

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrotechnique et Automatique

Réf :/2024



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER Académique**

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Réseaux électriques

Par : HACHACHNIA Ikram

TAILEB Achref Abd Kadous

Thème

Neutralisation de la charge triboélectrique sur des particules isolantes dans une canalisation métallique

Soutenu publiquement, le 23 Juin 2024, devant le jury composé de :

M. KACHI Miloud	Professeur	Univ. Guelma	Président/Encadreur
M. REMADNIA Mokdad	MCA	Univ. Guelma	Examineur principal
Mme FETISSI Selwa	MCB	Univ. Guelma	Examineur

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

Au terme de ce travail, je tenu à exprimer votre profonde gratitude, avant tout à dieu le tout puissant qui nous a aidé et ma donnée le courage pour mener à terme ce modeste travail.

Nous souhaitons adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leurs aides et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire, ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Nous tenons à remercier sinisèrent **Monsieur KACHI MILOUD**, qui en tant que directeur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout en long delà réalisation de ce mémoire, ainsi que pour l'inspiration, l'aide et le temps, qu'il a bien voulu nous consacrer et sans lui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à nous recherches en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Ces remerciements vont tout d'abord au corps professoral et administratif du département : Génie Électrotechnique et Automatique, pour la richesse et la qualité de leur enseignement et pour les grands efforts qu'ils ont déployé de pour assurer à leur étudiants une formation actualisée.

Enfin, nous adressons plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenue et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*A mes parents, qui m'ont toujours soutenu et encouragé pendant toute ma vie,
qui ont sacrifié ce qu'ils avaient de cher pour me voir réussir, mes cher parent
aucun mot ne pourra exprimer ma gratitude
Et profonde affection. Je vous dis merci mon cœur*

A mes chères sœurs.

*Mes frères, ma famille ; mes chers ce qui me donnent de l'amour et de la
vivacité.*

A mon collègue de travail << taileb achref >>

*A mes chers amis que dieu exauce notre prière pour que le lien qui nous a uni
demeure solide.
A tous ce que j'aime.*

Ikram

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*A mes parents, qui m'ont toujours soutenu et encouragé pendant toute ma vie,
qui ont sacrifié ce qu'ils avaient de cher pour me voir réussir, mes cher parent
aucun mot ne pourra exprimer ma gratitude
Et profonde affection. Je vous dis merci mon cœur*

A. Mes frères

*Mes chères sœurs., ma famille ; mes chers ce qui me donnent de l'amour et de la
vivacité.*

A mon collègue de travail <<hachachnia ikram >>

*A mes chers amis que dieu exauce notre prière pour que le lien qui nous a uni
demeure solide.*

A tous ce que j'aime.

Achref

Sommaire

Sommaire

Introduction générale 1

Chapitre I : Mécanismes de chargement des matériaux isolants

I.1. Introduction..... 3

I.2. Les matériaux isolants 3

 I.2.1. Polarisation des diélectriques 3

 I.2.2. Caractéristiques des diélectriques..... 4

 I.2.2.1. Résistivité..... 4

 I.2.2.2. Permittivité..... 4

 I.2.2.3. Rigidité diélectrique : 5

 I.2.2.4. Tangente de perte : 6

 I.2.3. Les différentes formes d'isolants..... 6

 I.2.3.1. Les Isolants solides 6

 I.2.3.2. Les isolants synthétiques..... 6

 I.2.3.3. Les isolants gazeux 7

I.3. Mécanismes de charge : décharge couronne, contact et triboélectricité 7

 I.3.1. Décharge couronne..... 7

 I.3.1.1. Applications de la décharge couronne..... 9

 I.3.2. Chargement par contact..... 9

 I.3.3. Triboélectricité 10

 I.3.3.1. Facteurs influençant le transfert de charge triboélectrique..... 11

 I.3.3.2. Mécanismes de transfert de charges triboélectrique..... 12

 I.3.4. Comparaison des mécanismes de charge..... 12

I.4. Applications électrostatiques 13

 I.4.1. Le filtrage 13

 I.4.2. La séparation 13

I.5. Risques électrostatiques 14

I.6. Conclusion 16

Chapitre II : L'installation expérimentale

II.1. Introduction 18

II.2. Différentes parties des installations de laboratoire 18

II.3. Expérience de charge triboélectrique des particules isolantes traversant un tube métallique 19

II.4. Mesure de la charge..... 20

II.5. Matériaux étudiés 20

II.6. Mesure de la masse granulaire..... 22

Sommaire

II.7. Mesure de la température et de l'humidité relative	22
II.8. Description de l'ensemble du banc de contrôle de l'état de charge des granules de PS par décharge couronne	23
A. Poste de chargement	23
B. Poste de neutralisation	23
II.B.1. Electrode de neutralisation	24
II.9. L'expérience de neutralisation des matériaux diélectriques par décharge couronne coaxiale	24
II.10. Conclusion	25

Chapitre III : La charge triboélectrique des particules isolantes traversant un tube métallique

III.1. Introduction	27
III.2. Evolution de la charge cumulée	27
III.3. Influence de la quantité de particules	29
III.4. L'effet de la nature de la matière	31
III.4.1. Conductivité électrique	31
III.4.2. La perméabilité	31
III.4.3. Structure moléculaire	31
III.4.4. Affinité électronique	32
III.5. Particules PS dans un tube PVC	32
III.6. Effet de la mise à la terre	33
III.7. Conclusion	35

Chapitre IV : Neutralisation par décharge couronne continue

IV.1. Introduction	37
IV.2. L'effet de la tension	38
IV.3. L'effet de la longueur	39
IV.4. Effet de la charge initial	40
IV.5. Champ électrique en configuration coaxial	42
IV.5. 1. Principe du calcul	42
IV.5.2. Distribution de la charge d'espace	42
IV.6. Conclusion	43
Conclusion générale	45
Bibliographie	47

Liste des figures

Chapitre I : Mécanismes de chargement des matériaux isolants

Figure I.1 : Polarisation des diélectriques	4
Figure I.2 : Zones d'ionisation et de dérive dans la décharge couronne	8
Figure I.3 : Mécanismes possibles de transfert de charge : (a) Transfert d'électrons, (b) Transfert d'ions	10
Figure I.4 : L'effet triboélectrique et l'échange de la charge électrique entre deux surfaces : (a) : 1. Surface A neutre, particule B est neutre ; 2. La surface A et la particule B sont en contact ; 3. Après la séparation, la surface A a la tendance de se charger négativement, et la particule B positivement, (b) : 1. Deux particules neutres de même taille en contact ; 2. Les particules grandes ont la tendance de se charger positivement et les petites négativement.	11
Figure I.5 : filtre électrostatique	13
Figure I.6 : Principe de la séparation électrostatique	14

Chapitre II : L'installation expérimentale

Figure II.1 : Montage expérimental de chargement	19
Figure II.2 : Système de mesure de la charge électrique	20
Figure II.3 : Photographie de matériau granulaire de polyester	20
Figure II.4 : Photographie de la balance électronique	22
Figure II.5 : photographie de l'hygromètre numérique	23
Figure II.6 : L'électrode active de type coaxial	24
Figure II.7 : Montage expérimental de neutralisation	25

Chapitre III : La charge triboélectrique des particules isolantes traversant un tube métallique

Figure III.1 : Evolution de la charge en fonction du nombre de passage répété dans le tube de cuivre	27
Figure III.2 : Evolution de la charge en fonction du temps	29
Figure III.3 : Influence de la quantité de la matière sur la charge cumulée	30
Figure III.4 : Différence de mesure par cage de Faraday d'une faible et grande quantité de particules	31
Figure III.5 : Evolution de la charge triboélectrique des particules PS dans un tube PVC Particules PE dans un tube en cuivre	32
Figure III.6 : Evolution de la charge triboélectrique des particules PE dans un tube en cuivre	33
Figure III.7 : Effet de la mise à la terre du tube métallique sur la charge triboélectrique des particules (les figures présentent deux essais).	34

Chapitre IV : Neutralisation par décharge couronne continue

Figure IV.1 : Principe de la neutralisation par décharge couronne	37
Figure IV.2 : Variation de neutralisation en fonction de la tension de neutralisation	38
Figure IV.3 : L'effet de la longueur l'électrode de couronne coaxial à tension 7kV	40
Figure IV.4 : L'effet de la longueur l'électrode de couronne coaxial tension 6,5kV	40
Figure IV.5 : Variation de la charge en fonction de la longueur (La charge initiale -32 nC)	41

Liste des figures

Figure IV.6 : Variation de la charge en fonction de la longueur (La charge initiale -69 nC)	41
Figure IV.7 : Décharge électrique dans une configuration fil-cylindre	42
Figure IV.8 : La distribution de la charge couronne dans l'espace inter électrode	43

Liste des tableaux

Chapitre I : Mécanismes de chargement des matériaux isolants

Tableau I.1 : comparaison des mécanismes de charge..... 12

Chapitre II : L'installation expérimentale

Tableau II.1 : Principales caractéristiques des granules de PS utilisés..... 21

Introduction générale

Introduction générale

La charge électrostatique a toujours été considérée comme une source de nuisance aussi bien aux installations qu'aux individus. En effet, le chargement des particules est un phénomène assez fréquent et qui peut surgir simplement suite à un simple contact entre matériaux, connu communément par triboélectricité. Ce phénomène complexe de la charge triboélectrique apparaît dans la vie quotidienne de chaque individu dans ses vêtements, sa voiture ...etc., mais aussi dans divers secteurs industriels, tels que le transport de particules isolantes à travers des conduits métalliques. La présence de particules isolantes dans ces conduites métalliques peut entraîner l'accumulation de charges électriques à leurs surfaces. Cela aura pour effet la perturbation des processus de production et peut poser un risque pour la sécurité de toute l'installation. A travers l'histoire, plusieurs incidents industriels tel que l'explosion et l'incendie des produits inflammables avaient pour origine les décharges électrostatiques causées par le chargement intense des matériaux. A un degré moindre, les particules chargées peuvent coller aux différentes parois de l'installation et ainsi provoquer un dysfonctionnement de la chaîne de production.

Dans ce travail, le chargement des matériaux isolants dans une installation à canalisation métallique a été étudié. L'objectif étant de mettre en évidence le chargement triboélectrique d'une part et, d'autre part, d'éliminer ce phénomène par la méthode de neutralisation moyennant une décharge couronne.

Pour bien cerner le sujet nous avons structuré le mémoire en quatre chapitres :

Le premier chapitre présente l'état de l'art du sujet. On présentera les matériaux isolants et leurs caractéristiques. Par ailleurs, la triboélectricité et les mécanismes de charge des diélectriques sont également présentés avec les différentes applications et les risques électrostatiques qui peuvent avoir lieu.

Le deuxième chapitre est consacré à la description des matériaux utilisés dans cette étude et les différentes installations de laboratoire.

Le troisième chapitre englobe les résultats obtenus, avec leurs interprétations, relativement au chargement triboélectrique.

Le quatrième chapitre présente les résultats obtenus avec leurs interprétations concernant la partie neutralisation par la méthode décharge couronne.

Chapitre I

Mécanismes de chargement des matériaux isolants

I.1. Introduction

Ce chapitre est consacré aux notions fondamentales relatives aux isolants et à leurs méthodes de chargement. Le chargement des isolants est avant tout un phénomène naturel qui apparaît simplement après contact ou frottement de deux matériaux différents. Par ailleurs, le chargement est considéré comme une étape cruciale dans plusieurs applications industrielles, telles que les imprimantes, les filtres et les séparateurs électrostatiques, etc. Néanmoins, le pouvoir de chargement des isolants peut les rendre une source de problèmes diverses pour les installations industrielles et les individus. A titre d'exemple, les charges électrostatiques accumulées à la surface des particules isolantes dans un système de canalisation de transport pneumatique peuvent entraîner leur accumulation en raison de la force image ce qui nuit au fonctionnement du processus. De plus, les particules chargées peuvent se coller aux films isolants durant le conditionnement des produits alimentaires et par conséquent le produit fini aura des défauts ou même un produit qui n'est pas hermétique. Ce ne sont que des exemples des problèmes liés aux charges électrostatiques.

