

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 de Ain Témouchent- Belhadj Bouchaib

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الإلكترونيات

Département d'Électrotechnique



Projet de Fin d'Études

Pour l'obtention du diplôme de Master en Électrotechnique

Domaine : Électrotechnique Filière : Électrotechnique Spécialité : Commande Électrique

Thème

**Conception et Réalisation d'un précipitateur électrostatique
de type lames de scies-cylindre et disques -cylindre**

Présenté par :

1) Melle. MOKADEM Zohra

Devant le jury :

Mr. MOHAMEDI Walid UAT.B.B (Ain Témouchent)

Président

Mr. AOUIMER Djilali UAT.B.B (Ain Témouchent)

Examineur

Mr. AISSOU Massinissa UAT.B.B (Ain Témouchent)

Encadrant

Année Universitaire 2025/2026



Merçi
Beaucoup

Merci au début, nous souhaitons adresser nos remerciements

les plus sincères aux personnes qui ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Nous tenons à remercier tout particulièrement notre encadreur **Pr** "AISSOU Massinissa" pour nous avoir suivis et conseillés tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons à remercier, **Dr** "AOUIMER Djilali" pour la qualité des renseignements qu'il nous a fournis.

Ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien actif des membres de la famille qu'ils nous ont toujours encouragé moralement et matériellement et à qui nous tenons à les remercier.

Enfin nous tenons à exprimer vivement nos remerciements avec une profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet, car ce dernier ne peut être le fruit d'une seule personne.

Dédicace

Je dédie ce projet :

A mon cher grand père,

A ma chère grand-mère,

Je vous souhaite une bonne santé.

A mes chères mères,

A mes chers pères,

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler
pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes frères,

A mes chères sœurs,

Pour ses soutiens moraux et encouragement.

A mes collègues,

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

A mon professeur **Dr** AOUIER Djilali,

Pour leurs indéfectibles soutiens et leurs patiences infinies et sa sympathie.

A toute ma famille,

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Sommaire

Résumé :	10
Introduction :	12
Chapitre 1 :	15
Les généralités sur les Précipitateurs électrostatiques	15
I.1 Historique	16
I.2 Généralité sur les précipitateurs électrostatiques	16
I.3 Définition d'un PES	16
I.4 Principe de Fonctionnement d'un PES	16
I.5 Typologie d'un PES	17
I.6 L'efficacité d'un PES :	18
I.7 Application industrielle d'un PES :	18
I.8 Impact environnemental et réglementaire d'un PES :	18
I.8.1 Impact environnementale	19
I.8.2 Impact règlementaire	19
I.9 Problématique et perspectives d'un PES	19
I.9.1 Problématiques	19
I.9.2 Perspectives	20
I.10 Avantages et inconvénients d'un PES	20
I.11 Théorie de l'électrostatique	20
Chapitre 2 :	24
Description des Précipitateurs électrostatiques	24
II.1 Introduction	25
II.2 Matériel utilisé	25
II.3 Anémomètre thermique à hélice	25
II.4 Thermo-hygromètre de précision	26
II.5 Balance de laboratoire électronique :	26
II.6 Aspirateur et Souffleur électrique 600W	27
II.7 Multimètre numérique	28
II.8 Source De Haute Tension	28
II.9 Autotransformateur	29
II.10 Les particules utilisées	30

II.10.1 filler de calcaire.....	30
II.10.2 Meta kaolin	30
II.11 Description du dispositif expérimental :	31
II.12 Description de premier étage	32
II.13 Protocole expérimentale	33
II.14 Conclusion.....	34
Chapitre 3 :	35
Résultats et discussion	35
III.1 Introduction	36
III.2 Effet de la polarité	36
III.3 Décharge couronne en absence de particule	37
III.4 Décharge couronne en absence de particule	42
Bibliographie.....	55

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Principe de Fonctionnement d'un PES	17
Figure 2 Charge électrique	21
Figure 3 Loi de Coulomb (formulation vectorielle et scalaire)	22
Figure 4 Potentiel électrostatique	22
Figure 5 Anémomètre thermique à hélice	26
Figure 6 Thermo-hygromètre de précision	26
Figure 7 Balance de laboratoire électronique	27
Figure 8 Aspirateur et Souffleur électrique 600W.	27
Figure 9 Multimètre numérique	28
Figure 10 Source de haute tension	28
Figure 11 Autotransformateur	29
Figure 12 courbe de variation de la vitesse en fonction de la tension d'un autotransformateur	29
Figure 13 filler de calcaire	30
Figure 14 Meta kaolin	30
Figure 15 description du dispositif	31
Figure 16 lames de scie	32
Figure 17 tige filetée avec des disques métalliques.	33
Figure 18 Caractéristiques courant – tension en fonction de la polarité de la tension appliquée.	38
Figure 19 Caractéristiques courant – tension en fonction de la polarité de la tension appliquée.	41
Figure 20 Caractéristiques courant – tension en fonction de variation de vitesse	42
Figure 21 Caractéristiques courant – tension en fonction de variation de vitesse	43
Figure 22: Frederick Cottrell	55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 La différence entre la polarité positive et négative.	37
---	----

Résumé :

Résumé :

Ce mémoire est dédié à la réalisation de précipitateurs électrostatiques à deux étages avec différent type de configuration. Ces dispositifs sont essentiels pour la réduction des émissions des particules dans les industries. Contribuant à la protection de l'environnement. Dans un premier temps, nous avons examiné en détail les généralités d'un "PES". Ensuite, nous avons procédé à une description approfondie de ces dispositifs essentiels. Enfin nous avons réalisé des expériences expérimentales, suivi d'une discussion et d'une analyse approfondie des résultats obtenus.

الملخص:

تتناول هذه الرسالة تصنيع مرسبات كهروستاتيكية ثنائية المراحل بتكوينات مختلفة. تُعد هذه الأجهزة أساسية للحد من انبعاثات الجسيمات في الصناعات، مما يساهم في حماية البيئة. في البداية، درسنا بالتفصيل المفاهيم العامة لمرسبات كهروستاتيكية ثنائية المراحل، ثم وصفنا هذه الأجهزة الأساسية وصفاً شاملاً. وأخيراً، أجرينا تجارب عملية، تلاها مناقشة وتحليل معمق للنتائج المُحصَل عليها.

Abstract:

This thesis is dedicated to the realization of two-stage electrostatic precipitators with different type of configuration. These devices are essential for the reduction of particulate emissions in industries. Contributing to the protection of the environment. First, we examined in detail the generalities of a "PES". Then, we proceeded to a thorough description of these essential devices. Finally, we carried out experimental experiments, followed by a discussion and an in-depth analysis of the results obtained.

Introduction.

Introduction

Face aux enjeux environnementaux croissants, la maîtrise des émissions polluantes est devenue une priorité mondiale.

Les précipitateurs électrostatiques se sont imposés comme des dispositifs essentiels pour limiter la diffusion de particules solides et liquides présentes dans les flux gazeux industriels, les systèmes fonctionnent du principe d'ionisation des particules en suspension, qui sont ensuite attirées et collectées par des électrodes grâce à des forces électrostatiques.

L'efficacité, la durabilité et la capacité à traiter de grands volumes de gaz font des précipitateurs électrostatiques une solution clé pour les industries énergétiques, métallurgiques et chimiques.

Cependant, leur conception, leur exploitation et leur optimisation nécessitent une compréhension approfondie des phénomènes physiques et des principes de fonctionnement.

Cette thèse explore les principes fondamentaux, les performances, les défis technologiques et environnementaux associés aux précipitateurs électrostatiques, soulignant leur rôle essentiel dans la transition vers des processus industriels plus propres et plus durables.

L'objectif principale de notre travail est d'étudier et de réaliser et comparer les performances des précipitateurs électrostatiques bi-étagés 4 lames-cylindre et 4 disques métalliques.

Cette analyse vise à identifier les avantages et les limites de chaque système en termes d'efficacité de capture des particules, de consommation énergétique et d'impact environnemental. De plus, nos recherches explorent les opportunités d'optimisation technologique pour améliorer leur efficacité et leur adaptabilité dans différents contextes industriels.

Enfin, ce travail vise à fournir des recommandations concrètes pour la mise en œuvre de solution industrielles plus durables et conformes aux exigences environnementales.

 **Le 1^{er} chapitre** vise à fournir un aperçu des précipitateurs électrostatiques en présentant leur principe de fonctionnement, leurs types, et leurs domaines d'applications. Ces bases théoriques permettront de mieux comprendre son rôle essentiel dans la transition vers des industriels plus propres et durables.

 **Le 2^{ème} chapitre** Permettra d'explorer à la fois les aspects techniques, les configurations et la description de dispositif.

 **Le 3^{ème} chapitre** Présentera les résultats obtenus ainsi que leur discussion, permettant d'évaluer l'efficacité du dispositif et d'identifier les améliorations potentielles.

 **Finalement** Nous concluons par une conclusion générale et quelques Perspectives.

Chapitre 1 :

Les généralités sur les Précipitateurs

I.1 Historique

Les précipitateurs électrostatiques (ou ESP, pour *Electrostatic Precipitators*) ont été inventés au début du XXe siècle pour répondre à la nécessité de réduire les émissions de particules dans les industries. Frederick Cottrell, un chimiste américain, a breveté le premier modèle en 1908. Son dispositif utilisait des forces électrostatiques pour capturer les particules solides en suspension dans les gaz industriels, une innovation majeure pour l'époque.

Depuis, cette technologie a évolué pour devenir un élément clé dans les systèmes de contrôle de la pollution. Les précipitateurs modernes sont capables de capturer jusqu'à 99 % des particules, y compris celles de très petite taille, comme les poussières de combustion ou les vapeurs acides. Ils sont largement utilisés dans des secteurs tels que les centrales électriques, les cimenteries et les incinérateurs.

I.2 Généralité sur les précipitateurs électrostatiques

Dans un contexte caractérisé par une prise de conscience croissante des enjeux environnementaux et des exigences réglementaires strictes en matière de pollution atmosphérique, les technologies de traitement des émissions industrielles jouent un rôle crucial. Parmi ces technologies, les précipitateurs électrostatiques se distinguent par leur capacité à éliminer efficacement les particules en suspension dans le gaz.

I.3 Définition d'un PES

Un précipitateur électrostatique, ou précipitateur statique électronique, est généralement abrégé en ESP. Un précipitateur ESP est un appareil qui élimine les particules (telles que la poussière et la fumée) d'un flux gazeux par attraction électrostatique. Il forme des passages d'air à l'intérieur. Chaque passage d'air traverse des pôles ou des plaques chargées électrostatiquement. L'air mélangé est ionisé instantanément ; la poussière et la fumée portent une charge négative et sont rapidement attirées par les plaques positives. L'air, en tant que molécule légère, s'échappe néanmoins, laissant les particules solides (poussière et fumée) piégées. L'air mélangé est ainsi filtré et purifié.

