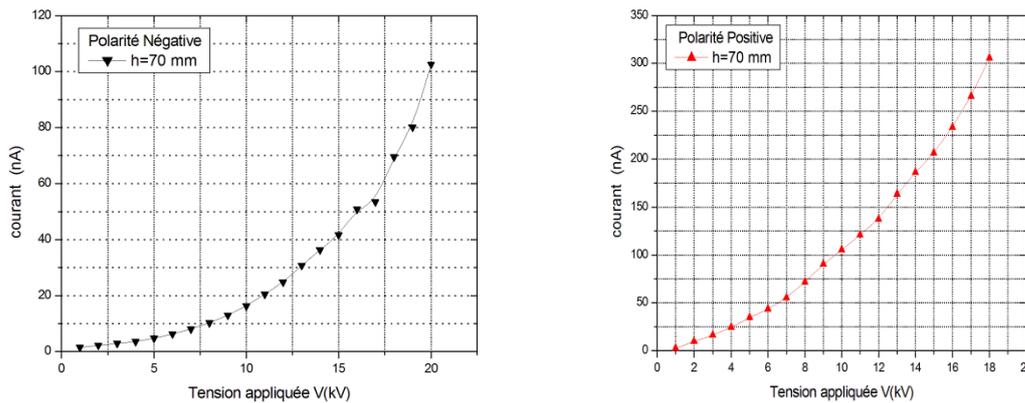


Figure (III.9) : Caractéristique courant-tension en fonction de la distance inter-électrodes pour les deux polarités.

Avoir le même courant de décharge supérieur en polarité positive et tension de seuil en polarité négative et supérieure à celle en polarité positive.

La courant de décharge semble avoir plus d'influence sur la polarité négative de la tige .car la tension appliquée est $V=20$ KV, le courant de décharge est $i=214$ nA pour la polarité négative et la polarité positive est $i=205$ Na, pour atteindre l'efficacité optimale de dépoussiérage, la concentration d'ions dans le gaz doit être maximal, sans arc électrique. Par conséquent, la tension de fonctionnement est prise légèrement inférieure à la tension de flexion sous forme de kilovolts, qui est la cause des problèmes de perte d'efficacité du PES dans la majorité des applications couronnes et c'est pourquoi on cherche à éviter le passage de l'arc pour ne pas endommager les appareils de mesure

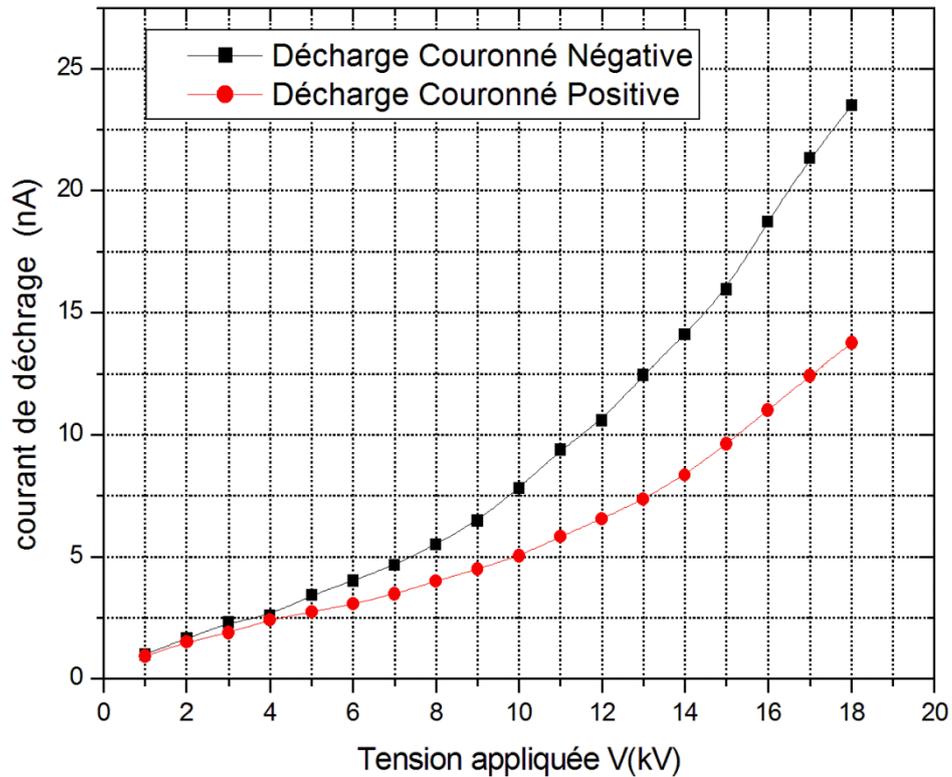


Figure (III .10) : caractéristique courant –tension en fonction de la distance

Inter –électrodes pour les deux polarités

A partir de la tension de claquage v_c on entre dans le domaine des décharges perturbatrices avec étincelles. La figure(IV.6) montre que la tension de claquage pour les deux électrodes est identique avec de très faibles distances entre les électrodes. De la distance $h= 40\text{mm}$ les deux courbe commencent à diverger pour atteindre la tension de claquage $v_c=40\text{ kv}$ à une certaine distance $h= 70\text{mm}$ au pôle négative et à la même distance il atteint la tension de claquage $v_c= 37\text{ kv}$, et à partir de là on constate que la tension de claquage à polarité négative est supérieure à celle à la polarité positive.

