



N° d'ordre:
N° de série:



Populaire et Démocratique Algérienne République de
et Supérieure l'Enseignement de Ministère
Scientifique Recherche

Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

Faculté de Sciences et de La Technologies Filière : Electromécanique

Mémoire de fin d'étude
Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER ACADEMIQUE

En: Electromécanique
Spécialité: Electromécanique

Thème

**Récupération des déchets plastiques à l'aide de
forces électrostatiques**

Devant le Jury composé de :

Dr. LABIOD Chouaib

Président

Dr. MILOUDI Khaled

Examineur

Dr. MOHREM Abdelkrim

Examineur

Dr. ZENINA mohamed laid

Encadreur

Présenté par:

ANAD Abderrahman

LAMMARI Tayeb

MEREGHNI Zouber

2021-2022

«REMERCIEMENTS»

En préambule à ce mémoire

*Nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage
durant ces longues années d'étude.*

*Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous
ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire
ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.*

- *Nous tenant à remercier sincèrement [Dr. Zenina mohamed laid](#)
en tant que Encadreur, qui à toujours montré à l'écoute et très disponible tout au
long de la réalisation de cemémoire,*

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



«DEDICACES»

Je suis dédié ce modeste travail à :

** Ma très chère mère.*

** Mon très cher père.*

** Mes sœurs et mes frères*

** toutes mes familles*

** Mon binôme*

** Tout mes amis.*

** Tout la promotion 2021/2022*



SOMMAIRE

Introduction général	4
----------------------	---

CHAPITRE I

ETAT DE L'ART SUR LES SEPARATEURS ELECTROSTATIQUES DE PARTICULES

I. 1. Introduction	
I.2. Déchets	6
I.2.1. Définition	6
I.3. Mécanismes de chargement électrique	6
I.3.1. Induction électrostatique.	7
I.3.1.1. Description	7
I.3.1.2. Dispositifs de chargement	9
I.3.2. Effet couronne	9
I.3.2.1. Description	10
I.3.2.2. Différentes géométries d'électrodes	12
I.3.3. Effet triboélectrique	13
I.3.3.1. Description	13
I.3.3.2. Série triboélectrique	14
I.4. Dispositifs de chargement triboélectrique	16
I.4.1. Chargement par ventilateur	16
I.4.2. Tribo-cyclone	17
I.4.3. Dispositif de chargement statique	18
I.4.4. Dispositif à cylindre tournant (Tube rotatif)	19
I.5. Séparation électrostatique	20
I.5.1. Séparation de matériaux conducteurs et isolants	20
I.5.1.2. Séparateur électrostatique à plaque	22
I.5.2. Séparation de matériaux isolants	23
I.6. Forces exercées sur les matériaux granulaires	23
I.6. 1. Forces de la pesanteur	24
I.6.2. Forces de London-Van der Waals	24
I.6.3. Force aérodynamique	25
I.7. Conclusion	26

CHAPITRE II

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'ELECTRO-SEPARATEUR

II.1. introduction	28
II . 2. principe de fonctionnement de l'electro-separateur	28
II .3. forces agissant sur les particules	30
II.3.1.Forces électriques	30
II .3.2. Forces mécaniques	30
II .4. parametres influents du separateur	31
II .5. conclusion	33

CHAPITRE III

ANALYX DES TRAJECTOIRES DES PARTICULE DOMS LE SEPARATEUR ELECTROSTATIQUE CYLINDRIQUE TOURNANTE

III .1. Introduction	35
III.2.Résultats et discussion	35
III.3.Analyx des trajectoires des particule doms le séparateur électrostatique cylindrique tournante	37
III.3.1.Equateur de mouvement	38
III.3.2.Anolse des trajectoire des particule conductrice	39
III.4. Analyse des trajectoire de particule isolante	40
III.5. Conclusion	41

CHAPTTRE IV

TRAJECTOIR DE PARTICULE DANS UN SEPARATEUR ELECTROSTATIQUE

IV.1. introduction	43
IV.2. Étude du mouvement des charges dans la région de f orte influence magnétique	43
IV.3. separation electrostatique .	45
IV .3.1. Etape de charge	45
IV.4. Etude l'effet de la modification de volume d'envoi d'échantillons	45
IV .5.Etape polarisation d'électrodes des échantillons	48
IV.5.1. Etape d'exposition à l'aide d'électrodes	48

IV. 5.1.1. effet de la distance interne de l'électrode	48
IV.5.1.2. choix de vitesse optimale de cylindre	49
IV .6. mouvement des projectiles	49
IV.7.Conclusion	49
IV.8.Conclusion general	50
Bibliographie	51

LISTE DES FIGURES

<i>Figure</i>	<i>Titre</i>	<i>La page</i>
Figure I.1	Influence entre deux corps (le corps B étant relié à la terre)	7
Figure I.2	Représentation schématique de l'induction électrostatique. (a) Particule conductrice initialement négatives vers la terre ; (d) Particule conductrice chargée positivement. (1) Electrode elliptique reliée à une source de haute tension négative ; (2) Electrode plaque reliée à la terre ; (3) Particule <i>conductrice</i>	8
Figure I.3	Différentes électrodes électrostatiques ; (a) : Electrode elliptique ; (b) : Electrode cylindrique tournante	9
Figure I.4	Génération d'une avalanche électronique et de la décharge couronne	11
Figure I.5	Trois modèles de l'électrode couronne de type dual: a` fil fin (a); a`aiguilles (b) et en forme de lame (c). (D : diamètre ; h : hauteur)	12
Figure I.6	Aspect lumineux de la décharge couronne dans une configuration multi-pointes	13
Figure I.7	Transferts de charges électriques dus au frottement de deux corps ; l'un s'électrise positivement et l'autre négativement	14
Figure I.8	Représentation schématique d'un dispositif de chargement par ventilateur	17
Figure I.9	Représentation schématique d'un dispositif de charge par cyclon	18
Figure I.10	Représentation schématique d'un dispositif de chargement statique	19
Figure I.11	Représentation schématique d'un dispositif de charge à cylindre tournant	20
Figure I.12	Séparateur électrostatique à plaque. (a) Forces agissant sur les particules conductrices(C) et non conductrices (NC) ; (b) Représentation schématique du système d'électrode utilisé pour la séparation électrostatique de granules issus de DEEE ;(1) Goulotte oscillante ; (2) Electrode statique ; (3) Electrode plaque ; (4) Déflecteur ; (5) Collecteur	22
Figure I.13	Séparateur électrostatique à plaque assisté par une décharge couronne[25]. (1) Electrode plaque en forme de « S » connectée à la terre ; (2) Electrode elliptique et (3) Electrode couronne reliées à la terre	23
Figure I.14	La force attractive de London-Van der Waals	24
Figure I.15	Force attractive de London-Van der Waals entre deux sphères matérielles	25
Figure II 1	Schéma descriptif de l'électro-séparateur et ses éléments constitutants : (1) Electrode couronne reliée à une source de HT, (2) Electrode statique reliée à la même source de HT, (3) Electrode cylindrique reliée à la terre, (4) Vibro-transporteur, (5) Electrode de neutralisation reliée à une source HT alternative, (6) Brosse, (7) collecteur de particules	30
Figure II2	Forces agissant sur les particules.	32
Figure II3	Paramètres et variables dans un processus de séparation électrostatique	33
Figure III.1	Iso-contours de : (a) récupération du PP et (b) pureté du HIPS, en fonction du temps de chargement et la tension et appliquée à l'électrode ($\beta = -10^\circ$, $n = 40$ tr/min, $Q = 2,5$ g/s).	38

Figure III.2	force électrique qui agissent sur une particule charge contact avec l'électrode cylindrique tournante	40
Figure III.3	Forces électrique est mécanique agissant sur un particule isolante pose sur l'échappe cylindrique tournante	41
Figure IV.1	Dispositif de chargement à cylindre rotatif	43
Figure IV.2	Système de mesure de charge	44
Figure IV.3	densité de pvc en fonction Q	46
Figure IV. 4	densité de Polyuréthane en fonction Q	46
Figure IV.5	densité de Ferre en fonction Q	47
Figure IV.6	densité de Verre en fonction Q	47
Figure IV.7	montre la charge massique des particules de PET pour les cinq distances étudiée. La charge triboélectrique augmente avec la distances,elle atteint un maximum pour une distance de 16mm.pour cette distance inter électrode elle est suffisante pour initier une décharge consistante avec une tension de 30KV au-delà de cette valeur ,la charge a tendance à diminuer.	48
Figure IV.8	variation de vitesse de la particule pvc en fonction de la vitesse de cylindre	49

LISTE DES TABLEAU

Napper	Titre	Page
Tableau I.1	Série triboélectrique réalisée par Bill Lee en 2009	16
Tableau II.1	Paramètres variables de l' électro-séparateur	33
Tableau III.1	Résultats du plan factoriel composite	36
Tableau III.2	Valeurs des coefficients Q2 et R2 pour chaque réponse	36
Tableau IV.1	Le tableau ci-joint est un groupe de matériaux isolants exposés au processus de charge par frottement.	45
Tableau IV.2	Etude l'effet de la modification de volume d'envoi d'échantillons.	46

LISTE DES SYMBOLES

h	constante de Planck
c	vitesse de la lumière ($\approx 3 \times 10^8$ m/s)
λ_i	longueur d'onde
Fi	force d'inertie
v	vitesse de particule
$K\rho$	coefficient de forme (pour les particules sphériques $K= 0,5$)
W	volume d'une particule ayant la densité ρ_s
ρ_s	densité d'une particule sphérique
V	vitesse du fluide
L	dimension du fluide
ν	viscosité du fluide
v_r	vitesse relative d'une particule dans l'air
E	champ électrostatique généré par l'électrode statique
q_{ind}	charge du granule métallique acquise par induction électrique, sous l'action de E , de signe opposé au potentiel haute tension de l'électrode.
q	charge du granule acquise par bombardement ionique dans la zone à effet couronne,
d	distance séparant le centre du granule à la surface du tambour.
m	masse de la particule
R	rayon du cylindre
g	gravitation universelle

Introduction général :

Les déchets sont l'un des principaux facteurs de pollution de l'environnement et la principale source de pollution de l'eau. Pour cette raison, de nombreux chercheurs ont recherché des solutions pour recycler les matériaux recyclables tels que les thermoplastiques et les métaux.

La séparation électrostatique est une méthode efficace en raison de la chargeable des matériaux à séparer.

Le chargement par triboélectricité assure un moyen efficace de charger les matériaux à séparer. Comme il donne une charge électrostatique importante sous la forme de pôles dans le corps chargé, et la nature chimique du corps prévaut sur le signal de charge.

Le sujet de notre recherche portait sur le procédé de séparation électrostatique des déchets. Où nous introduisons une charge électrostatique dans un champ électrique très fort et uniforme. Ensuite, nous avons suivi le mouvement de chaque objet individuellement pour déterminer les poches de séparation du séparateur électrique. Plusieurs facteurs contrôlent le processus de séparation, tels que la température, l'humidité et la pression atmosphérique, ce qui a été prouvé par de nombreuses études universitaires et est donc pris en compte.

Dans notre étude, nous avons effectué une analyse mathématique du mouvement des corps chargés dans un champ électrique provenant d'un journal électrique de forme cylindrique.

Dans le premier chapitre, nos méthodes ont été utilisées pour étudier les phénomènes électrostatiques généraux, l'analyse et la polarisation [1].

Dans le deuxième chapitre, nous avons abordé les principes de la séparation électrostatique des matériaux [2].

Dans le troisième chapitre, nous avons traité l'étude de la progression des molécules dans le séparateur électrostatique [3].

Dans le quatrième chapitre, nous avons également traité l'étude de l'analyse du mouvement des particules dans le séparateur électrostatique [4].

CHAPITRE I

ETAT DE L'ART SUR LES SEPARATEURS ELECTROSTATIQUES DE PARTICULES

Introduction :

Les déchets sont l'un des principaux facteurs de pollution de l'environnement et la principale source de pollution de l'eau. Pour cette raison, de nombreux chercheurs ont recherché des solutions pour recycler les matériaux recyclables tels que les thermoplastiques et les métaux.

La séparation électrostatique est une méthode efficace en raison de la chargeable des matériaux à séparer. Le chargement par triboélectrique assure un moyen efficace de charger les matériaux à séparer. Comme il donne une charge électrostatique importante sous la forme de pôles dans le corps chargé, et la nature chimique du corps prévaut sur le signal de charge.

Le sujet de notre recherche portait sur le procédé de séparation électrostatique des déchets. Où nous introduisons une charge électrostatique dans un champ électrique très fort et uniforme. Ensuite, nous avons suivi le mouvement de chaque objet individuellement pour déterminer les poches de séparation du séparateur électrique. Plusieurs facteurs contrôlent le processus de séparation, tels que la température, l'humidité et la pression atmosphérique, ce qui a été prouvé par de nombreuses études universitaires et est donc pris en compte.

Dans notre étude, nous avons effectué une analyse mathématique du mouvement des corps chargés dans un champ électrique provenant d'un journal électrique de forme cylindrique.

I.1. Déchets

I.1.1. Définition

Le terme déchets désigne ordures, immondices, ou tout autre résidu rejeté parce qu'il n'est plus consommable ou utilisable et donc n'a plus de valeur. Selon le législateur français, la loi du 15 juillet 1975, a considéré un déchet comme: « Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit, ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que le détenteur destine à l'abandon » (article L.541-1-1 du Code de l'environnement)[5].

I.2. Mécanismes de chargement électrique

Les matériaux granulaires ne peuvent être séparés que si leur charge est différente, ce qui affecte également leurs trajectoires. De nombreux mécanismes physiques peuvent générer ces charges électriques[6]. Les trois principaux sont: l'induction électrostatique, la décharge (ou effet) couronne et la tribo-électrisation.

I.2.1. Induction électrostatique.

I.2.1.1. Description

L'induction électrostatique peut être définie comme un processus par lequel un objet chargé électriquement est utilisé pour créer un mouvement de charges électriques dans un objet neutre, sans le contacter. En effet, la présence du corps chargé provoque la création d'un champ électrique à l'intérieur du corps affecté, produisant ainsi des forces qui vont s'exercer sur les vecteurs de charge libres ce qui entraîne cette redistribution.

Pour cela, les charges positives et négatives du corps neutre vont se séparer et s'organiser en deux pôles situés aux extrémités du corps, le polarisant. Si un corps neutre est temporairement en contact avec une électrode reliée à la terre, alors les charges polaires situées près du point de contact vont s'écouler vers la terre.

De ce fait, lorsque l'objet est déconnecté de la terre, il emporte une charge nette non nulle avec un signe opposé à celle du corps influençant. Une partie des lignes de champ sortant du corps influençant n'arrivent pas sur le corps influencé, comme on peut le voir sur la (figure I.1), de celle sorte que la charge ainsi induite sera toujours plus faible en valeur absolue que celle portée par le corps A. Par définition, un objet isolant ne transmet pas de charges électriques. Il ne peut donc pas être chargé par induction électrostatique[7].