I.4 Principe de Fonctionnement d'un PES

Le fonctionnement d'un précipitateur électrostatique se base sur le Principe de l'électrostatique. Les particules en suspension dans un gaz sont chargées électriquement, puis collectées sur des plaques ou électrodes collectrices opposées. Le processus implique trois étapes principales:

Ionisation : Les particules en suspension dans le flux de gaz sont chargées positivement ou négativement en passant à Travers un champ électrique créé par des électrodes à haute tension.

Migration : Les particules chargées sont ensuite dirigées vers les électrodes collectrices de charge opposée sous l'action du champ électrique.

Collection : En atteignant les électrodes collectrices, les particules perdent leur charge et adhèrent à la surface, formant ainsi un dépôt.

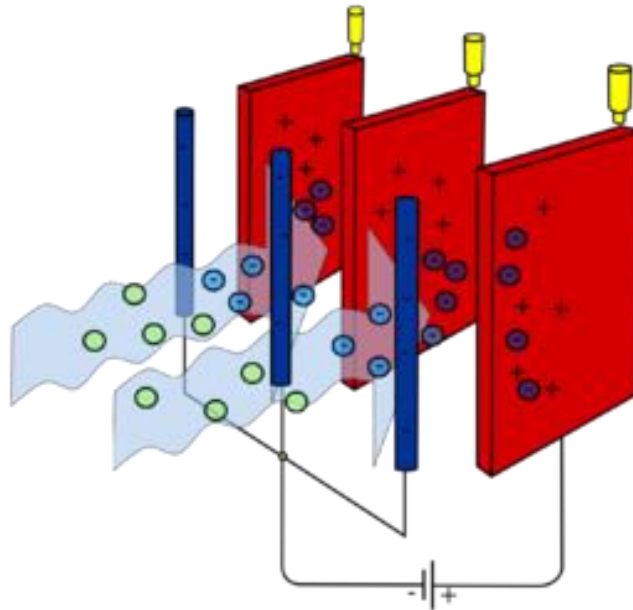


Figure 0.1 Principe de Fonctionnement d'un PES

I.5 Typologie d'un PES

Les précipitateurs électrostatiques se divisent en plusieurs types selon leur conception et leur application :

Précipitateur électrostatique sec : Utilisé principalement pour éliminer les particules solides des gaz industriels. IL fonctionne en chargeant électriquement les particules et en les attirant vers des plaques collectrices.

Précipitateur électrostatique humide : Conçu pour capturer les particules fines et les gouttelettes dans des environnements humides. IL est souvent utilisé dans les industries où les gaz contiennent des polluants liquides.

Précipitateur électrostatique à haute efficacité (HEPA) : Adapté pour les particules extrêmement fines, offrant une filtration avancée dans des environnements nécessitant une pureté élevée.

Chaque type est optimisé pour des conditions spécifiques, comme la composition chimique des gaz ou la taille des particules.

I.6 L'efficacité d'un PES :

L'efficacité d'un précipitateur électrostatique dépend de plusieurs facteurs, notamment la conception, les conditions de fonctionnement et les caractéristiques des particules à collecter. En général, ces dispositifs atteignent une efficacité de collecte de 90% à 99%. Ils sont particulièrement efficaces pour les particules fines et ultrafines, grâce à leur capacité à utiliser des champs électriques pour les précipiter sur des plaques collectrices.

I.7 Application industrielle d'un PES :

Les précipitateurs électrostatiques (ESP) jouent un rôle crucial dans de nombreuses industries pour réduire la pollution atmosphérique en éliminant les particules fines des flux de gaz. Voici quelques-unes de leurs principales applications industrielles:

- **Centrales électriques** : Les ESP sont utilisés pour capturer les cendres volantes générées par la combustion du charbon, réduisant ainsi les émissions de particules dans l'atmosphère.
- **Industrie du ciment** : Ils aident à éliminer les particules de poussière produites lors de la fabrication du ciment, contribuant à un environnement de travail plus propre.
- **Traitement des déchets** : Dans les usines d'incinération, les ESP capturent les particules nocives libérées lors de la combustion des déchets.
- **Industrie métallurgique** : Ils sont utilisés pour contrôler les émissions de particules dans les processus de fusion et de raffinage des métaux.
- **Industrie chimique** : Les ESP sont employés pour purifier les gaz d'échappement contenant des particules fines issues de divers procédés chimiques.

Ces dispositifs sont essentiels pour respecter les normes environnementales strictes et protéger la santé publique.

I.8 Impact environnemental et réglementaire d'un PES :

Les Précipitateurs électrostatiques (ESP) jouent un rôle crucial dans la réduction de la pollution atmosphérique, en capturant les particules fines des gaz industriels. Voici un aperçu de leur impact environnemental et réglementaire:

I.8.1 Impact environnementale

1. Réduction des émissions de particules : Les ESP sont très efficaces pour éliminer les particules fines, contribuant ainsi à une meilleure qualité de l'air et à la réduction des risques pour la santé publique.

2. Préservation de l'écosystème : En limitant les émissions de polluants, ils protègent les écosystèmes sensibles des effets néfastes des particules en suspension.

3. Consommation énergétique modérée : Comparés à d'autres technologies de filtration, les ESP consomment relativement peu d'énergie, ce qui réduit leur empreinte carbone.

I.8.2 Impact réglementaire

1. Conformité aux normes environnementales : Les ESP permettent aux industries de respecter les réglementations strictes sur les émissions, telles que celles imposées par l'Union européenne ou d'autres organismes internationaux.

2. Adaptabilité aux exigences locales : Les technologies modernes d'ESP sont conçues pour répondre aux normes spécifiques de chaque région, garantissant une conformité continue.

3. Évolution technologique : Les innovations, comme les systèmes de nettoyage automatisé et les contrôles informatisés, améliorent leur efficacité et leur conformité aux normes en constante évolution.

I.9 Problématique et perspectives d'un PES

Les Précipitateurs électrostatiques (PES) jouent un rôle crucial dans la réduction des émissions de particules dans l'air, mais ils présentent également des défis et des opportunités d'amélioration. Voici quelques points clés concernant leur problématique et leurs perspectives :

I.9.1 Problématiques

1. Efficacité de collecte : Bien que les PES soient efficaces pour capturer les particules fines, leur performance peut diminuer face à des particules ultrafines ou des conditions de fonctionnement variables.

2. Consommation énergétique : Le fonctionnement des PES nécessite une alimentation électrique élevée, ce qui peut augmenter les coûts d'exploitation.

3. Maintenance et encrassement : Les électrodes et autres composants nécessitent un entretien régulier pour éviter l'accumulation de dépôts, ce qui peut entraîner des interruptions.

4. Impact environnemental : Bien que les PES réduisent les émissions, leur fabrication et leur fonctionnement peuvent avoir un impact environnemental indirect.

I.9.2 Perspectives

- 1. Optimisation énergétique :** Le développement de technologies à faible consommation énergétique pourrait améliorer leur viabilité économique et environnementale.
- 2. Nouvelles applications :** Les PES pourraient être adaptés pour capturer des particules spécifiques, comme les nanoparticules, dans des industries émergentes.
- 3. Matériaux avancés :** L'utilisation de matériaux résistants à la corrosion et à l'encrassement pourrait prolonger leur durée de vie et réduire les coûts de maintenance.
- 4. Intégration numérique :** L'intégration de capteurs et de systèmes de contrôle automatisés pourrait permettre une surveillance en temps réel et une optimisation des performances.

I.10 Avantages et inconvénients d'un PES

Les Précipitateurs électrostatiques (ESP) présentent plusieurs avantages et inconvénients :

Avantages:

- 1. Efficacité élevée :** Ils capturent efficacement les particules fines, même celles de taille submicronique.
- 2. Faible consommation d'énergie :** Comparés à d'autres méthodes de filtration, ils consomment moins d'énergie.
- 3. Maintenance simple :** Leur entretien est relativement facile, ce qui réduit les coûts d'exploitation.
- 4. Contribution environnementale :** Ils jouent un rôle essentiel dans la réduction de la pollution atmosphérique, notamment dans les industries lourdes.

Inconvénient:

- 1. Efficacité variable :** Leur performance peut diminuer en présence de gaz à haute résistivité ou de particules très fines.
- 2. Besoin d'espace :** Ils nécessitent une installation volumineuse, ce qui peut poser problème dans certains environnements industriels.
- 3. Coût initial élevé :** L'investissement initial pour leur mise en place peut être conséquent.

I.11 Théorie de l'électrostatique

L'électrostatique est la branche de la physique qui étudie les charges électriques au repos et les forces qu'elles exercent entre elles. Elle joue un rôle fondamental dans de nombreux phénomènes et applications, comme les générateurs électrostatiques, les condensateurs et même l'électricité statique que l'on observe au quotidien.

Charge électrique :

La charge est une propriété intrinsèque de la matière, quantifiée en unités de l'électron ($e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$). Elle est conservée dans tous les processus physiques connus. Ce principe est à la base de la loi de conservation de la charge.

- la charge électrique à deux types : positive et négative.
- Les charges de même signe se repoussent, celles de signes opposés s'attirent.
- L'électrisation peut se faire par frottement, contact ou influence.

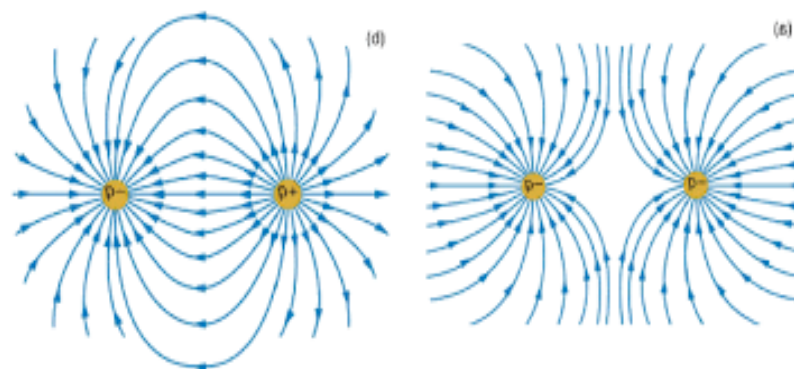


Figure 0.1 Charge électrique

Loi de Coulomb (formulation vectorielle et scalaire) :

Elle exprime la force entre deux charges ponctuelles :

$$|\mathbf{F}| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \quad \text{et} \quad \mathbf{F}_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2 \hat{\mathbf{r}}_{12}}{|\mathbf{r}_{12}|^2}$$

Où : $\epsilon_0 \simeq 8,854 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$ est la permittivité de vide.