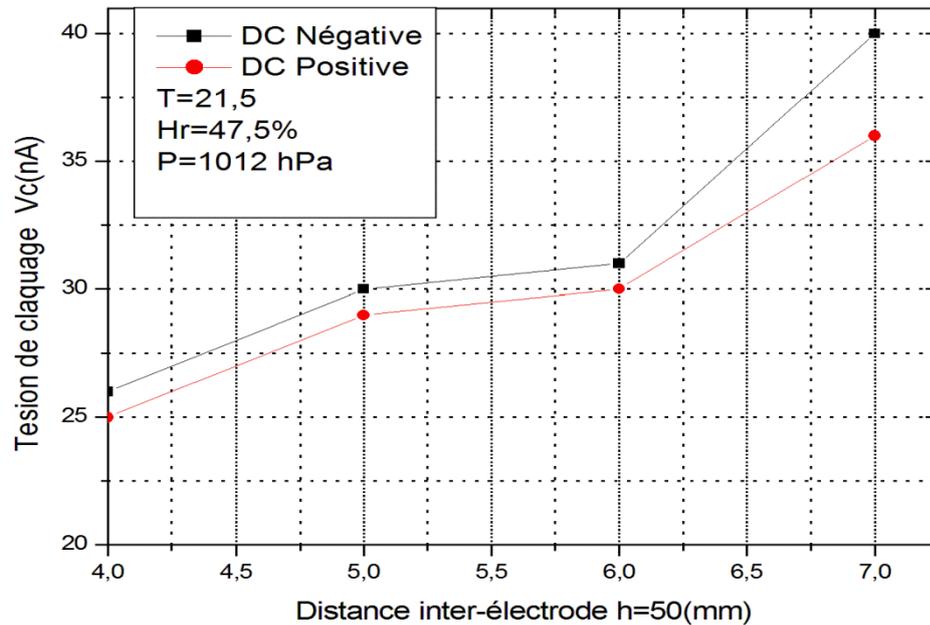


Figure (III .11) : tension de claquage en fonction de la distance inter-électrode pour les deux polarités

III. 8 Choix de la polarité

Selon les figure (III .1 et III.4), la polarité positive ne convient pas au PES dans le plan linéaire fileté, car ses résultats ne sont pas clairs, et il y a une difficulté à être difficile à manipuler, et la portée de son travail est étroite par rapport à la polarité négative, et à partir de là nous disons que les tensions qui nous sont données sont uniquement de polarité négative.

III .9 Facteur géométrique K en fonction de la distance inter-électrode

Nous pouvons exprimer le rapport du courant et de la tension de différence potentiel par l'équation (III .2). Pour les distances entre les électrodes, nous déterminons le paramètre K- par les pentes des droites représentées sur la figure (III .7).

Nous déterminons d'abord les valeurs de tension de seuil pour rod01 en traçant la courbe $I/V=f(v)$. Ensuite, pour toute distance les électrodes, nous obtenons une linéarité ponctuelle représentant le rapport cité, et lorsque nous ajustons cette ligne, nous remarquons qu'elle coupe l'axe V en un point, ce dernier représentant la tension de seuil qui correspond à la distance entre les électrodes étudiées, figure (III.12)