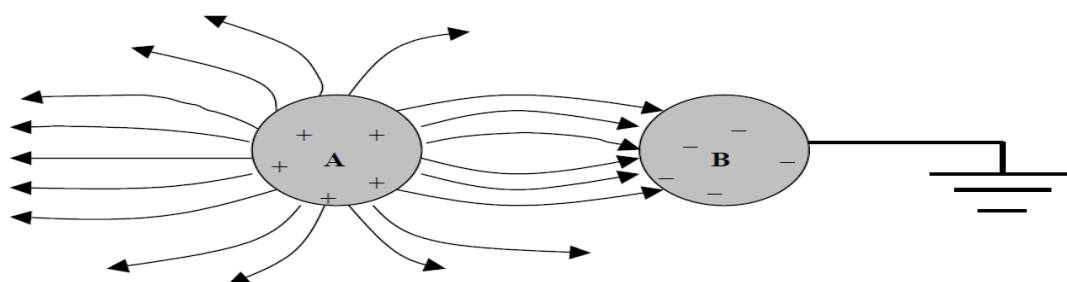


Figure I.1 : Influence entre deux corps (le corps B étant relié à la terre) [8]

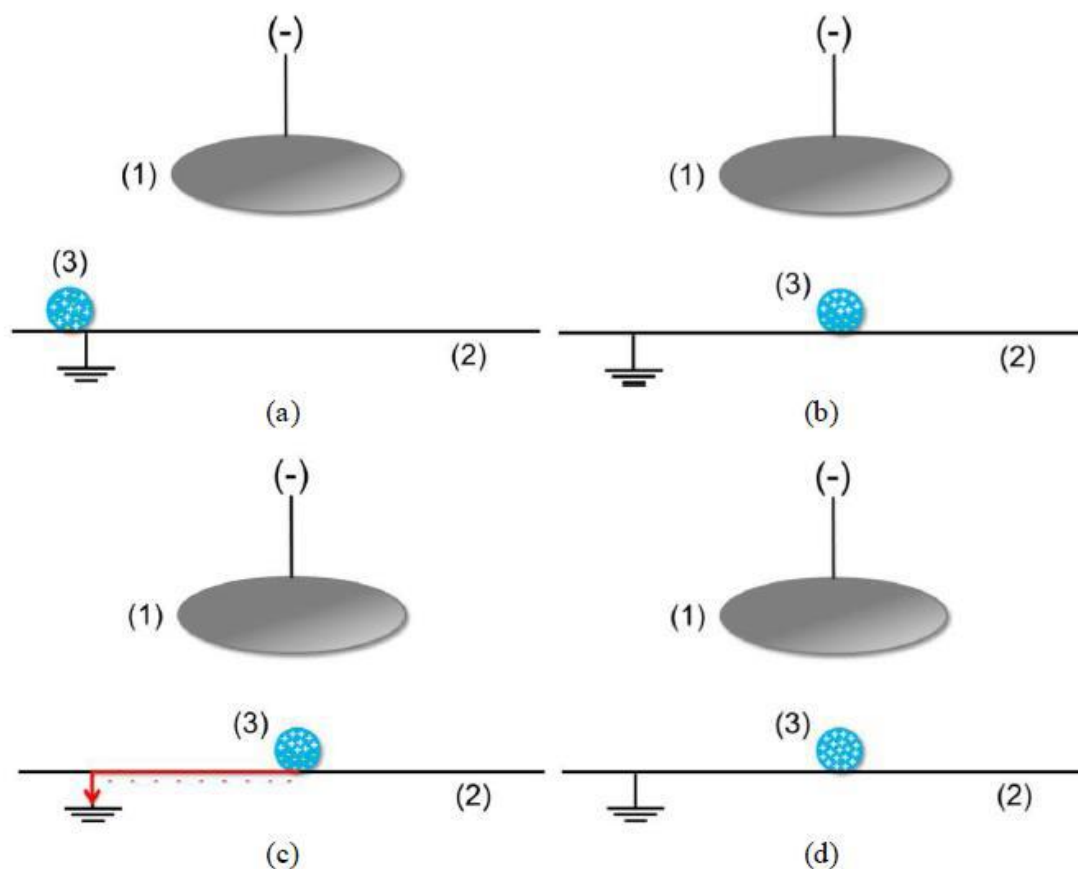


Figure I.2 Représentation schématic de l'induction électrostatique. (a) Particule conductrice initialement négatives vers la terre ; (d) Particule conductrice chargée positivement. (1) Electrode elliptique reliée à une source de haute tension négative, (2) Electrode plaque reliée à la terre ; (3) Particule conductrice[9]

La figure I.2 montre le mécanisme de charge par induction électrostatique d'une particule conductrice initialement neutre déposée sur une électrode plaque connectée à la terre puis soumise à un champ électrique créé par une électrode elliptique reliée à une source de haute tension de polarité négative. Sous l'action de ce champ électrique, la particule va successivement se polariser (deux pôles, l'un positif, l'autre négatif vont se créer au sein même de la particule), évacuer les charges négatives vers la terre et acquerra donc une charge globalement positive

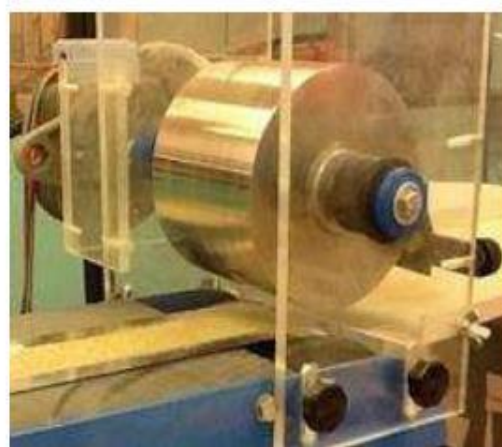
I.2.1.2. Dispositifs de chargement

Les électrodes utilisées pour générer le champ électrique nécessaire à l'induction électrostatique. Elles peuvent être de toutes formes mais sont le plus souvent cylindriques ou elliptiques.

Cette forme est idéale pour étendre et uniformiser le champ généré que l'électrode soit tournante ou statique. La présence d'arrêtes sur ces électrodes est proscrite afin d'éviter toute décharge et diminuer le risque de passage à l'arc électrique[10].



(a)



(b)

Figure I.3: Différentes électrodes électrostatiques ; (a) : Electrode elliptique ; (b) : Electrode cylindrique tournante [8].

I.2.2. Effet couronne

L'utilisation de l'effet couronne s'est développée à très grande échelle, et a fait l'objet de plusieurs recherches scientifiques en particulier dans le domaine des applications liées à ces décharges[11], ce qui a accru son importance du point de vue industriel et de l'environnement.

On peut citer parmi les principales applications, celles relatives à la préservation de l'environnement (précipitation de poussières[12], filtres à électrets, séparateurs électrostatiques, etc...) et à plusieurs d'autres applications incontournables : la fabrication des films plastiques et textiles[13], ainsi que dans les processus.

Les décharges électriques dans les gaz sont connues de l'homme depuis longtemps, à travers des phénomènes naturels comme la foudre. En 1915, F. W. Peek réalisa la première étude sur l'effet couronne[14]. La décharge couronne est une décharge qui se développe dans un intervalle gazeux séparant deux électrodes fortement asymétriques entre lesquelles s'établit un champ électrique hétérogène. Le

halo lumineux apparaissant au seuil de la décharge au niveau de l'électrode à fort champ est à l'origine de la dénomination générale de la décharge couronne.

I.2.2.1. Description

Les décharges couronnes font parties des plasmas froids non thermiques à la pression atmosphérique caractérisés par leur état hors équilibre thermodynamique et chimique. La température du gaz est dans ce cas très proche de la température ambiante alors que celle des électrons est suffisante pour permettre un taux élevé de collisions inélastiques. La majeure partie de l'énergie injectée est alors convertie en réactivité chimique et non pas en énergie thermique.

Le phénomène de la décharge couronne est le résultat de la collision des électrons accélérés avec des molécules neutres du gaz, provoquant un déclenchement d'une avalanche d'ionisation dans la région de champ électrique intense produite entre deux électrodes métalliques dont l'une à un faible rayon de courbure, appelée « électrode active », et connectée à une alimentation haute tension de plusieurs Kilovolts. L'autre électrode, généralement plane, appelée « électrode passive » est connectée à la terre.

À proximité de l'électrode active la tension varie fortement sur une courte distance créant ainsi un fort champ électrique, responsable de l'accélération des quelques électrons issus de l'ionisation naturelle de l'air. L'avalanche électronique a lieu à proximité de l'électrode active quelle que soit la polarité qui lui est appliquée (Figure I.4).

Les électrons libérés vont se heurter aux molécules d'air présentes dans l'espace. Ces électrons portent un haut niveau d'énergie et de cet impact résulte la libération d'un ou plusieurs électrons par ces molécules.

Ces derniers vont continuer leur trajet vers l'électrode passive, de polarité opposée, vers laquelle ils sont attirés, tout en heurtant d'autres molécules de gaz et ainsi, en multiplient leur nombre.

Les molécules ayant libéré des électrons sont devenues des ions positifs et sont donc attirés par l'électrode active. De cette façon, elles regagnent un électron et redeviennent neutres. Ce phénomène est délimité dans l'espace (quelques micromètres de l'électrode) dans une zone caractérisée par une forte intensité du champ électrique : la zone d'ionisation. Au-delà de cette dernière, le champ électrique n'est plus suffisamment fort pour que les électrons aient assez d'énergie pour heurter les molécules d'air de façon à ce qu'elles cèdent un autre électron.

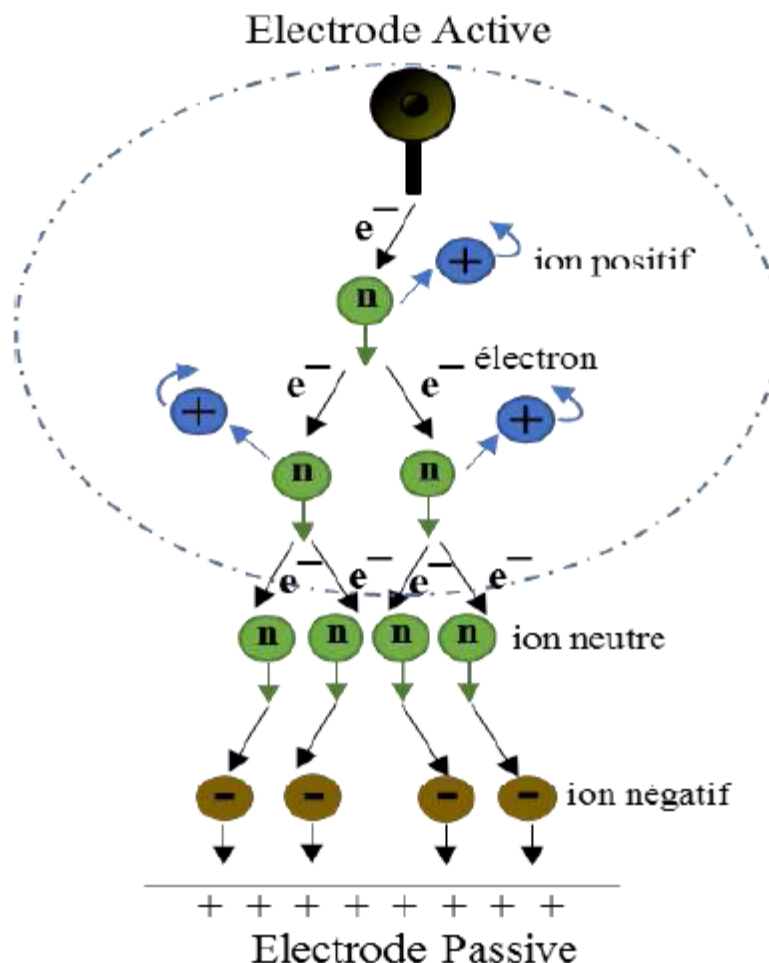


Figure I.4 : Génération d'une avalanche électronique et de la décharge couronne

Ils vont alors s'associer aux molécules d'air et former des ions chargés négativement. Ces ions entrent en contact avec les particules et leurs durées de vie sont suffisamment longues pour que la séparation des matériaux ait lieu. Les particules, soumises au flux ionique, vont se charger négativement .

La décharge couronne peut être positive ou négative selon la polarité d'alimentation de l'électrode. La physique de ces deux types de décharges couronnes est radicalement différente.

A une valeur absolue donnée de la tension appliquée, la décharge couronne négative produit beaucoup plus de courant qu'une décharge couronne positive ; par contre le claquage intervient à des tensions plus faibles en polarité positive qu'en polarité négative.

I.2.2.2. Différentes géométries d'électrodes

La décharge couronne apparaît entre deux électrodes asymétriques. Ce type de décharge se caractérise par un champ fortement inhomogène et intense au voisinage de l'électrode de petite dimension

Les configurations courantes de réacteur plasma à décharge couronne, qui varient en fonction des applications[15], correspondent aux géométries d'électrodes suivantes:

Aiguille-plan (ou pointe-plan) [16], fil-cylindre[17], lame-plan[18], et cylindre-fil-plan (duale) [19]. sont les plus connus. En général, les configurations composées du fil et cylindre sont les plus utilisées dans les applications concernant le traitement des gaz.

Des configurations multi-électrodes sont également utilisées dans l'industrie, par exemple, un ensemble d'aiguilles ou des fils pourraient être placés à proximité du plan de masse dans les applications impliquant le passage du flux d'air à travers le volume de la décharge couronne (Figure I.5) [20].

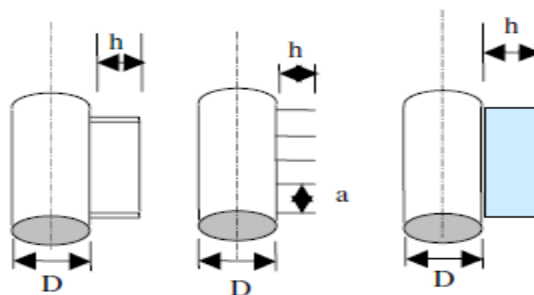


Figure I.5 : Trois modèles de l'électrode couronne de type dual: a` fil fin (a); a`aiguilles (b) et en forme de lame (c). « D : diamètre ; h : hauteur »

Il convient de noter que la plage de tension appliquée dans la décharge corona doit être supérieure au niveau du seuil d'amorçage couronne (qui dépend de la courbure de la pointe de l'électrode couronne et de la longueur d'intervalle d'air séparant les deux électrodes) et inférieure à la tension de claquage.



Figure I.6 : Aspect lumineux de la décharge couronne dans une configuration multi-pointes [21]

I.2.3. Effet triboélectrique

I.2.3.1. Description

L'électrification par contact aussi appelée effet triboélectrique (du grec « tribein » signifiant frotter), désigne le phénomène électrostatique par lequel un transfert de charges électriques a lieu lorsque deux objets de natures différentes sont mis en contact, entrent en collision ou se frottent entre eux. « Le frottement étant l'équivalent de contacts suivi de séparations, mais s'accompagnant de génération de chaleur et parfois de transfert de masse ».

Quand deux objets électriquement neutres se frottent l'un à l'autre, des charges électriques sont transférées au niveau surfacique de l'un vers l'autre, dans un même sens, il en résulte l'obtention de deux matériaux de polarités opposées.

La charge statique ainsi acquise se produit dans un système où généralement la conductivité du matériau est faible (cas d'un isolant), elle persiste donc même après rupture du contact, et de nouveaux contacts auront pour effet de produire d'autres transferts, ce qui permet de produire des charges à des niveaux élevés (Figure I.7). C'est donc le mécanisme physique le plus utilisé pour charger des matières granulaires plastiques en vue de leur séparation électrostatique.

La plupart des chercheurs ont supposé que la tribo-électrisation des isolants implique également le transfert d'électrons, mais les observations expérimentales semblent contredire ce point de vue. La tribo-électrisation des isolants n'est pas en corrélation avec les propriétés électroniques des matériaux, tels que la constante diélectrique, ou des propriétés atomiques, tels que l'énergie d'ionisation, affinité électronique, ou électronégativité[22].