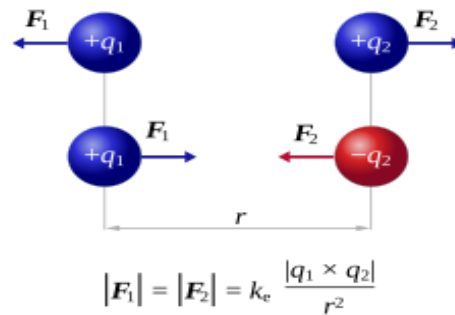


Figure 0.2 Loi de Coulomb (formulation vectorielle et scalaire)

Champ électrostatique :

Défini comme :

$$\overrightarrow{F_e} = q \cdot \overrightarrow{E}$$

Il est produit par une distribution de charges qui obéit au principe de superposition.

Potentiel électrostatique :

Le potentiel est relié au champ par :

$$\overrightarrow{E} = -\overrightarrow{\nabla} V$$

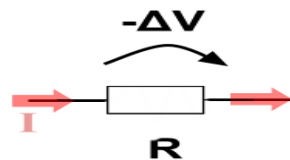


Figure 0.3 Potentiel électrostatique

Et pour une charge ponctuelle :

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 |\vec{r} - \vec{r}_q|}$$

Théorème de Gauss :

Il permet de calculer le champ dans des cas symétriques :

$$\oiint_S \overrightarrow{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{int}}{\epsilon_0}$$

Très utile pour les sphères, cylindres et plans infinis.

Énergie potentielle électrostatique :

Pour un système de n charges :

$$U = \frac{1}{2} \sum_{i \neq j} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_i q_j}{r_{ij}}$$

Chapitre 2 :

Description des Précipitateurs électrostatiques

II.1 Introduction

Ce chapitre pratique se consacre à l'évaluation comparative des Précipitateurs électrostatiques à un étage et à deux étages, deux technologies clés utilisées dans la réduction des particules en suspension dans l'air. En raison de leurs conceptions distinctes et de leurs caractéristiques opérationnelles, ces dispositifs offrent des avantages et des limites spécifiques en fonction des applications industrielles.

L'objectif principal de ce chapitre est de fournir une analyse expérimentale et méthodologique approfondie, permettant de caractériser leurs performances respectives en termes d'efficacité de collecte, de consommation énergétique, et d'adaptabilité aux exigences environnementales. À travers une série de tests pratiques, les paramètres critiques seront identifiés et comparés pour mettre en lumière les différences et les opportunités d'amélioration.

En explorant ces technologies dans un contexte applicatif, ce chapitre met en avant une perspective intégrée qui associe rigueur technique et pertinence environnementale. Ce travail vise à soutenir des décisions éclairées dans la sélection et la mise en œuvre de solutions adaptées à divers besoins industriels. Dans ce chapitre, une description détaillée du dispositif expérimental ainsi les équipements utilisés pour cette expérience sur le précipitateur électrostatique (EPS) à deux étages. Cette Expérimentation a été menée au laboratoire d'Electrotechnique du Centre Universitaire **Belhadj-BOUCHAIB** Ain T'émouchent, dont le dispositif principal étant le lame-plan qui a été réalisé et étalonné avant de le mettre en œuvre.

II.2 Matériel utilisé

Ce travail a été mené après des longues observations et une étude approfondie sur les sources de tension qui ont été disponibles dans le laboratoire, et on a vérifié, examiné et testé les qualités et les performances des matériaux utilisés pour cette expérience à savoir :

II.3 Anémomètre thermique à hélice

Les anémomètres à hélice sont des instruments de mesure du vent traditionnels largement utilisés en intérieur qu'en extérieur. Leur utilisation simple permet une mesure rapide de la vitesse du vent ou de l'air. De nombreux modèles offrent également la possibilité de mesurer le débit volumétrique ou les températures, facilitant ainsi l'évaluation et la comparaison des données.



Figure 0.1 Anémomètre thermique à hélice

II.4 Thermo-hygromètre de précision



Figure 0.1 Thermo-hygromètre de précision

II.5 Balance de laboratoire électronique :

Une balance numérique est utilisée pour mesurer la quantité de poussière aspirée par un aspirateur et celle récupérée à sa sortie. Sa capacité de pesée maximale est de 2400 g, avec une mesure minimale de 0 g.



Figure 0.1 Balance de laboratoire électronique

II.6 Aspirateur et Souffleur électrique 600W

Nous avons utilisé un souffleur 2en1 pour assurer l'écoulement de la fumée à une certaine vitesse et même pour refroidir notre appareil ; Pression d'air 560mm, volume d'air $3.5\text{m}^3 / \text{min}$, puissance 600W 220V-50/60Hz.



Figure 0.1 Aspirateur et Souffleur électrique 600W.

II.7 Multimètre numérique

Un multimètre numérique est un instrument de mesure employé pour évaluer deux ou plusieurs grandeurs électriques, notamment la tension (exprimée en volts), le courant (en ampères) et la résistance (en ohms). C'est un équipement de diagnostic essentiel pour les techniciens opérant dans les secteurs électrique et électronique.



Figure 0.1 Multimètre numérique

II.8 Source De Haute Tension

Les alimentations haute tension de la série SL de Spellman sont conçues pour répondre à des normes de performance sans compromis dans un encombrement minimal. Leur circuit intègre un onduleur haute fréquence résonant avec contrôle exclusif, garantissant un fonctionnement sans faille dans des environnements transitoires et d'arcs électriques extrêmes, avec un rendement supérieur à 85 %. Ces alimentations complètes sont disponibles dans une large gamme de sorties et de nombreuses options.



Figure 0.1 Source de haute tension

II.9 Autotransformateur

L'utilisation de l'autotransformateur (référéncé comme Figure II.6) nous permet de réguler la vitesse du souffleur en ajustant sa tension d'alimentation. La variation de la vitesse d'écoulement, notée " v ", est obtenue en modifiant la tension d'alimentation du ventilateur (V_{al}). Le processus d'étalonnage du souffleur est réalisé en l'absence de décharge. La Figure II.7 illustre la relation entre la vitesse " v " et la tension d'alimentation. Nous avons exploité cette courbe pour mesurer la vitesse " v " pendant la décharge.

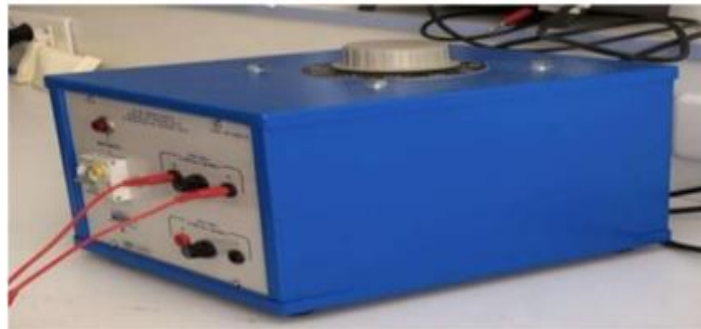


Figure 0.1 Autotransformateur

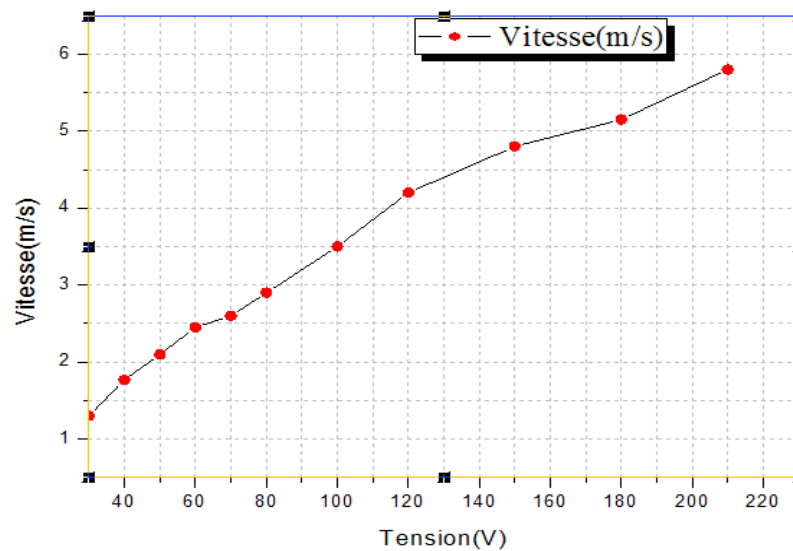


Figure 0.2 courbe de variation de la vitesse en fonction de la tension d'un autotransformateur

II.10 Les particules utilisées

II.10.1 filler de calcaire

Le filler de calcaire, aussi appelé filler calcaire ou poudre de calcaire, est un matériau minéral finement broyé, principalement composé de carbonate de calcium (CaCO_3). Il est largement utilisé dans les domaines du génie civil, de la construction et de l'industrie des matériaux pour ses propriétés physiques et économiques.



Figure 0.1 filler de calcaire

II.10.2 Meta kaolin

Le méta kaolin est un matériau minéral obtenu par la calcination du kaolin, une argile riche en kaolinite. Il s'agit d'une pouzzolane artificielle très réactif, utilisé principalement dans les matériaux cimentaires pour améliorer leurs performances mécaniques et leur durabilité.



Figure 0.1 Meta kaolin

II.11 Description du dispositif expérimental :

Le dispositif d'essai, illustré dans la figure (0.10), se compose de deux composants principaux :

- Système d'injection.
- Dispositif de filtration à deux étages.

