

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:...../2022



MEMOIRE

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

Domaine: Sciences et Technologie

Filière: Electrotechnique

Spécialité: Réseaux électriques

Par: HAMIDA Rima

Thème

**Séparation électrostatique d'un mélange granulaire isolant:
Application à la récupération des bouteilles en plastique**

Soutenu publiquement, le 18 Juin 2022 devant le jury composé de:

M. KACHI Miloud	Pr.	Univ. Guelma	Président/ Examineur
M. REMADNIA Mokdad	MCA	Univ. Guelma	Encadreur
M. BOUCHELKHA Abdelhafid	MAA	Univ. Guelma	Examineur

Année Universitaire: 2021/2022

Remerciements

Je remercie tout d'abord Dieu tout puissant de m'avoir donné le courage, la force et la patience d'achever ce modeste travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à mon encadreur **Dr. Mokdad REMADNIA**, pour sa patience, son soutien, ses précieux conseils, son aide, sa disponibilité tout au long de mes études et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Je souhaite remercier tout particulièrement les enseignants du département de **Génie Électrotechnique et Automatique** et du **Laboratoire de Génie Électrique** de l'Université **8 Mai 1945 - Guelma** pour leur disponibilité et encouragement, ainsi que tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Mes remerciements vont également aux **membres du jury** pour avoir accepté d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

En fin, je remercie tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à la réussite de ce travail et qui n'ont pas pu être cités ici.

Sommaire

Introduction générale	01
-----------------------	----

CHAPITRE 1 – RECYCLAGE DES MATIÈRES PLASTIQUES

I.1. Introduction	02
I.2. Les matériaux plastiques	02
I.2.1. Définition du plastique	02
I.2.2. Constitution des matières plastiques	02
I.2.3. Différents types de matières plastiques	03
I.2.3.1. Thermoplastiques	03
I.2.3.2. Thermodurcissables	03
I.2.3.3. Elastomères	03
I.3. Déchets plastiques	03
I.4. Le recyclage	04
I.4.1. Définition du recyclage	04
I.4.2. Recyclage mono-matière	05
I.4.3. Recyclage des mélanges de matières plastiques	05
I.5. Conclusion	05

CHAPITRE II – TECHNIQUES DE CHARGEMENT TRIBOELECTRIQUE DES MATERIAUX ISOLANTS

II.1. Introduction	06
II.2. Chargement par décharge couronne	06
II.3. Chargement par effet triboélectrique	06
II.3.1. Série triboélectrique	07
II.3.2. Dispositifs de chargement triboélectrique	08
II.3.2.1. Dispositif de charge par ventilateur	08
II.3.2.2. Dispositif de charge par cyclone	08
II.3.2.3. Dispositif de chargement statique	09
II.3.2.4. Dispositif de charge à lit fluidisé	10
II.3.2.5. Dispositif de charge à cylindre rotatif	11
II.4. Conclusion	12

CHAPITRE III – INSTALLATIONS DE SEPARATION TRIBO-ELECTROSTATIQUE DES MATERIAUX GRANULAIRES ISOLANTS

III.1. Introduction	13
III.2. Qu'est-ce que la séparation électrostatique?	13
III.3. Séparateurs tribo-électrostatiques	13
III.3.1. Séparateur à chute libre	13
III.3.2. Séparateur tribo-électrique à tapis roulant	14
III.3.3. Séparateur tribo-électrostatique à tambour	15
III.4. Dispositifs de séparation tribo-aéro-électrostatique de matériaux granulaires isolants	15
III.4.1. Séparateur tribo-aéro-électrostatique à électrodes verticales	16
III.4.2. Séparateur tribo-aéro-électrostatique à disques tournants	16
III.4.3. Séparateur tribo-aéro-électrostatique à deux bandes transporteuses	17
III.4.4. Séparateur tribo-aéro-électrostatique à deux étages	18
III.5. Conclusion	19

CHAPITRE IV – ETUDE D'UN SEPARATEUR ELECTROSTATIQUE A CHUTE LIBRE

IV.1. Introduction	20
IV.2. Présentation du séparateur à chute libre	20
IV.2.1. Dispositif de chargement triboélectrique à lit fluidisé	23

IV.2.2. Techniques de mesure et procédure expérimentale	23
IV.2.3. Déroulement des expériences	24
IV.2.4. Mesure de la température et de l'humidité relative	25
IV.2.5. Mesure de la masse granulaire	26
IV.2.6. Mesure de la vitesse de l'air de fluidisation	26
IV.2.7. Mesure de la charge triboélectrique	27
IV.2.8. Mesure de potentiel de surface	27
IV.3. Matériaux utilisés	28
IV.3.1. Le polyéthylène haute densité	29
IV.3.2. Le polyéthylène téréphtalate	29
IV.4. Résultats et discussion	29
IV.4.1. Mesure de la charge électrique en fonction du temps de chargement	29
IV.4.2. Mesure de potentiel de surface en fonction du temps de chargement	30
IV.4.3. Influence de la vitesse de l'air de fluidisation sur les résultats de séparation	31
IV.4.4. Influence de la tension appliquée sur les résultats de séparation	33
IV.4.5. Influence de la composition du mélange sur les résultats de séparation	35
IV.6. Conclusion	37
Conclusion générale	38
Bibliographie	39