Plusieurs chercheurs ont observé que le processus de tribo-électrisation est en corrélation avec l'acidité ou la basicité des matériaux isolants. En 1902, Knoblauch a fait remarquer que les solides organiques acides tendent se charger négativement, et les solides organiques bases tendent à se charger positivement [23].

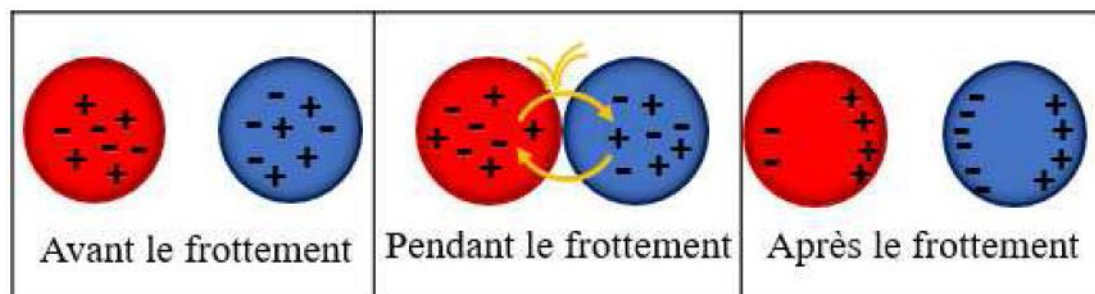


Figure I.7 : Transferts de charges électriques dus au frottement de deux corps ; l'un s'électrise positivement et l'autre négativement

Il a proposé un mécanisme de transfert de proton pour l'effet tribo. Des observations similaires ont été faites par Medley en 1953[24], et Diaz a proposé qu'un mécanisme de transfert de proton puisse expliquer la tribo-électrisation d'un large éventail de matériaux isolants. Ces observations, que les propriétés acides ou basiques des matériaux sont en corrélation avec leurs propriétés triboélectriques, sont difficiles à concilier par un mécanisme qui implique le transfert d'électrons.

Dans sa monographie sur la tribo-électrisation, Harper analyse les éléments de preuve pour le mécanisme de transfert d'électrons, et conclut: « *Je suis d'avis que la réponse définitive ne peut maintenant être donnée, qui est que les transporteurs [des] chargés ne sont jamais des électrons -lorsque le matériau en cours de charge est uniquement un isolant* ».

Ses arguments contre le mécanisme de transfert d'électrons sont convaincants, bien que sa rationalisation mécaniste de l'alternative (le mécanisme de transfert d'ions) soit moins.

I.2.3.2. Série triboélectrique

Une série de substances classées dans un ordre particulier s'appelle la série de triboélectrique. Ce classement s'effectue par rapport à leur polarité puis à leur niveau de charge. Le frottement entre deux matériaux consécutifs entraîne à charger le premier positivement et le second négativement. Plus ces matériaux sont éloignés dans la liste, plus les charges engendrées par leur frottement sont élevées.

Il n'existe pas de série triboélectrique universelle puisque les résultats sont influencés aussi bien par les additifs et impuretés présents dans les matières que par les conditions et procédures expérimentales.

En effet, il a été démontré aussi que certains facteurs externes « L'humidité et la contamination des surfaces » pouvaient inverser les polarités obtenues lors des frottements. En particulier, l'humidité superficielle augmente la densité superficielle d'états en permettant le transfert de charges ioniques. Mais elle augmente simultanément la conduction de surface qui permet la recombinaison des charges. Certains auteurs ont montré que la teneur en eau d'un polymère pouvait donner des variations de la charge en fonction du temps, voire des changements de polarité.

Plusieurs chercheurs ont proposé des séries triboélectriques et chacun reflète la culture matérielle de son moment historique.

Les premières séries triboélectriques furent proposées au XVIIIème siècle par Wilcke et au XIXème siècle par Michael Faraday[25]. Les matériaux alors étudiés étaient ceux correspondant aux usages de l'époque tels que la laine, les plumes, le verre, le bois ou encore la peau de chat (utilisée pour le soin de certaines douleurs rhumatismales) .

Une autre série donnée par Shaw (1917), qui en plus d'être beaucoup plus étendue que les précédentes, donne une meilleure description des échantillons employés, celle-ci a également démontré l'effet de la température qui peut produire des inversions dans l'ordre établi .

Bill Lee, en 2009, introduit le concept d'affinité triboélectrique, c'est-à-dire le rapport entre la charge triboélectrique échangée et l'énergie dépensée dans le frottement (tableau I.1). Il compare également les matériaux selon la charge qu'ils acquièrent lorsqu'ils sont frottés avec du métal.

Nom d'isolant	Affinité tribo-électrique [nC/J]	Charge acquise si frotté avec du métal (F : faible, N : normal)	Remarques
Polyuréthane solide	+40	+N	Un peu conducteur
Nylatron (nylon + MoS ₂)	+28	+N	/
Verre	+25	+N	Un peu conducteur
Papier	+10	-F	Un peu conducteur
Bois (pin)	+7	-F	/
Silicone	+6	+N	/
Coton	+5	+N	Un peu conducteur
Caoutchouc nitrile	+3	-F	/
Laine	0	-F	/
Polycarbonate	-5	-F	/
ABS	-5	-N	/
Poly méthacrylate de méthyle)	-10	-N	/
Époxy (circuit imprimé)	-32	-N	/
Caoutchouc en styrène-butadiène (SBR, Buna S)	-35	-N	/
PET (mylar) solide	-40	+F	/
Polystyrène	-70	-N	/
Polyamide	-70	-N	/
Silicone	-72	-N	/
Oléfines (alcènes) : LDPE, HDPE, PP	-90	-N	/
PVC (vinyle rigide)	-100	-N	/
Latex (naturel) en caoutchouc	-105	-N	/
Caoutchouc en EPDM, remplie	-140	-N	Un peu conducteur
Téflon	-190	-N	Très électronégatif

Tableau I.1 : Série triboélectrique réalisée par Bill Lee en 2009 [26]

I.3. Dispositifs de chargement triboélectrique

Plusieurs procédés d'acquisition de charge par effet triboélectrique peuvent être utilisés pour charger les particules afin de séparer les mélanges des particules :

I.3.1. Chargement par ventilateur

Le dispositif consistait en une chambre cylindrique, en PVC (Figure I.8). A son extrémité inférieure, la chambre est munie d'une hélice coaxiale isolante, entraînée par un moteur électrique à courant continu. Ce dispositif entraîne les matériaux

granulaires en un mouvement hélicoïdal qui est prévu pour favoriser leur charge triboélectrique par des

Collisions entre elles ou bien entre les particules et les parois. Le signe et l'ampleur de la charge de chaque granule sont déterminés par l'action combinée de ces trois mécanismes physiques[27].

La récupération du mélange chargé, s'effectue par le pivotement du cylindre du dispositif sans faire arrêter le moteur afin d'éviter le collage des particules contre les parois et aussi de vider tous le contenu.

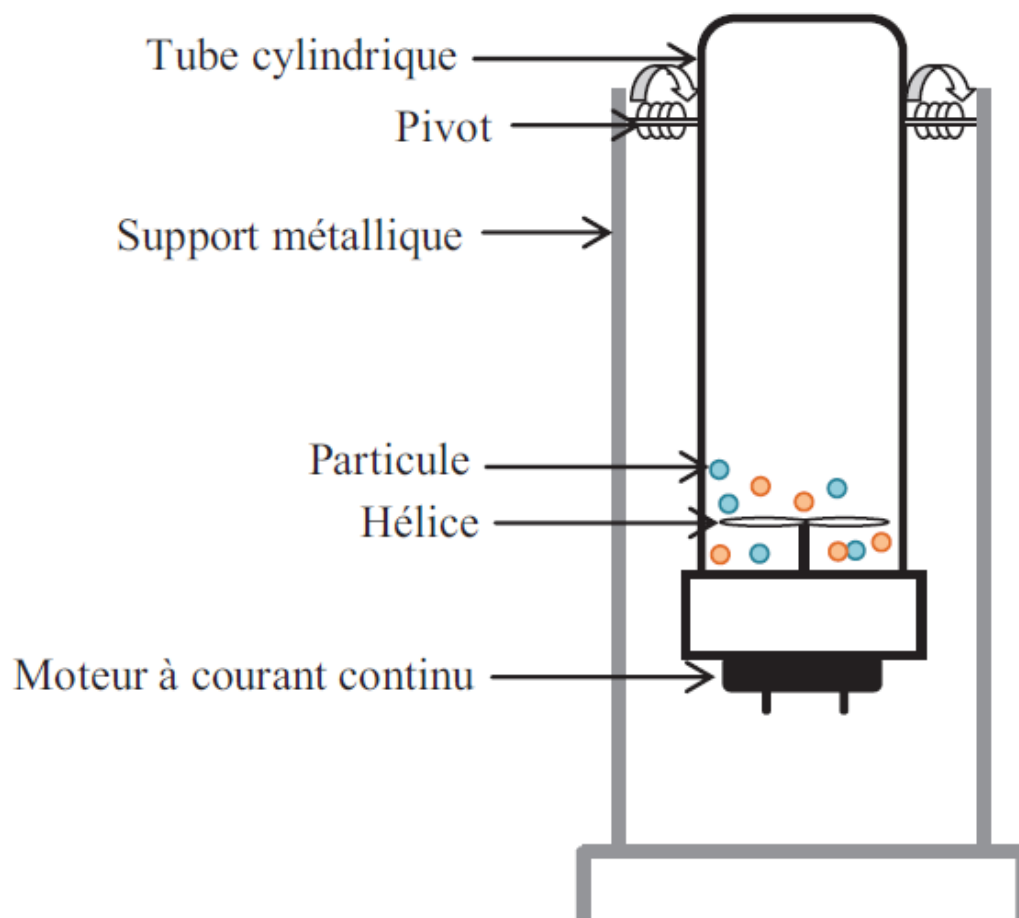


Figure I.8 : Représentation schématique d'un dispositif de chargement par ventilateur [27]

I.3.2. Tribo-cyclone

Un équipement qui sert habituellement au contrôle de la poussière dans les ateliers a été modifié pour être utilisé comme dispositif de charge triboélectrique (Figure I.9). Le dispositif est un cylindre isolant y compris un ventilateur dont le rôle

de créer un flux d'air pour transporter les particules dans la zone de charge, et donnant à son tour un mouvement hélicoïdal qui va permettre la charge triboélectrique.

Ce type de dispositif permet un fonctionnement continu. Le cyclone est particulièrement adapté à un fonctionnement industriel puisqu'il peut fonctionner en continu, permet le transport du produit et éventuellement son dépoussiérage. Toutefois, le principal inconvénient de ces dispositifs est que la matière du cylindre le composant ne peut pas être facilement changée.

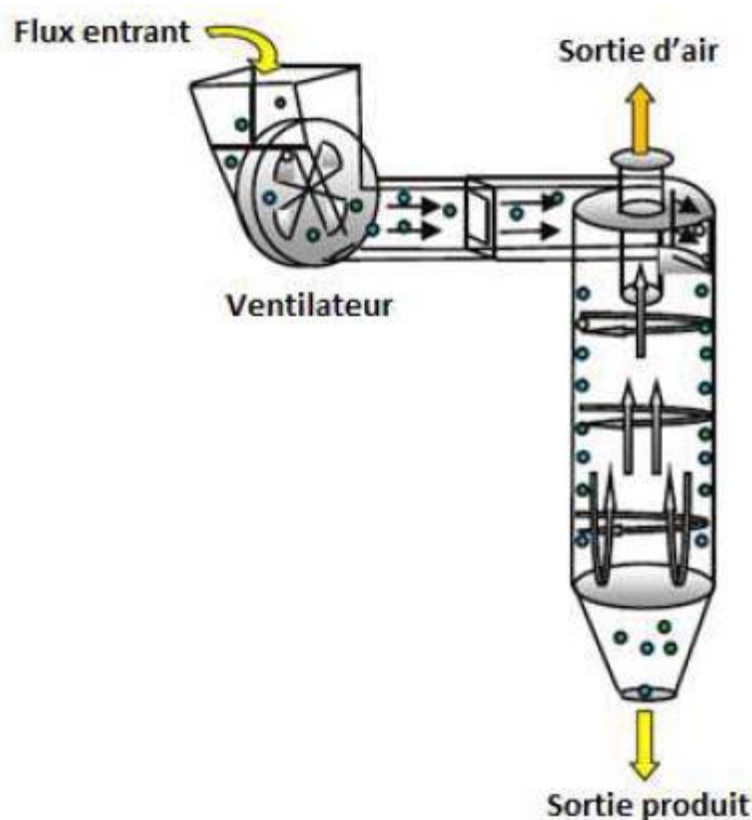


Figure I.9 : Représentation schématique d'un dispositif de charge par cyclon[28]

I.3.3. Dispositif de chargement statique

Le dispositif de chargement statique (Figure I.10) est un dispositif extrêmement simple. En effet, il est composé d'une enceinte parallélépipédique isolante ou métallique à l'intérieur de laquelle sont disposées plusieurs plaques inclinées et détachables. Les particules tombent verticalement et glissent par gravité sur les parois. Le chargement s'effectue donc lors de ce glissement/frottement[29].

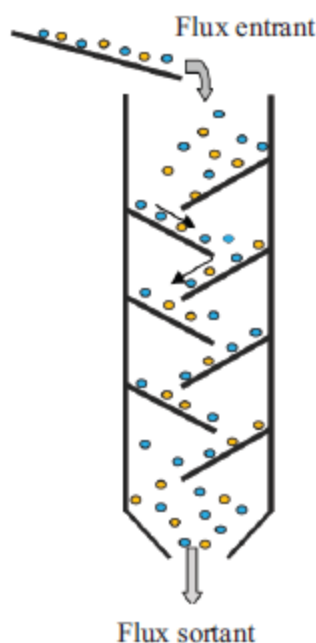


Figure I.10 : Représentation schématique d'un dispositif de chargement statique [30]

Ce système permet un fonctionnement continu et il est possible de le doter de plusieurs jeux de plaques de natures différentes. Ainsi, le dispositif peut s'adapter au mélange que l'on souhaite séparer de manière à charger un type de particule positivement et le second type négativement. Toutefois, si les particules sont trop fines, la gravité ne suffira pas forcément à

les faire glisser le long des parois, c'est pourquoi il faudra lier ce dispositif à un vibreur de façon à ce que ces vibrations fassent chuter les particules.

I.3.4. Dispositif à cylindre tournant (Tube rotatif)

Les dispositifs de chargement cités précédemment peuvent avoir dans certains cas un inconvénient majeur : la charge et la formation d'agglomérats de particules fines.

Dans le cas où les agglomérats sont composés d'un nombre équivalent de particules chargées positivement et négativement, ils sont quasi neutres et se comportent de façon similaire. La situation est pire lorsqu'ils ont une charge globale positive ou négative. Ces agglomérats sont attirés par une électrode et altèrent la pureté des produits collectés, car ils contiennent des particules de différents types [10].

Dans le dispositif à cylindre tournant, le mélange granulaire de plastique est introduit dans un tube rotatif. La rotation du cylindre provoque la culbute des particules qui se chargent par contacts répétés : c'est le phénomène de triboélectricité.