I.2. Les matériaux isolants

Les isolants, appelés aussi diélectriques, sont les matériaux qui ne conduisent presque aucun courant électrique en raison de leur grande résistivité qui varie de 10^8 à 10^{16} $\Omega.m$. Leur grande résistivité est due principalement à la forte liaison des électrons à leurs atomes se traduisant ainsi par l'absence quasi-totale d'électron libre pouvant entrer en conduction. Suite à cette propriété si importante, les isolants servent le plus souvent à la séparation de parties conductrices portées à des potentiels différents. Ainsi, les isolants forment une bonne partie des installations électriques et dont la durée de vie est déterminée par celle de l'isolant. On y trouve ces isolants dans les réseaux, les machines électriques et circuits électroniques.

I.2.1. Polarisation des diélectriques

Un diélectrique lorsqu'il est placé dans un champ électrique des charges positives et négatives apparaissent à sa surface. Cette réaction du champ vis-à-vis du champ électrique est appelée polarisation. Les diélectriques sont polarisés par le champ électrique, provoquant une légère séparation des charges positives et négatives à l'intérieur du matériau (figure I.1). Cet effet de polarisation conduit le diélectrique à réduire le champ électrique global à l'intérieur du matériau,

ce qui augmente sa capacité. Les diélectriques sont couramment utilisés dans les condensateurs pour augmenter leur capacité à stocker l'énergie électrique.

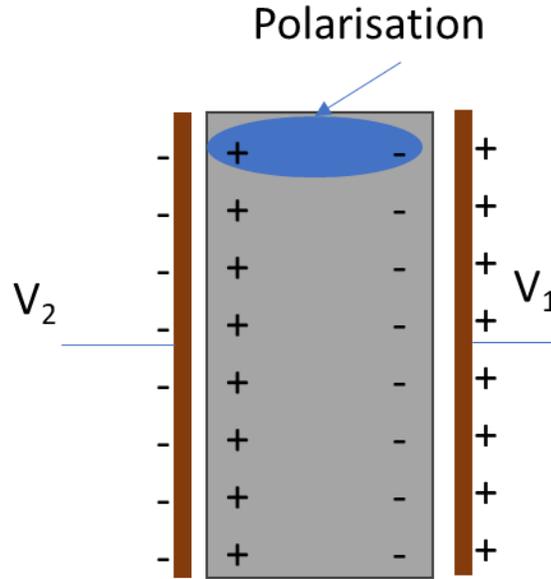


Figure I.1 : Polarisation des diélectriques

I.2.2. Caractéristiques des diélectriques

Les diélectriques ont plusieurs propriétés électriques importantes :

I.2.2.1. Résistivité

C'est l'une des caractéristiques les plus importantes du matériau puisqu'elle traduit globalement sa qualité en tant qu'isolant.

I.2.2.2. Permittivité

Souvent noté ϵ_r , elle mesure la réduction du champ électrique à l'intérieur du matériau par rapport au champ électrique dans le vide suite à la polarisation. La permittivité d'un matériau diélectrique détermine sa capacité à stocker de l'énergie électrique puisque :

$$W = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} V^2. \quad (\text{I.1})$$

Donc, la permittivité n'est qu'une grandeur qui exprime la capacité de polarisation du matériau.

I.2.2.3. Rigidité diélectrique :

La rigidité diélectrique (kV/cm) fait référence au champ électrique maximal auquel un matériau peut résister sans subir de claquage électrique. C'est une propriété importante pour déterminer la tension nominale des matériaux isolants. Plusieurs paramètres influencent la rigidité diélectrique, notamment les propriétés des matériaux, les facteurs environnementaux et les considérations géométriques :

- **Propriétés du matériau** : La rigidité diélectrique d'un matériau est principalement déterminée par ses propriétés intrinsèques telles que l'énergie de la bande interdite, la structure atomique et la composition chimique. Les matériaux avec des bandes interdites plus larges et des liaisons covalentes fortes ont tendance à avoir des rigidités diélectriques plus élevées en raison de leur capacité à résister au mouvement des électrons sous un champ électrique appliqué.

- **Facteurs environnementaux** : Les conditions environnementales telles que la température, l'humidité et la présence d'impuretés peuvent affecter considérablement la rigidité diélectrique d'un matériau. Des températures élevées peuvent entraîner une rupture thermique du matériau, réduisant ainsi sa rigidité diélectrique. L'humidité ou les impuretés présentes dans le matériau peuvent créer des chemins de conduction électrique, réduisant ainsi la rigidité diélectrique.

- **Considérations géométriques** : La forme et la taille du matériau isolant jouent également un rôle dans la détermination de sa rigidité diélectrique. Des arêtes ou des points tranchants à la surface du matériau peuvent entraîner une concentration du champ électrique, augmentant ainsi le risque de panne. De plus, les matériaux isolants plus épais ont généralement des rigidités diélectriques plus élevées que les matériaux plus minces.

- **Fréquence du champ électrique appliqué** : La fréquence du champ électrique appliqué peut avoir un impact sur la rigidité diélectrique d'un matériau. Certains matériaux présentent un comportement dépendant de la fréquence où leur rigidité diélectrique varie en fonction de la fréquence du champ électrique.

- **Pureté du matériau** : La pureté du matériau isolant est cruciale pour déterminer sa rigidité diélectrique. Même de faibles concentrations d'impuretés peuvent réduire

considérablement la capacité d'un matériau à résister à des champs électriques élevés avant qu'une panne ne se produise.

I.2.2.4. Tangente de perte :

La tangente de perte d'un matériau diélectrique représente sa capacité à dissiper de l'énergie sous forme de chaleur lorsqu'il est soumis à un champ électrique alternatif. Les matériaux tangents à faibles pertes sont souhaitables pour les applications où une perte d'énergie minimale est cruciale.

I.2.3. Les différentes formes d'isolants

Les isolants sont classés en trois types : solides, liquides et gazeux.

I.2.3.1. Les Isolants solides

Les isolants solides sont d'origines minérales, organiques et résineuses [7] :

- Les isolants d'origine minérale sont des substances siliceuses et calcaire, solides à la température ordinaire, incombustibles et supportant des températures élevées, à l'exception des hydrocarbures (verre, produits céramiques, ...) [7].
- Les isolants d'origine organique sont généralement des substances fibreuses à base de cellulose. Ces matériaux ont une bonne résistance mécanique, ils sont combustibles et ne supportent pas des températures supérieures à 100°C sans perdre leurs propriétés mécaniques et diélectriques (cellulose, silicone) [7].
- Les isolants d'origine résineuse sont généralement des matières organiques naturelles ou synthétiques qui peuvent se présenter à l'état solide, thermoplastique ou plastique (caoutchouc, ...) [7].

I.2.3.2. Les isolants synthétiques

Les isolants synthétiques sont fabriqués à partir de produits pétrochimiques, tels que le pétrole et le gaz naturel. Ils sont généralement moins chers que les isolants naturels et peuvent être plus efficaces. Cependant, ils peuvent également être moins respectueux de l'environnement et plus sujets aux problèmes de santé.

I.2.3.3. Les isolants gazeux

Les diélectriques ou les isolateurs de gaz sont largement utilisés dans les équipements électriques et les principaux isolants gazeux sont : l'air atmosphérique, l'azote, les gaz électronégatifs (SF₆), l'hydrogène...etc. L'air et les gaz secs sont de bons isolants, ils ont des propriétés particulières :

Rigidité diélectrique variable suivant la nature de gaz [7].

- Permittivité faible, les gaz sont auto-générateurs.
- Phénomène d'ionisation des gaz.
- Légers et non inflammables.

Les isolants gazeux sont assez fortement influencés par les facteurs d'environnement (la température et la pression). Ces deux grandeurs physiques, lorsqu'elles varient, modifient la Densité des gaz. Le champ électrique de rupture des gaz isolants diminue avec la température et augmente avec la pression [7].

I.3. Mécanismes de charge : décharge couronne, contact et triboélectricité

I.3.1. Décharge couronne

Les décharges couronnes, également appelées décharges à effet corona, apparaissent généralement à pression atmosphérique [6]. On peut définir la décharge couronne comme une décharge électrique autoentretenu non destructive dans un gaz, qui peut apparaître entre deux électrodes asymétriques, dont l'une à un faible rayon de courbure reliée à une haute tension, appelée « électrode active », et l'autre électrode, généralement plane, et reliée à la terre, appelée « électrode passive ». La dissymétrie des électrodes conduit à un champ électrique inhomogène dans l'espace interélectrodes qui comporte deux zones : une zone active (zone d'ionisation) et une zone de dérive (Figure I.2) [6].

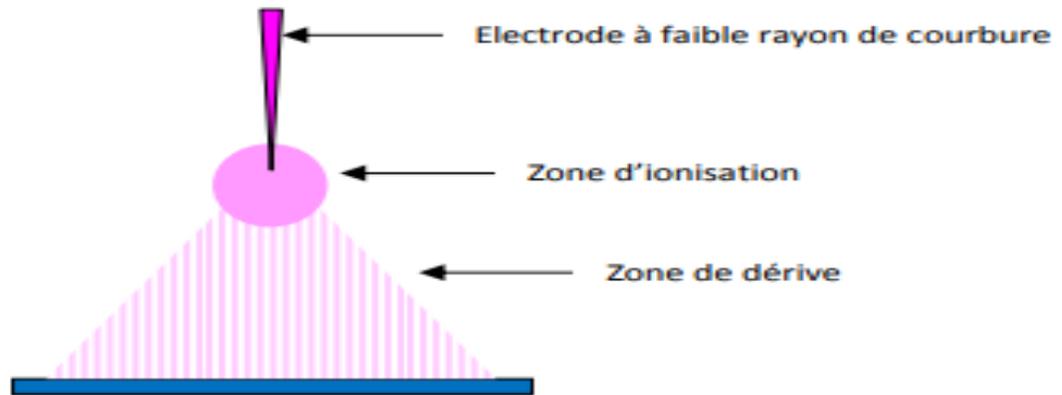


Figure I.2 : Zones d'ionisation et de dérive dans la décharge couronne

Au voisinage de l'électrode à faible rayon de courbure (zone active ou zone ionisée) le champ est suffisamment élevé, ainsi une ionisation du gaz se produit et les phénomènes

D'avalanche sont limités dans l'espace par la décroissance du champ électrique. Autour de cette zone on trouve la zone de dérive ou unipolaire où les ions du même signe que l'électrode à faible rayon de courbure dérivent jusqu'à l'autre électrode [6]. L'intérêt pour la décharge couronne est motivé par divers facteurs : il peut être lié à l'étude des phénomènes précédant le développement de l'arc, à la capacité de charger des particules dans un gaz (comme pour la précipitation électrostatique), ainsi qu'à la neutralisation des charges indésirables sur les matériaux diélectriques. En fonction de la polarité de la haute tension appliquée à l'électrode de faible rayon de courbure, la décharge couronne peut-être positive, négative ou alternative. La décharge couronne présente plusieurs caractéristiques :

- Elle se produit à une tension inférieure à la tension d'amorçage d'une décharge électrique classique.
- Elle est caractérisée par une lueur visible autour de l'électrode de petite taille.
- Elle produit un courant électrique faible.
- Elle génère du bruit électrique.
- Elle peut produire des ozones et des oxydes d'azote.

I.3.1.1. Applications de la décharge couronne

La décharge couronne à plusieurs applications, notamment :

- **Production d'ozone :** L'ozone est un gaz oxydant puissant qui est utilisé pour désinfecter l'eau et l'air.
- **Traitement des surfaces :** La décharge couronne peut être utilisée pour modifier les propriétés des surfaces des matériaux, par exemple pour les rendre plus hydrophiles ou plus hydrophobes.
- **Précipitation électrostatique :** La décharge couronne peut être utilisée pour charger des particules en suspension dans un gaz, ce qui permet de les précipiter sous l'effet d'un champ électrique.
- **Génération de lumière :** La décharge couronne peut être utilisée pour générer de la lumière, par exemple dans les lampes néon.

I.3.2. Chargement par contact

L'électrification par contact est le processus par lequel deux matériaux dissemblables sont touchés ensemble, puis séparés, ce qui provoque le chargement de matériau neutre par un déplacement d'électron ou d'ions positifs (trous) ; c'est le phénomène de « l'électrisation par contact ». Lorsqu'un corps négatif touche un corps neutre, des électrons peuvent passer sur le corps neutre qui devient ainsi négatif. Lorsqu'un corps positif touche un corps neutre, il attire des électrons du corps neutre qui devient alors positif (Figure I.3). Le chargement par contact peut apparaître dans trois situations : l'électrification des métaux par les métaux ; d'isolants par des métaux ; et des isolateurs par des isolants.