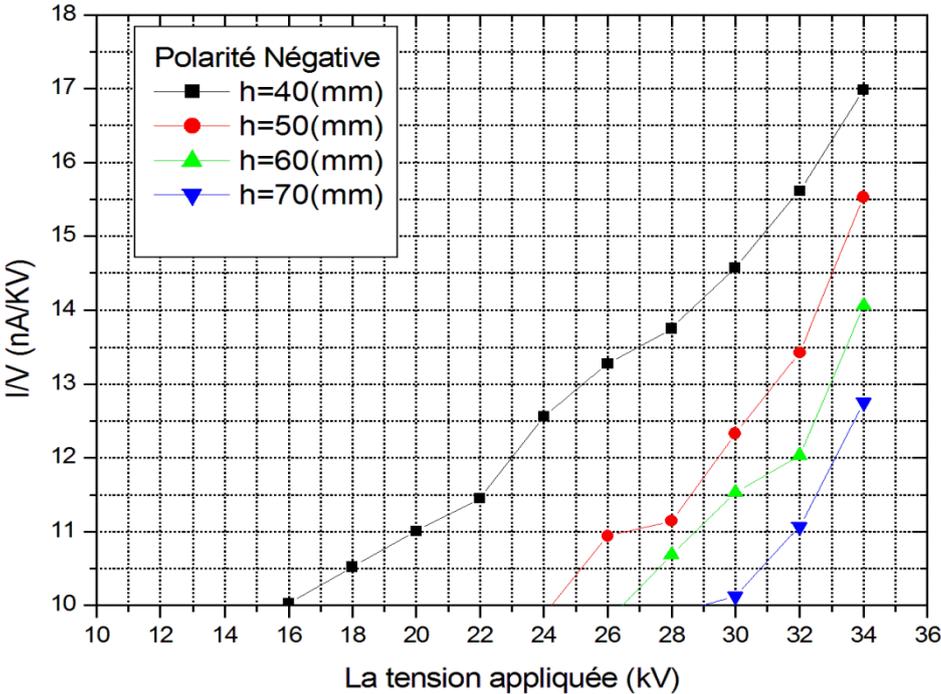


Figure (III .12) : caractéristique $I/V=f(v)$ pour la détermination de la tension seuil V_0 de la tige (03)

Ensuite, nous avons comparé les valeurs obtenues avec les valeurs de tension de claquage pour clarifier l'évolution de ces deux paramètres électriques

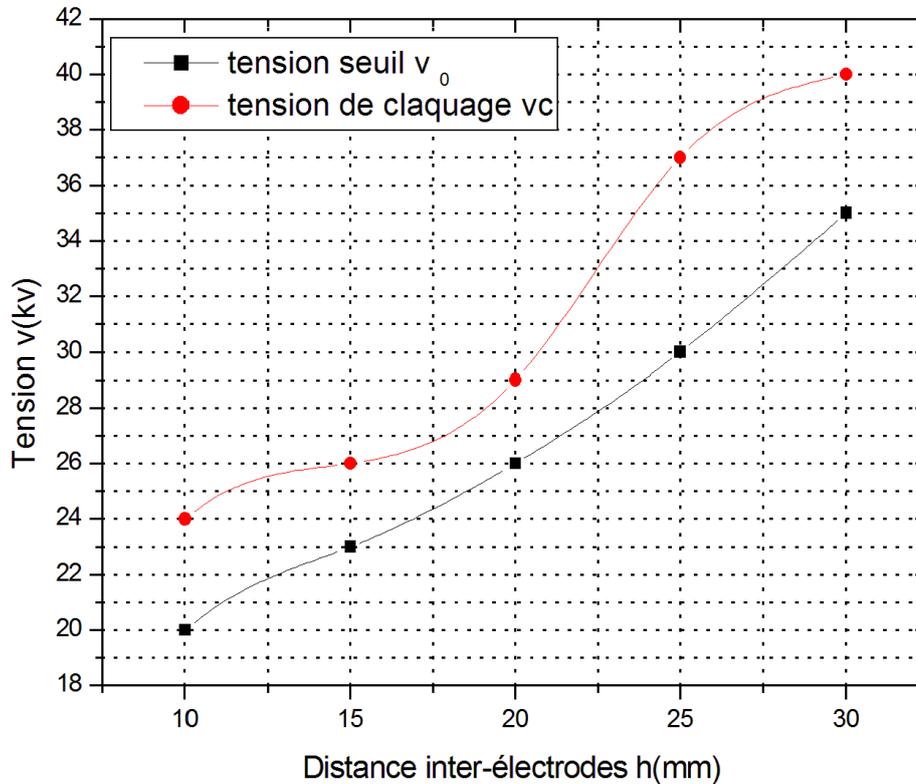


Figure (III .13) : comparaison entre la tension de claquage et la tension de seuil de la tige 01

Les tensions de la tige 01 suivent le critère de proportionnalité pour leur évolution par rapport aux distances entre les électrodes, qui sont inférieures aux tensions auxquelles elles s'adaptent. Pour les petits distances, on remarque que les deux courbes sont proches l'une de l'autre, et pour les grandes distance elles s'éloignent, et de là la différence est plus grande pour les décharges négatives. Pour cela, les électrodes fonctionnent avec une tension négative afin d'assurer une bon charge des particules, un champ électrique de forte intensité et de réduire au maximum les pannes.