Ce cylindre est légèrement incliné par rapport à l'horizontal afin que les particules puissent en sortir par gravité. Différents dispositifs ont été imaginés pour améliorer

l'effet de la charge et éliminer les agglomérats. En faisant tourner un cylindre équipé d'ailettes (composées du même matériau que le cylindre) [8], au niveau de sa surface intérieure [31], il pourra fournir non seulement une plus grande probabilité de collisions particule-particule, en raison de l'agitation, mais aussi une plus grande surface de contact pour les collisions particule-paroi par rapport au modèle à surface interne lisse. Ce dispositif se caractérise par sa simplicité et sa faible consommation d'énergie.

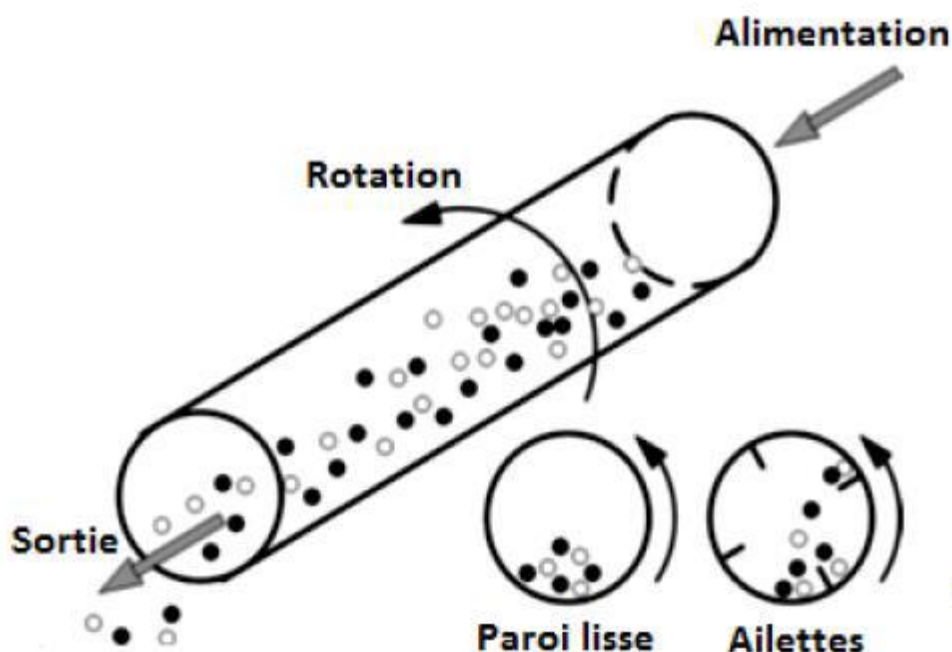


Figure I.11: Représentation schématique d'un dispositif de charge à cylindre tournant

I.4. Séparation électrostatique

Il existe plusieurs types de séparateurs électrostatiques, traitants différents catégories de mélanges, ils sont présentés ci-après.

I.4.1. Séparation de matériaux conducteurs et isolants

Parmi les applications nombreuses de la séparation des matériaux conducteurs et isolants, on peut citer le recyclage des câbles électriques et de DEEE.

Deux types de séparateurs peuvent être utilisés : le séparateur à plaque, le séparateur à tambour.

I.4.1.2. Séparateur électrostatique à plaque

Dans ce type de séparateur, le champ électrique est créé entre une électrode de forme elliptique connectée à un générateur de haute tension continue et une électrode plaque, métallique et reliée à la terre (figure I.20). L'induction électrostatique est le seul mécanisme de charge utilisé dans ce séparateur.

Les granules à séparer sont transportés par le vibro-transporteur électromagnétique et déposés sur l'électrode plaque reliée à la terre. Lorsqu'elles arrivent dans la zone de champ électrique intense, les particules conductrices, acquièrent, par induction électrostatique, une charge de signe opposé au potentiel de la haute tension continue. Elles subissent alors une force d'attraction électrique qui les attire vers l'électrode statique reliée à la haute tension et sont ainsi récupérées dans la partie droite du collecteur

Les particules isolantes glissent le long de l'électrode plaque sans être significativement affectées par le champ électrique. Dans la plupart des cas, la charge acquise par ces particules par effet triboélectrique est négligeable. Ces particules tombent donc sous l'action de leur force de pesanteur dans la partie gauche du collecteur.

Dans la plupart des séparateurs électrostatiques industriels à plaque, les trajectoires des particules conductrices, sont contrôlées en ajustant la valeur de la haute tension appliquée au système d'électrodes, U , et la position des déflecteurs entre les deux compartiments du collecteur (angle γ , figure I.12 (b)) [8].

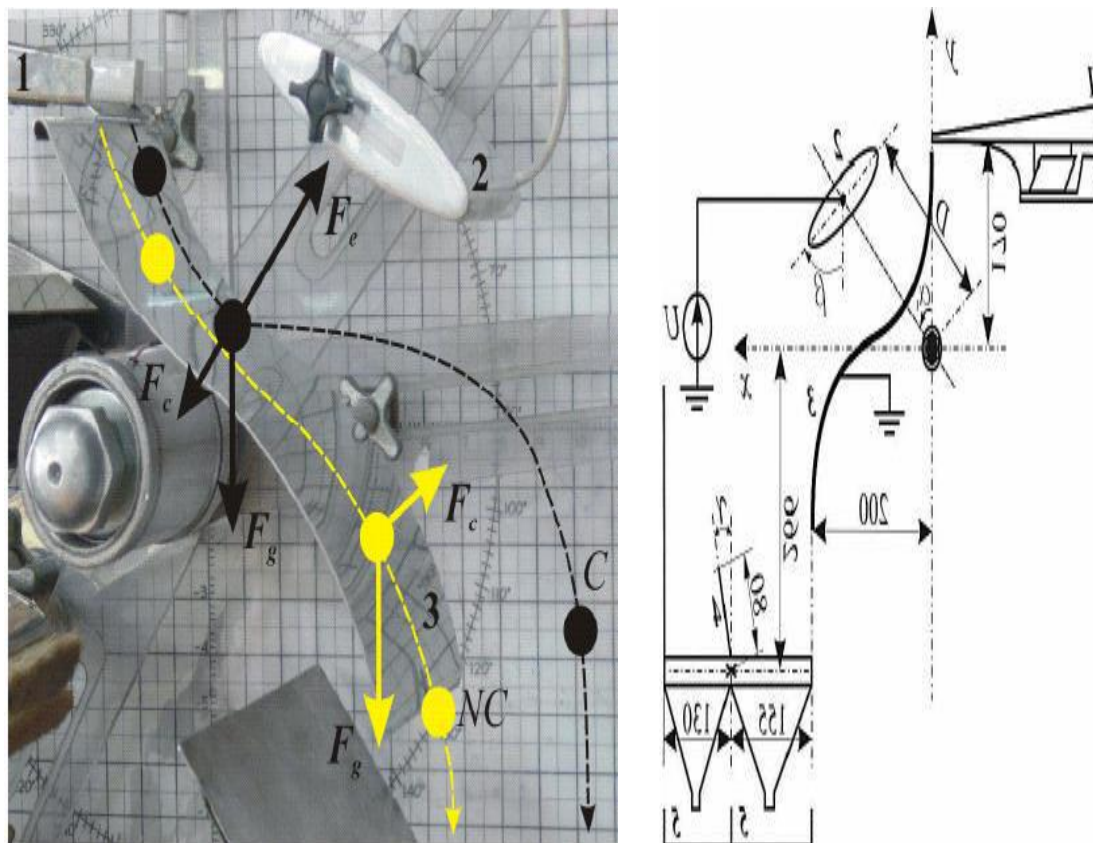


Figure I.12: Séparateur électrostatique à plaque. (a) Forces agissant sur les particules conductrices(C) et non conductrices (NC) ; (b) Représentation schématique du système d'électrode utilisé pour la séparation électrostatique de granules issus de DEEE ;(1) Goulotte oscillante ; (2) Electrode statique ; (3) Electrode plaque ; (4) Déflecteur ; (5) Collecteur [32]

Toutefois, la pureté du produit conducteur est souvent affectée par les trajectoires des produits non-conducteurs qui ne peuvent pas être contrôlées. Certaines de ces particules, à cause de faible charge ou d'une masse trop importante, accélèrent jusqu'à des vitesses relativement élevées et leur inertie peut les conduire dans le compartiment « conducteur » du collecteur.

Une solution relativement simple à ce problème consiste à soumettre les granules à l'effet d'une décharge couronne pendant leur descente le long de l'électrode plaque

(figure I.13) [33]. Cette décharge n'affecte pas les particules conductrices mais charge les non-conductrices.

Ainsi, la force électrique à tendance à les coller à la surface de l'électrode plaque. De cette façon, les forces de frottement entre les granules et la plaque augmentent et les forces d'inertie diminuent.

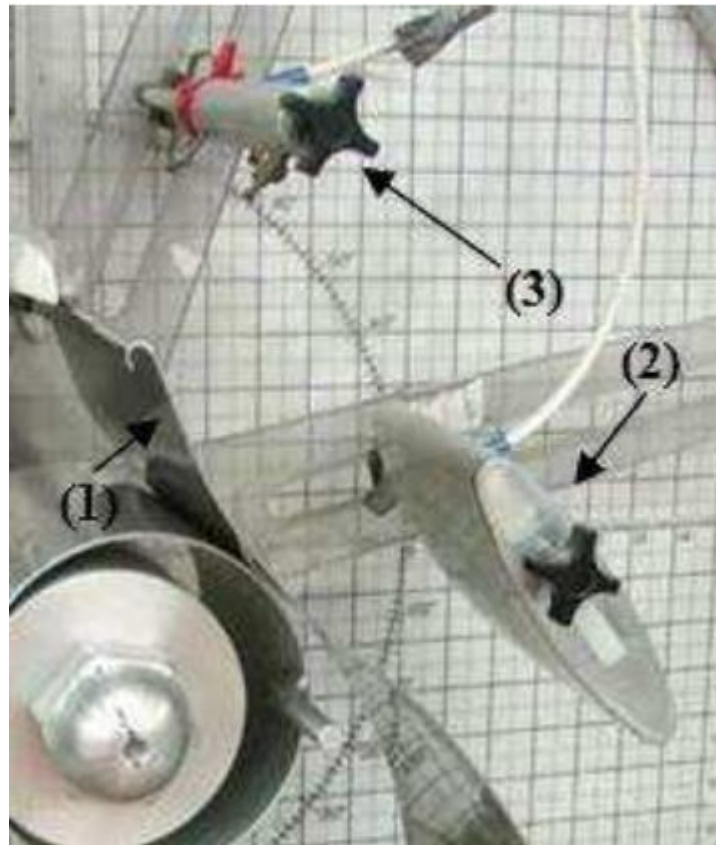


Figure I.13: Séparateur électrostatique à plaque assisté par une décharge couronne[33]. (1) Electrode plaque en forme de « S » connectée à la terre ; (2) Electrode elliptique et (3) Electrode couronne reliées à la terre

I.4.2. Séparation de matériaux isolants

De multiples installations destinées à la séparation tribo-électrostatique des matériaux granulaires plastiques ont été conçues et construites. Le point commun entre ces dispositifs est de réaliser deux opérations successives, le chargement triboélectrique des particules et leur séparation dans un champ électrique in

I.5. Forces exercées sur les matériaux granulaires

Trois types de forces s'exercent sur les matériaux granulaires qui prennent naissance lors d'un frottement ou lors d'un simple contact:

- Les forces de la pesanteur
- Les forces électrostatiques
- Les forces aérodynamiques

I.5.1. Forces de la pesanteur

Le poids d'un corps de masse m s'exprime par:

$$P=mg \quad (\text{I.1})$$

Avec $g=9.81 \text{ m/s}^2$ et P en Newton

Aux forces de la pesanteur s'opposent des forces inter particulaires. Elles sont différentes pour des particules chargées d'électricité statique ou électriquement neutres

I.5.2. Forces de London-Van der Waals

Il s'agit de forces attractives (Figure I.15). Si on considère deux atomes distants de r , la force d'interaction F [N] entre moments dipolaires instantanés [34] s'écrit :

$$F=\frac{\alpha^2 4hc}{r^7 3\lambda_i} \quad (\text{I.2})$$

Où α est la polarisabilité de l'atome, $\frac{hc}{\lambda_i}$ son énergie d'ionisation, tel que :

h : constante de Planck ;

c : vitesse de la lumière ($\approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$) ;

λ_i : longueur d'onde.

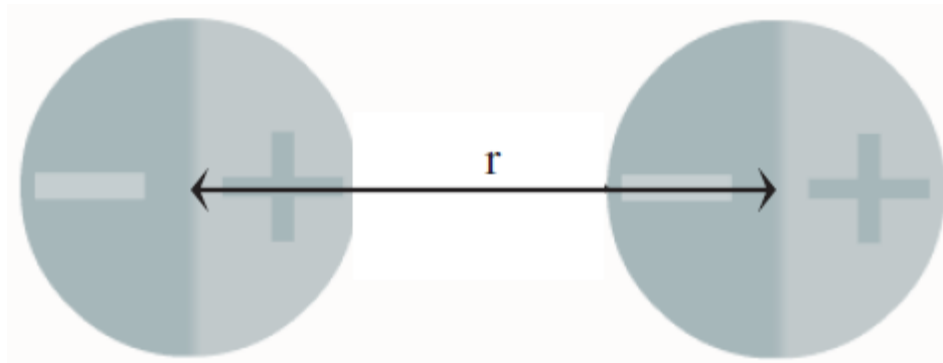


Figure I.14: La force attractive de London-Van der Waals

La figure I.16 montre la force d'interaction entre deux sphères matérielles : c'est la somme de toutes les forces d'interaction de London-Van der Waals relatives aux paires constituées d'un atome dans chaque sphère.

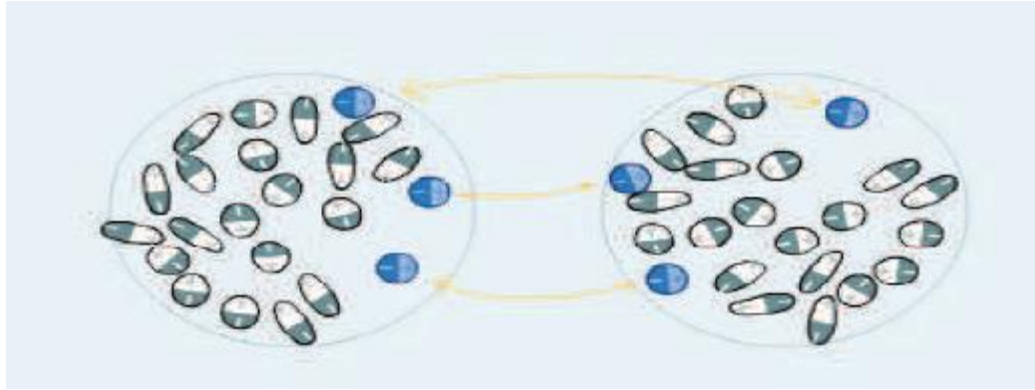


Figure I.15: Force attractive de London-Van der Waals entre deux sphères matérielles

I.5.3. Force aérodynamique

Afin de bien étudier les mouvements des particules dans les procédés de chargement triboélectrique, il va falloir maîtriser les forces aérodynamiques agissant sur ces Particules. Le mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique a lieu sous l'action de la force suivante :

$$F_i = (Q, E_0, x) \pm F_a - F_g \quad (I.3)$$

Où :

F_i : force d'inertie.