Introduction générale

Produites essentiellement à partir du pétrole, les matières plastiques sont l'un des symboles du XXe siècle. A nos jours les pièces en matières plastiques peuplent notre vie quotidienne dans tous les domaines d'utilisation. La matière plastique remplace les autres matériaux à savoir, le métal, le carton, le bois, les verres, la céramique et autres matériaux. Qu'il s'agisse des éléments dans les domaines de l'automobile, de l'aéronautique et navale aussi les meubles, les appareils électroménagers, le matériel électrique, le matériel médical et les moyens de transport. Partout l'utilisation des matériaux plastiques apportent des solutions de fabrications simples, de réalisations fiables et esthétiques suite à la diversité des procédés de mise en forme. Le plastique est tellement omniprésent qu'il est souvent considéré comme un matériau sans valeur. Cette perception conduit à jeter les déchets dans des décharges plutôt que de les traiter. Pourtant les plastiques sont des matériaux issus de technologies complexes. Les consommateurs doivent apprendre à valoriser le plastique afin de pouvoir encourager la réutilisation et le recyclage du matériau.

Les technologies électrostatiques se sont imposées comme la solution de choix pour le recyclage des matériaux isolants contenus dans les déchets. D'autant plus que la séparation électrostatique est une technologie non-polluante, caractérisée par une faible consommation d'énergie, ainsi que par des coûts réduits d'exploitation et d'entretien. Le principe de fonctionnement de ce type de séparateurs consiste à charger les particules du mélange par effet triboélectrique à l'aide d'un dispositif de chargement qui seront par la suite soumises à un champ électrique intense.

L'objectif principal de ce travail consiste à étudier la faisabilité du processus de séparation électrostatique d'un mélange granulaire isolant (PET/PEHD) en utilisant un séparateur électrostatique à chute libre associé à un dispositif de chargement tribo-électrique à lit fluidisé. Le mémoire comporte quatre chapitres qui se présentent comme suit:

Le premier chapitre est tout d'abord consacré à la présentation de l'état de connaissance sur l'importance des matériaux plastiques, ainsi que le recyclage de ces déchets.

Dans **le deuxième chapitre** nous avons présenté quelques notions sur les techniques de chargement tribo-électrique des matériaux isolants et les différents dispositifs utilisés pour le chargement triboélectrique.

Le **troisième chapitre** décrit les différents dispositifs de séparation tribo-électrostatiques y compris une brève description sur leur principe de fonctionnement.

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude d'un séparateur tribo-électrostatique à chute libre, conçu au Laboratoire de Génie Électrique de Guelma de l'Université 8 mai 1945.

Chapitre I

Recyclage des matières plastiques

I.1. Introduction

Le recyclage des déchets signifie s'en servir à nouveau. C'est une chose possible en réutilisant entièrement ou en partie les matériaux qui constituent les produits aujourd'hui. Le nombre de produits qui finissent par devenir des déchets augmente rapidement. Le recyclage contribue à diminuer les quantités de déchets à stocker en décharge ou incinérer, mais il reste insuffisant pour contrer l'augmentation de la production des déchets.

I.2. Les matériaux plastiques

Les matériaux plastiques jouent un rôle très important dans notre vie quotidienne, leurs applications sont de plus en plus vaste, la demande mondiale de ces matières augmente d'une année à une autre.

I.2.1. Définition du plastique

La matière plastique est définie comme une substance polymère d'origine organique ou semi-organique, contenant un grand nombre d'atomes (ou groupes) de carbone, oxygène, hydrogène ou azote [1]. La majorité des plastiques (99%) utilisés dans le monde est fabriqués à partir de pétrole et de gaz naturel [2].

I.2.2. Constitution des matières plastiques

La matière plastique utilisée par les industrielles sous plusieurs nuances et noms elle est constituée principalement d'un polymère, un adjuvant et un additif. Ces différents composés sont introduits dans le polymère de base pour améliorer les propriétés mécanique, physiques, chimiques et thermique (résistance aux chocs, résistance au courant électrique, résistance au vieillissement, résistance aux hydrocarbures).

I.2.3. Différents types de matières plastiques

Les fabricants offrent une très grande diversité de produits, mais il existe trois grandes catégories de matières plastiques: les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères.

I.2.3.1. Thermoplastiques

Sous l'action de la chaleur, les thermoplastiques ramollissent et deviennent souples. On peut alors leur donner une forme qu'ils garderont en refroidissant. La transformation est réversible et renouvelable un grand nombre de fois, les thermoplastiques sont ainsi facilement recyclables. Cependant ils ne sont pas biodégradables et ont une durée de vie de plusieurs centaines d'années. En fonction de la polymérisation on obtient différents produits qui sont [3]:

- les PVC (Chlorure de Polyvinyle)
- les polyéthylènes
- les polystyrènes
- les polypropylènes

I.2.3.2. Thermodurcissables

Au premier refroidissement ces plastiques prennent une forme définitive. Ils deviennent durs et ne se ramollissent plus une fois moulés. C'est une technique de fabrication difficile à mettre en œuvre mais les matériaux produits sont très solides et très résistants à la chaleur et aux agressions chimiques [2]. [4]. Les plus connus sont les phénoplastes (ou bakélite) (PF21), les polyesters (UP), les époxydes (araldite) (EP), les polyuréthanes (PUR)...