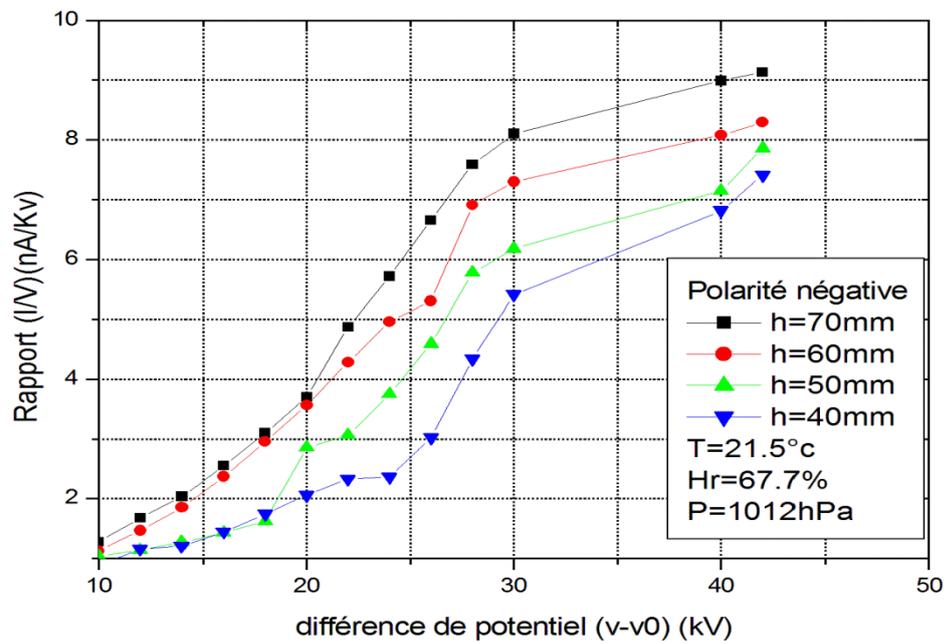


Figure (III.13): Dépendance du rapport courant/tension (I/V) avec la différence de tension (V-V0) en polarité négative.

La constante géométrique K est proportionnelle au mouvement apparent des porteurs de charge et supérieure en cas de polarité négative (voir tableau IV.1). la mobilité apparente semble également diminuer avec la distance bipolaire pour les deux pôles. La variance observée de (K-) avec une distance de $\pm 10\%$ est incluse dans la plage d'incertitude expérimentale.

H(mm)	h=40mm	H=50mm	H=60mm	H=70mm
DC négative (k-)	0.25	0.23	0.11	0.08
DC positive (k+)	0.36	0.38	0.43	0.37
k-/k+	0.69	0.6	0.25	0.21

Tableaux (III .2) : résultats de facteur Kdes caractéristiques courant-tension

III .10 Formule empirique générale des caractéristiques courant-tension

Les études empiriques des décharges corona nous montrent que toutes les formules empiriques ont quelques difficultés à décrire les caractéristique courant-tension basées sur les données empiriques et la connaissance de la formation corona, la nouvelle formule générale développée par Meng et al.[66]

Afin de découvrir le phénomène de décharge couronne dans la géométrie du plan ponctuel. Cette formule (équation IV.3) nous dit que le courant de décharge peut être exprimé en fonction de la différence de tension entre la tension appliquée et la tension de seuil avec la puissance n est confirmée par les résultats des études précédentes.

$$I = Av (v-v_0)^n \tag{III .3}$$

$$\log_{10} (I) = n.\log_{10} (v -v_0) + b \tag{III .4}$$

Et $A = 10^b$

Ou I est le courant de décharge couronne, V tension appliquée, V0 tension seuil, A constante géométrique et n est un exposant sui diffère auteur à l'autre.

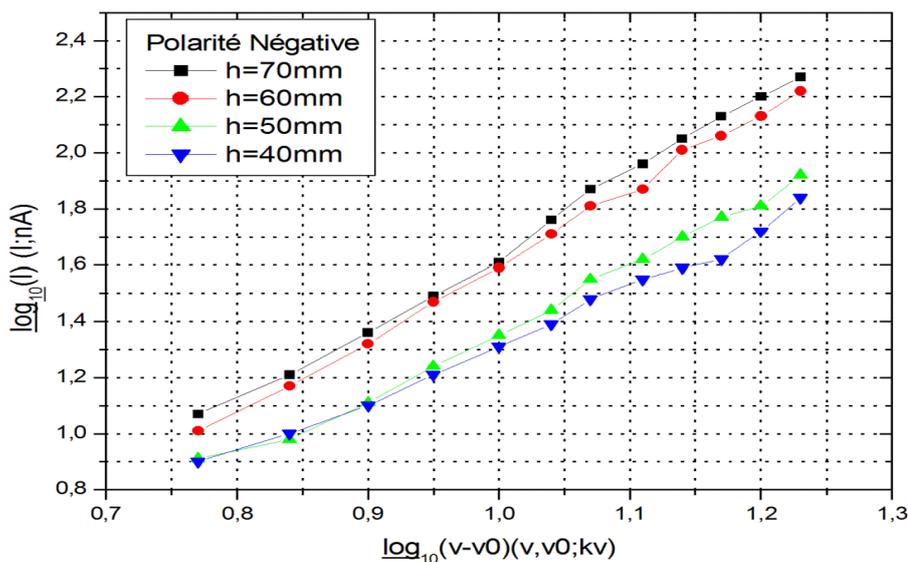


Figure (III .11) : Dépendance du courant (I) avec différence de tension (V - V0) sur une échelle logarithmique en polarité négative.