F_e : force exercée par un champ électrique uniforme d'intensité E_0 sur une particule chargée, de charge Q , située à une distance x de l'électrode.

F_a : force aérodynamique et F_g la force gravitationnelle.

La force d'inertie F_i s'exprime par la relation :

$$F_i = W (\rho_s - K\rho) \frac{va}{dt} \quad (I.4)$$

Où :

v : vitesse de particule.

$K\rho$: coefficient de forme [35] (pour les particules sphériques $K = 0,5$).

W : volume d'une particule ayant la densité ρ_s .

ρ_s : densité d'une particule sphérique.

La force aérodynamique s'écrit :

$$F_a = \frac{C_d \pi R^2 \rho v r^2}{2} \quad (I.5)$$

Ca étant en fonction du nombre du Reynolds : $Re = \frac{VL}{\nu}$

V : vitesse du fluide [m/s] ;

L : dimension du fluide [m] ;

ν : viscosité du fluide [m²/s] ;

v_r : vitesse relative d'une particule dans l'air.

La force de frottement avec l'air est dépendante de la vitesse, cette dépendance peut être très compliquée, et seulement les cas spéciaux peuvent être traités analytiquement.

Conclusion

Nous avons exposé dans le présent chapitre diverses techniques de la séparation électrostatique, Les études réalisées par d'autres chercheurs sur des modèles de montrent que les pourraient représenter une solution viable pour la charge tribo-électrique des matériaux plastiques granulaires, ce qui justifie l'orientation de la mémoire sur ce type de dispositifs.

CHAPITRE II

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'ELECTRO-SEPARATEUR

II . introduction

Les techniques électrostatiques ont été largement utilisées pour la séparation à sec de petites particules offrant une large différence de conductivité. La séparation électrostatique est un terme générique donné à une importante classe de technologies de traitement de matériel, largement utilisée pour le triage des mélanges granulaires grâce à des forces électriques agissant sur des particules chargées ou polarisées[28]

Dans la plupart des cas, des champs électriques de l'ordre de 10^6 V/m sont nécessaires, et c'est pour cette raison que le développement des technologies d'électro-séparation et les équipements ont toujours été en synchronisation avec les progrès réalisés dans les techniques de la haute tension. La gamme d'applications traduite par des centaines de brevets, s'étend de la purification des minerais et des produits agroalimentaires tels que les grains de semence (blé, orge...) au recyclage des métaux et plastiques à partir des déchets industriels.

La variété des installations conçues pour la séparation de mélanges granulaires peut être perçue en examinant les nombreux travaux techniques et scientifiques publiés durant les deux dernières décennies. Historiquement, la firme américaine CARPCO Inc. était la première compagnie qui pratiqua avec succès l'électro-séparation PVC-Cuivre à cylindre tournant en utilisant la décharge couronne.

II. 1.principe de fonctionnement de l'électro-séparateur

La figure. 1 montre les différents éléments composant le séparateur et le rôle de chacun d'eux.

Des charges électriques sont créées par ionisation de l'air grâce à la décharge couronne générée par l'électrode à pointes **(1)**, appelée électrode couronne. Les granules déposés sur le cylindre tournant **(3)** par le vibro-transporteur **(4)** acquièrent tous une charge électrique de même signe que le potentiel de la haute tension continue, et se comportent différemment suivant qu'ils sont électriquement conducteurs ou isolants.

1/ *Les granules isolants* restent "collés" et adhèrent à la surface du tambour grâce à la force d'image électrique. Ils tombent dans la partie du collecteur **(7)** qui leur est réservée lorsque la force de pesanteur l'emporte sur la force d'image. Pour assurer la chute de ces particules, certains électro-séparateurs sont équipés d'une autre électrode à pointes, appelée électrode de neutralisation **(5)**, pour éliminer la charge q par neutralisation. Les particules qui ne tombent pas et qui restent "collées" sont éliminées de la surface du tambour par une brosse **(6)**.

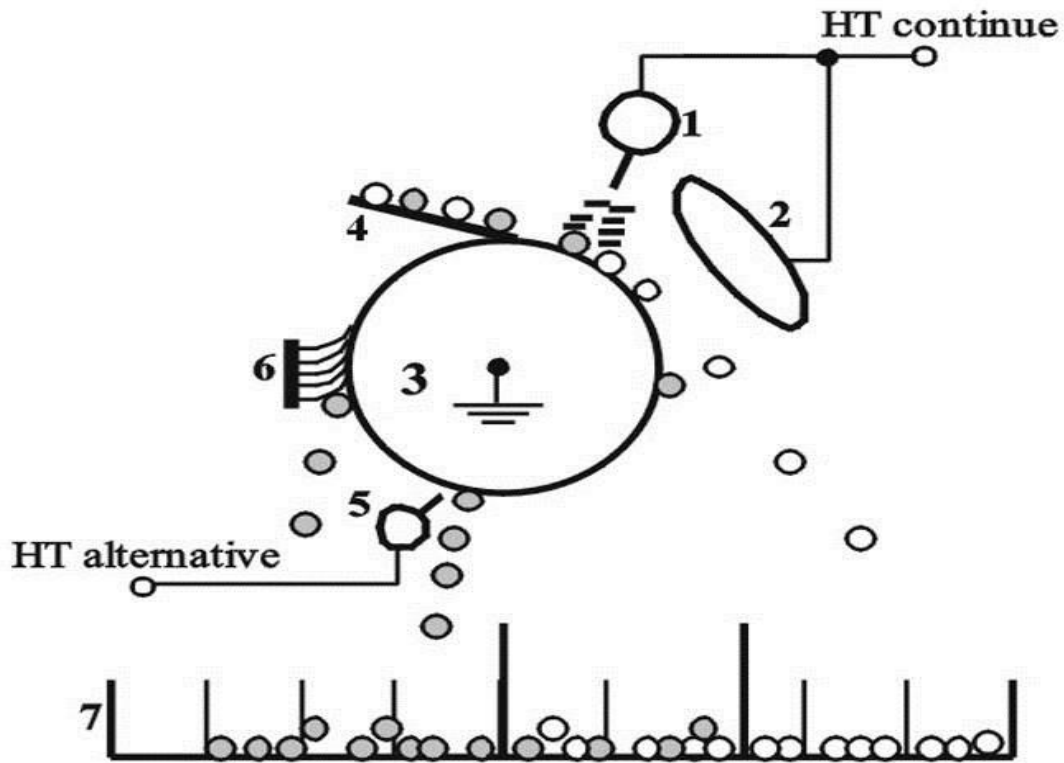


Figure.II. 1: Schéma descriptif de l'électro-séparateur et ses éléments constitutifs :
 (1) Electrode couronne reliée à une source de HT, (2) Electrode statique reliée à la même source de HT, (3) Electrode cylindrique reliée à la terre, (4) Vibro-transporteur, (5) Electrode de neutralisation reliée à une source HT alternative, (6) Brosse, (7) collecteur de particules

2/ Les granules conducteurs

perdent rapidement la charge à travers le cylindre relié à la terre, en arrivant dans la zone du champ électrostatique généré par l'électrode statique de forme elliptique (2). Ils acquièrent par induction électrostatique une charge de signe opposé au potentiel de la haute tension, et sont ensuite attirés par l'électrode elliptique et collectés dans la partie droite du collecteur. Le cylindre relié à la terre, qui l'introduit dans la zone du champ électrique.

Deux mécanismes de charge sont simultanément employés: "bombardement ionique" et "induction électrostatique". Le premier est destiné aux particules isolantes seulement, passant à travers la décharge couronne; le deuxième concerne seulement les particules conductrices en contact avec le tambour en présence d'un champ électrique externe, à savoir le champ électrostatique généré par l'électrode elliptique[35].

II.2.forces agissant sur les particules

Les particules sont soumises à deux types de force (Fig.2):

II .2.1.Forces électriques

- Force du champ électrostatique

$$F_e = q_{ind}E \quad (II. 1)$$

qui n'agit pratiquement que sur les granules métalliques, avec :
 E : champ électrostatique généré par l'électrode statique

elliptique.

q_{ind} : charge du granule métallique acquise par induction électrique, sous l'action de E ,
de signe opposé au potentiel
haute tension de l'électrode.

- Force d'image électrique

$$F = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0(2d)^2} \quad (II. 2)$$

qui n'agit pratiquement que sur les particules isolantes,
avec :

q : charge du granule acquise par bombardement ionique
dans la zone à effet couronne,
 d : distance séparant le centre du granule à la surface du
tambour.

II.2.2. Forces mécaniques

- Force centrifuge

$$m = F_c \omega^2 R \quad (II. 3)$$

- Force de pesanteur

$$F_g = mg \quad (II.4)$$

avec:

m : masse de la particule ;

ω : vitesse angulaire du cylindre ;

R : rayon du cylindre ;

g : gravitation universelle

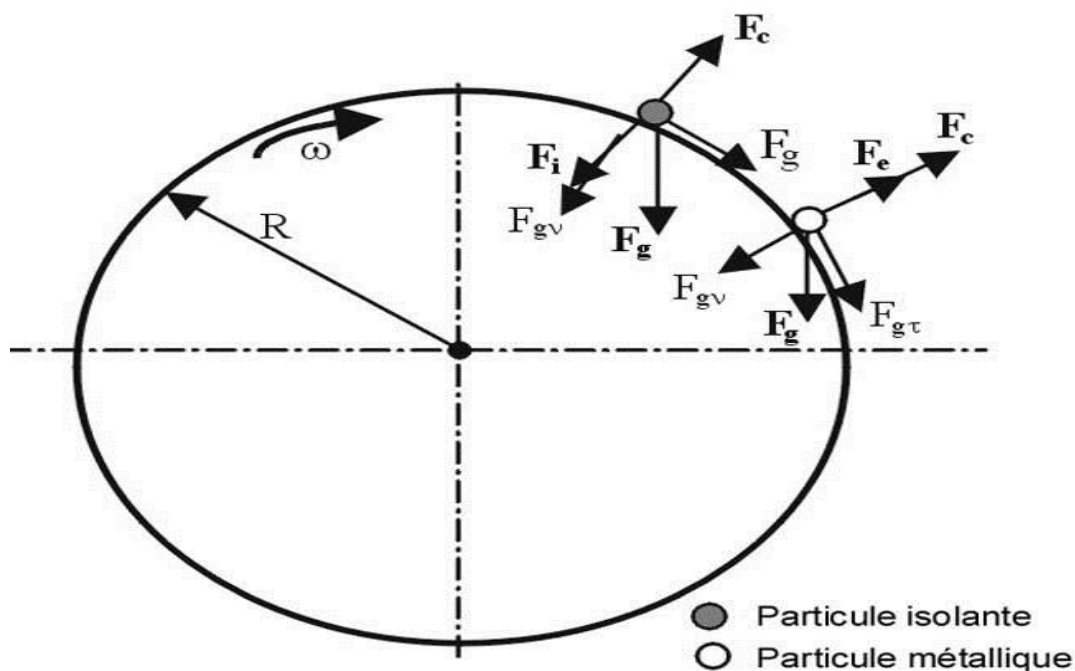


Figure II. 2: Forces agissant sur les particules.

II .3. paramètres influents du séparateur

Les paramètres influençant du séparateur sont rassemblés dans le tableau 1 et la figure 3.

Quelques-uns de ces paramètres sont fixés au départ, lors de la conception de l'appareil, comme par exemple: type et position du vibro-transporteur, position du

collecteur, nombre d'électrodes, forme de la tension. Généralement, l'étude de la séparation est basée sur la variation de 4 paramètres importants à savoir, le niveau et la polarité de la haute tension appliquée, la vitesse de rotation du tambour, le débit du vibro-transporteur et la température du produit granulaire[36].

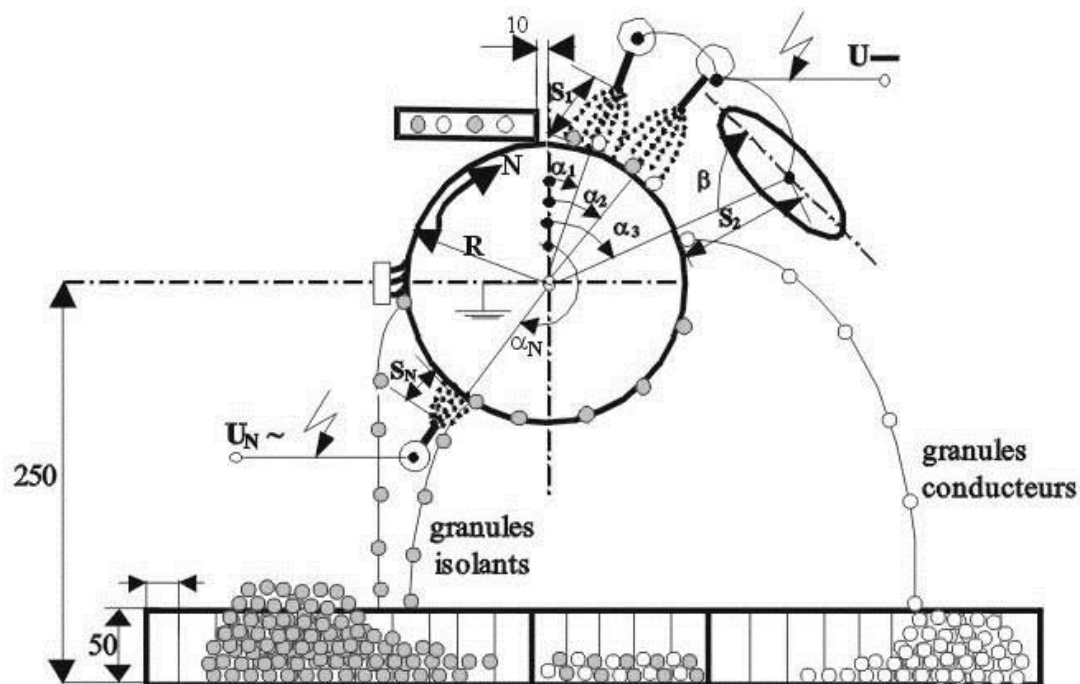


Figure II.3: Paramètres et variables dans un processus de séparation électrostatique

Tableau II. 1: Paramètres variables de l' électro-séparateur

mécaniques	produit	ambiance	électriques
-Vibro-transporteur *type *position *débit - Cylindre *rayon *vitesse - Collecteur *type *position	Conductivité des particules Forme et dimensions des particules Densité volumique des particules	Temperature Humidité Poussière	Electrodes actives *type *position *nombre Electrode de Neutralisation *type *position Haute tension *forme de la tension *polarité *niveau

conclusion

La séparation électrostatique du cuivre, de l'aluminium et des matériaux isolants représente une technologie économiquement viable pour la préservation de l'environnement, car elle offre du plastique recyclé de qualité élevée et une meilleure efficacité pour le recouvrement des métaux. Le principe de fonctionnement repose principalement sur l'acquisition de charge par le bombardement ionique de l'électrode couronne et l'induction électrostatique générée par l'électrode elliptique, ainsi que par l'application de valeurs de champ très intenses de l'ordre de 10^6 V/m. C'est un processus multifactoriel fonctionnant avec de nombreux paramètres qui sont réglables et inter-dépendants.

L'électro-séparateur est constitué de plusieurs éléments influents –électriques et mécaniques- dont le réglage de chacun d'eux influe de façon plus ou moins grande sur les performances de l'appareil.

Cette technique peut être appliquée dans plusieurs domaines de l'industrie. Une grande partie du chapitre suivant décrit les différentes possibilités des applications industrielles de l'électro-séparation.