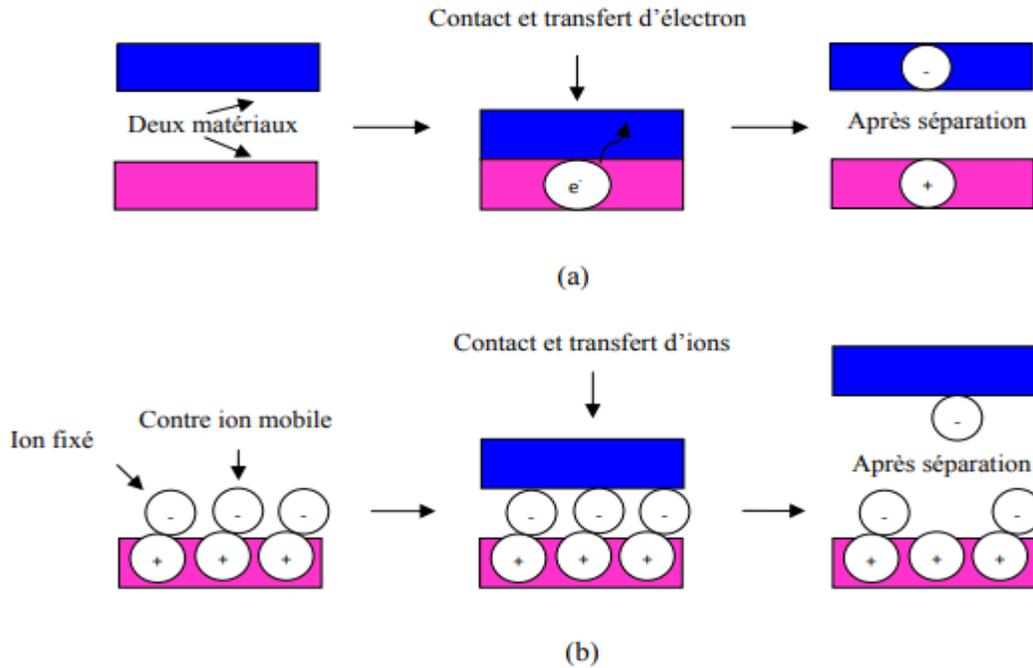


Figure I.3 : Mécanismes possibles de transfert de charge : (a) Transfert d'électrons, (b) Transfert d'ions

Dans l'ensemble, l'électrification de contact est un phénomène complexe qui peut être influencé par divers facteurs, notamment les mécanismes de transfert d'ions et d'électrons, l'humidité, la température et la taille des particules.

I.3.3. Triboélectricité

La triboélectricité est un mot qui vient du grec « tribein » et qui signifie frotter. Le frottement peut être défini comme étant l'action qui tend à s'opposer au déplacement relatif de deux solides en contact [6]. La triboélectricité désigne le phénomène électrostatique par lequel un transfert de charges électriques est créé lorsque deux matériaux différents sont mis en contact (Figure I.4). Quand deux matériaux électriquement neutres se frottent l'un à l'autre, il se produit un transfert de charges au niveau surfacique de l'un vers l'autre, dans un même sens. Ce processus utilise la différence de structure électronique des deux surfaces en fonction desquelles une des particules devient chargée positivement et l'autre chargée négativement. Si l'un des matériaux présente une conductivité faible, les charges ainsi générées resteront après séparation. La charge transférée augmente généralement avec la pression entre les deux matériaux en contact, la surface du contact, ainsi qu'avec la vitesse du frottement. Elle diminue avec la rugosité des surfaces de contact. L'effet triboélectrique est en général associé à l'apparition de charges électriques après frottement entre

deux matériaux mais sa définition s'étend souvent au transfert de charges par contact, le frottement étant l'équivalent de contacts suivi de séparations, mais s'accompagnant de génération de chaleur et parfois de transfert de masse. La reproductibilité de la charge à obtenir par ce mécanisme est très difficile [6].

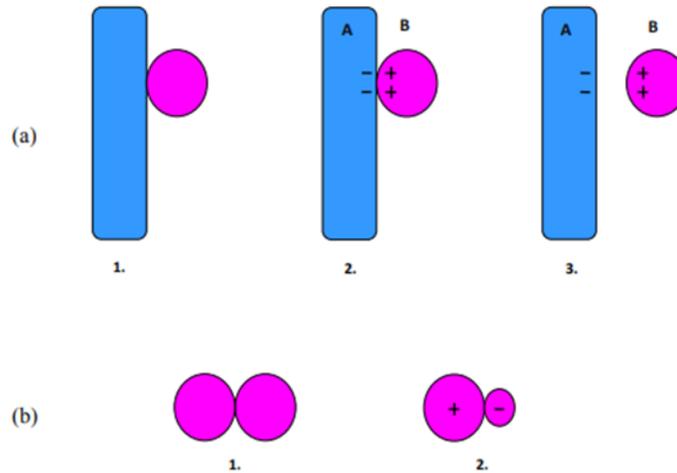


Figure I.4 : L'effet triboélectrique et l'échange de la charge électrique entre deux surfaces :

(a) : 1. Surface A neutre, particule B est neutre ; 2. La surface A et la particule B sont en contact ; 3. Après la séparation, la surface A a la tendance de se charger négativement, et la particule B positivement, (b) : 1. Deux particules neutres de même taille en contact ; 2. Les particules grandes ont la tendance de se charger positivement et les petites négativement.

I.3.3.1. Facteurs influençant le transfert de charge triboélectrique

Plusieurs facteurs influencent l'importance du transfert de charge triboélectrique, notamment :

- **La nature des matériaux :** La différence d'affinité électronique entre les deux matériaux est le facteur le plus important.
- **La rugosité de la surface :** Une surface plus rugueuse peut augmenter la surface de contact et donc le nombre de charges transférées.
- **La présence de contaminants :** Des contaminants comme l'humidité ou la graisse peuvent affecter la conductivité des matériaux et donc le transfert de charge.
- **La force et la durée du contact :** Une force de contact plus importante et une durée de contact plus longue peuvent augmenter la quantité de charge transférée.

I.3.3.2. Mécanismes de transfert de charges triboélectrique

a. Transfert d'électron : Lorsque deux matériaux aux affinités électroniques différentes se touchent, les électrons peuvent passer d'un matériau à l'autre. Le matériau ayant une affinité électronique plus élevée aura tendance à gagner des électrons, tandis que celui ayant une affinité électronique plus faible aura tendance à en perdre. Cela crée une séparation de charge, avec un matériau devenant positivement chargé et l'autre négativement chargé.

b. Transfert d'ion : L'un des mécanismes qui peut expliquer la triboélectricité dans les diélectriques.

c. Transfert de la masse : Les fragments de la matière qui se détachent d'un matériau et se colle à l'autre peuvent être à l'origine de charge de surface. Ce mécanisme est probable notamment dans les isolants.

I.3.4. Comparaison des mécanismes de charge

Le tableau suivant compare les trois mécanismes de charge :

Tableau I.1 : comparaison des mécanismes de charge

Mécanisme de charge	Principe	Applications
Décharge couronne	Ionisation de l'air par un champ électrique intense	Précipitateurs électrostatiques, générateurs d'ozone
Chargement par contact	Transfert de charge entre deux matériaux avec des affinités différentes	Photocopieurs, imprimantes laser
Triboélectricité	Génération d'électricité statique par contact et séparation de deux matériaux	Production d'électricité statique, détection de particules

I.4.Applications électrostatiques

I.4.1. Le filtrage

Les filtres électrostatiques, également appelés précipitateurs électrostatiques, sont des dispositifs utilisés pour éliminer les particules telles que la poussière et la fumée des gaz d'échappement industriels. Ces filtres fonctionnent sur le principe de l'attraction électrostatique, où les particules chargées sont attirées vers des plaques de charges opposées à l'intérieur de l'appareil. Le processus consiste à charger les particules dans le flux de gaz, les faisant adhérer aux plaques de collecte, les éliminant ainsi du flux de gaz.

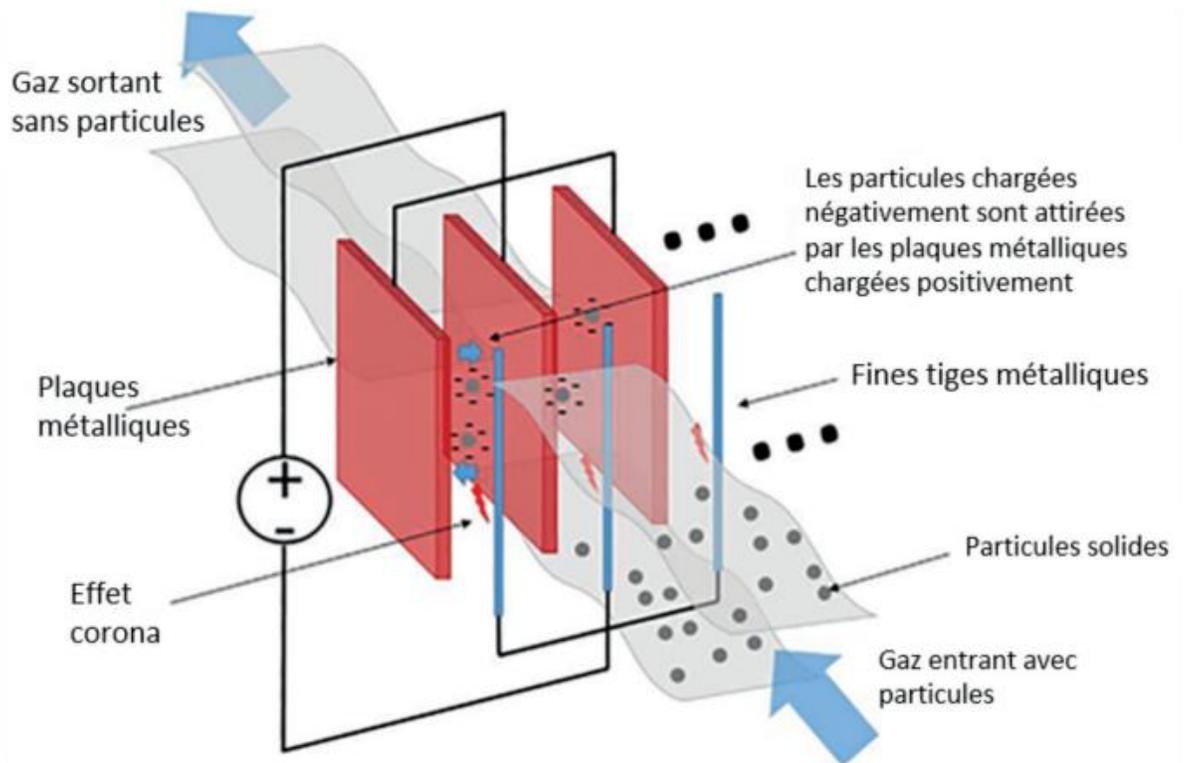


Figure I.5 : filtre électrostatique

I.4.2. La séparation

La séparation électrostatique est une méthode utilisée pour séparer les particules en fonction de leurs propriétés électriques. Ce processus utilise les différences de conductivité électrique des matériaux pour les séparer d'un mélange. Il est couramment utilisé dans diverses industries telles

que l'exploitation minière, le recyclage et la dépollution environnementale. Le principe de la séparation électrostatique réside dans la capacité des matériaux à acquérir une charge électrique lorsqu'ils entrent en contact avec d'autres matériaux chargés. Lorsque deux matériaux ayant des propriétés électriques différentes sont réunis, l'un des matériaux peut perdre des électrons et devenir chargé positivement, tandis que l'autre matériau gagne des électrons et devient chargé négativement. Ces particules chargées peuvent ensuite être séparées à l'aide d'un champ électrique. L'un des composants clés de la séparation électrostatique est l'effet triboélectrique, qui fait référence à la génération d'électricité statique lorsque deux matériaux différents entrent en contact puis sont séparés. Cet effet joue un rôle crucial dans le processus de séparation en créant un déséquilibre de charge entre les particules, permettant de les séparer en fonction de leur charge. Il existe plusieurs méthodes de séparation électrostatique, notamment ceux utilisant la décharge corona, la tribocharge. Dans les systèmes à décharge corona, les électrodes haute tension créent une décharge corona qui charge les particules dans un flux gazeux, conduisant à leur séparation en fonction de leur charge (Figure suivante).