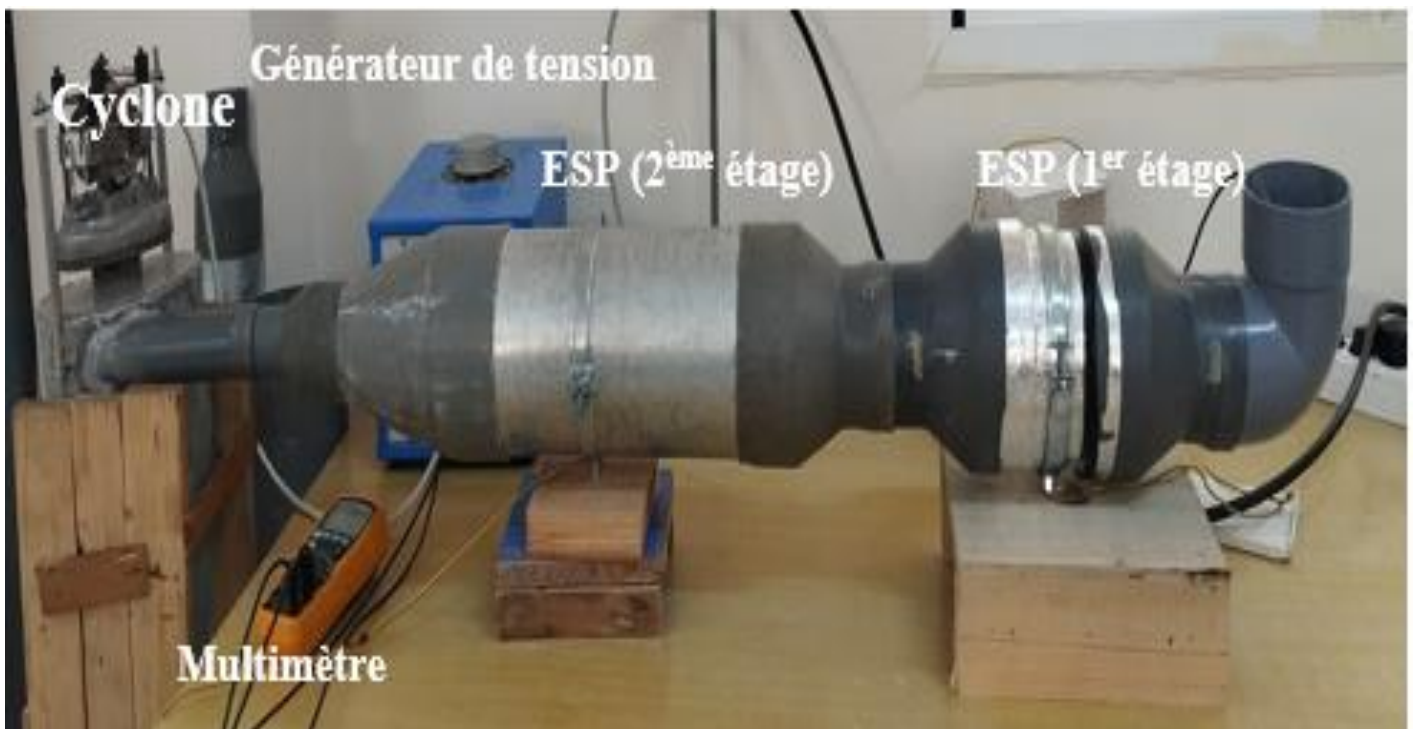


Figure 0.1 description du dispositif

Système d'injection :

Le système d'injection se compose des éléments suivants :

- Tuyau coudé en PVC connecté à la chambre principale.
- Un autotransformateur.

- Cyclone.
- L'entrée de poussière

Dispositif de filtration à deux étages :

Le filtre électrostatique fonctionne en deux étages :

- **Ionisation** : L'air passe à travers un champ électrique intense généré par des lames à haute tension. Les particules en suspension sont ionisées (chargées électriquement).
- **Captation** : Ces particules chargées sont ensuite attirées vers un fil de cuivre collecté d'une charge opposée, où elles se déposent. L'air ressort ainsi purifié.

II.12 Description de premier étage

Le premier étage (ionisation) se compose des éléments suivants :

- **Corps observable** : L'unité principale est cylindrique, divisées en deux parties de PVC reliées par une bande métallique en galvaniser.
- **Corps non visible** : compose de :
 - ❖ **4 lames de scie** : Ces lames métalliques, disposées en croix autour d'un axe central, servent d'électrodes d'ionisation. Leur forme dentée augmente l'intensité du champ électrique local, favorisant l'ionisation de l'air.



Figure 0.1 lames de scie

Où :

- ❖ **4disques métalliques** : Ces disques espacés par des écrous et rondelles régulièrement pour contrôler la distribution du champ électrique et d'optimiser l'ionisation du flux gazeux.



Figure 0.2 tige filetée avec des disques métalliques.

-Tige filetée centrale : Elle traverse l'ensemble et peut servir à ajuster la position et à transmettre la tension électrique.

-Support en polycarbonate (plexiglas) : assurent la stabilité mécanique et l'isolation des composants.

Le deuxième étage (captation) se compose des éléments suivants :

- **Corps observable :**

L'unité principale est cylindrique, divisées en deux parties de PVC reliées par une bande métallique en galvaniser.

- Multimètre : Pour surveiller les tensions appliquées.

- Boîtier de commande : Pour ajuster les vitesses.

- Tuyauterie : Pour l'acheminement du gaz à traiter.

- **Corps non visible :** compose de :

-Le cuivre : est un excellent conducteur, ce qui permet une meilleure distribution du champ électrique.

-Support en polycarbonate (plexiglas) : assurent la stabilité mécanique et l'isolation des composants.

II.13 Protocole expérimentale

L'étude expérimentale d'un précipitateur électrostatique à deux étages commence par la préparation du dispositif, en vérifiant les connexions électriques, la mise à la terre et en réglant les conditions ambiantes comme le débit d'air et l'humidité.

Ensuite, on procède à l'injection de particules dans l'appareil à l'aide d'une source calibrée, avant de mettre en marche les deux étages du précipitateur : le premier, chargé d'ioniser les particules, et le second, de les collecter.

Durant la phase suivante, on effectue des mesures de la concentration particulaire en entrée et en sortie pour évaluer le rendement. Ces mesures sont répétées sous différentes conditions (tension, débit, humidité) afin de comparer les performances des deux étages.

Enfin, l'expérience se termine par une analyse des données collectées, le nettoyage du dispositif et la consignation des observations et incidents éventuels. Cette démarche en plusieurs étapes permet d'optimiser l'efficacité de séparation du système dans des contextes variables.

II.14 Conclusion

En conclusion, la partie expérimentale représente une continuité des observations et investigations entreprises.

Ce chapitre a présenté une description détaillée de l'appareillage expérimental ainsi que des divers moyens mis en œuvre durant cette étude, notamment les types de particules utilisées, et le fonctionnement de notre électrofiltre.

Dans le prochain chapitre, nous procéderons à l'analyse et à l'interprétation des résultats obtenus en laboratoire, dans le but de démontrer l'adaptation de notre électrofiltre.

Chapitre 3 :

Résultats et discussion

III.1 Introduction

Ce chapitre, a pour objectif de présenter les résultats expérimentaux obtenus de la précipitation électrostatique dans l'électrofiltre en configuration des 4 lames de scie.

Le but de ce travail est d'étudier un ensemble de facteurs qui peuvent influencer sur le processus de la filtration, cette étude sera divisée en deux parties essentielles.

Le premier volet : 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.

Le deuxième volet : est consacré à l'étude des différents facteurs qui influent sur l'efficacité de l'électrofiltre.

On utilise deux types de particules seront utilisés : le filler de calcaire et le méta-kaolin.

Les essais à vide seront conduits dans deux configurations : 4 lames de scie et 4 disques métalliques.

La haute tension négative et positive sera variée, et le courant de décharge sera enregistré avec et sans l'utilisation des particules.

Une analyse et une interprétation des résultats obtenus seront ensuite réalisées.

III.2 Effet de la polarité

Cette section examine l'influence de la polarité de la tension appliquée, comme indiqué sur les figures (18), (19) et (20)

Les figures montrent 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 ($C^- \rightarrow C^+$).

De plus, la tension de décharge couronne positive est généralement plus forte que la tension de décharge négative ($V^- < V^+$).

Tableau 1 La différence entre la polarité positive et négative.

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

III.3 Décharge couronne en absence de particule

Nous avons étudié les caractéristiques courant-tension en fonction des paramètres suivants :

- Distance inter-électrodes (Différence entre les lames et les disques), et la nature de la tension appliquée $V+$, $V-$.

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

1. La tension appliquée V aux 4 lames et les 4 disques métalliques.
2. Le courant I collecté par la surface de plan.
3. Les paramètres physiques de l'air (la pression, la température et l'humidité).

Le premier étage en 4 lames de scie alimenté en HT(-) et HT(+) en absence de particule :

Tension de claquage : $-V_c = 44KV$, $+V_c = 27KV$

Tension de seuil : $-V_s = 10.8KV$, $+V_s = 12KV$

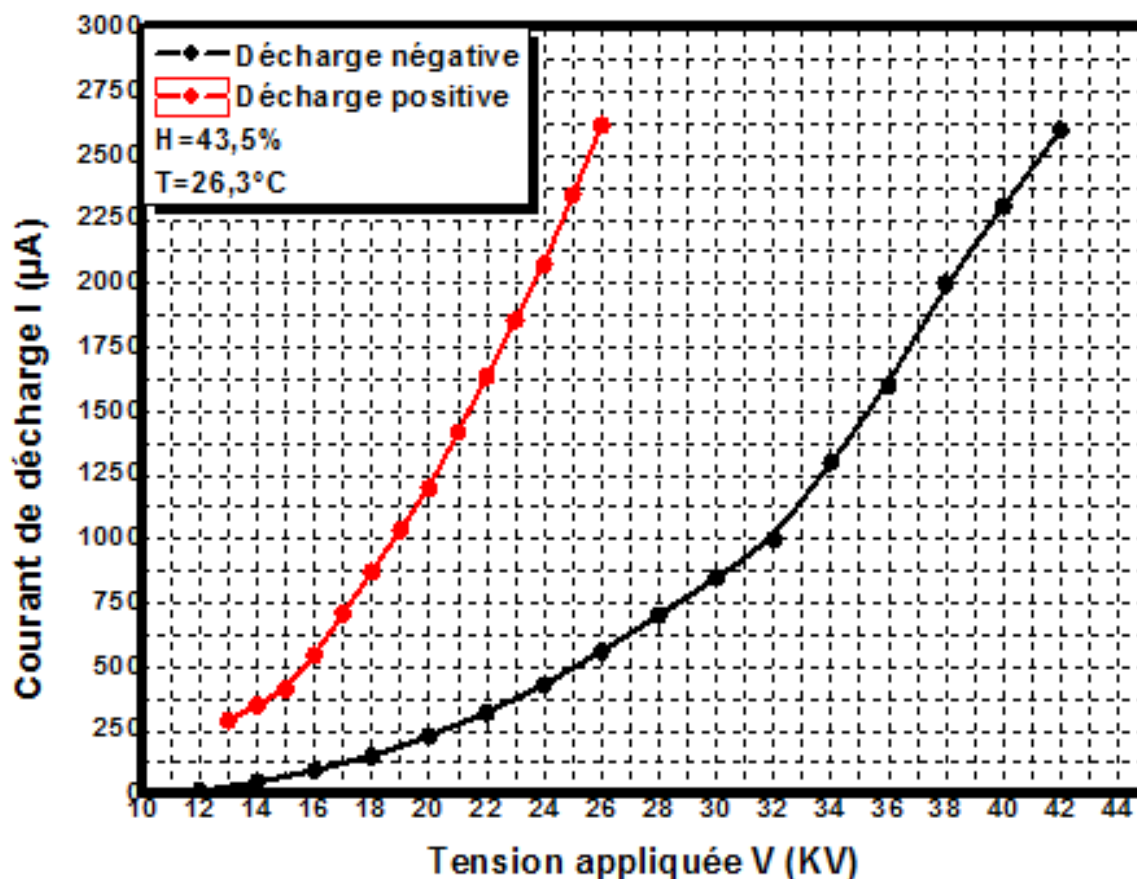


Figure 0.1 Caractéristiques courant – tension en fonction de la polarité de la tension appliquée.