CHAPITRE III

ANALYSE DES TRAJECTOIRES DE LA PARTICULE DONS LE SEPARATEUR ELECTROSTATIQUE CYLINDRIQUE TOURNANTE

CHAPITRE III

III. Introduction:

Pour étudier le tri des matures et la support présent dans le se porteur électrostatique Sour la forme cylindrique, il faut contrôler un degré, notamment humidité, la température, et la vitesse du cylindre, et la dimension des électrodes la volume des matériaux séparés et l'intensité du courant électrique appliqué à l'électrode.

III.1. Résultats et discussion

Les valeurs des quatre réponses pour les 17 essais de modélisation expérimentale par la méthode des plans d'expérience sont indiquées dans le tableau III. 2. La pureté et la récupération ont été calculées à l'aide des équations (III.1) et (III.2) :

$$\text{Pur } (\%) = \frac{m_{xBx}}{m_{TBx}} \times 100 \quad (\text{III.1})$$

$$\text{Rec } x(\%) = \frac{m_{xBx}}{m_{xB1} + m_{xB2} + m_{xB3}} \times 100 \quad (\text{III.2})$$

avec m_{xBx} la masse du produit x collectée dans le collecteur qui lui est réservé ; m_{TBx} est la masse totale récupérée en B_x (compartiment réservé au produit x) et m_{xB_i} est la masse du produit x collectée dans les différents collecteurs B_1, B_2, B_3 .

Les coefficients statistiques R^2 et Q^2 qui expriment respectivement, la qualité descriptive et prédictive des quatre réponses, sont donnés dans le tableau III.3. Nous avons ainsi établi les modèles mathématiques suivants exprimant le rendement du processus en termes de pureté et de récupération des produits séparés :

$$\text{RecPP} = 89,01 + 14,79 U + 6,39 t - 11,79 \alpha - 5,70 t^2 + 7,85 U \times \alpha + 4,35 t \times \alpha \quad (\text{III.3})$$

$$\text{PurPP} = 87,64 - 2,27 U + 3,03 t + 2,87 \alpha + 1,28 U^2 - 3,26 t^2 + 1,39 \alpha^2 - 0,30 U \times t + 1,61 t \quad (\text{III.4})$$

$$\text{RecHIPS} = 87,20 - 4,75 U + 1,2 t + 3,93 \alpha + 1,30 U^2 - 2,53 t^2 - 0,71 U \times \alpha \quad (\text{III.5})$$

$$\text{PurHIPS} = 89,34 + 10,78 U + 5,01 t - 8,22 \alpha - 2,99 U^2 - 3,86 t^2 + 3,98 U \times \alpha + 3,52 t \times \alpha \quad (\text{III.6})$$

CHAPITRE III

Tableau III.1. Résultats du plan factoriel composite

			Compartment B1 (PP)		Compartment B2 (HIPS)	
Temps	Angle	Tension	Rec PP	Pur PP	Rec HIPS	Pur HIPS
t (min)	$\alpha(^{\circ})$	U (Kv)	(%)	(%)	(%)	(%)
2	15	15	81,0	85,3	85,5	82,3
2	15	25	99,4	81,2	78,0	99,8
6	15	15	88,3	89,0	88,0	88,8
6	15	25	98,17	83,5	79,5	98,5
2	35	15	32,2	87,8	94,5	52,7
2	35	25	81,7	84,0	83,6	82,6
6	35	15	56,7	97,6	97,4	69,8
6	35	25	98,2	92,9	86,6	98,9
4	25	15	67,6	91,5	93,1	96,4
4	25	25	96,3	87,0	83,3	74,7
2	25	20	72,9	81,3	83,3	96,4
6	25	20	89,9	87,0	85,4	79,0
4	15	20	97,8	86,0	83,3	90,3
4	35	20	78,0	91,6	91,6	98,4
4	25	20	93,2	88,0	87,6	91,8
4	25	20	87,4	87,8	87,0	87,9
4	25	20	94,1	88,0	88,3	91,6

Tableau III.2. Valeurs des coefficients Q^2 et R^2 pour chaque réponse.

Coefficients	Rec PP (%)	Pur PP (%)	Rec HIPS (%)	Pur HIPS (%)
Q^2	92,7	98,7	97,1	92
R^2	98,2	99,7	99,4	99

CHAPITRE III

Des courbes assez similaires sont obtenues pour l'effet de la durée de chargement sur les quatre réponses. La pureté et la récupération des deux produits augmentent avec l'augmentation du temps de séjour des particules dans le chargeur et restent constantes après $t = 4$ min (**Figure III.1**)

L'angle d'inclinaison de l'électrode haute tension a un effet positif sur la pureté du PP et la récupération du HIPS. Ce facteur modifie l'intensité et la distribution du champ électrique dans l'espace inter-électrodes, ce qui affecte les résultats de la séparation .

Selon le logiciel MODDE, les conditions de fonctionnement optimales du procédé sont les suivantes : $t = 5$ min 20 sec, $\alpha = 35^\circ$ et $U = 25$ kV et pour lesquelles les valeurs prédites de la pureté et de la récupération des produits séparés sont [37]

RecPP = 98,72 %, PurPP = 93,04 %, RecHIPS = 87,42 %, PurHIPS = 97,51%

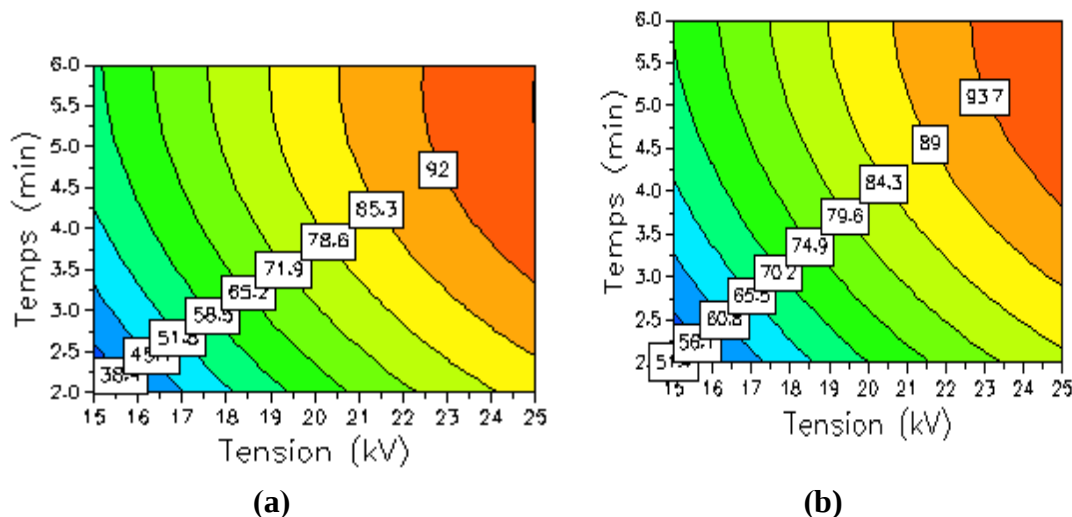


Figure III.1. Iso-contours de : (a) récupération du PP et (b) pureté du HIPS, en fonction du temps de chargement et la tension et appliquée à l'électrode ($\beta = -10^\circ$, $n = 40$ tr/min, $Q = 2,5$ g/s).

III.2. Analyse des trajectoires des particules dans le séparateur électrostatique cylindrique tournante

L'analyse théorique dans ce sous-chapitre est d'améliorer ce modèle mathématique des trajectoires des particules dans un groupe important de séparateur électrostatique

CHAPITRE III

III.2.1. Equateur de mouvement

Le mouvement d'une particule en contact avec l'électrode cylindrique tournante d'un séparateur X

$$X = X_0 + R_c \sin \left[\frac{2\pi n}{60} (t - t_0) \right] \quad (\text{III}, 1)$$

$$Y = Y_0 + R_c \cos \left[\frac{2\pi n}{60} (t - t_0) \right] \quad (\text{III}, 2)$$

Où t_0 le moment la particule est déposée sur la surface du cylindre, ou point de coordonnées $X=X_0$, $Y=Y_0+R_c$: est R_c le rayon du cylindre ; $X_0=Y_0$ coordonnées du cylindre et " n " : vitesse de rotation du cylindre en tr/mi en arrivée dans la zone de champ électrique intense, la particule est soumise aux forces suivantes

- force électrique F_e
- force image électrique F_i
- force centrifuge F_c
- force de la pesanteur F_g

La force du champ électrique, soit le sens de la normale extérieure à la surface de l'électrode cylindrique tournante (pour les particules conductrices chargées par contact), soit le sens de la normale intérieure la même surface (pour les particules isolantes chargées en champ ionique).

La force image électrique est toujours orientée vers l'axe de l'électrode reliée à la terre, tandis que la force centrifuge tend à détacher la particule de la surface du cylindre tournant, le décollement se produit lorsque la résultante des forces électrique et mécaniques sur la direction radiale est nulle et, en négligeant la force aérodynamique. Le mouvement de la particule est décrit par les équations :

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = F_{qx} \quad (\text{III}, 3)$$

$$m \frac{d^2y}{dt^2} = F_q - mg \quad (\text{III}, 4)$$

Avec les conditions initiales :

$$\frac{dx}{dt}(0) = V_0 \cos \beta \quad (\text{III}, 5)$$

$$\frac{dy}{dt}(0) = V_0 \sin \beta \quad (\text{III}, 6)$$

$$X(0) = R_c \sin(\beta + X_0) \quad (\text{III}, 7)$$

CHAPITRE III

$$Y(0) = R \cos(\beta + Y_0) \quad (\text{III}, 8)$$

Ou m masse de la particule , β . angle de décollement , particule l'ars du décollement de la surface du cylindre

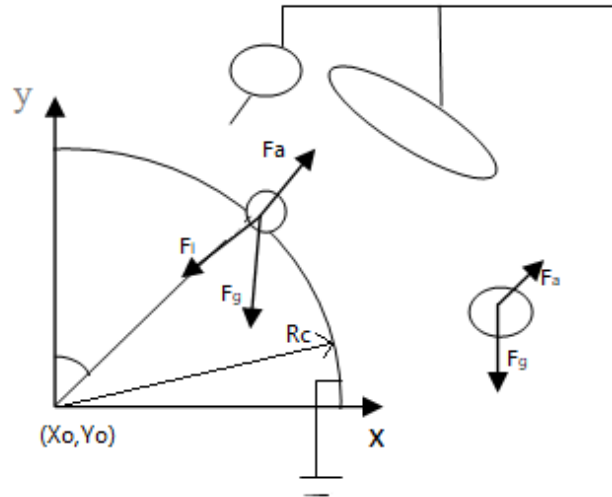


Figure III.2.force électrique qui agissent sur une particule charge contact avec l'électrode cylindrique tournante

III.2.2.Analyse des trajectoire de la particule conductrice :

La condition de la trajectoire des particules conductrice s'exprime par l'équation:

$$F_i + F_g \cos B - F_q - F_c = 0$$

l'angle de décollement B:

$$B = \cos^{-1} \frac{(F_i + F_q - F_c)}{F_g} = \cos^{-1} \frac{F_c + F_{el}}{F_g} \quad (\text{III}, 9)$$

Avec $F_{el} = F_q + F_i$ qui sexerout sur une particule sthénique de rayon R sont exprimées par les formule suivent

$$F_q = QmE^2 \quad (\text{III}, 10)$$

$$F_i = \frac{Qm}{4\pi\epsilon_0(2R)^2} \quad (\text{III}, 11)$$

Pour le particule conductance sphérique la force résultante F_{el} est donnée par la formule [5]:

$$F_{el} = 0.832QmE \quad (\text{III}, 12)$$

CHAPITRE III

Ou $Q_m = 2 \frac{2\pi^3}{3} \epsilon_0 R^2 E$ est la charge de la particule conductrice en contact avec l'électrode en champ uni forme d'intensité E . la relation (III,12) dévie

$$F_{el} = 17.2 \epsilon_0 R^2 E^2$$

Cette valeur est plus grande que ($F_q; F_i$) d'une particule sphérique de cuivre ($\rho = 8900 \text{ Kg/m}^3$) de rayon $R = 0.5 \text{ mm}$, est $B_1 = 63.5^\circ$ $B_2 = 59.6^\circ$

On considère que l'intensité du champ $E = 5 \text{ KV/cm}$ et que l'électrode cylindrique de rayon $R_c = 75 \text{ mm}$ tourne d'une vitesse $n_1 = 60 \text{ tr/min}$ Si on augmente la vitesse du cylindre

Jusqu'à 100 tr/min on obtient $B_1 = 47.4^\circ$ et $B_2 = 42.4^\circ$

Dans le calcul similaire, pour une particule conductrice de forme cylindrique posée horizontalement sur l'électrode

Donnent:

$$F_{el} = 0.715 Q_m E = 0.715 (2 \epsilon_0 R L E^2) \quad (\text{III},13)$$

Et pour le cylindre posé verticalement sur l'électrode :

$$F_{el} = \frac{L n \left(\frac{L}{R} \right) - 0.5}{L n \left(\frac{2L}{R} \right) - 1}$$

$$Q_m E = \epsilon_0 \pi L^2 \frac{L n \left(\frac{L}{R} \right) - 0.5}{[L n \left(\frac{2L}{R} \right) - 1]^2} E^2 \quad (\text{III},14)$$

Où R et L sont le rayon et longueur de la particule cylindrique dans la relation (III,14) le cylindre

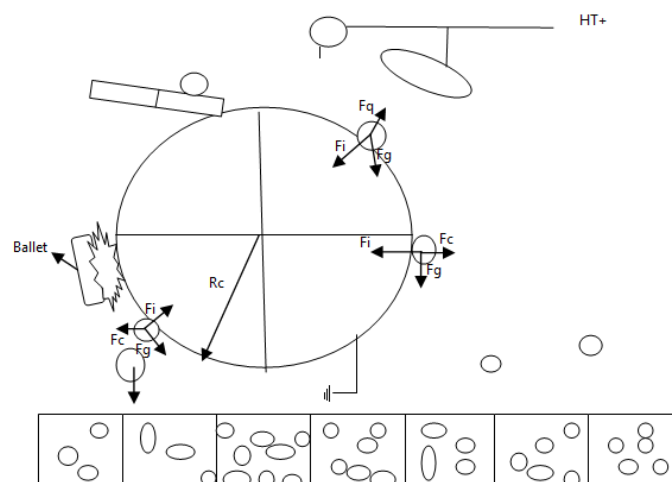


Figure III.3. Forces électrique et mécanique agissant sur une particule isolante posée sur l'échappe tournante.

CHAPITRE III

III.3. Analyse des trajectoires de particule isolante :

Le fonctionnement de séparateur électrostatique à électrode cylindrique tournante dans la séparation de déchet plastique chargée par la tribo-électricité restent sur la surface de cylindre jusqu'à la brosse : on applique la 2^{ème} loi de Newton :

$$\sum F_i = 0$$

F = force totale

$$F_i + F_q + F_g \cos \beta - F_c$$

La somme de l'angle de détachement et donne :

$$\beta = \arccos \frac{(F_c - F_q - F_i)}{F_g} \quad (III. 15)$$

$$\text{Somme } F_{el} = F_i + F_q$$

Dès que la particule quitte l'étape de la tribo-électricité. La charge décroît cause du contact entre la particule et électrode cylindrique reliée à la terre. L'évolution de la charge et donne par l'équation :

$$\varphi(t) = \varphi \exp\left(-\frac{t}{\tau_d}\right) \quad (III. 16)$$

$$\tau_d = \text{durée de temps de la tribo-électricité}$$

$$\text{Ou } \varphi t$$

Est la charge acquise par la particule en sortant de la tribo-électricité

Conclusion :

Le contrôle optimal du fonctionnement d'une machine est une quête que le concepteur ou utilisateur afin de bien vendre sa machine.