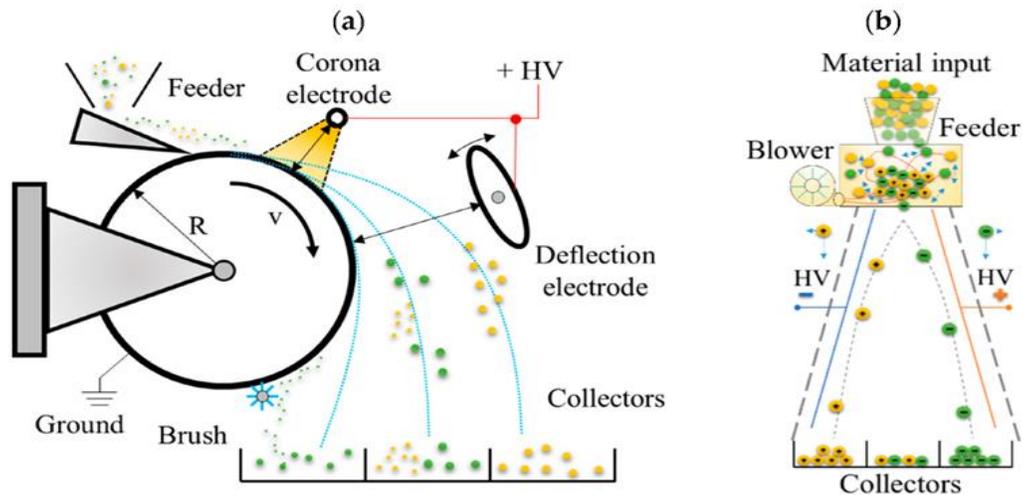


Figure I.6 : Principe de la séparation électrostatique

I.5. Risques électrostatiques

Les risques électrostatiques font référence aux dangers potentiels associés à l'accumulation et à la décharge d'électricité statique dans divers environnements. L'électricité statique est générée lorsque deux matériaux entrent en contact puis se séparent, provoquant un déséquilibre des charges positives et négatives. Ce déséquilibre peut conduire à l'accumulation de charges statiques sur des surfaces ou des objets, ce qui peut entraîner des situations dangereuses si elles ne sont pas

correctement gérées. Les risques électrostatiques sont particulièrement répandus dans les industries où des gaz, des liquides ou des poudres inflammables sont présents, car les décharges électrostatiques peuvent enflammer ces matériaux et provoquer des incendies ou des explosions. Un exemple courant de risques électrostatiques concerne la fabrication et la manipulation de substances inflammables telles que les carburants, les solvants et les produits chimiques. Dans ces environnements, l'électricité statique peut s'accumuler sur les équipements, les conteneurs ou le personnel, posant un risque important d'inflammation si elle est déchargée à proximité de vapeurs inflammables ou de nuages de poussière. Des techniques appropriées de mise à la terre et de liaison, ainsi que l'utilisation d'équipements et de vêtements antistatiques, sont des mesures essentielles pour atténuer les risques associés aux dangers électrostatiques.

Les solutions habituelles pour atténuer les risques électrostatiques dans diverses industries comprennent :

- ❖ **Prévenir l'accumulation d'électricité statique :** Mettre en œuvre des mesures pour prévenir ou réduire l'accumulation d'électricité statique dans les zones où elle peut être générée. Cela peut impliquer la mise à la terre des équipements, l'utilisation de matériaux antistatiques et le contrôle des conditions environnementales pour minimiser l'accumulation de charges [1].
- ❖ **Réduction de la friction :** Un moyen efficace de prévenir les risques électrostatiques consiste à réduire la friction, ce qui peut aider à minimiser la génération de charge statique. En s'attaquant aux sources de friction dans les processus, le risque de décharge électrostatique peut être réduit [2].
- ❖ **Utilisation d'éliminateurs électrostatiques d'ions :** L'utilisation d'éliminateurs électrostatiques d'ions peut éliminer efficacement l'électricité statique, améliorer la qualité de la production et renforcer la sécurité dans des secteurs comme l'imprimerie [3]. Nous nous intéressons particulièrement à cette solution dans les chapitres qui suivent.
- ❖ **Réaliser des évaluations approfondies des risques :** Les industries doivent procéder à des évaluations complètes des risques pour identifier les sources potentielles de génération et d'accumulation de charges. Cela implique de reconnaître les dangers, d'impliquer des experts et d'adhérer aux normes et directives de l'industrie telles que la NFPA 77 pour développer des programmes efficaces de contrôle des risques électrostatiques [4].

En mettant en œuvre une combinaison de ces solutions et en adoptant une approche globale qui répond aux caractéristiques spécifiques de chaque secteur, les organisations peuvent contrôler efficacement les risques électrostatiques, garantissant la sécurité du personnel et favorisant des processus ininterrompus [5].

I.6.Conclusion

Le chargement des matériaux isolants est un phénomène complexe qui peut être causé par différents mécanismes. La compréhension des mécanismes de chargement est importante pour la conception et l'utilisation des isolants dans des applications électriques.

Chapitre II

L'installation expérimentale

II.1. Introduction

Le chargement triboélectrique, ce phénomène étonnant où des charges électriques sont générées lorsqu'un matériau frotte contre un autre, a fasciné les scientifiques depuis des siècles. Cette interaction électrostatique peut être observée dans une multitude de situations, des simples chocs électrostatiques de la vie quotidienne aux processus industriels complexes. Cependant, la gestion de ces charges, souvent imprévues et indésirables, représente un défi majeur dans de nombreux domaines.

Dans ce chapitre, nous plongerons dans l'étude expérimentale du chargement triboélectrique à travers l'utilisation d'un tube métallique. Nous explorerons les mécanismes sous-jacents à la génération de ces charges électriques lors du frottement de matériaux, ainsi que les implications de ce phénomène dans divers domaines. De plus, nous examinerons en détail une méthode prometteuse de neutralisation des charges triboélectriques : la décharge couronne. Cette technique, basée sur l'ionisation de l'air, offre un moyen efficace pour dissiper les charges accumulées et de prévenir les effets néfastes dû au chargement triboélectrique.

II.2. Différentes parties des installations de laboratoire

Dans cette étude, l'installation expérimentale comporte trois blocs, à savoir :

- Le système de charge triboélectrique des particules isolantes traversant un tube Métallique.
- Le système d'électrodes de décharge couronne coaxiale.
- Le système de mesures électriques.

II.3. Expérience de la charge triboélectrique des particules isolantes traversant un tube métallique

Dans cette partie des expériences, l'évolution de la charge triboélectrique a été mesurée dans une canalisation métallique incliné de 1 m de long. La charge électrique des particules est mesurée à la fin du tube métallique moyennant un cage de Faraday. Juste après, ces mêmes particules sont passées de nouveau dans le tube pour mesurer encore la nouvelle charge acquise. Ce processus est répété jusqu'à la saturation. Selon notre expérience, nous avons opté pour l'utilisation du polyester (PS) avec des particules ayant des diamètres allant de 2,5 mm à 3 mm et d'une quantité de 40g pour chaque échantillon. La charge initiale de cet échantillon est mesurée à l'aide d'un électromètre équipé d'un seau de Faraday. Il est ensuite placé dans un tube de cuivre incliné à 21° , mesurant 1m de long et 40mm de diamètre. Il joue un rôle essentiel dans le dispositif expérimental. Une fois passée, sa charge est mesurée de la même façon que la charge initiale et la pièce est renviée jusqu'à ce que les échantillons de polyester (PS) atteignent la saturation. La température expérimentale était de 20°C et l'humidité était de 56,6 %. Les mesures de température et d'humidité ont été effectuées à l'aide d'un Hygromètre.

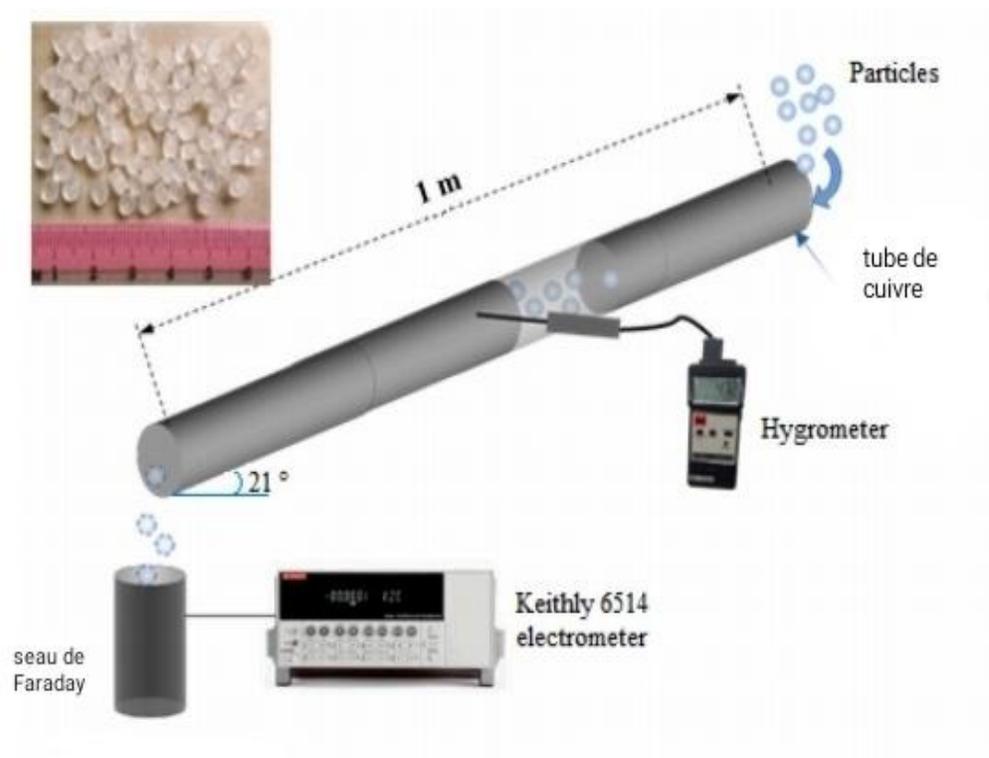


Figure II.1 : Montage expérimental de chargement

II.4. Mesure de la charge

La charge totale des matériaux diélectriques granulaires a été mesurée à l'aide d'un électromètre (Keithly 6514), doté d'un seau de faraday comme il est illustré sur la figure II.2. Ces mesures de charge ont été réalisées avant et après le chargement.



Figure II.2 : Système de mesure de la charge électrique

II.5. Matériaux

Les expériences ont été effectuées sur les matériaux diélectriques granulaires de polyester (Figure II.3). Les particules de polyester (PS) ont une forme quasi-sphérique, avec une taille typique autour de 3 mm.

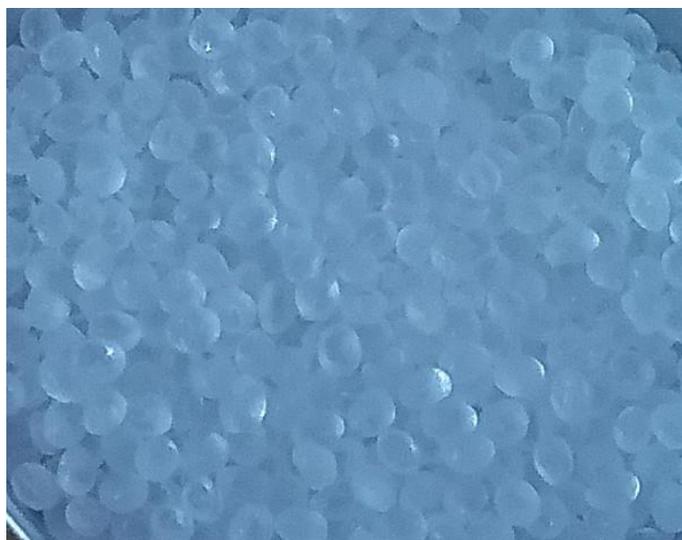


Figure II.3 : Photographie de matériau granulaire de polyester

Le Tableau II.1 représente les principales caractéristiques des granulaires PS utilisés dans toutes les expériences.

Tableau II.1 : Principales caractéristiques des granules de PS utilisés

Couleur	Transparent
Forme	Quasi sphérique
Diamètre	2.5 à 3 mm
Densité [g/cm ³]	1,03 à 1,05
Permittivité relative ϵ_r à 1KHz	2,6
Rigidité diélectrique	2,6 à 3
Résistivité transversale ρ ($\Omega.cm$)	10^{12} à 10^{13}
Masse volumique moyenne g/cm ³	0,095 à 0,13
Température de fusion (°C)	240
Température maximum d'utilisation Tmax (°C)	180 à 200

II.6. Mesure de la masse granulaire

La balance utilisée au cours de cette étude pour la mesure de la masse des granules dans chaque essai est une balance électronique



Figure II.4 : Photographie de la balance électronique

II.7. Mesure de la température et de l'humidité relative

L'instrument utilisé avant chaque série d'expériences pour la mesure de la température et de l'humidité relative est un Hygromètre.