Pour déterminer l'exposant n, nous utilisons l'échelle logarithmique de la dépendance du courant de décharge I à la différence de potentiel (v-v0) (la figure 12) nous pouvons également appliquer le modèle de Meng et al aux filtres électrostatique de type plan à tige ou l'exposant est compris entre 1,5 et 2,0 pour des distances comprises entre 20mm et h inférieur à 50mm. Sinon pour les distances je entre les électrodes supérieures à 50 mm, on constate que l'exposant n suit une diminution de sa valeur pour dépasser le minimum critique, atteignant 1,36 à une distance de h=60mm .cependant, il s'ensuit que la barre est contre un autre phénomène qui affecte directement l'exposant, et nous voyons également que cette barre est utile et ne constitue pas l'équation de Meng mm et at.).

h(mm)	40	50	60	70
DC négative	0.88	0.86	0.79	0.60

Tableaux (III .2) : Résultats de l'exposant n pour la couronne négative

En outre, dans le tableau (IV.2) cette formule a été démontrée peut-être également applicable pour la polarité négative de décharge en géométrie tige filetée-plan. En particulier, cette nouvelle formule a partiellement expliqué avec succès les incohérences remplies par d'autres formules. Par conséquent, sa signification existe non seulement dans la pratique, mais aussi dans l'intérêt scientifique des décharges couronnent. Potentiellement, cette formule peut fournir un indice pour des études plus sophistiquées sur les phénomènes de la décharge Couronne.

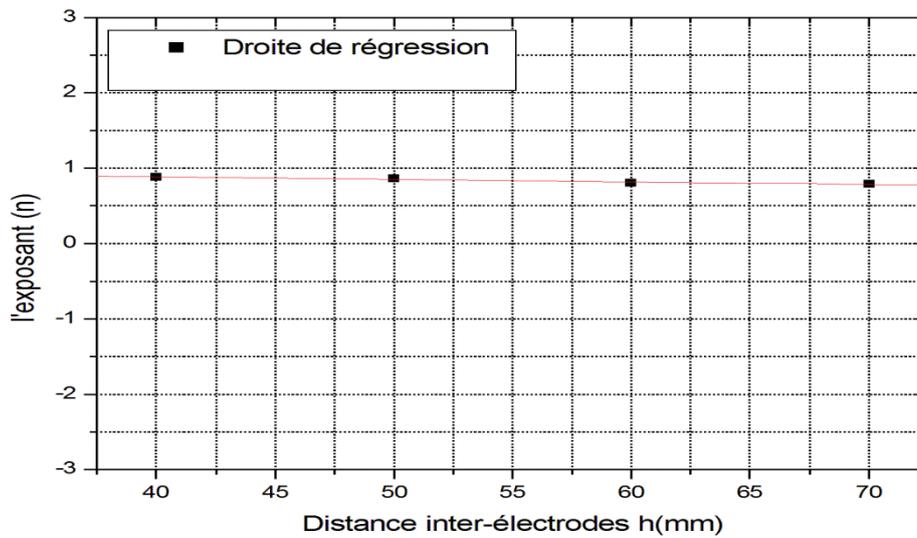


Figure. III. 12 : Variation du $K-/K+$ selon la distance inter-électrode

III .11 Effet de la distance inter-tiges sur la décharge couronne négative :

La configuration tiges-plan est soumise à l'étude théorique et expérimentale. P.Cooperman et G. Cooperman [32-33], [34] ont été des pionniers qui ont établi la loi pour la création de couronne en PES. Il donne la loi de la caractéristique courant-tension, identique à La loi de Townsend, sous la forme suivante :

$$\frac{I}{V} = \frac{4 \pi \epsilon_0 \mu}{h^2 \log\left(\frac{Re}{r_0}\right)} (V - V_0) \quad (III .5)$$

$$\text{Ou } K = \frac{4 \pi \epsilon_0 \mu}{h^2 \log\left(\frac{Re}{r_0}\right)} \quad (III .6)$$

$$\text{Pour } \frac{h}{d} \geq 2.0 \quad \text{Re} = \frac{d}{\pi} e^{\frac{\pi h}{2d}} \quad (III .7)$$

$$\text{Pour } \frac{h}{d} \leq 0.6 \quad \text{Re} = \frac{4h}{\pi} \quad (III .8)$$

Où h est la distance entre tiges et plan, d est la moitié d'espace entre les tiges, r_0 est le Rayon de courbure de lame, Re est le rayon équivalent, μ est la mobilité des porteurs de Charges. Sur la figure (IV.8), la distance inter-lames $2a$ à différentes valeurs, 50 mm, 40 mm, 30 mm et 20 mm pour $h = 50$ mm fixe. Sur la figure IV12, la distance inter-tiges $2a$ à différente

valeur ,40mm, 50mm, 60mm, 70mm, pour une distance inter-électrodes $h = 70\text{mm}$ qui est fixé. On voit très bien que l'espace inter-tiges $2a$ influe sur la caractéristique $I=f(v)$.