La séparation électrostatique qui est dans son concept compliqué.

Dans la nécessité d'un modèle mathématique d'un séparateur électrostatique pour notre étude, nous avons exploité un modèle mathématique issu d'une expérience établie dans un travail antérieur.

CHAPITRE IV

TRAJECTOIR DE PARTICULE DANS UN SEPARATEUR ELECTROSTATIQUE

IV. Introduction

La séparation électrostatique du cuivre aluminium et des matériaux isolants électrique représente une technologie économiquement viable pour la préservation de l'environnement.

Le présent chapitre est consacré à la description globale de l'étude d'un tri électrostatique.

L'étude présentée est basée sur l'analyse du mouvement des charges électriques pour les matériaux à séparer. Par conséquent, nous avons effectué une analyse mathématique du mouvement des charges dans l'électrophorèse cylindrique. Même notre étude s'appuyait sur une étude antérieure [38].

Jusqu'à ce que ce dernier soit basé sur une étude appliquée du mouvement du trajet des expéditions.

IV.1. Étude du mouvement des charges dans la région de force influence magnétique

La pré-étude repose [38] sur l'étude du mouvement des charges à l'aide d'un générateur électrique. Circuit continu avec électrodes obstruées (négatives) ou (positives) et l'électrode de référence est mise à la terre après expédition des échantillons par tri électrostatique.

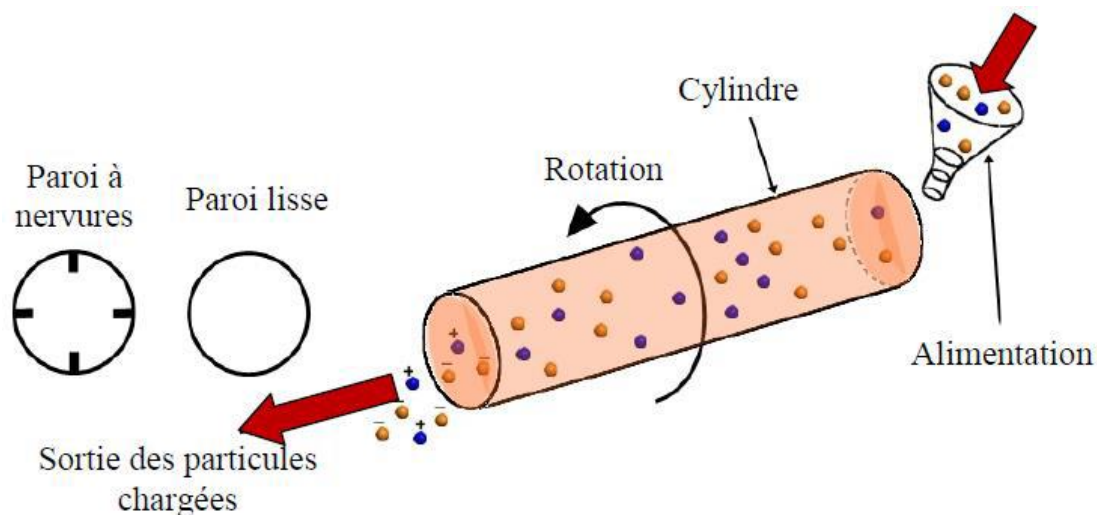


Figure IV.1. Dispositif de chargement à cylindre rotatif

le chercheur a utilisé un appareil électromètre .

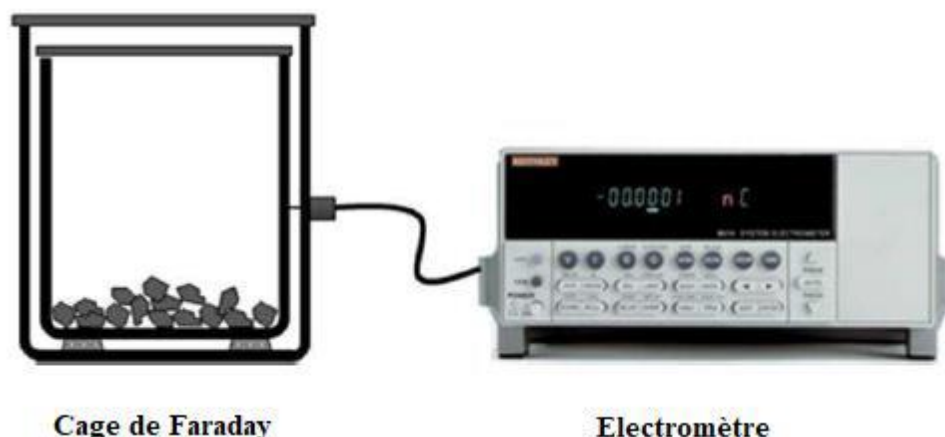


Figure IV.2. Système de mesure de charge

Pour étudier la mouvement de la charge électrique dans le milieu nature , la facteur plusieurs contrôle l'intensité du champ électrique appliqué aux électrodes cylindrique par exemple (Humidité - Température – Radiation)

La chercheur a utilisé une se le climatisée pour Controller rhis. Facteurs expérimentaux et sélection des meilleures variables pour la séparation électrique de la charge La séparation des charges dépend de l'intensité du courant appliqué, car elle dépend principalement de l'intensité du champ électrique fort et uniforme, et à partir de là, nous nous sommes appuyés sur Etude du mouvement de charge à l'aide d'un générateur de courant électrique Électrode négative continue afin d'exciter les éléments naturels de l'air tels que **C**, **N** et **O** Ce sont les éléments les plus denses de l'air, car les charges positives se collent au pôle cylindrique, du fait de la charge et le principe de l'électricité statique, où deux charges d'un même signal sont représentées par la tannerie et deux charges différentes sont représentées par l'attraction .

Une charge électrique a tendance à se repousser dans le domaine d'intensité électrique, c'estdire sur le cylindre, et un certain nombre de forces (F_e , F_c , F_i , F_g) l'affectent Après avoir appliqué la loi de Newton pour la somme des forces, nous obtenons une vitesse initiale à l'angle α , qui est le point de départ du processus de séparation, car elle dépend de la vitesse de déplacement du cylindre et de la force du champ électrique appliqué entre les extrémités de l'électrode et après la charge au centre du cylindre. Lorsque la charge quitte la zone des électrodes, son mouvement est étudié comme le mouvement d'un projectile avec une vitesse initiale, son angle d'inclinaison à partir de la distance X_0 , hauteur Y_0

IV . 2. séparationélectrostatique

Le processus de séparation des mélanges récupérés se compose de deux étapes principales :

- Etape de charge
- Etape polarisation d'électrodes des échantillons.

IV .2.1. Etape de charge

Le processus de charge par frottement est un phénomène, ancien.de nombreuses études ont eu recours à l'analyse de ce phénomène afin de résoudre l'énigme de la formation d'étincelles électrique dans les objets soumis au frottement.

L'expédition des matériaux de différentes manières disponibles,en utilisant un cylindre avec une certaine rugosité pour la paroi interne du cylindre, ainsi que principalement la nature des matériaux.

Le travail effectué par le chercheur [39] est considéré comme un échantillon expérimental pour nous de l'étude, pour l'analyse mathématique des résultats obtenus à partir d'une expérience expérimental.

TableauIV.1.Le tableau ci-joint est un groupe de matériaux isolants exposés au processus de charge par frottement.

Nom d'isolant	Rapport de la charge [n C/J]	Charge acquise si frotté avec du métal (F : faible, N : normal)
Polyuréthane solide	+40	+N
Polystyrène	-70	-N
Verre	+25	+N
PVC (vinyle rigide)	-100	-N

Nous remarquons dans le tableau que selon la nature des matériaux, le montant de l'expédition de chaque matériau varie.

IV.3. Etude l'effet de la modification de volume d'envoi d'échantillons :

Plusieursétude ont prouvé que plus les tailles des échantillons étudiés étaient grandeurs lors du frottement, plus la valeur de leur charge diminuait.

Nous avons sélectionné plusieurs échangions de diffères tailles de PVC ,verre , polyéthylène , car ils étaient expédiés à une vitesse et dans un temps fixes, puis nous avons mesuré les résultats à l'aide d'un appareil de mesure directe conomètre.

$w = 1200 \text{ tr/min}$, $t = 5 \text{ min}$

Tableau IV.2. Etude l'effet de la modification de volume d'envoi d'échantillons.

Mâtériaux	densité			Rapport de la charge [n C/J]			Signe de polarité
Pvc	50	150	200	100	80	60	-N
Verre	40	120	180	24	12	5	+N
Polyuréthane	20	60	80	70	30	15	-N
Ferre	15	80	50	75	30	10	+N

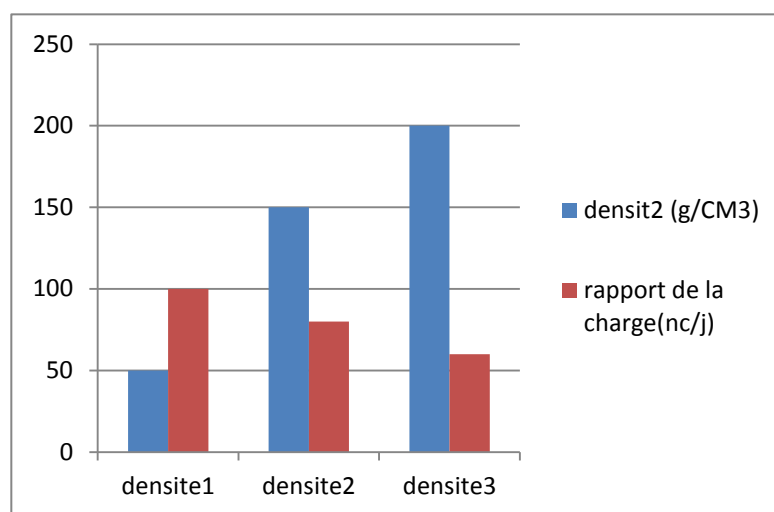


Figure IV.3. rapporte de charge du PVC en fonction densité

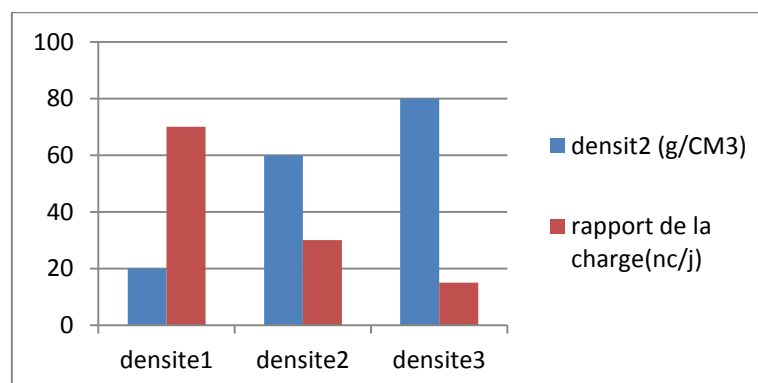


Figure IV.4. rapporte de charge du Polyuréthane en fonction densité

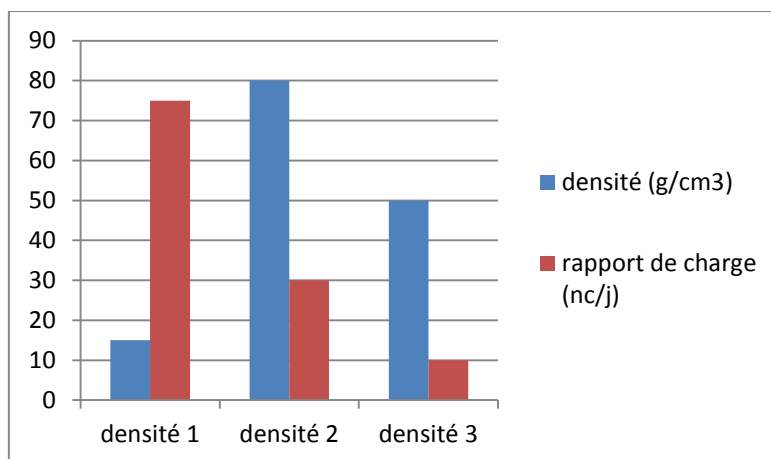


Figure IV.5. rapporte de charge du ferre en fonction densité

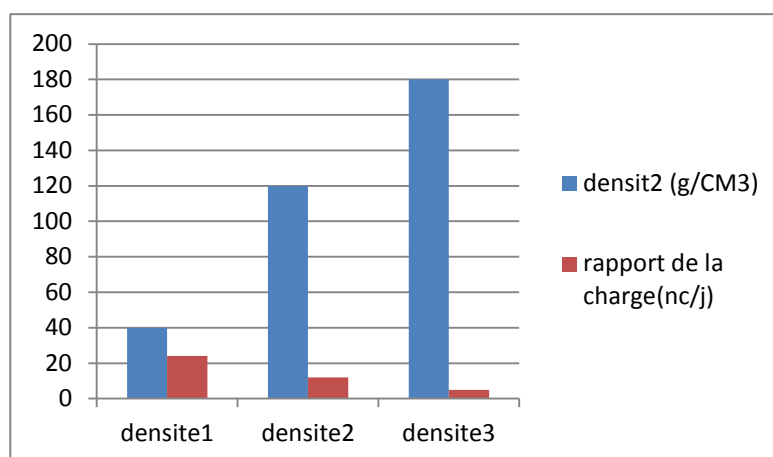


Figure IV.6 . rapporte de charge du verre en fonction densité

Les échantillons charges par triboélectrique de différentes tailles sont soumis ou processus de perte et de gain d'électrons, en raison de la collision de leur surface avec la paroi interne du cylindre de friction. par conséquent, nous concluons que la taille des échantillons joue un rôle clé dans le processus d'expédition en triboélectrique.

IV.4.Etape polarisation d'électrodes des échantillons :

L'étape d'exposition d'une charge à un champ électrique intense et régulier est caractérisée par deux étapes :

- Etape de chute libre de gravite
- Etape d'exposition à l'aide d'électrodes

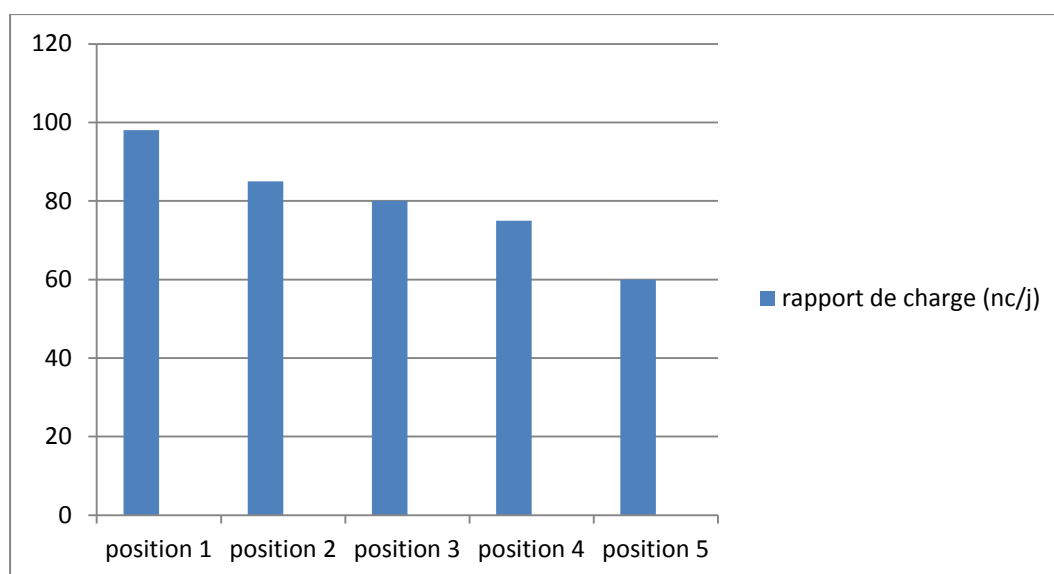
IV.4.1. Etape d'exposition à l'aide d'électrodes :

Lorsqu'une charge électrique est placée sur la surface d'un cylindre chargé, elle est soumise à une gamme de force (F_{el} , F_q , F_i , F_g), en appliquant la loi de Newton, ces forces ont un effet très important sur le trajet de la charge, qui est projetée dans le champ magnétique généré par les pôles.