I.2.3.3. Elastomères

Ces polymères présentent les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc. Les élastomères sont caractérisés par leur grande déformabilité (6 à 8 fois leur longueur initiale), et sont obtenus à partir de polymères linéaires caractérisés par des liaisons extrêmement faibles [3]. A côté du caoutchouc naturel, il existe de nombreuses nuances obtenues à partir de dérivés du pétrole: butyle (IIR), Silicone (SI), polyacrylate (ACM), butadiène acrylonitrile (NBR), élastomère fluoré (FKM)... [5].

I.3. Déchets plastiques

Les déchets plastiques sont tous les résidus de processus de production, de transformation et de consommation, ou encore les produits plastiques destinés à l'abandon. Les déchets plastiques ont de différentes origines :

Il existe deux principales sources de déchet plastiques [6]:

- ❖ Les déchets issus de sous produits industriels qui sont souvent des résidus de leur mise en œuvre. Leur composition est connue du fabricant donc facile à collecter car les stocks sont homogènes, non pollués et facilement identifiables. Ces déchets peuvent être directement recyclés par le producteur.
- ❖ Les déchets de post consommation. Ils sont principalement collectés dans ordures ménagères et industrielles non plasturgistes. Ces matériaux sont généralement pollués mélangés et incompatibles entre eux, ce qui rend difficile leur simple mélange ou compactage pour en faire de nouveaux produits. Ce problème trouvera certainement sa solution dans les nouvelles techniques d'identification des déchets par soit les symboles frappés sur produits ou par code barre collés ou imprimés sur produits

I.4. Le recyclage

I.4.1. Définition du recyclage

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets (déchet industriel ou ordures ménagères) qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui composaient un produit similaire arrivé en fin de vie, ou des résidus de fabrication [7-8].

Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois *R* :

- ❖ réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets
- ❖ réutiliser, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage
- ❖ recycler, qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage.



Figure I.1: Symbole du recyclage.

I.4.2. Recyclage mono-matière

Il s'agit, la plupart du temps, de séparer les matières plastiques des autres matériaux tels que le verre, le sable, les métaux, les papiers et cartons... mais, également, de séparer les matières plastiques par famille. Généralement, les installations de tri assurent ces deux aspects de la question par une cascade d'opérations unitaires débouchant sur un flux de matières purifiées et un flux de sous-produits, considérés comme des déchets du processus et qu'il convient d'éliminer (incinération, mise en décharge, voire valorisation matière dans certains cas). Les méthodes de tri sont relativement nombreuses mais les méthodes couramment appliquées sont en nombre plus restreint, certains procédés s'avérant pour l'instant peu économiques [8].

I.4.3. Recyclage des mélanges de matières plastiques

Il peut s'avérer pratiquement (séparation délicate) ou économiquement (diminution du coût de recyclage en évitant l'étape de tri) intéressant de recycler des déchets plastiques sous forme de mélanges contenant deux produits ou plus; le problème est que les polymères impliqués sont généralement incompatibles, lorsqu'on veut faire un mélange, on essaye de disperser au mieux une phase dans l'autre. Pour cela, on est parfois amené à utiliser un composé supplémentaire qui permettra de comptabiliser le mélange en améliorant ses propriétés [9].

I.5. Conclusion

Les matières plastiques occupent une place dominante dans l'ensemble des produits de consommation en raison des propriétés qu'on leur connaît. Leur présence dans la nature crée des impacts sur les écosystèmes. Le tri et le recyclage de déchets permettent de limiter fortement le gaspillage des ressources naturelles, participe à la préservation de l'environnement et permet de pérenniser l'approvisionnement de l'industrie en matières premières.

Chapitre II

Techniques de chargement triboélectrique des matériaux isolants

II.1. Introduction

Deux mécanismes sont généralement utilisés pour charger les matériaux isolants en vue de leur séparation dans un champ électrique intense: la décharge couronne et l'effet triboélectrique.

II.2. Chargement par la décharge couronne

La décharge couronne est une décharge électrique autoentretenu dans un gaz, dont la zone active, où se produisent l'ionisation et les phénomènes d'avalanche, est limitée dans l'espace par la décroissance du champ électrique, par opposition aux décharges de type étincelle ou arc, pour lesquelles la décharge est limitée géométriquement par une électrode. La décharge couronne nécessite donc une configuration produisant un champ fortement divergent, c'est-à-dire généralement une électrode à faible rayon de courbure: pointe arête ou fil [10]. L'effet couronne se produit sur tous les conducteurs, dès que le champ électrique à la surface du conducteur devient suffisamment grand, l'air s'ionise et forme autour du conducteur une couronne lumineuse [11].