Figure II.5 : photographie de l'hygromètre numérique

II.8. Description de l'ensemble du banc de contrôle de l'état de charge des granules de PS par décharge couronne

L'installation expérimentale utilisée pour la neutralisation des charges à la surface des granules de PS par décharge couronne :

A. Poste de chargement

Dans cette étude, nous avons utilisés l'effet triboélectrique pour le chargement des granules de polyester (PS) à l'aide d'un système de frottement, Les granules de PS ont été chargés pendant plusieurs passages dans le tube métallique.

B. Poste de neutralisation

Après le chargement, les granules de PS chargés sont transférés au poste de neutralisation. Ce poste est constitué d'une électrode de neutralisation à base de décharge couronne d'alimentation de haute tension positive. Une configuration d'électrode de décharge couronne ont été utilisées pour les expériences de neutralisation : une décharge couronne de type coaxial.

II.B.1. Electrode de neutralisation

Ce système contient l'électrode active de type coaxial qui se compose d'un fil fixé à un cylindre en cuivre et situé à au-dessus de l'électrode de plaque mise à la terre. L'électrode coaxiale est alimentée à partir d'une source de haute tension continue positive.



Figure II.6 : L'électrode active de type coaxial

II.9. L'expérience de neutralisation des matériaux diélectriques par décharge couronne coaxiale

Dans cette section, nous présentons un banc expérimental destiné à étudier la neutralisation des charges électriques statiques. Après avoir chargé les échantillons de polyester de charge statiques négatives dans un tube de cuivre, et après avoir mesuré leur charge avec un électromètre (Keithly 6514) doté d'un seau de faraday, on fait passer les échantillons de PS à l'intérieur de la décharge couronne coaxial reliée à l'alimentation HT positive. Nous mesurons également la charge de l'échantillon après neutralisation. Cette même expérience est répétée avec les même pas pour plusieurs longueurs de l'électrode couronne. Les longueurs considérées durant l'expérience sont les suivantes : 5, 10 et 15cm. Plusieurs niveaux de la tension de neutralisation ont été appliqué, à savoir : $U_n = 6, 6.5, 7\text{kv}$

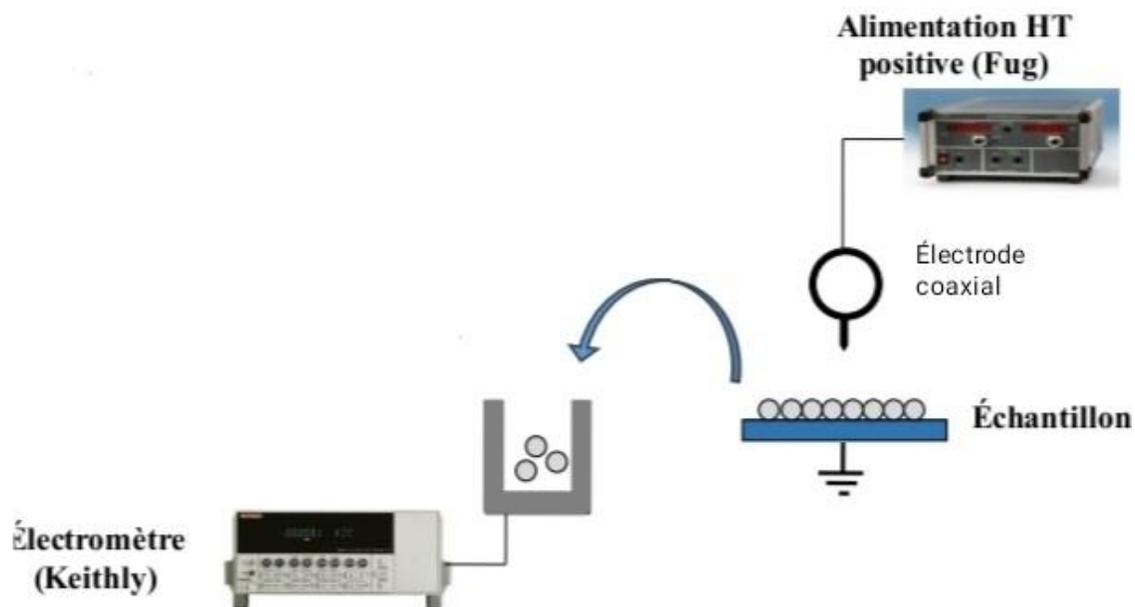


Figure II.7 : Montage expérimental de neutralisation

II.10. Conclusion

Ce chapitre est une description des installations expérimentales, la méthode de travail suivie dans l'analyse du problème ainsi que les matériaux utilisés. Essentiellement, les deux installations liées à l'étude de la charge triboélectrique et à l'élimination des charges indésirables moyennant la décharge couronne ont été présentées.

Chapitre III

La charge triboélectrique des particules isolantes traversant un tube métallique

III.1. Introduction

Dans le présent chapitre nous présentons les résultats relatifs à la charge triboélectrique des particules isolantes traversant un tube métallique ainsi que l'influence des différents facteurs qui peuvent l'affecter. Pour rappel, les particules en polyester (PS), et même en polyéthylène (PE), sont introduit de manière répétée dans un tube de cuivre de 1 m de longueur pour mesurer la charge après chaque passage. Cela permettra la mesure de l'évolution temporelle, et fonction de la distance, de la charge triboélectrique.

III.2. Evolution de la charge cumulée

Le passage répété de 40 g de polyester dans un tube de cuivre a donné le résultat de la figure III.1. A noter que les particules vierges avaient une charge initiale d'environ 3 nC, que nous considérons quasiment nulle. L'évolution de la charge en fonction du nombre de passage dans le tube traduit une augmentation exponentielle de la charge triboélectrique. En effet, on constate une croissance quasi linéaire durant les trois premiers passages puis une tendance vers la saturation de la charge. La saturation est due, en fait, au chargement de toute la surface des particules, chose qui empêche l'acquisition de nouvelle quantité de charges.

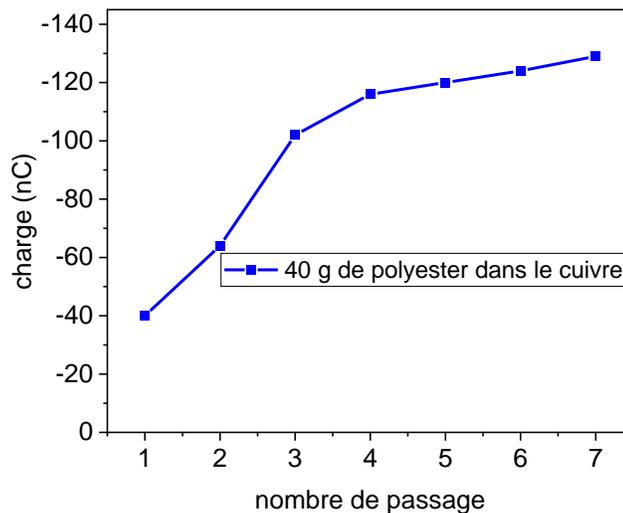


Figure III.1 : Evolution de la charge en fonction du nombre de passage répété dans le tube de cuivre

Théoriquement, l'évolution de la charge en fonction du temps est représentée par une équation différentielle de premier ordre [9]. La charge nette d'une particule isolante roulant ou

glissant sur une surface à vitesse constante est liée à l'équilibre entre la charge par effet triboélectrique et la décharge due aux chemins de fuite provoqués par les conditions environnementales. En conséquence, la variation de charge peut être exprimée comme :

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{Q_s - Q}{\tau_c} - \frac{Q}{\tau_d} \quad (3.1)$$

Où Q est la charge des particules, Q_s la valeur de saturation ou la charge d'équilibre, τ_c et τ_d sont respectivement des constantes de temps de charge et de décharge. L'équation peut être simplifiée sous la forme suivante :

$$\tau_c \frac{dQ}{dt} + \left(1 + \frac{\tau_c}{\tau_d}\right) \cdot Q = Q_s \quad (3.2)$$

La solution de cette équation différentielle du premier ordre (3.2) avec la condition initiale $t = 0$, $Q = Q_0$, donne l'expression suivante :

$$Q(t) = (Q_0 - Q_s) \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + Q_s \quad (3.3)$$

Où $\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_c} + \frac{1}{\tau_d}$ est la constante de temps de l'ensemble du processus.

Si un groupe de particules passe à plusieurs reprises dans un tube de 1 m de long, la charge triboélectrique augmente jusqu'à saturation selon l'équation (3). Si la particule met T secondes pour traverser le tube et que la charge acquise est Q_1 , la prochaine fois qu'elle traversera le tube sera $2.T$, ce qui entraînera une nouvelle valeur de charge Q_2 , et ainsi de suite. Par conséquent, l'équation (3) pourrait s'écrire :

$$Q(t) = (Q_0 - Q_s) \cdot \exp\left(-\frac{N \cdot T}{\tau}\right) + Q_s \quad (3.4)$$

N est le nombre de fois où les particules traversent le tube. Chaque fois que les particules traversent le tube de 1 m, N est incrémenté d'un pas de sorte que $t = N.T$.

De ce fait, en multipliant le nombre de passage par le temps moyen pris par les particules pour traverser le tube, on peut représenter la courbe en fonction du temps, comme montré sur la figure III.2. De la même manière, il est possible d'exprimer l'évolution de la charge en fonction de

la longueur du tube ou canal métallique simplement en multipliant le nombre de passage par la longueur (Figure III.2). En effet, chaque passage correspond à 1m de longueur, donc le deuxième passage correspond à 2m et le troisième passage à 3m et ainsi de suite. Dans ce cas, l'équation (3.4) devient :

$$Q(L) = (Q_0 - Q_s) \cdot \exp\left(-\frac{L}{L_0}\right) + Q_s \quad (4)$$

Avec L_0 est la longueur caractéristique. C'est la longueur pour laquelle la charge atteint 63% de la valeur finale. Selon les résultats de la figure III.2.b, 63% de la valeur finale, environ 130nC, se situe à presque 82nC ce qui correspond à la longueur $L_0 = 2.5m$.

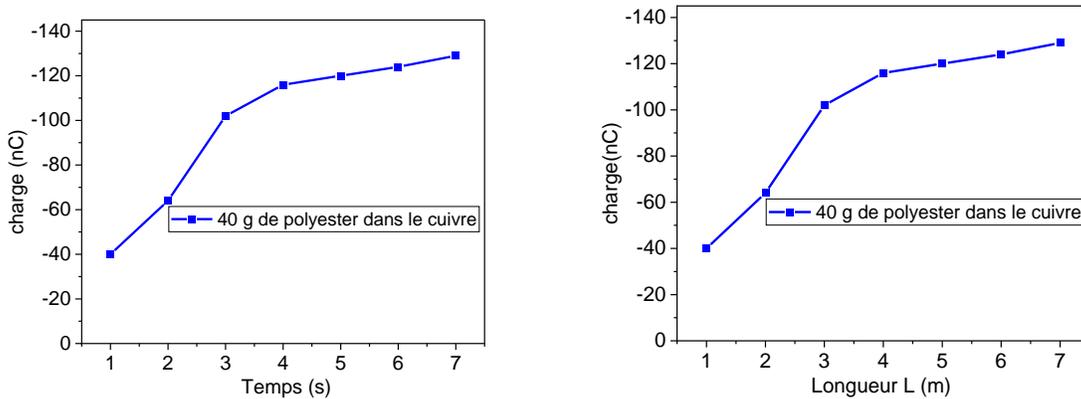


Figure III.2 : Evolution de la charge en fonction du temps

III.3. Influence de la quantité de particules

La figure III.3 montre la variation de la charge cumulée sur les particules de PS en fonction de la quantité de la matière (5g, 10g, 20g, 45g, 50 g). Il est clair d'après la figure III.3.a que l'augmentation de la quantité de la matière entraîne l'augmentation de la quantité de charge cumulée sur les particules. C'est la raison pour laquelle la courbe a l'allure d'une droite. Cependant, la charge massique, qui correspond au rapport charge cumulée par la masse (charge par gramme), décroît en fonction de la masse comme la montre la (figure III.3.b.) Cette décroissance de la charge massique n'a pas d'explication physique particulière. Cependant, il est fort possible que cette décroissance soit due à la méthode de mesure elle-même. Lorsque la quantité de particules dans la cage de Faraday forme une monocouche, toutes les particules peuvent contribuer au champ électrique et peuvent donc contribuer à la valeur mesurée (Figure III.4.a). Par contre, lorsque la quantité de particules est assez importante pour qu'il y une cumulation en plusieurs couche dans la

cage de Faraday (Figure III.4.b), le flux électrique n'est généré dans ce cas que par les particules externes tandis que ceux dans les couches intermédiaires, ou internes, se trouvent isolées et n'ont aucune contribution au flux électrique à l'origine de la mesure.