La courbe représentant les caractéristiques courant-tension du premier étage du précipitateur électrostatique. Elle obtenue en absence de particules montre que le courant de décharge augmente avec la tension appliquée, traduisant un comportement typique de la décharge corona.

Pour la polarité négative, la montée du courant est relativement modérée et progressive, ce qui suggère une ionisation plus contrôlée et stable.

En revanche, la polarité positive révèle une croissance plus rapide du courant, témoignant d'un processus d'ionisation plus intense une fois un certain seuil atteint. Cette asymétrie entre les deux polarités met en évidence les différences intrinsèques des mécanismes de décharge corona.

L'absence de particules garantit que le courant mesuré est uniquement lié à l'ionisation des particules, sans interférence liée à la collecte ou au transport de particules chargées.

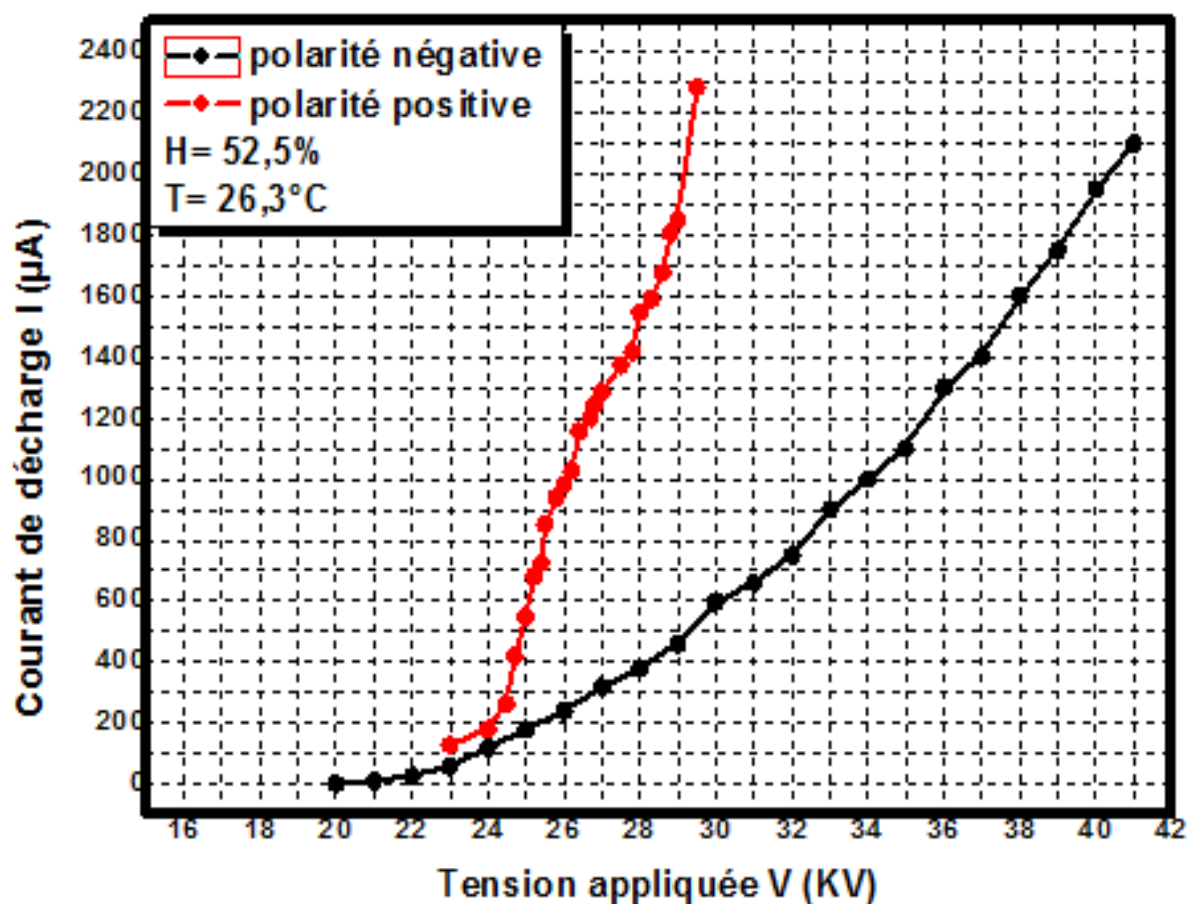
Les conditions ambiantes, telles que l'humidité à 43,5 % et la température à 26,3 °C, influencent la mobilité des ions et la constante diélectrique du milieu, ce qui peut moduler légèrement les valeurs du courant observé.

L'interprétation de cette courbe est essentielle pour comprendre le comportement électrique de base du précipitateur et permet d'anticiper ses performances une fois les particules introduites, facilitant ainsi l'optimisation de son fonctionnement dans des conditions industrielles réelles.

Le premier étage en 4 disques métalliques alimenté en HT(-) et HT(+) en absence de particule :

Tension de claquage : $-V_c = 49.1KV$, $+V_c = 35KV$

Tension de seuil : $-V_s = 16KV$, $+V_s = 16KV$



La courbe représentant les caractéristiques courant–tension du premier étage du précipitateur électrostatique en absence de particules met en évidence une augmentation progressive du courant de décharge en fonction de la tension appliquée pour les deux polarités.

On observe que la courbe correspondant à la polarité positive présente une pente plus marquée que celle de la polarité négative, indiquant une ionisation plus intense et plus rapide de particules une fois un certain seuil dépassé.

Cette dissymétrie souligne la différence de mécanismes physiques entre les deux types de décharge corona, la décharge positive favorisant davantage la formation d'ions dans ces conditions.

L'absence de particules garantit que le courant mesuré résulte uniquement des phénomènes liés à l'ionisation du gaz, sans interférence due à la collecte de charges solides.

Les conditions ambiantes, à savoir une humidité de 52,5 % et une température de 26,3 °C, influencent également la mobilité ionique et la constante diélectrique, ce qui peut expliquer de légères variations par rapport à d'autres conditions expérimentales.

Cette analyse permet de mieux comprendre le comportement intrinsèque du système, constituant une base indispensable pour interpréter les performances du précipitateur lorsqu'il sera soumis à un flux de particules en conditions réelles.

Le deuxième étage alimenté en HT(-) et HT(+) en absence de particule :

Tension de claquage : $-V_c = 50.9KV$, $+V_c = 43KV$

Tension de seuil : $-V_s = 16KV$, $+V_s = 16KV$

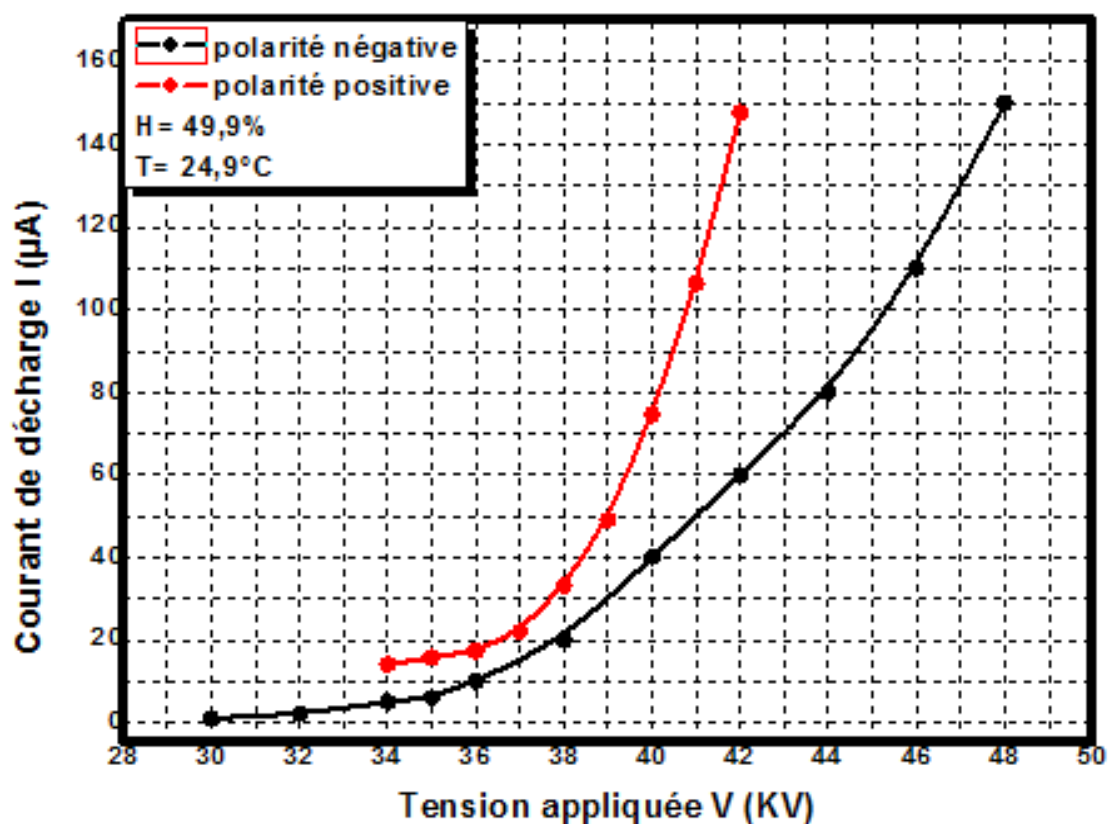


Figure 0.1 Caractéristiques courant – tension en fonction de la polarité de la tension appliquée.

La courbe représentant les caractéristiques courant-tension du deuxième étage du précipitateur électrostatique, en l'absence de particules, met en évidence une évolution classique de la décharge corona en fonction de la polarité.

On observe une augmentation progressive du courant avec la tension appliquée, avec des différences marquées entre les polarités : la courbe correspondant à la polarité positive présente une croissance plus rapide, signalant une ionisation plus intense dès l'amorçage du champ électrique.

À l'inverse, la polarité négative montre un comportement plus modéré, traduisant une décharge plus stable mais moins énergétique.

Ces tendances reflètent la dissymétrie des processus d'ionisation entre anode et cathode, particulièrement en environnement gazeux homogène.

L'absence de particules permet ici de caractériser les propriétés électriques propres au système sans interférence due à la collecte ou au transport de charges solides.

Les conditions ambiantes (49,9 % d'humidité et 24,9 °C) influencent la mobilité des porteurs de charges et la densité d'ionisation, contribuant aux valeurs observées.

Cette analyse constitue une base essentielle pour évaluer les performances du système avant l'introduction de particules solides, permettant d'anticiper la réponse du précipitateur dans un contexte de dépoussiérage réel.