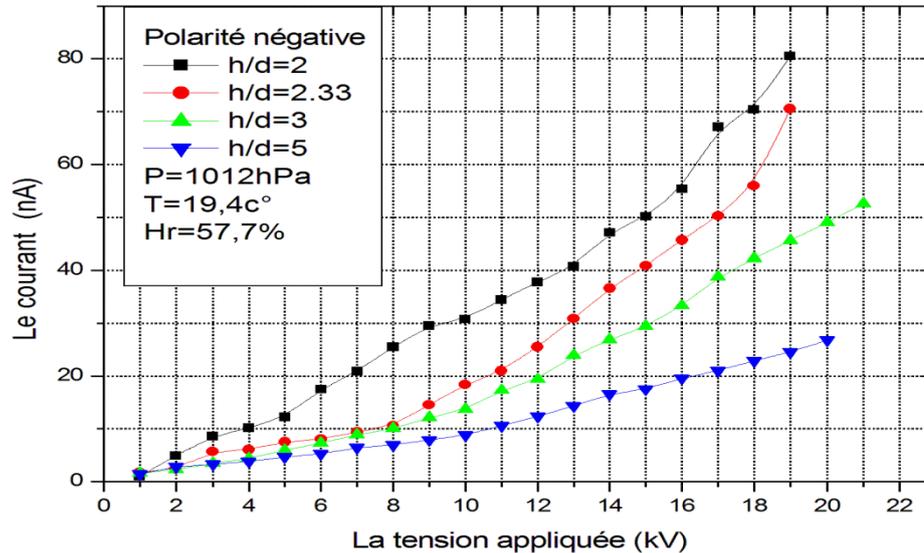


Figure (III. 13) : caractéristique courant-tension en fonction d'espace inter-tiges négatives

Le courant de décharge augmente avec l'augmentation de la distance entre les barreaux. Avec une diminution de la tension de seuil, cela est dû à la propagation du champ sur toute la surface de l'électrode interne permettant à tout le gaz d'être ionisé et à la direction depuis les lignes de champ vers le plan collecteur (il n'y a pas de lignes de fuite), pour obtenir la valeur maximale du courant. Il faut séparer les électrodes des barreaux sont séparées les unes des autres par $2d \geq h$ et ($d=2a$), soit ($2d$) ou supérieur à 50 mm par conséquent, nous pouvons dire que la loi de Cooperman a été vérifiée par l'équation (III. 13), car elle est claire et d'après la figure précédente, nous remarquons que les courbes caractéristiques évoluent en fonction de la distance entre les barres.

D'après la figure (IV.9), on observe que la distance inter-tiges n'a aucune influence sur la caractéristique $I=f(V)$, car le facteur K (équation IV.6) est indépendant de l'espace Inter-tiges $d = (2a)$. La distance inter-tiges d à différentes valeurs, 10 mm, 30 mm, 50 mm et 60 mm pour $h = 20$ mm fixe.

On voit clairement que le courant de décharge est identique quel que soit la distance Inter-tiges (même caractéristique pour des différents espaces inter-tiges), ce qui confirme la

Loi de Cooperman, sous la condition de l'équation (III .13). Donc pour obtenir une valeur Constante du courant, les électrodes lames doivent être suffisamment éloignées entre elles de $d(2a) \gg h$.

Pour les valeurs de $\frac{h}{d}$ qui se retrouves dans l'intervalle $0.6 < \frac{h}{d} < 2$, selon P. Cooperman [35], [33], [34], la décharge recouvre les deux phénomènes.

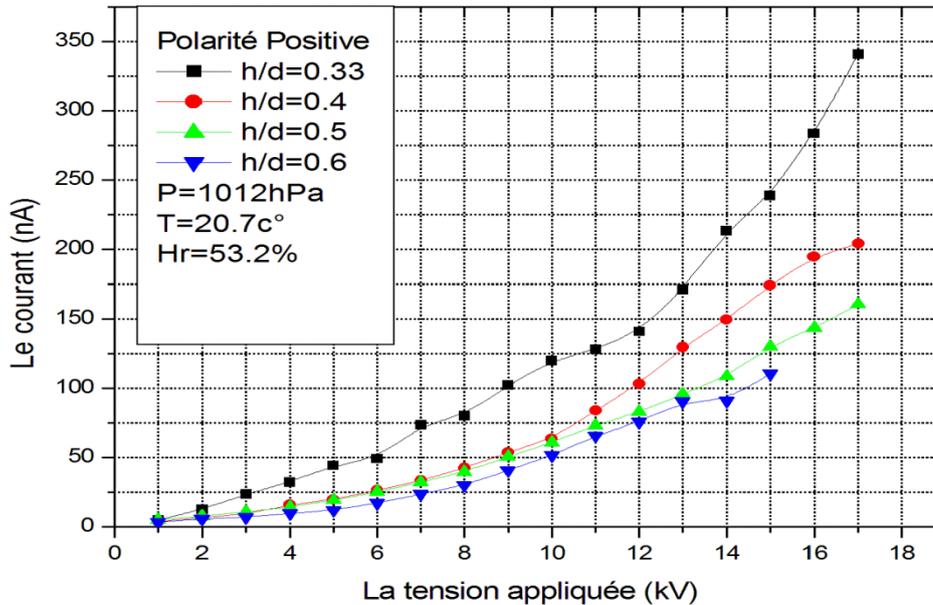


Figure (III .14) : Caractéristique courant –tension en fonction d’espace inter – tiges positive

III. 12 Conclusion :

Dans ce dernier chapitre nous analysons et discutons tous les résultats expérimentaux liés aux paramètres qui caractérisent la décharge corona dans le précipitateur électrostatique dans la formation du niveau de la tige filetée, le courant de décharge, la tension de claquage ,la tension appliquée et le seuil tension .Graph(caractéristique $I/V=f(v)$ pour la détermination de la tension seuil V_0 de la tige).