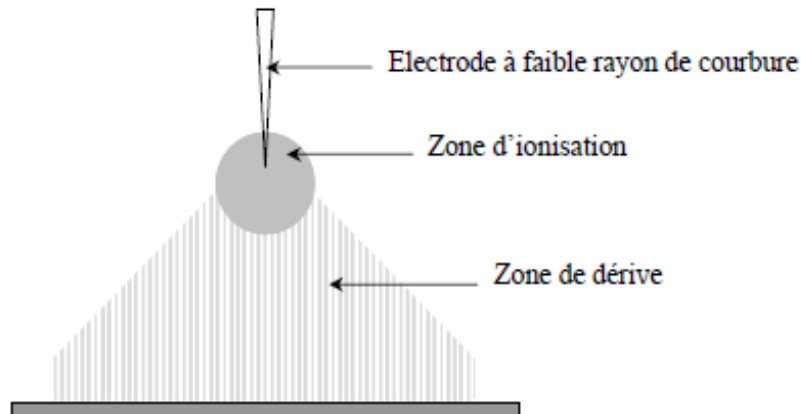


Figure II.1: Zones d'ionisation et de dérive dans la décharge couronne [12].

II.3. Chargement par effet triboélectrique

Le chargement par effet triboélectrique, ou par frottement, est un phénomène caractérisé par le transfert de charges entre deux corps électriquement neutres suite à leur séparation après un contact intime (Figure II.2). Ce transfert de charges entraîne le chargement d'un matériau positivement et l'autre négativement. Si l'un des matériaux présente une conductivité faible, les charges ainsi générées resteront après séparation et de nouveaux contacts auront pour effet de produire de nouveaux transferts de charges. Ce phénomène est

influencé par plusieurs facteurs internes et externes dont l'influence aura une conséquence directe sur l'efficacité du transfert de charge [13].

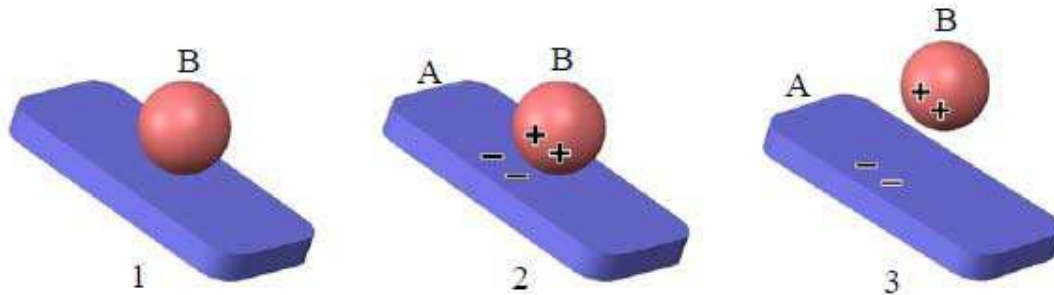


Figure II.2: L'échange de la charge électrique entre deux surfaces par effet triboélectrique: 1. Surface « A » et la particule « B » sont neutres; 2. La surface A et la particule « B » sont en contact; 3. Après la séparation, la surface « A » a la tendance de se charger négativement, et la particule « B » positivement.

II.3.1. Série triboélectrique

Une série triboélectrique est un classement des corps selon leur tendance à se charger positivement ou négativement, un corps est placé avant un autre dans la série s'il a tendance à lui céder des électrons (c.-à-d à se charger positivement) quand les deux corps sont mis en contact ou frottés l'un contre l'autre. Cette série est déterminée par la permittivité, les permittivités les plus élevées appartenant aux polymères les plus fortement donneurs.

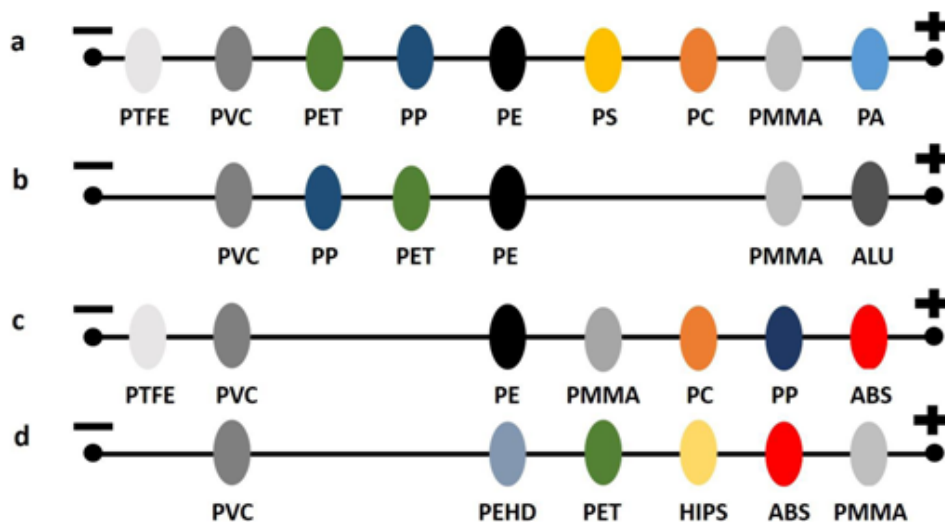


Figure II.3: Série triboélectrique expérimentale pour différents matériaux plastiques utilisés dans la fabrication des équipements informatiques et électriques selon différents auteurs: a [14], b [15], c [16], d [17].