III.4 Décharge couronne en absence de particule

Le premier étage en 4 lames de scie alimenté en HT(-) en absence de particule avec aspirateur :

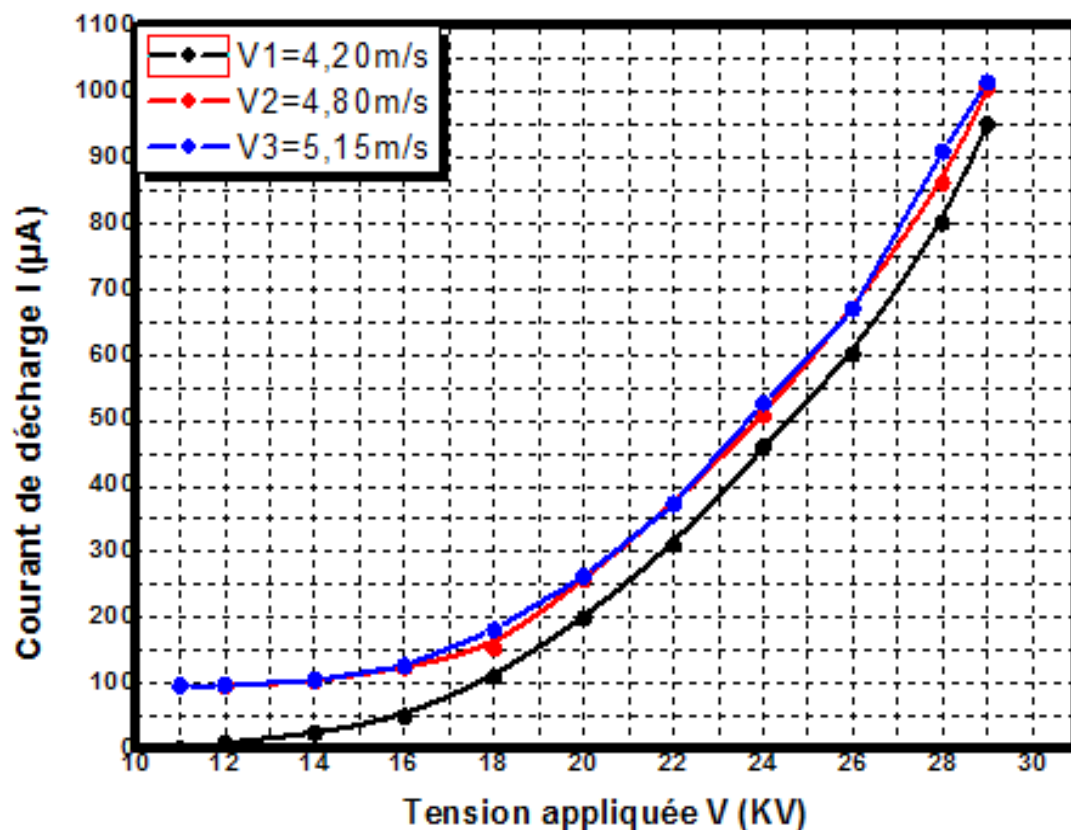


Figure 0.1 Caractéristiques courant – tension en fonction de variation de vitesse

L'analyse du graphe relatif à la décharge couronne en absence de particules révèle que le courant de décharge augmente avec la tension appliquée, illustrant le comportement typique de l'ionisation de l'air entre les électrodes sous champ électrique.

On note que l'élévation de la vitesse de l'air — passant de 4,20 m/s à 5,15 m/s — intensifie le courant mesuré, ce qui suggère un transport plus efficace des ions, limitant leur recombinaison et favorisant une densité de courant plus élevée.

Cette observation met en évidence l'influence bénéfique du flux d'air sur la stabilité et l'efficacité de la décharge.

Cette phase sans particules constitue une étape de référence essentielle, permettant d'évaluer le comportement purement électrique du système avant d'introduire des particules.

Elle sert ainsi de base comparative pour estimer l'efficacité de captage des particules dans des conditions réelles de dépoussiérage, où une décharge stable est primordiale pour assurer une ionisation optimale.

Le premier étage en 4 disques métalliques alimenté en HT (-) en absence de particule avec aspirateur :

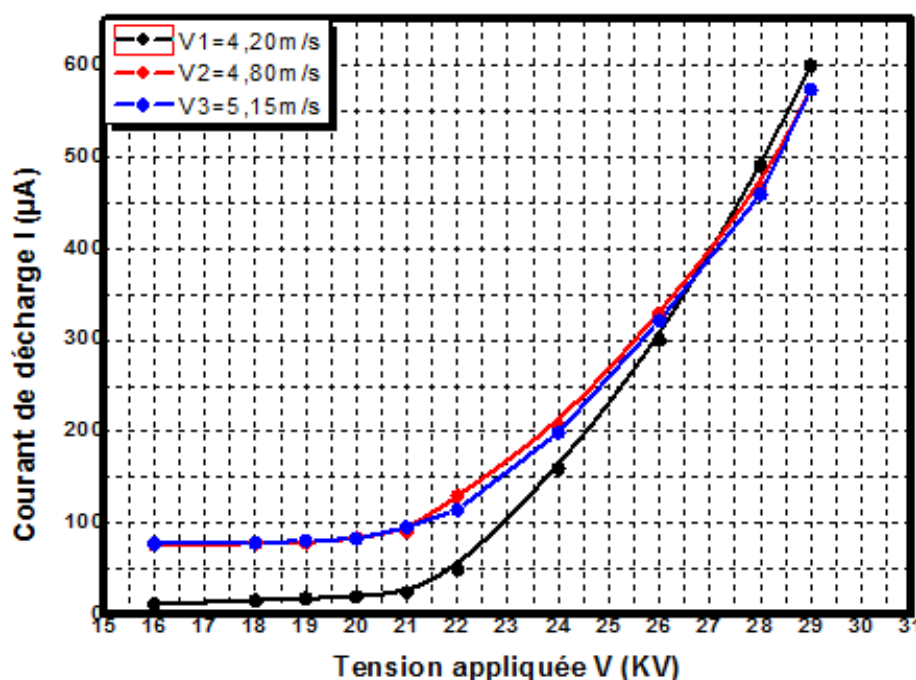


Figure 0.2 Caractéristiques courant – tension en fonction de variation de vitesse

Dans cette phase expérimentale, le précipitateur électrostatique alimenté en haute tension négative, fonctionnant en l'absence de particules et avec un système d'aspiration activé, révèle un comportement électrique typique des décharges coronas.

L'analyse des courbes courant-tension pour différentes vitesses d'aspiration (4,20 m/s, 4,80 m/s et 5,15 m/s) montre une augmentation marquée du courant à partir d'un certain seuil de tension, traduisant l'amorçage de la décharge. Plus la vitesse d'aspiration est élevée, plus l'intensité du courant croît à tension équivalente, ce qui s'explique par une évacuation plus efficace des ions formés par le champ électrique.

Cette situation, exempte de particules, sert de référence de base pour comprendre le comportement du système dans un environnement propre, avant d'introduire la complexité supplémentaire liée à la présence de particules.

Elle met aussi en évidence l'impact du débit gazeux sur la dynamique de transport ionique et la stabilité de la décharge, éléments cruciaux pour optimiser le rendement du précipitateur dans des conditions industrielles réelles.

L'efficacité de collecte :

Efficacité globale de collecte :

Les figures (22) et (23) présente l'évolution de l'efficacité de collecte de l'ESP en fonction de la tension appliquée, pour une masse d'aérosol de 5 g injectée.

Les tailles de particules étudiées varient de 5 à 80 µm. L'efficacité de collecte la sortie de l'ESP augmente avec l'augmentation de la tension appliquée.

L'efficacité de collecte être définie à l'aide de l'équation suivante :

$$\eta = \left[1 - \frac{ms}{minj} \right] \times 100$$

Où ms et $minj$ sont la masse sortante non filtrée et la masse totale injectée, respectivement.

Comparaison entre l'efficacité de 4lames-cylindres et de 4disques métalliques :

Poussière : Filer de calcaire (45µm).

Vitesse: V1=4.20m/s

V2=4.80m/s

V3=5.15m/s

Polarité négatif-négatif :

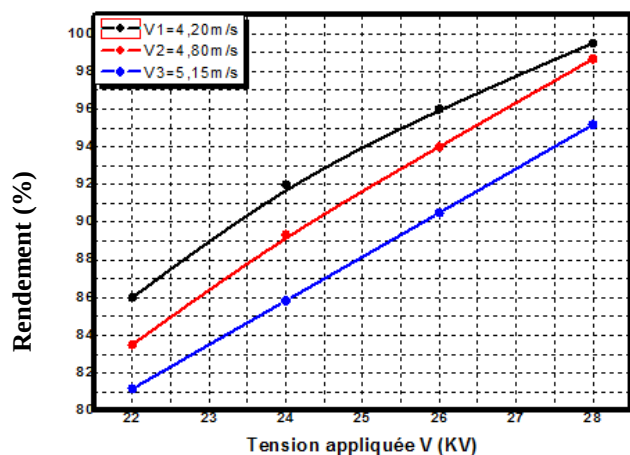


Figure 0.1: Caractéristiques d'efficacité de collecte en fonction de variation de vitesse (4 lames-cylindre)

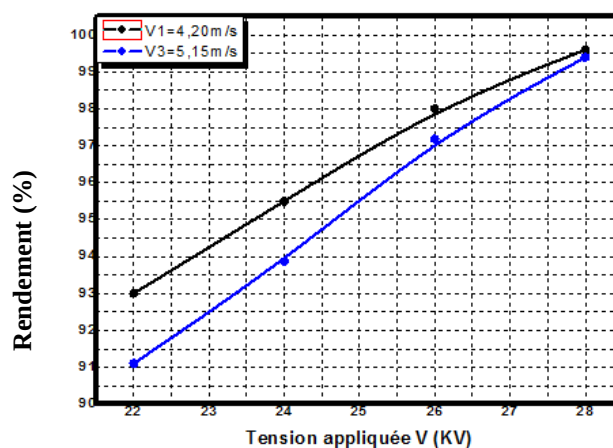


Figure 0.2: Caractéristiques d'efficacité de collecte en fonction de variation de vitesse (4 disques métalliques)

L'analyse conjointe des figures précédentes met en évidence l'impact croisé du type d'électrode et de la vitesse d'écoulement sur le comportement électrique et l'efficacité de collecte du premier étage du précipitateur électrostatique (PES) pour une poussière de $45 \mu\text{m}$. Avec les électrodes lames-cylindre, le courant de décharge augmente régulièrement avec la tension, et cette croissance est accentuée à haute vitesse ($V_3 = 5.15 \text{ m/s}$), traduisant une ionisation plus intense générée par un flux d'air plus rapide.