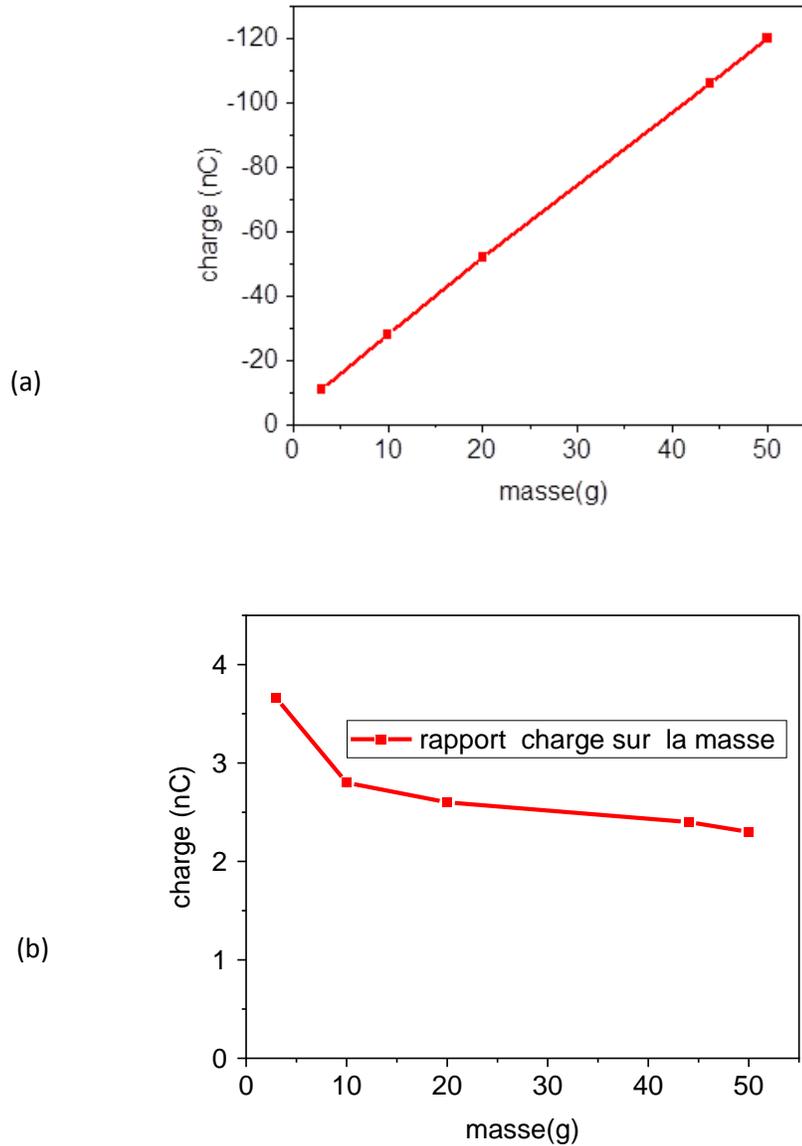


Figure III.3 : Influence de la quantité de la matière sur la charge cumulée

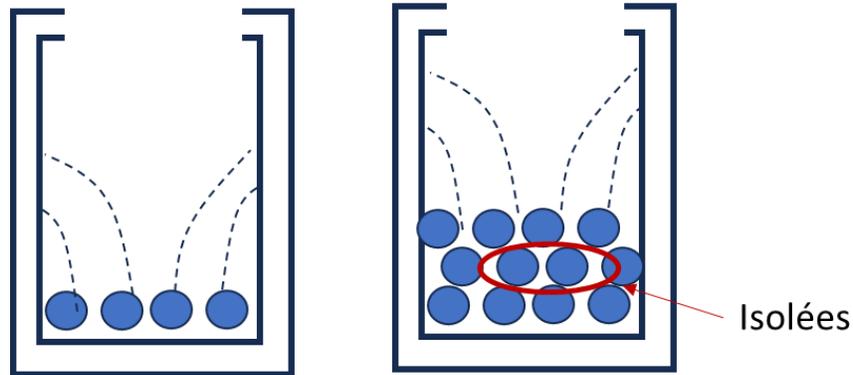


Figure III.4 : Différence de mesure par cage de Faraday d'une faible et grande quantité de particules

III.4. L'effet de la nature de la matière

Dans cette section nous allons montrer le cas de la charge triboélectrique dans le cas de granule polyéthylène PE dans un tube de cuivre et le cas de granule PS dans un tube isolant en polychlorure de vinyle PVC. De manière globale, les caractéristiques physico-chimiques des matériaux concernés qui peuvent impacter la charge triboélectrique sont les suivantes :

III.4.1. Conductivité électrique

Les matériaux conducteurs comme les métaux ont tendance à transférer plus facilement les charges électriques lorsqu'ils entrent en contact et se frottent. Cela peut entraîner des phénomènes de charge triboélectrique plus importants comparés à des matériaux isolants.

III.4.2. La perméabilité

La perméabilité d'un matériau, qui évalue sa capacité à polariser en réponse à un champ électrique, peut avoir un impact sur la quantité de charge triboélectrique générée. Les matériaux qui présentent une permittivité plus élevée peuvent entraîner des charges plus élevées lors de la friction.

III.4.3. Structure moléculaire

La composition chimique et la répartition des atomes d'un matériau jouent un rôle essentiel dans son interaction avec d'autres matériaux lors de la friction. Par exemple, la structure moléculaire complexe des polymères peut entraîner des comportements triboélectriques variés en fonction de leur composition.

III.4.4. Affinité électronique

L'affinité électronique d'un matériau, qui mesure sa capacité à attirer les électrons, peut également affecter le transfert de charges lors du frottement. Les matériaux ayant une forte affinité électronique ont tendance à capter plus facilement les électrons, ce qui peut influencer la polarisation et la génération de charges.

III.5. Particules PS dans un tube PVC

La figure III.5 montre le résultat de l'évolution de la charge triboélectrique traversant cette fois-ci un tube en PVC. Le résultat traduit un comportement différent que dans le cas du cuivre. En effet, on observe une charge positive en décroissance au fur et à mesure que l'échantillon de particules est réintroduit dans le tube PVC. Cela peut être dû à l'effet de la charge initiale des particules d'une part et à la charge du tube lui-même d'autre part. Au début la charge des particules vierges était (-3 nC) contre un tube non chargé aussi. Mais, au premier passage les particules se chargent positivement à environ +13 nC, impliquant une charge négative dans le tube. Plus on introduit les particules positivement chargées, elles interagissent avec la surface négative du tube et peuvent se neutraliser, chose qui peut expliquer la décroissance de la charge. Ce résultat alors que l'interaction triboélectrique entre les matériaux est réversible.

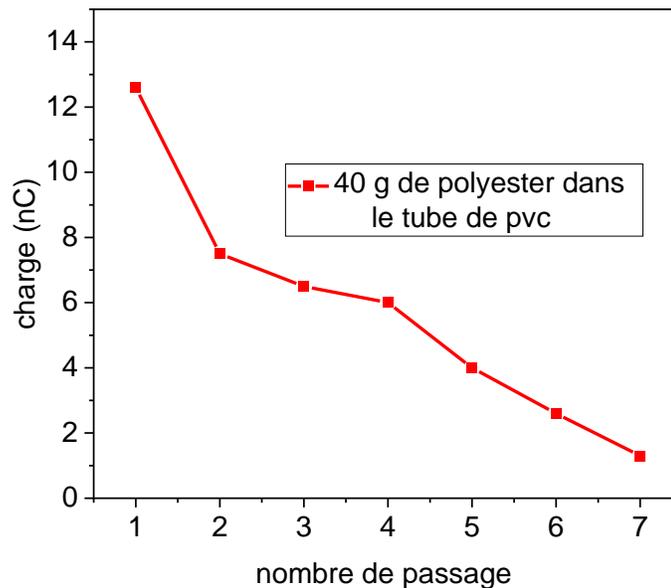


Figure III.5 : Evolution de la charge triboélectrique des particules PS dans un tube PVC Particules PE dans un tube en cuivre

Le cas de la charge des particules PE est montré sur la figure III.6. On peut constater la similitude de l'allure globale de variation de la charge avec celui de PS, qui reste toujours exponentielle mais avec une saturation plus claire et une vitesse de croissance assez rapide. Selon la figure III.6, la charge de saturation est environ -90 nC ce qui donne une itération caractéristique n_0 correspondant à 63% d'environ 1.5, donc 1.5m soit 1 m de moins que le PS. La raison est, tout simplement, la résistivité élevée du PE comparé au PS. Cela aura pour effet de cumuler rapidement les charges et ne pas permettre une décharge rapide des particules. Grace à la résistivité élevée également, on observe nettement la saturation et le maintien de la charge à ce niveau.

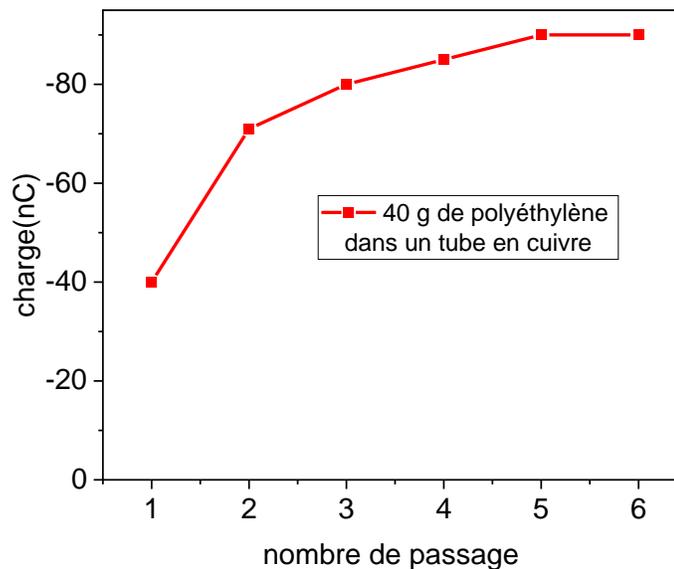


Figure III.6 : Evolution de la charge triboélectrique des particules PE dans un tube en cuivre

III.6. Effet de la mise à la terre

La prise de terre joue un rôle crucial dans la dissipation de charges électriques, y compris les charges triboélectriques. Lorsqu'un objet chargé triboélectriquement est mis en contact avec la terre, les charges excédentaires peuvent être neutralisées en se dispersant dans le sol, car la terre agit comme un énorme réservoir de charges électriques. Cela permet de réduire, voire d'éliminer, les effets indésirables des charges électrostatiques. La mise à la terre est pratiquée à travers toutes les installations industrielles, notamment ceux à haut risque, afin d'éviter toute conséquence indésirable des charges triboélectriques qui peut avoir lieu.

La figure III.7 montre le résultat de chargement des particules avec et sans la mise à la terre du tube en cuivre. La figure montre deux résultats afin de confirmer l'influence inattendu de la

mise à la terre. Contrairement aux prévisions, la mise à la terre du tube de cuivre à légèrement augmentée la charge des particules, au lieu de les décharger. Le résultat se confirme dans les deux essais de la figure III.7.