D'une manière plus rigoureuse, le caractère donneur ou accepteur peut être lié au travail d'extraction, les polymères donneurs étant ceux dont le travail d'extraction est le plus faible [18]. A travers les années, plusieurs séries triboélectriques ont été établies (figure II.3).

II.3.2. Dispositifs de chargement triboélectrique

Beaucoup de travaux ont été effectués sur les dispositifs de chargement triboélectrique, ces derniers utilisent essentiellement: des ventilateurs, des cylindres rotatifs, des lits fluidisés (créés par des soufflantes ou des compresseurs), des micro-cyclones, ou des chargeurs statiques.

II.3.2.1. Dispositif de charge par ventilateur

La rotation de l'hélice crée un courant d'air descendant donnant naissance à des turbulences aérodynamiques multipliant les collisions des particules granulaires à l'intérieur du cylindre. Les particules granulaires isolantes sont placées dans le dispositif de chargement triboélectrique, puis le moteur à courant continu est mis en marche pendant une durée déterminée et à une vitesse désirée (figure II.4). Les particules isolantes se mettent en mouvement et deux types de collisions se produisent : particules contre les parois du cylindre et particules entre elles [19].

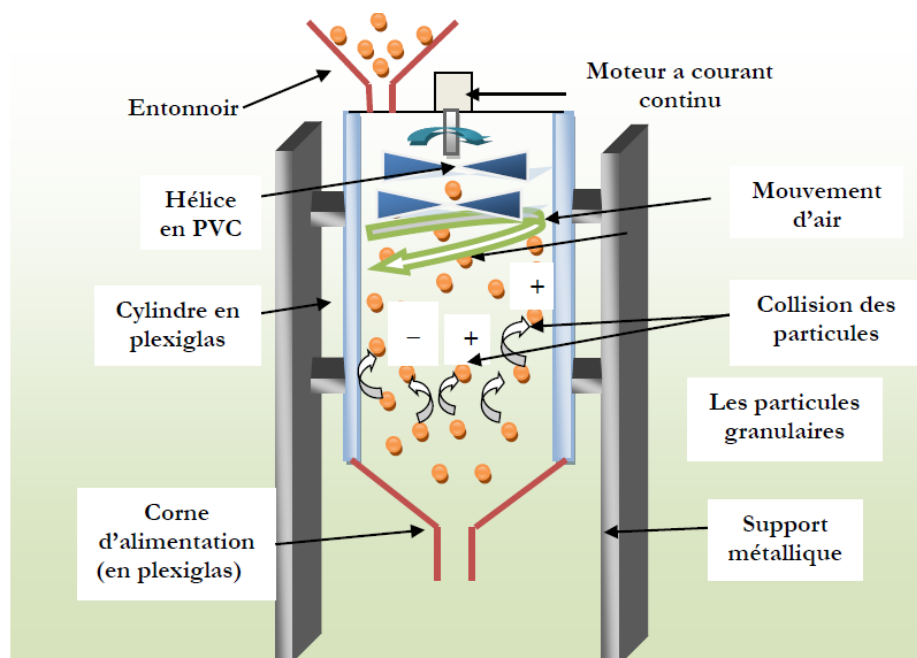


Figure II.4: Représentation schématique d'un dispositif de chargement par ventilateur [19].

II.3.2.2. Dispositif de charge par cyclone

Le dispositif est constitué d'un cylindre isolant disposé en position verticale et un ventilateur dont la vitesse de rotation peut être modifiée (Figure II.5). Il permet de souffler les particules à charger par frottement avec les parois internes du dispositif [20].

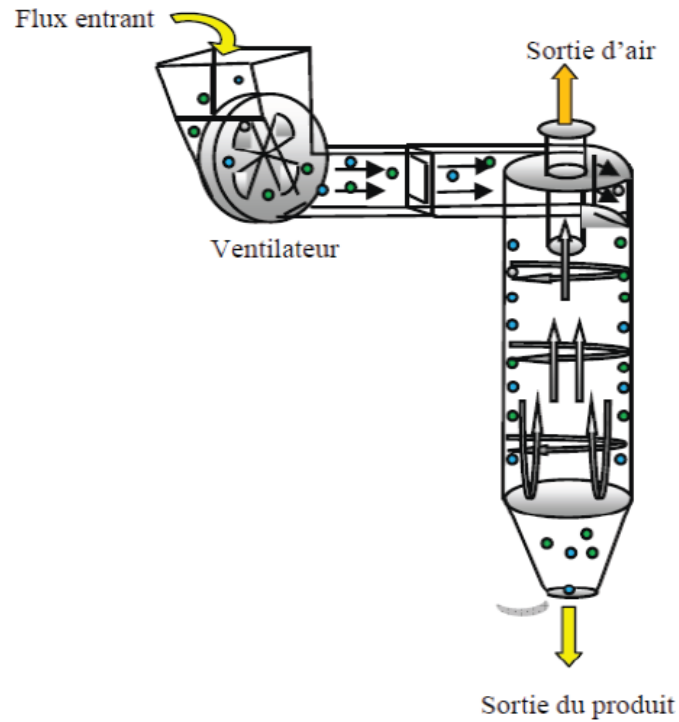


Figure II.5: Représentation schématique d'un dispositif de chargement par cyclone [19].