Cette configuration favorise un régime de décharge plus stable et potentiellement plus efficace. En parallèle, les courbes d'efficacité de collecte montrent que la vitesse d'écoulement joue un rôle crucial : à faible vitesse (V_1), le rendement progresse modérément en raison d'un bon temps de résidence des particules, tandis qu'à vitesse intermédiaire (V_2), on atteint un compromis optimal entre dispersion et temps d'exposition au champ électrique. À haute vitesse (V_3), bien que le courant reste élevé, une stagnation du rendement apparaît à haute tension, probablement en lien avec un balayage trop rapide des particules, réduisant leur interaction avec le champ.

Avec les disques métalliques, les valeurs de courant sont légèrement inférieures à celles obtenues avec les lames-cylindre, et l'effet de la vitesse y est moins marqué, ce qui suggère une efficacité ionisante moindre due à la géométrie des électrodes.

En somme, les résultats soulignent que la configuration (disques métalliques), combinée à une vitesse intermédiaire, offre les meilleures perspectives en termes d'équilibre entre performance de décharge et rendement de collecte.

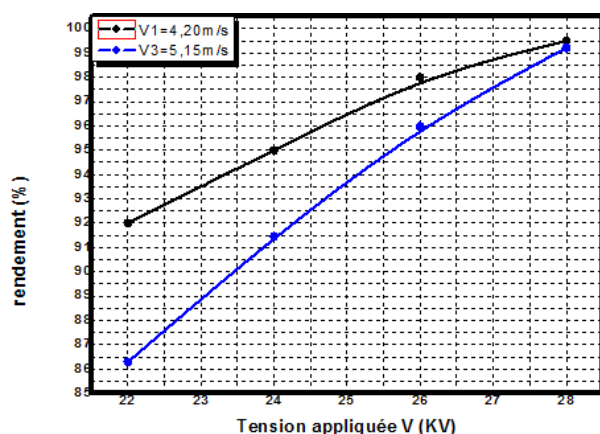
Polarité négatif-positif :

Figure 0.3: Caractéristiques d'efficacité de collecte en fonction de variation de vitesse (4lames-cylindre)

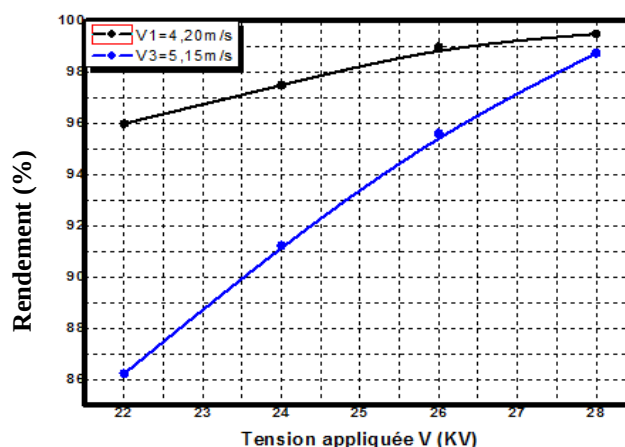


Figure 0.4: Caractéristiques d'efficacité de collecte en fonction de variation de vitesse (4disques métalliques)

La comparaison entre les figures précédentes (électrodes lames-cylindre) et (disques métalliques) révèle l'influence conjointe de la vitesse d'écoulement et de la géométrie des électrodes sur l'efficacité de collecte dans le premier étage du PES avec une poussière de 45 μm .

Dans les deux cas, le rendement augmente avec la tension appliquée, traduisant une ionisation croissante et un meilleur chargement des particules.

Cependant, les performances à la vitesse inférieure ($V_1 = 4.20 \text{ m/s}$) dépassent nettement celles observées à haute vitesse ($V_3 = 5.15 \text{ m/s}$), quelle que soit la configuration des électrodes.

Cette différence s'explique par un temps de résidence plus long à faible vitesse, favorisant l'interaction entre les particules et le champ électrique. En ce qui concerne la géométrie, les électrodes lames-cylindre permettent d'atteindre des rendements plus élevés que les disques métalliques, en particulier à basse tension, suggérant une meilleure concentration du champ électrique et une distribution plus efficace des lignes de force.

Globalement, les résultats montrent que l'association d'une vitesse modérée avec une géométrie de type (disques métalliques) optimise l'efficacité du processus de collecte dans le PES, ce qui constitue un levier important pour l'amélioration des performances industrielles.

L'efficacité de 4lames-cylindres avec Filer de calcaire :

Poussière : Filer de calcaire (63 μm).

Vitesse : $V1=4.20\text{m/s}$

Polarité négatif-négatif :

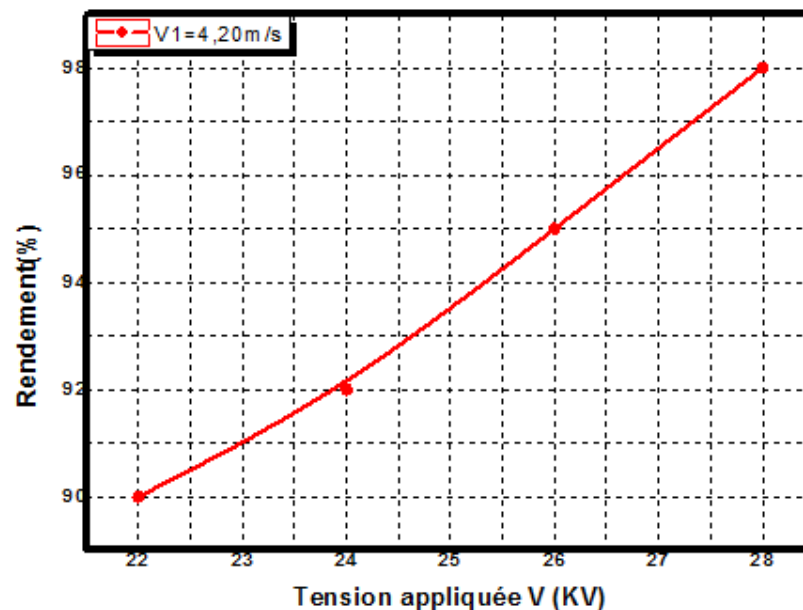


Figure 0.1: Caractéristiques d'efficacité de collecte en fonction de variation de vitesse (4lames-cylindre)

L'analyse de la courbe de rendement pour une vitesse d'écoulement de 4.20 m/s révèle une nette progression de l'efficacité de collecte du PES avec l'augmentation de la tension appliquée.

Le rendement passe d'environ 90 % à 98 % entre 22 kV et 28 kV, traduisant une réponse favorable du système au renforcement du champ électrique.

Cette amélioration continue souligne que, dans cette configuration à polarité négative-négative et avec des électrodes lame-cylindre, les particules de 45 μm bénéficient d'un temps de résidence suffisant pour être efficacement chargées et collectées.

La géométrie des électrodes semble favoriser une distribution homogène du champ, renforçant les mécanismes de capture.

De plus, l'absence de plateau ou de stagnation à haute tension laisse supposer qu'à cette vitesse relativement modérée, les conditions de fonctionnement restent optimales, sans perte d'efficacité due à un écoulement trop rapide.

Ces résultats confirment que le choix judicieux de la vitesse et de la configuration électrode-polarité joue un rôle central dans l'optimisation des performances du précipitateur électrostatique.

Comparaison entre l'efficacité de 4lames-cylindres polarité négatif-négatif et négatif-positif :

Poussière : Filer de calcaire (80 μ m).

Vitesse: V1=4.20m/s

V2=4.80m/s

V3=5.15m/s

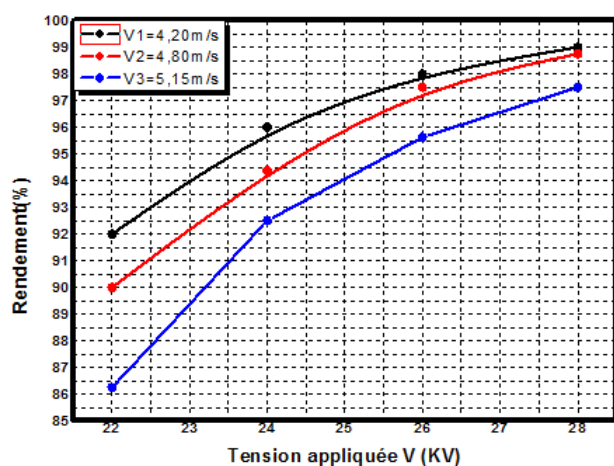


Figure 0.1: Caractéristiques d'efficacité de collecte en fonction de variation de vitesse (-) (-)

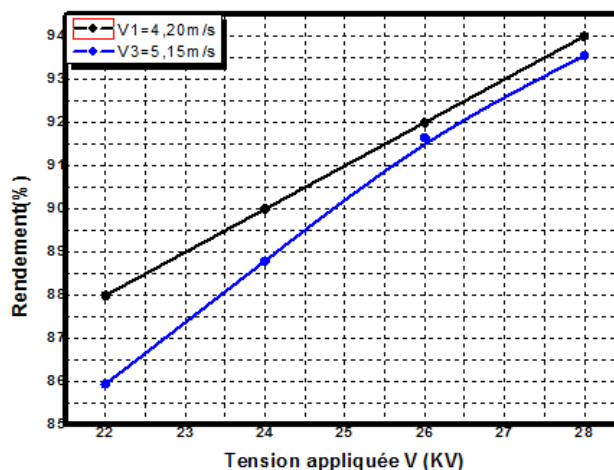


Figure 0.2: : Caractéristiques d'efficacité de collecte en fonction de variation de vitesse (-) (+)

L'analyse comparative des deux courbes révèle une nette différence d'efficacité de collecte entre la polarité négatif-négatif et négatif-positif appliquée à un système de 4 lames-cylindres.

Dans le cas de la configuration négatif-négatif, les courbes montrent une efficacité globalement plus élevée, atteignant jusqu'à 100 % pour les vitesses les plus faibles, notamment à 28 kV.

L'augmentation de la tension appliquée améliore systématiquement l'efficacité de collecte, quel que soit la vitesse, ce qui traduit une réponse électrostatique plus homogène et performante dans cette configuration. En revanche, la configuration négatif-positif présente des rendements inférieurs, avec des valeurs maximales d'efficacité plafonnant autour de 94 % à la même tension. De plus, la courbe pour V2 = 4.80 m/s est absente, ce qui pourrait indiquer une instabilité du système ou un rendement peu significatif dans cette condition.

Cette différence de performance peut être attribuée à la géométrie du champ électrique généré : la configuration symétrique (-) (-) favorise probablement une distribution plus uniforme des lignes de champ et une meilleure capture des particules de calcaire, en particulier pour des vitesses modérées.

En somme, le choix de la polarité joue un rôle déterminant dans l'efficacité globale du procédé de dépoussiérage, avec un net avantage observé en configuration négatif-négatif, particulièrement sous haute tension et à faible vitesse.