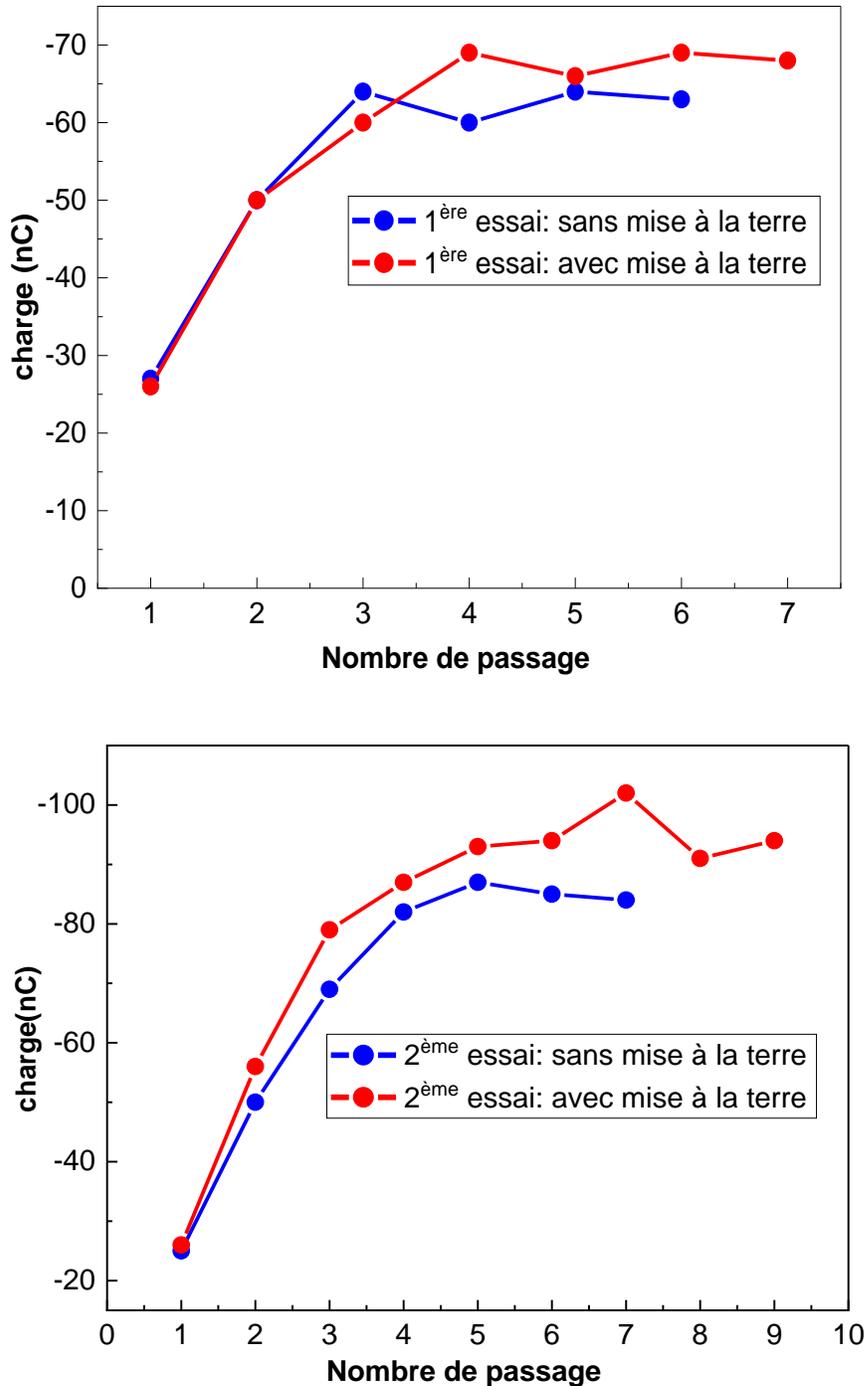


Figure III.7 : Effet de la mise à la terre du tube métallique sur la charge triboélectrique des particules (les figures présentent deux essais).

L'effet de la prise de terre est généralement contraire aux résultats obtenus, c'est-à-dire qu'il réduit la charge triboélectrique.

Cependant, il est important de noter que dans certains cas, une mauvaise mise à la terre ou une mise à la terre inappropriée pourrait potentiellement créer des conditions qui favorisent l'accumulation de charges triboélectriques.

Par exemple, si un système de mise à la terre est défectueux ou insuffisant dans une installation industrielle où il y a des matériaux susceptibles de se frotter et de générer des charges triboélectriques, cela pourrait conduire à des problèmes. Une mise à la terre inefficace pourrait permettre à des charges électriques de s'accumuler sur les objets au lieu de les dissiper vers la terre, augmentant ainsi les risques de décharges électrostatiques potentiellement dangereuses.

III.7. Conclusion

La charge triboélectrique est un phénomène complexe influencé par une multitude de facteurs interdépendants. Comprendre ces facteurs et leur interaction est essentiel pour prédire et contrôler efficacement la génération de charge triboélectrique dans diverses applications, allant des dispositifs électroniques aux processus industriels. Une approche holistique qui intègre les aspects physiques, chimiques et environnementaux est nécessaire pour une compréhension complète de ce phénomène fascinant.

Les résultats révèlent une croissance exponentielle de la charge triboélectrique dans le cas d'un contact métal – isolant. Le cas d'un contact isolant- isolant peut avoir un effet de décroissance sur la charge triboélectrique au fil du temps.

Chapitre IV

Neutralisation par décharge couronne continue

IV.1. Introduction

La neutralisation des charges électriques indésirables est un aspect important de la préservation de la sûreté et la performance d'une installation industrielle. Parmi les techniques de neutralisation, la décharge couronne est largement employée dans le domaine de la lutte contre les risques électrostatiques. Dans le présent chapitre, nous présentons les résultats expérimentaux de la neutralisation des particules isolantes chargées par triboélectricité. Les particules de polymère écoulées au sein d'un tube en cuivre acquièrent une charge négative. Pour sa neutralisation, les particules sont introduites dans une décharge couronne positive obtenue par une électrode coaxiale.

La neutralisation produit entre deux charges de signe opposé. Par exemple, lorsque les particules isolantes portant une charge négative traversent une décharge couronne positive comme montré sur la figure IV .1 elles attirent les charges d'espace positive présentent dans l'espace entre l'électrode active et passive. La liaison entre la charge positive de la décharge couronne et celle négative sur les particules entraînent la neutralisation par recombinaison.

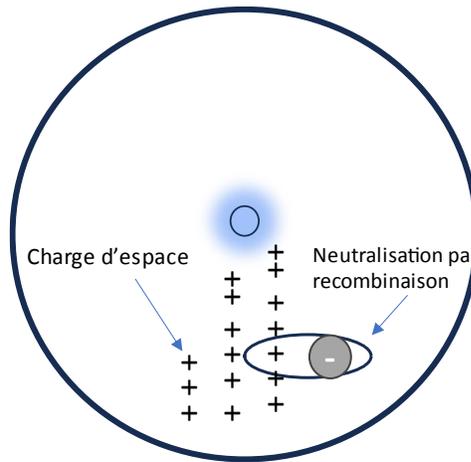


Figure IV.1 : Principe de la neutralisation par décharge couronne

La neutralisation parfaite implique l'équilibre entre la charge d'espace et celle à neutraliser. Une neutralisation parfaite c'est celle qui donne une charge nulle à la sortie de l'électrode couronne. Autrement, on obtient un manque de neutralisation, qui signifie simplement qu'il reste encore des charges à neutraliser, ou bien un rechargement des particules en raison de la quantité importante de la charge d'espace. Ainsi, le phénomène de Neutralisation est tributaire des paramètres de la décharge couronne, de la quantité de la matière et sa charge à neutraliser.

Dans le but de vérifier l'effet de certains paramètres sur la neutralisation, une quantité de 10g de polyester est chargée par passage dans un tube en cuivre de 1m afin d'avoir une charge initiale à neutraliser. Après avoir mesuré leur charge, les particules chargées sont introduites dans l'électrode couronne coaxiale pour la neutralisation. Juste après, la charge est mesurée encore afin de quantifier l'efficacité de la neutralisation.

IV.2. L'effet de la tension

La figure IV .2 illustre l'influence de la tension de neutralisation sur la variation de la charge des granules de polyester (PS) pour différentes longueurs de l'électrode couronne. Il s'est avéré que plus la valeur de la tension appliquée à l'électrode couronne coaxiale est élevée, plus l'intensité de neutralisation des charges des granules de polyester. Cependant, une tension excessive peut entraîner non seulement la neutralisation mais aussi la recharge des particules dans le sens opposé. Dans la figure par exemple, on constate que les électrodes 5 cm et 10 cm ont une tension de neutralisation parfaite au voisinage de 6.6 kV et 6.3 kV respectivement. Au-delà de cette valeur les particules commencent à avoir une charge positive de même signe que l'électrode couronne. Lorsque l'électrode est assez longue, la quantité de charge d'espace devient rencontrée par les particules sera très importante de sorte que les particules se trouvent rechargées quel que soit la tension.

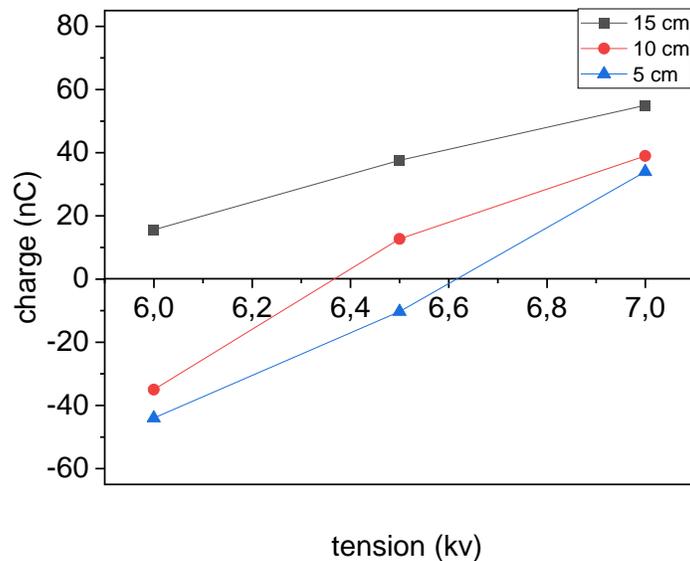


Figure IV.2 : Variation de neutralisation en fonction de la tension de neutralisation

IV.3. L'effet de la longueur

À ce stade, les 10g de polyester chargé sont neutralisés dans plusieurs électrodes coaxiales à différentes longueurs tout en maintenant la même tension de neutralisation de 7 kV. Les résultats sont montrés sur la figure IV.3.

Il est évident que la longueur de l'électrode de couronne coaxiale est un facteur déterminant de l'efficacité de la neutralisation par décharge couronne. Effectivement, à mesure que la longueur de l'électrode de couronne coaxiale augmente, la quantité de la charge d'espace rencontrée par les particules augmente, ce qui entraîne une collection accrue d'ions par les particules. Toutefois, l'effet de la longueur a une limite. Selon la figure IV.3, l'augmentation de la charge acquise par les particules se sature à environ 16 cm. Cela peut être due à la charge des particules elle-même qui en augmentant suffisamment, elle commence à repousser les charges dans l'espace et donc elle maintient une charge de saturation. Il faut noter également qu'à 7kV toutes les longueurs rechargent les particules dans le sens opposé.

Dans la figure IV.4, la tension de neutralisation est réduite à 6.5kV. A cette tension, les petites longueurs (moins de 6 cm) sont insuffisantes pour neutraliser les particules. Mais globalement, on a un effet presque similaire à la figure IV.4 avec une augmentation de la Charge puis une stabilisation. Cependant, il semble qu'une des longueurs 15 cm ou 20 cm contient des erreurs de mesure.

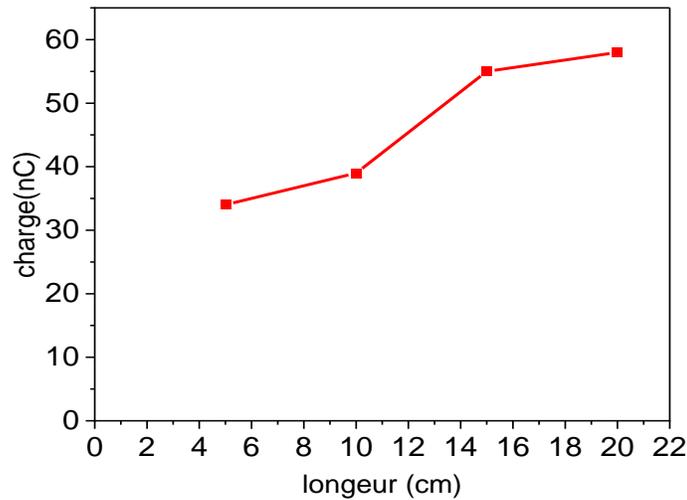


Figure IV.3 : L'effet de la longueur l'électrode de couronne coaxial à tension 7kV

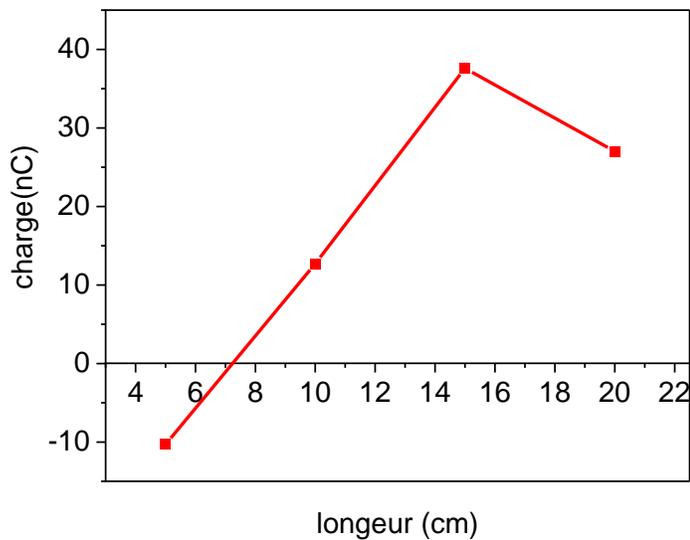


Figure IV.4 : L'effet de la longueur l'électrode de couronne coaxial tension 6,5kV

IV.4. Effet de la charge initial

Dans cette section, l'effet de la charge initiale des particules est examiné pour la même quantité de polyester (10g) et pour la longueur de Soumise à la tension de 6kV.