II.3.2.3. Dispositif de chargement statique

Le dispositif de chargement statique est une enceinte parallélépipédique en matière isolante (Figure II.6), plusieurs plaques inclinées et détachables sont disposées à l'intérieur de l'enceinte. Les particules glissent le long de ces plaques par gravitation et se chargent par frottement avec celles-ci [21].

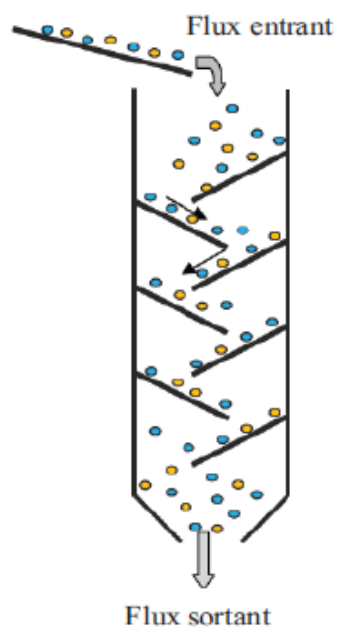


Figure II.6: Représentation schématique d'un dispositif de chargement statique [21].

II.2.3.4. Dispositif de charge à lit fluidisé

C'est le procédé le plus utilisé pour le chargement tribo-électrique. Le dispositif a souvent la forme d'un tube cylindrique isolant, en position verticale. Le mélange de particules est déposé sur un support (un diffuseur d'air, en tamis isolant), situé en bas du cylindre. L'air de fluidisation est produit d'une soufflante connectée au bas du cylindre. Les particules fluidisées acquièrent des charges électriques de signes opposés grâce aux collisions entre elles. Le fonctionnement du lit fluidisé dans ces dispositifs est défini par six phénomènes [22]:

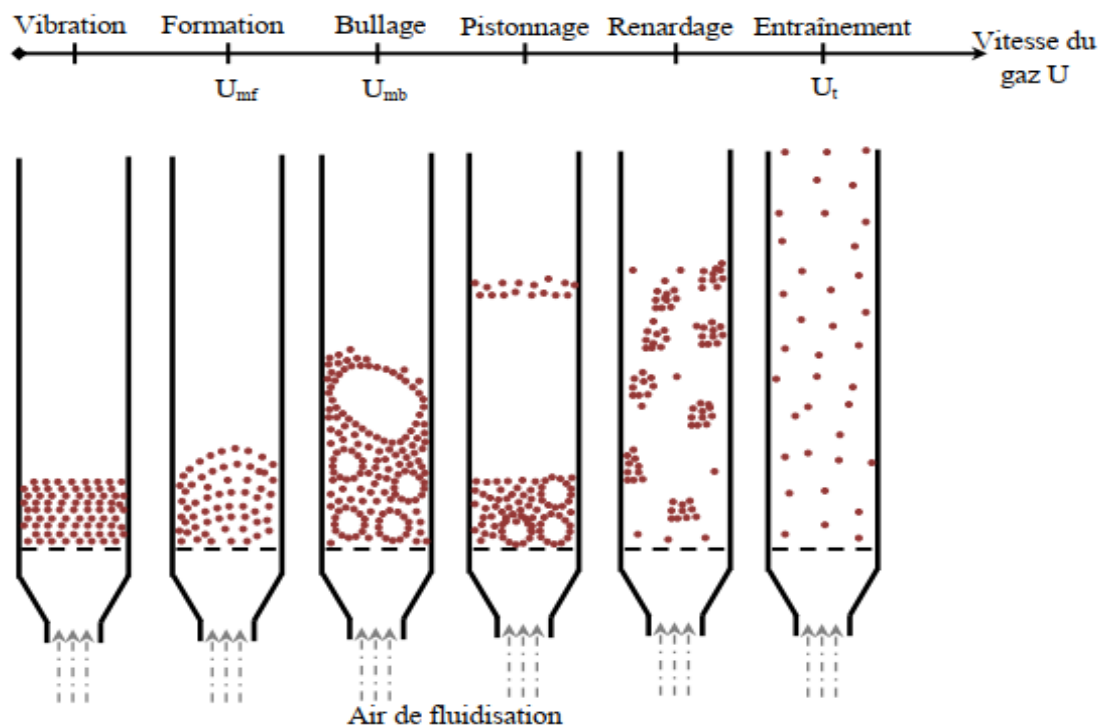


Figure II.7: Régimes d'un lit fluidisé en fonction de la vitesse de fluidisation [23].