Compte tenu des conditions météorologiques, nous pouvons dire que les résultats que nous avons obtenus sont bons et conformes à plusieurs des théories qui étaient attendues

Conclusion générale

La conclusion générale

La conclusion générale :

Le travail de notre thèse s'inscrit dans le cadre du sujet de recherche, et nous visons à travers celui-ci à développer l'étude expérimentale de la décharge corona en déterminant les paramètres électrique à l'intérieur de l'électrofiltre dans une configuration plan de tige filetée. L'étude paramétrique fait varier la distance entre les électrodes, la tension appliquée, la distance entre les tiges et la vitesse du flux d'air, ainsi que le nombre d'électrodes émises utilisées dans la configuration géométrique en forme de tige. Niveau récolte, afin de déterminer les caractéristique courant-tension, le facteur géométrique des électrodes en tenant compte de la vérification de certaines modèles expérimentaux.

Grace à notre étude expérimentale de l'effet corona dans les aérosols, le PES permet la formation du plan de la tige en formulant les conclusions suivantes :

-L'intensité du courant de décharge augmente avec la croissance de la tension appliquée et les valeurs négatives de la décharge I sont supérieurs aux valeurs positives pour la même tension appliquée.

-ce courant continu qui traverse l'espace entre les électrodes est une fonction non linéaire de la tension appliquée.

-la propriété $I=f(v)$ a une forme quadratique et confirme la loi de Townsend.

-Le courant de décharge augmente plus rapidement avec la tension appliquée à de petites distances entre les électrodes.

-la tension de seuil V_0 augmente lorsque la distance entre les électrodes augmente car le champ électrique s'affaiblit.

-pour un même gaz et les mêmes conditions extérieures, la valeur de la tension de claquage est beaucoup plus faible en polarité positive.

C'est pourquoi, dans la plupart des cas, une décharge coronale négative est utilisée, car les électrons adhèrent très rapidement aux atomes ou molécules neutres, des ions négatifs se forment et tout se passe comme si des ions de même polarité de l'émetteur étaient émis vers le plan de groupe sous l'influence de ionisation, et une forte densité de champ électrique en plus de réduire au maximum les dysfonctionnements.

-la constante géométrique K est proportionnelle à la mobilité apparente des porteurs de charge.

La formule de Meng a été démontrée et peut-être également applicable pour la polarité négative en géométrie tige-plan, autant que l'exposant n est dans la gamme de 1.5 à 2.0 pour des distances inter électrodes importantes.

La conclusion générale

-L'augmentation de courant de décharge est proportionnelle au nombre de tige pour des tensions appliquées très élevée, cela est due à l'augmentation de champ électrique inter-électrodes qu'est très intense aux voisinages des électrodes (émissives).

-Le courant de décharge augmente en augmentant la distance inter-tiges avec une diminution de tension seuil, ce la due à la propagation du champ sur toute la surface inter-électrodes ce qui permet l'ionisation de tout gaz et l'orientation vers le plan de collecte (pas de fuite des particules), sous condition que ≥ 2 . Donc, on peut dire que la loi de cooperman est vérifiée pour des intervalles bien précis, car pour des rapports ≤ 0.6 ya aucune influence sur le courant de décharge, car la loi du cooperman est indépendante d'espace inter-tiges dans cet intervalle.

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

Les Références Bibliographiques

Les références bibliographies

La bibliographie :

- [01] 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.
- [02] Benamar B., La faisabilité de l'électrofiltration d'une atmosphère chargée en poussières
- [03] R.Gouri "optimisation électrique et géométrique d'un électrofiltre à barrière d'électrique en configuration fil-tube carré application aux particules submicroniques " thèse en génie électrique, université de Poitiers, <http://www.these.fr/16728990x>, 2012. www.xn--thse-6oa
- [04] K.R .Parker, Ed, applied electrostatic precipitation .Dordrecht: springer Netherlands, 1996
- [05] Boni Dramane, " précipitation électrostatique de particules submicroniques par décharge à barrière diélectrique : étude électrique .granulométrique et aérodynamique " thèse en génie électrique, université de Poitiers ,2009
- [06] Hailong PANG «dépoussiérage électrostatique pour les particules submicronique en atmosphère usuelle (terre) et raréfiée (planète mars) ». Thèse de doctorat l'université, JOSEPH FOURIER 18 Décembre 2006
- [07] "Corona and black discharges influe –gas, simulating mixture", J.electrostatic, vol, 70, n°3, p.269.284, juin 2012
- [08] M .M. pauthenier et M .Moreau. Hanot "la charges des particules sphérique dans un champ ionisé" J physRadium, vol3n92, p.590.613.1932
- [10] A. sudrajad ET A .F .yusof, "Review of electrostatic precipitator Device for Reduce of diesel engine particulate Matter» energy procedia .vol.68, p.370.380 avril2015
- [11] B. Navarrete, L. F. Vilches, M. Rodriguez-Galan, B. Alonso-Fariñas, et L. Cañadas, «Particles by unipolar ions ".J. Aerosol sci.vol 7.n°2.p 151-166.1976