La figure IV. 5 nous montre les résultats obtenus lorsque la valeur de charge initiale était d'environ -32nC, tandis que, la figure IV. 6 montre les résultats de la neutralisation lorsque la charge initiale était de - 69nC. Comme cela peut être constaté, la comparaison entre les deux figures

montre que la charge initiale a un effet minimum sur la neutralisation des particules. En effet, la neutralisation parfaite apparaît presque aux mêmes tensions. Elle apparaît à environ 12.5kV lorsque $Q_0 = -32$ nC et 13.5kV lorsque $Q_0 = -69$ nC. La différence n'est pas assez importante. Par contre, pour la même tension et même longueur, la charge finale, à 20 cm par exemple, est plus importante lorsque la charge initiale est faible (-32nC). Ce résultat n'est pas surprenant puisqu'une quantité de charge initiale faible se neutralise plus rapidement qu'une quantité plus importante et donc elle commence très tôt à se recharger pour le reste de la longueur.

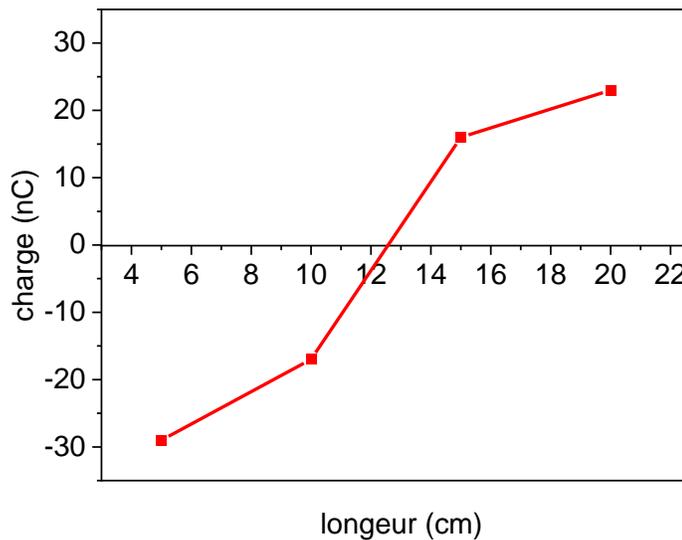


Figure IV.5 : Variation de la charge en fonction de la longueur (Charge initiale -32 nC)

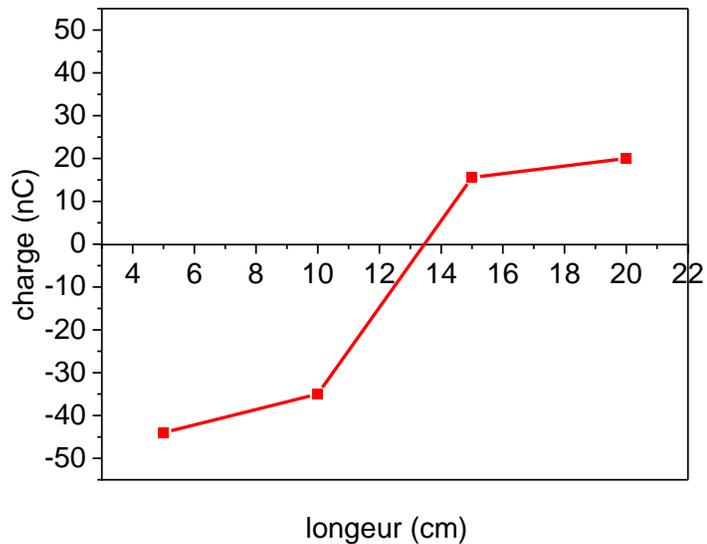


Figure IV.6 : Variation de la charge en fonction de la longueur (La charge initiale -69 nC)

IV.5. Champ électrique en configuration coaxial

IV.5. 1. Principe du calcul

Le paramètre caractéristique le plus évident auquel on a coutume de rattacher l'intensité de l'effet couronne est le champ électrique à la surface du conducteur ou gradient superficiel. En raison de la grande sensibilité du phénomène couronne à la valeur de ce champ, il est nécessaire d'employer une méthode de calcul fournissant le champ avec une précision de l'ordre de 1 %. [8]

Le champ électrique géométrique créer par une décharge fil-cylindre (Figure IV. 7) qui est dû à l'application d'une différence de potentiel et en l'absence d'ions gazeux dans l'espace inter-électrodes à une distance r (en mètre) de l'axe du fil est donné par [8] :

$$E(r) = \frac{u}{r \ln(R2/R1)}$$

Où u est le potentiel appliqué au fil (v), $R1$ le rayon du fil (m) et $R2$ le rayon du cylindre (m)

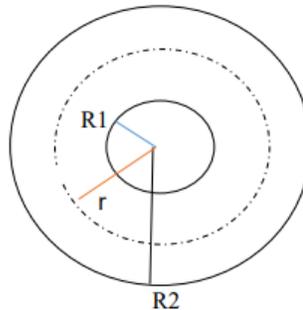


Figure IV.7 : Décharge électrique dans une configuration fil-cylindre

IV.5.2. Distribution de la charge d'espace

La formule analytique de la distribution de la charge d'espace d'une électrode coaxiale est donnée par :

$$\rho(r) = \rho_w \frac{\sqrt{R_1^2 + R_1 R_2}}{\sqrt{r^2 + R_1 R_2}}$$

Avec ρ_w la densité de charge au voisinage du fil.

La figure IV. 8 montres la distribution de la charge couronne dans l'espace inter électrode.

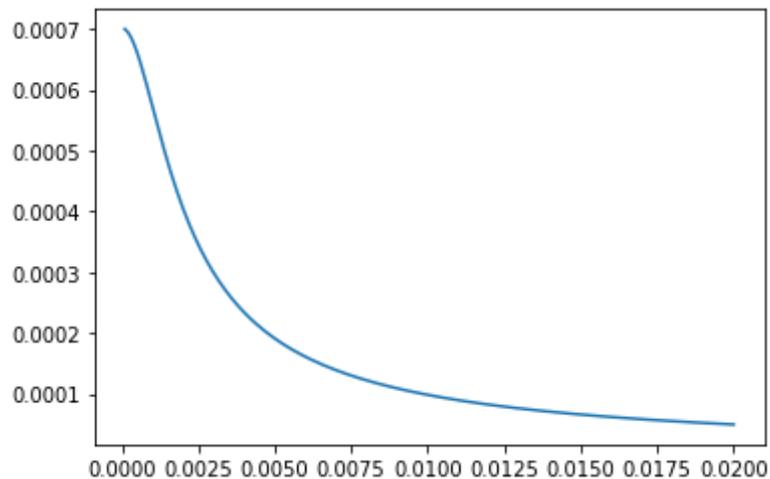


Figure IV.8 : La distribution de la charge couronne dans l'espace inter électrode

La densité de charge décroît en s'éloignant du fil central. Cela implique que la neutralisation à l'échelle de la particule varie selon la position et la trajectoire de la particule tout au long de l'électrode.

IV.6. Conclusion

Les résultats de la neutralisation par décharge couronne continue ont été présentés. Les particules de polymère chargées par triboélectricité ont été neutralisées par passage dans une électrode coaxiale alimenté par une tension continue positive. Les résultats ont mis en évidence l'effet de la tension, de la longueur et de la charge initiale.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

L'électricité statique est un domaine très vaste et pluridisciplinaire qui concerne de nombreux domaines de la science et de la technologie. Il comprend l'analyse des processus électriques qui se déroulent lorsque des charges électriques fixes s'accumulent sur la surface des matériaux.

La recherche et l'innovation peuvent s'y développer dans ce domaine, car il représente des défis et des possibilités dans différents domaines tels que l'ingénierie, la technologie, la physique, la chimie et la biologie. Il est crucial de comprendre les processus de production, de distribution et de neutralisation des charges électriques statiques afin de développer des méthodes de gestion efficaces, prévenir les risques liés et exploiter les opportunités de l'électricité statique.

Dans ce travail, nous avons effectué une étude expérimentale sur le chargement triboélectrique et la neutralisation de cette charge avec la méthode décharge couronne. Les résultats obtenus montrent que les paramètres étudiés (la quantité de particules, la mise à la terre, la nature de la matière, la tension, la longueur) influent considérablement sur les résultats de chargement et la neutralisation des granulaires de polyéthylène (PE) et de polyester (PS).

En résumé, la charge triboélectrique des particules isolantes dans les canalisations métalliques est un sujet d'étude crucial dans le domaine de l'ingénierie et de la technologie, et la neutralisation par décharge couronne offre une solution prometteuse pour atténuer ses effets indésirables.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] <https://www.ap-static.com/application/technology-market/electronic-industry/1.html>سء
- [2] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/electrostatic-hazard>
- [3] https://www.sindin.com/en/IndustryNews/info_itemid_1712.html
- [4] <https://www.processingmagazine.com/material-handling-dry-wet/powder-bulk-solids/article/53067620/controlling-electrostatic-hazards-in-bulk-solids-processes>
- [5] <https://osf.io/a5mbz/download>
- [6] MOUSSAOUI. A, « Etudes des phénomènes de charge et de neutralisation des milieux diélectriques granulaires en utilisant la décharge à barrière diélectrique ». THÈSE de Doctorat, Université de Guelma, 2019.
- [7] BOUSLIMANE. H, « Caractérisation de certains isolants utilisés dans les équipements électriques ». Mémoire de Master, Université de bejaia, 2021.
- [8] MIHOUBI. S, KERDOUSSI H, « Décharge Couronne en Configuration Coaxiale : Application à la neutralisation des charges ». Mémoire de Master, Université de Guelma, 2020.
- [9] MOUHOU.B.S, « Mesure de la charge dans les canalisations de transport des matériaux pulvérulents ». Mémoire de Master, Université de Guelma, 2019.
- [10] Jones, T.P. et Woodcock, J.T. (Éd.). « Introduction aux sciences minérales ». La presse de l'Universite de Cambridge ,2016.
- [11] Wang, Y. et Chen, Q. « Séparation électrostatique ». Dans Encyclopédie des matériaux renouvelables et durables (Vol. 4). Elsevier Inc. (2019).
- [12] Hwang, J.Y. et Sohn, HY. (2007). « Séparation électrostatique ». Dans Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (6e éd., Vol. 9). John Wiley& Sons Inc, (2007).
- [13] Sirkar KK et Fane AG (éd.). « Processus de séparation ». World Scientific Publishing Co Pte Ltd, (2015).
- [14] Wang L. et Wang XZ. « Précipitations électrostatiques ». Dans Manuel d'ingénierie environnementale Volume 1 : Technologie de contrôle de la pollution atmosphérique Springer Nature Switzerland AG. (2018).

[15] Smith, CA et Johnson, JR (éd.). Encyclopédie du génie électrique. Société d'édition Springer (2018).

[16] Dorf, RC et Svoboda, JA. Introduction aux circuits électriques. Presse Wiley-IEEE (2016).

[17] Grant, DM et Gowar, JN. Analyse du système électrique. New Academic Science Ltd (2013).

[18] Van Valkenburg, ME et Sleeper, AD. Introduction à la synthèse de réseaux modernes. Presse Wiley-IEEE. (2007).