- ❖ **La vibration:** pour les plus faibles vitesses du gaz, la couche des particules reste sur le tamis sans mouvements visibles. Si on augmente encore la vitesse, on observe des vibrations de particules.
- ❖ **La formation:** le lit commence à être fluidisé (avoir des caractéristiques similaires aux fluides: ondes, petites bulles, viscosité ...) grâce à une vitesse superficielle de gaz égale ou supérieure à la vitesse minimale de fluidisation U_{mf} . Le lit montre une certaine expansion de la couche de particules, la transition entre l'état fixe et l'état fluidisé du lit de particules est alors atteinte.
- ❖ **Le bullage:** à une vitesse de gaz égale ou supérieure à la vitesse minimum de bullage U_{mb} , des bulles se forment dans la région de la plaque poreuse permettant la distribution

du gaz au bas du cylindre, s'élèvent dans le lit, grossissent par coalescence et viennent finalement éclater en surface comme dans le cas d'un liquide en ébullition.

- ❖ **Le pistonnage:** en excès au-delà de U_{mb} , le diamètre des bulles atteint cette fois des dimensions comparables à celles du cylindre. Il y a alternance dans le lit de passage de grosses bulles et de lit stable. La surface du lit se soulève et retombe de manière très régulière.
- ❖ **Le renardage:** les particules s'accrochent et créent des passages préférentiels pour le gaz.
- ❖ **L'entraînement:** quand la vitesse du gaz est approximativement égale à la vitesse limite de chute des particules dans le gaz au repos U_t , l'ensemble des particules est alors expulsé hors de la chambre de fluidisation.

II.2.3.5. Dispositif de charge à cylindre rotatif

Le dispositif consiste en un tube isolant utilisé comme installation de chargement triboélectrique. Le mélange granulaire est mis en mouvement à l'intérieur du cylindre, qui tourne autour d'un axe horizontal légèrement incliné (Figure III.8), les particules passent à travers le tube par la force de la pesanteur. Afin de créer l'agitation du mélange granulaire, dans le tube il y a des nervures faites de la même matière que le tube lui-même. Ils se prolongent radialement vers l'intérieur de la paroi du tube. L'accumulation de la charge par les particules est due aux deux mécanismes: la collision entre particules et entre particules et la paroi du cylindre [13, 20].

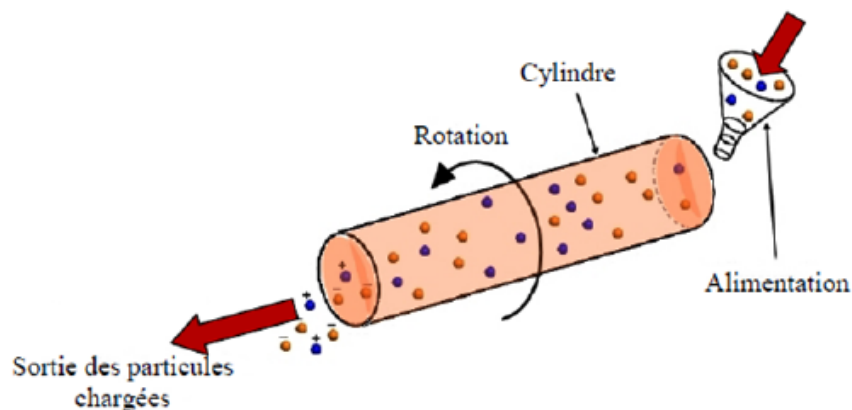


Figure II.8: Dispositif de tribo-charge à cylindre rotatif [20].

II.3. Conclusion

Plusieurs travaux de recherche ont été effectués sur des dispositifs de chargement triboélectrique dont l'efficacité a déjà été prouvée pour des applications particulières. Dans ce chapitre nous avons présenté une synthèse bibliographique sur les techniques de chargement des matériaux isolants, en mettant l'accent sur les différents dispositifs de chargement triboélectrique

Chapitre III

Installations de séparation tribo- électrostatique des matériaux granulaires isolants

III.1. Introduction

Multiplés recherches ont été effectuées sur la séparation électrostatique des matériaux pour répondre aux besoins de l'industrie du recyclage des déchets d'équipements électriques et électroniques. Dans ce chapitre, nous allons passer en revue les différentes installations destinées à la séparation électrostatique des matériaux granulaires isolants chargés par effet triboélectrique.

III.2. Qu'est-ce que la séparation électrostatique?

La séparation électrostatique des métaux et des matériaux isolants contenus dans un mélange granulaire est une technique de plus en plus utilisée dans l'industrie du recyclage des déchets [24]. C'est un processus qui utilise des charges électrostatiques pour séparer les particules broyées du matériau. Généralement, les charges électrostatiques sont utilisées pour attirer ou repousser des matériaux chargés différemment. Lorsque la séparation électrostatique utilise la force d'attraction pour trier les particules, les particules conductrices adhèrent à un objet chargé de manière opposée, tel qu'un tambour en métal, ce qui les sépare du mélange de particules. Lorsque ce type de valorisation utilise la force de répulsion, il est normalement utilisé pour modifier la trajectoire des objets qui tombent afin de les trier en différents endroits. De cette façon, lorsqu'un mélange de particules tombe devant un objet repoussant, les particules avec la charge appropriée tombent des autres particules lorsqu'elles sont repoussées par l'objet chargé de manière similaire [25].

III.3. Séparateurs tribo-électrostatiques

Le fonctionnement des installations de séparation tribo-électrostatiques nécessite pour leur fonctionnement deux étapes: le chargement par le frottement et la séparation dans un champ électrique intense.