L'efficacité de 4lames-cylindres avec Meta-kaolin :

Poussière : Meta kaolin ($5\mu\text{m}$).

Vitesse : $V1=4.20\text{m/s}$

$V3=5.15\text{m/s}$

Polarité négatif-positif :

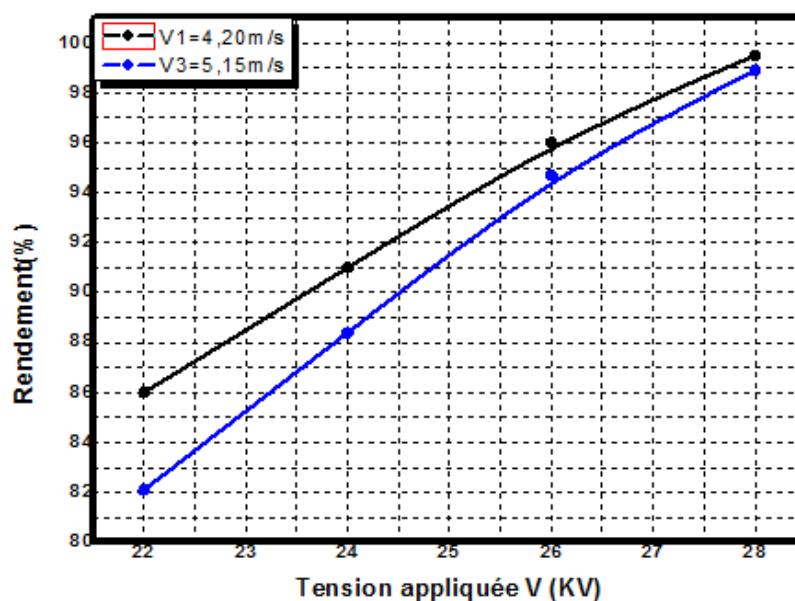


Figure 0.1: Caractéristiques d'efficacité de collecte en fonction de variation de vitesse (-) (+)

L'étude des performances de collecte du système à 4 lames-cylindres avec de la poussière de méta kaolin ($5\mu\text{m}$) sous polarité négatif-positif met en évidence une influence notable de la vitesse de l'air sur l'efficacité globale.

Les courbes montrent une amélioration progressive du rendement avec l'augmentation de la tension appliquée, atteignant près de 100 % à 28 kV, quel que soit le régime de vitesse.

Toutefois, on note que la vitesse $V_3 = 5.15$ m/s surpasse constamment $V_1 = 4.20$ m/s à chaque niveau de tension. Cette tendance peut s'expliquer par une meilleure mobilisation des particules à haute vitesse, favorisant leur exposition au champ électrique et donc leur capture.

Toutefois, des vitesses trop élevées peuvent théoriquement engendrer un effet de rebond ou une diminution du temps de séjour, ce qui n'est pas observé ici, suggérant une synergie optimale entre vitesse et intensité du champ.

En somme, le comportement du système sous polarité (-) (+) avec méta kaolin indique que des vitesses légèrement supérieures peuvent favoriser un meilleur rendement, à condition que la tension appliquée soit suffisante pour assurer une polarisation efficace des particules.

Conclusion :

L'ensemble des résultats met en évidence l'impact déterminant des paramètres d'exploitation – notamment la vitesse d'écoulement, la géométrie des électrodes et la polarité – sur les performances du précipitateur électrostatique.

Une vitesse modérée (V_2) apparaît comme un compromis optimal, assurant un bon équilibre entre le temps de résidence des particules et l'intensité du champ électrique.

Les électrodes lame-cylindre, en particulier, montrent une meilleure efficacité de décharge et de collecte comparées aux disques métalliques, grâce à une concentration plus homogène du champ corona.

La configuration de polarité négative-négative combinée à cette géométrie favorise une captation progressive et stable des particules fines.

Ainsi, pour maximiser le rendement de collecte tout en minimisant la consommation énergétique, il est recommandé d'adopter une configuration lame-cylindre avec polarité négative-négative et une vitesse d'écoulement intermédiaire.

Ces conclusions constituent un socle pertinent pour l'optimisation future des systèmes industriels de dépoussiérage.

CONCLUSION

GENERAL

Ce travail de recherche s'est inscrit dans une dynamique d'innovation technologique et de responsabilité environnementale, en s'attaquant à la problématique cruciale de la réduction des émissions particulières dans les milieux industriels.

À travers la conception, la réalisation et l'expérimentation d'un précipitateur électrostatique à deux étages, cette étude a permis de mettre en lumière l'influence déterminante de plusieurs paramètres, tels que la géométrie des électrodes, la polarité de la tension appliquée, la vitesse d'écoulement du gaz et la nature des particules à traiter, sur l'efficacité globale du dispositif.

Les résultats ont montré que la configuration à lames-cylindres associée à une polarité négative-négative, combinée à une vitesse d'écoulement intermédiaire, permettait d'atteindre une efficacité de collecte dépassant les 98 %, voire 100 % dans certaines conditions expérimentales, notamment avec des particules de taille moyenne.

Ces performances soulignent non seulement la pertinence du choix technologique retenu, mais aussi la capacité d'adaptation du système aux exigences environnementales croissantes, en conciliant haute performance, sobriété énergétique et simplicité de maintenance.

En outre, cette étude ouvre la voie à de nombreuses perspectives d'amélioration, telles que l'intégration de systèmes de pilotage automatique et de capteurs intelligents, la modélisation numérique avancée du champ électrique ou encore l'exploration de nouveaux matériaux pour optimiser la durabilité et la compacité du dispositif.

Ainsi, ce travail ne se limite pas à une application ponctuelle, mais s'inscrit résolument dans une vision plus large de l'ingénierie durable, en proposant une solution reproductible, évolutive et conforme aux standards industriels modernes.

Il représente une contribution tangible à la transition vers des procédés industriels plus respectueux de l'environnement et sert de socle pour de futurs projets axés sur l'innovation environnementale dans le domaine de l'électrotechnique appliquée.

Perspectives

- ❖ Automatisation intelligente : Intégrer des capteurs et des systèmes de régulation pour adapter en temps réel les paramètres du précipitateur aux conditions ambiantes.
- ❖ Optimisation géométrique : Améliorer la forme et l'agencement des électrodes via la simulation numérique pour renforcer la stabilité du champ électrique.
- ❖ Matériaux innovants : Utiliser des matériaux plus résistants à la corrosion, à l'encrassement et aux températures extrêmes pour prolonger la durée de vie de l'appareil.
- ❖ Applications élargies : Adapter le dispositif à d'autres secteurs industriels (chimie, pharmacie, électronique) et à la filtration de particules très fines (nanoparticules), les déchets et les minéraux fins.
- ❖ Validation à grande échelle : Développer un prototype semi-industriel et mener des tests réelles pour valider la faisabilité et les performances du système.
- ❖ Approche durable : Réduire la consommation énergétique globale et favoriser l'intégration du précipitateur dans des chaînes de traitement écoresponsables.

Bibliographie



Figure 0.1: Frederick Cottrell

Naissance : 10 janvier 1877, Oakland.

Décès : 16 novembre 1948, (à 71 ans), Berkeley.

Nationalité : Américaine.

Formation : université de Californie à Berkeley, université Harvard, université de Leipzig.

Activités : Chimiste, inventeur.

A travaillé pour Membre de : université de Californie, Académie américaine des sciences, Association américaine pour l'avancement des sciences

Distinctions : Médaille Perkin (1919), Prix Willard-Gibbs (1920), Médaille Holley (1937), Médaille d'or de l'American Institute of Chemists (1938), National Inventors Hall of Fame (1992).

Frederick Gardner Cottrell : est un électrochimiste surtout connu pour son équation (équation de Cottrell) et pour avoir inventé le précipitateur électrostatique.

- [1] H.J. White, 'Industrial Electrostatic Precipitation', Addition-Wesley, MA, 1963.
- [2] D. Brocilo, J.S. Chang and R.D. Findlay, 'Modelling of Electrode Geometry Effects on Dust Collection Efficiency of-Plate Electrostatic Precipitator', 8th ICESP Conference, pp. 1 - 18, Birmingham, Alabama, USA, May 2001
- [3] X. Liang, S. Jayaram, A. Berzein and J.S. Chang, 'Modelling of the Electrical Particles of a Wirecylinder Electrostatic Precipitator under Pulse Energization', IEEE Transactions on Industrial Applications, Vol. 35, N°5, pp. 1184-1190, 2002
- [4] S.A. Hoenig, 'New Application of Electrostatic Technology to Control of Dust, Fumes, Smokes and Aerosols', IEEE Transactions of Industrial Applications, Vol. IA-17, N°4, pp. 386 - 391, 1981.
- [5] K.R. Parker, 'Applied Electrostatic Precipitation', Published by Blackie Academic and Professionnal, 1997.
- [6] I. Gallimberti, 'Recent Advancements in the Physical Modelling of Electrostatic Precipitators, the Warburg Law and the Saturation Current', Journal of Electrostatics, Vol. 43, N°4, pp. 219 - 247, 1998.
- [7] J. Goupy, 'Modélisation par les Plans d'Expériences', Techniques de l'Ingénieur, Traité Mesure et Contrôle, R 275-1.
- [8] J. Goupy, 'Plans d'Expériences pour Surfaces de Réponse', Edition Dunod, Paris, 1999.
- [9] B. Benamar, '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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] C. Mimouni 'étude et réalisation d'un banc expérimental de précipitation électrostatique de fumée ' thèse de magistère d'état en électrotechnique, Université de Sidi Bel Abbés, pp. 33-45, novembre 2006.
- [14] A. Vincent, 'Conception et simulation d'un réacteur fil-cylindre à décharge couronne avec barrière diélectrique adapté au traitement des oxydes d'azote dans des effluents marqués par un isotope ', thèse de doctorat en Génie Des Procédés et Haute Technologie, Université Paris VI Pierre et Marie CURIE, 2002.
- [15] S.Touia, H.Righi 'Modélisation expérimentale d'un précipitateur cylindrique ' mémoire d'ingénieur d'état en électrotechnique, Université de Sidi Bel Abbés, pp. 3-8 2005-2006.

- [16] A. Bendaoud, ‘ Modélisation du champ électrique et de l'effet couronne dans les installations de haute tension ‘ thèse de doctorat d'état en électrotechnique, Université de Sidi Bel Abbés, pp. 21-23, novembre 2006.
- [17] A. Tilmatine, ‘ Etude et réalisation d'un séparateur électrostatique des mélanges granulaires ‘ thèse de doctorat d'état en électrotechnique, Université de Sidi Bel Abbés, 2004.
- [18] L. M. Dumitran, ‘ Collection des fines particules dans un dépoussiéreur électrostatique ‘, thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier, Grenoble, 2001.