Les références bibliographies

- [12] K. Dastoori, B. Makin. M. Kolhe ,M ,des -Roseaux ,et M.conneely,"CFD modeling of flue gas particulates in a biomass fired stove with electrostatic precipitation". J. Electrostat , vol .71n°=3, p.315, juin 2013
- [13] P.A .lawless et R.F Altman," ESPM: an advances electrostatic precipitator model " .in, conference record of the 1994, EEE industry applications society annual Meeting 1994, 1994.p.1519-1526 vol.2
- [14] D. Brocilo J.s .Chang R.D .Findlay «modeling of electrode geometry effects on dust collection of wire - plate electrostatic précipitation "2001
- [15] V .Arrondel, j. salvi, i. Gallimberti, ET G .Bacchiega, 'ORCHIDEE: Efficiency optimization of coal ash collection in electrostatic precipitators 'research GATE
- [16] c.-l charge et H. Bai, 'an experimental study on the performance of a single discharge wire-plate electrostatic precipitator with back corona', j. Aerosol sci.vol 30.n°3, p.325-340, mars 1999
- [17] F.G cottrell, Art of separating suspended particules from gaseous bodies, 1908, us. 895729
- [18] James H. Turner .Phil a .lawless, Toshiaki Yamamoto .David w.coy.68 pages .septembre 1999
- [19] F.Menéendez, A. Gomez, F .voces, ET .Garcia. "Porcelaine insulators in electrostatprecipitator ", JElectrostat, vol 76, p 188.193 âout 2015.
- [20] Benamar B., La faisabilité de l'électrofiltration d'une atmosphère chargée en poussières
- [21] W.B Smith ET J. R. Mc Donald" Development of a theory for the charging of particles by unipolar ions ".J. Aerosol sci.vol 7.n°2.p 151-166.1976

Les références bibliographies

- [23] Saiyasitpanich P. (2006) Control of Diesel Particulate and Gaseous Emissions Using a SingleStage Tubular Wet Electrostatic Precipitator. Thèse de doctorat de l'université de Cincinnati, USA
- [24] En pratique la forme de ces électrodes est approchée dans un piège de penning « réel »
- [25] « Airparif - Réglementation - Les indices de qualité de l'air - L'indice français Atmo
- [26] https://en.wikipedia.org/wiki/Electrostatic_precipitator
- [27] P. CONTAL, Les techniques du dépolluage, Document de synthèse sur le Dépolluage, ESIGEC Chambéry, (1993).
- [28] une poussière de bois : étude expérimentale et numérique, thèse de doctorat, université Henri -poincaré, Nancy1. France 2008
- [29] Photo réelle de plan inox
- [30] Kem-sohn.com/KERN.WAAGEN.GEWICHTE.BLANCES.WEIGHTS.
- [31] L. Dascalescu, An introduction to ionized gases, theory and applications, Toyohashi university of Technology, (1993)
- [32] G. Cooperman, « A theory for space-charge-limited current with application to electrical Precipitation », IEEE Trans. Ind. Appl. 17, pp. 236 – 239, 198
- [33] P. Cooperman, « A new technique for the measurement of corona field strength and Current density in electrical precipitation », Trans. Amer. Inst. Elec. Eng. Part 1, pp, 75, 64, 67, 1956.
- [34] P. Cooperman, « Dust space charge in electrical precipitation », AIEE Trans. pp, 324-326, 1963.

Les références bibliographies

[35] P. Cooperman, « A new current-voltage relation for duct precipitators valid for low and High current densities », Trans. Amer. Inst. Elec. Eng. Part 1, pp. 79, 47 – 50, 1960

[36] B.S .choi ET C.A J .FLETCHER 'turbulent particle dispersion in an electrostatic precipitator' Appl. Math. Model, Model, vol.22, n°12, p, 1009-1021, déc 1998

[37] R.ladenburg."Untersuchungen über die physikalischen Vorgänge bei der sogenannten elektrischen Gasreinigung. Teil über die maximale Aufladung ionischer Schwebeteilchen" Ann. Phys., vol.396, n°7.p.863-897.1930

[38] R .Cochet " lois de charge des fines particules (submicroniques).la physique des forces électrostatique et leurs applications ", CNRS, vol .102, p.331-338,1961