IV.4.1.1. effet de la distance interne de l'électrode :

Position 1= 2 mm ; Position 2= 4 mm ; Position 3= 6 mm ; Position 4= 8 mm

Position 5= 1 Cm

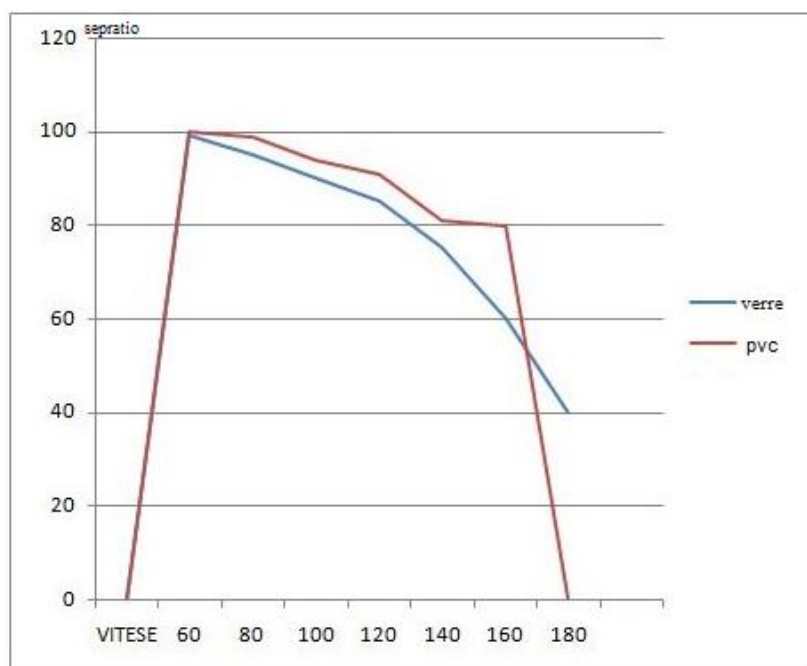


FigurIV.7. montre la charge massique des particules de PET pour les cinq positions étudiées

IV.4.1.2. CHOIX DE VITESSE OPTIMALE DE CYLINDRE :

Nous avons préparé un mélange granulaire de 250g constitué de 180g de cuivre massif et de 70g PVC. La régulation des paramètres de l'électrode-séparateur, vu qu'on utilise un programme qui installe l'intensité de la tension $U=30Kv$ ainsi que la taille des échantillons et qu'on change la vitesse du cylindre entre 55 et 180 tr/min.

La vitesse de 80tr/min est considérée comme la meilleure vitesse à laquelle les matériaux sont séparés, afin de donner une plage de temps moyenne pour les charges à l'intérieur des électrodes, et ainsi obtenir de bons et forts critères de séparation, et nous en concluons que plus la moyenne est élevée vitesse, meilleur est le processus de séparation.



figurIV.8.variation de vitesse de la particule pvc en fonction de la vitesse de cylindre

IV.5. mouvement des projectiles

Une fois que la charge a quitté le champ électrique, elle devient la somme des forces agissant sur le corps chargé lorsqu'il est exposé à un champ gravitationnel seul, la direction de son mouvement est une trajectoire de projectile avec une vitesse initiale et un angle d'inclinaison B la plage est contrôlée par les coordonnées x, y La plage x est contrôlée par Y, V_0 et a Où, après la sortie du corps chargé des électrodes, les vitesses initiales V_0 et Y_0 contrôlent la portée du projectile.

Conclusion:

Le processus de séparation dépend principalement du processus de charge. Car ce dernier se caractérise par son évolution selon la nature de la substance chargée, sa masse, ainsi que la vitesse de frottement. Le processus de séparation des échantillons dépend de plusieurs facteurs fondamentaux, à savoir la vitesse du cylindre, ainsi que la distance des électrodes les unes par rapport aux autres.

Conclusion générale

Le processus de séparation électrostatique des déchets est un processus facile, peu coûteux et simple. Le processus de séparation dépend de plusieurs variables clés et les méthodes d'expédition varient.

Où il peut être adopté dans l'expédition de matériaux polymères parce que ce dernier est rechargeable, et donc, pendant l'expédition, il attire les expéditions. Le processus de chargement du matériau contrôle la vitesse de rotation et donc la rugosité de la surface intérieure des échantillons.

La vitesse du processus de séparation est contrôlée par le cylindre chargé.

Le processus de charge électrique contrôle le volume de matériaux à séparer.

Il contrôle le processus de séparation des charges pour chaque dimension des électrodes les unes sur les autres. Lorsque la distance diminue, l'intensité du champ appliqué entre les deux électrodes augmente. Plusieurs variables contrôlent le processus de séparation, telles que la température et l'humidité. Alors que l'humidité a pour effet de fixer des pastilles d'eau microscopiques à la surface des matériaux à séparer, et pénètre ainsi dans les défauts à la surface des matériaux à séparer, provoquant des modifications de la charge.

Le processus de séparation électrostatique est considéré comme un processus efficace pour la séparation des matériaux car il aide à séparer les matériaux par exposition à un champ électrique et dépend principalement des composés internes des matériaux à séparer, et le taux de séparation atteint 95 %.

Bibliographie

- [1] Le service public de la diffusion du droit « loi n° 75-633 du 15 juillet 1975 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux »,
- [2] S. Atroune, A. Tilmatine, R. Alkama, A. Samuila and L. Dascalescu. «Comparative experimental study of tribo-electric charging of two size-classes of granular plastics », Particulate Science and Technology, vol.33, pp. 652-658, 2015.
- [3] S. Messal, « Procédés de séparation électrostatique de matériaux pulvérulents. Applications au recyclage des déchets et dans l'industrie agro-alimentaire ». Thèse Génie électrique. Poitiers : Université de Poitiers, 2016.
- [4] Govi, «Quelques expériences sur l'induction électrostatique » J. Phys. Theor. Appl.,Vol. 4, pp.264-266, 1875.
- [5] C. Dragan, « Modélisation du processus de charge et séparation tribo aereoelectrostatique de matériaux plastiques granulaires », Thèse de doctorat. Université de Poitiers, Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées, 2006.
- [6] H. Tarik, « Etude de méthode et réalisation d'un bac de test pour l'évaluation des propriétés électrostatique des textile », Thèse Doctorat, Université de science et technologie de Lille, 2005.
- [7] G. Richard, « Étude expérimentale et optimisation fonctionnelle des installations de séparation électrostatique de mélanges de matériaux granulaires ». Thèse Génie électrique. Poitiers : Université de Poitiers, 2018
- [8] S. Messal, « Procédés de séparation électrostatique de matériaux pulvérulents. Applications au recyclage des déchets et dans l'industrie agro-alimentaire ». Thèse Génie électrique. Poitiers : Université de Poitiers, 2016.
- [9] L. Dascalescu, «An introduction to ionizedgases, theory and applications », Toyohashi University of Technology, 1993.
- [10] H.J. White, «Industrial Electrostatic Precipitation » London,U.K.: Addison-Wesley, 1963.
- [11] J.A. Giacometti, S. Fedosov, and M.M. Costa, « Corona charging of polymers: recent advances on constant current charging » Brazilian Journal of Physics, Vol. 29, pp. 269- 279, 1999.
- [12] F. W. Peek, « Dielectric phenomena in high voltage engineering», New York: McGraw-Hill Book company, Inc., 1915.
- [13] J.S. Chang, Phil A. Lawless, T. Yamamoto., « Corona dischargeprocesses » IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 19, No. 6,1991.
- [14] N. Zouzou, E. Moreau et G. Touchard, « Précipitation électrostatique dans une configuration pointe-plan », J. Electrostat., Vol. 64, pp. 537-542, 2006.

- [15] G. Xiao, X. Wang, J. Zhang and M. Ni., « Current analysis of DC negative corona discharge in a wire cylinder configuration at high ambient temperatures », *J. Electrostat.*, Vol. 72, N° 02, pp. 107-119, 2014.
- [16] B. Khaddour, P. Atten and J. Coulomb, « Numerical solution and experimental test for corona discharge between blade and plate », *IEEE Trans. Mag.*, Vol. 43, N° 04, pp. 1193-1196, 2007.
- [17] A. Bendaoud, A. Tilmatine, K. Medles, M. Rahli, M. Huzau, and L. Dascalescu, « Characterization of dual corona electrodes for electrostatic processes applications », *IEEE Trans. Ind. Appl.*, Vol. 44, N° 03, pp. 692-698, 2008.
- [18] M. Yousfi, N. Merbahi, J. P. Sarrette, O. Eichwald, A. Ricard, J. P. Gardou, O. Ducasse and M. Benhenni, « Non-thermal plasma non thermal plasma sources of production of active species for biomedical uses : analyses, optimization and prospect », In *Biomedical Engineering – Frontiers and Challenges*, (Reza Fazel-Rezai), Rijeka, Croatia: Intech, August 2011.
- [19] C. Dragan, « Modélisation du processus de charge et séparation tribo-aeroelectrostatique de matériaux plastiques granulaires », Thèse de doctorat. Université de Poitiers, Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées, 2006.
- [20] Medley, J.A., « Fractional electrification of polar polymers. » In: *Nature*, vol 171, 1077, 1953.
- [21] Trifield, « Tribo-electric series », www.trifield.com/content/tribo-electric-series/.
- [22] Miloudi M, Medles K, Tilmatine A, Brahami M, Dascalescu L, « Modeling and optimization of a peopeller-type tribocharger for granular materials » *J. Electrostat.*, vol 69, pp. 631-637, 2011.
- [23] M.E.M. Zelmat, A. Tilmatine, M. Rizouga, R. Gouri, K. Medles, L. Dascalescu « Experimental analysis of a cyclone tribocharging device for free-fall triboelectric separation of plastic particles »; *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* Vol. 20, No. 5; October 2013.
- [24] A. Benabboun, A. Tilmatine, Y. Brahami, S. E. Bendimerad, M. Miloudi and K. Medles. « Experimental investigation of electrostatic separators of plastic particles using different charging devices », *Separation Science and Technology*, vol. 49, pp. 464-468, 2014.
- [25] J. D. Brown, P.F. Wynn. « Tribo-charging and Electrostatic Separation of Mixed Electrically Insulating Particles », U. S. Patent 6 927 354, August 9, 2005.
- [26] Dascalescu L., « Numerical analysis of the electric field of roll type electrostatic separators », *J. of electrostatics*, vol. 29, pp. 255-267, 1993.
- [27] A. Tilmatine, S. Bendimerad, F. Boukhoulda, K. Medles and L. Dascalescu. « Electrostatic separators of particles. Application to plastic/metal, metal/metal and plastic/plastic mixtures », *Waste Management*, vol. 29, pp. 228-232, 2009.
- [28] F. London, *Z. Physik*, « Intermolecular Interactions », N° 245, p 63, 1930.

- [29] Samuila, A., Dascalescu, L. «Comportareamaterialelorgranulareîncâmp electric». Cluj- Napoca, EdituraMediamira, 1999.
- [30] Morar R., Iuga Al., Dascalescu L. and Samuila A., "Factors which influence the insulation-metal electroséparation", J. of electrostatics, 30, (1993), pp. 403-412.
- [31] Dascalescu L., "Numerical analysis of the electric field of roll type electrostatic separators", J. of electrostatics, 29, (1993), pp.255-267.
- [32] Khaouani A., "Etude et réalisation d'un électro-séparateur de particules granuleuses isolant-métal", Mémoire de magister à l'université de Sidi Bel Abbes, Algérie (1997).
- [33] Higashiyama Y., Asano K., "Recent progress in electrostatic separation technology", Particulate Science and Technology, 16, (1998), pp.77-90.
- [34] A. Benabderrahmane, G. Richard, A. Tilmatine, A. M. Delisor, T. Zeghloul, L. Dascalescu, « Modeling and Optimization of a Roll-type Tribo-electrostatic Separator for Granular Plastic Mixtures », 2017 Annual Meeting of the Electrostatics Society of America, p. 9, June 13-15, 2017, Ottawa, Ontario, Canada.
- [35] A. Nadjem, « Etude et exploitation des charges électriques dans les procédés électrostatiques », Thèse de Doctorat, Université de Guelma 2018.
- [36] Thèse de Doctorat , Université sidi bel Abbes . ahlem ben abderrahmane

Résumé

Les déchets sont la principale cause de pollution dans l'océan, et par conséquent, il a Suggère plastes flacons de les réutiliser. L'électrolyse est l'une des méthodes de séparation de matériaux les plus efficaces et les moins coûteuses. Notre étude s'est basée sur la description du mouvement des charges électrocutes dans le séparateur électrique à l'aide de l'électrode cylindrique, puis sur l'étude du mouvement dans les étapes de charge et d'exposition des charges et la distance parcourue aux charges des événements pratiques, ainsi que étudier les éléments affectant le processus de séparation. Et extraire les mécanismes par lesquels le processus de séparation

Mots clés : séparation électrostatique , recalage , hôte tension , tribo-électrique , déchait granule

summary

Waste is the main cause of pollution in the ocean, and therefore, he suggested several ways to re-use it. Electrolysis is one of the most effective and inexpensive methods of material separation. Our study was based on the description of the movement of electric charges in the electric separator using the cylindrical electrode, and then studying the movement in the stages of charging and exposing the charges and the distance traveled to the charges of practical events, as well as studying the elements affecting the separation process. And extract the mechanisms through which the separation process.

Keywords : electrostatique separation , recalage , host voltage , tribo-electrique , granular shreds

ملخص

تعتبر النفايات المسبب الرئيسي للتلوث في المحيط، وعليه فإنه اقترحت عدة طرق لإعادة الاستفادة منه، وتعتبر عملية الفصل الكهربائي للمواد واحدة من أفضل الطرق الفعالة والغير مكلفة في عملية فصل المواد، واعتمدت دراستنا على توصيف حركة الشحنات الكهربائية في الفاصل الكهربائي بالاستعمال القطب الكهربائي الاسطواني، ومن ثم دراسة الحركة في مراحل شحن وتعرض الشحنات والمسافة المقطوعة لشحنات لإحداث العملية، وكذلك دراسة العناصر المؤثرة في عملية الفصل. واستخلاص الآليات التي تتم من خلالها عملية الفصل.

الكلمات المفتاحية: النفايات المسترجعة، الفصل الكهروستاتيكي، الجهد المضعف، استعادة، ترو كهربائية