III.3.1. Séparateur à chute libre

Le mélange granulaire est chargé par le dispositif triboélectrique, un matériau avec une charge négative et l'autre avec une charge positive. Dans cette installation (Figure III.1), les granules chargés seront déviés vers l'électrode ayant la polarité de signe opposé [26].

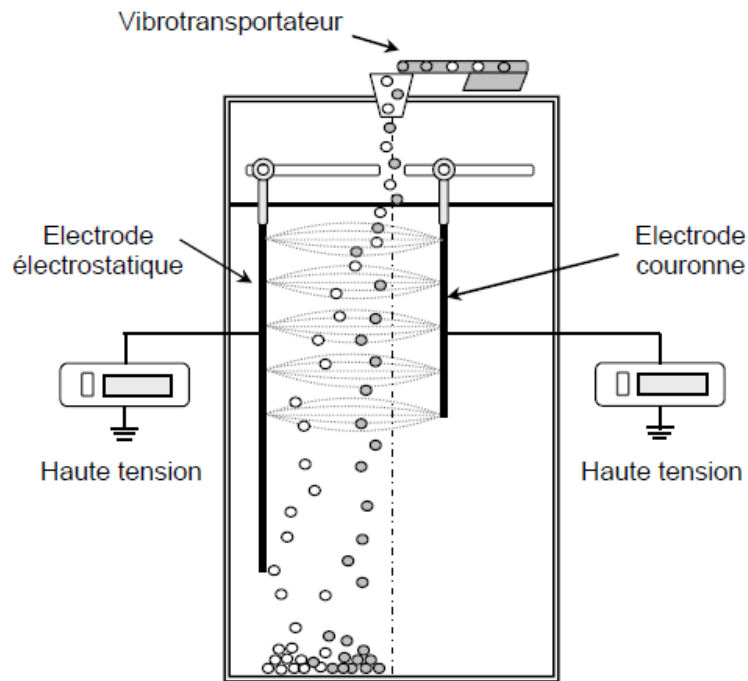


Figure III.1: Séparateur triboélectrostatique à chute libre [26].

III.3.2. Séparateur tribo-électrique à tapis roulant

Le dispositif comprend pour son fonctionnement deux phases:

- une phase de chargement statique où le mélange granulaire introduit par un vibro-transporteur; les particules sont soumises à la pesanteur et entrent en collision avec les différentes parois entraînant leur chargement triboélectrique
- une phase de séparation électrostatique où les particules chargées tombent sur un tapis roulant reliée à la terre qui les transportent vers la zone de séparation.

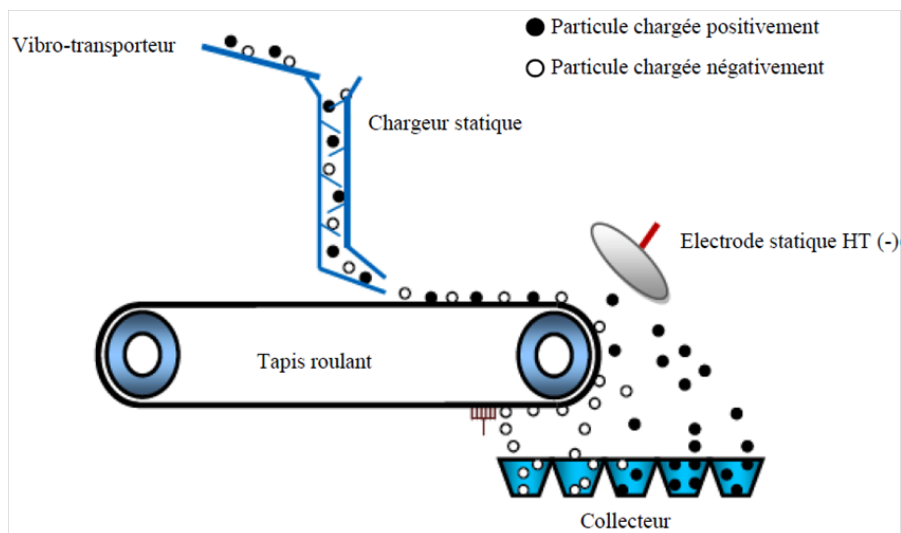


Figure III.2: Représentation schématique d'un séparateur triboélectrique à tapis roulant [23].

La séparation est réalisée par une électrode haute tension qui attire les particules d'une polarité et repousse les particules de polarité opposée, grâce aux forces électriques d'attraction et de répulsion, permettant ainsi la séparation (Figure III.2).

III.3.3. Séparateur tribo-électrostatique à tambour

Dans un séparateur tribo-électrostatique à tambour, les particules qui sont préalablement chargées, arrivent sur une électrode cylindrique tournante reliée à la terre sur laquelle elles vont se coller par la force d'image électrique. Un champ électrique est créé entre le tambour et une électrode reliée à la haute tension négative. Les particules chargées positivement, en entrant dans la zone d'application du champ électrique, vont alors être attirées par l'électrode HT. Leurs trajectoires vont donc se modifier et elles vont atterrir dans le bac A. Celles chargées négativement vont être repoussées par l'électrode HT et rester collées sur l'électrode cylindrique. Un balai les décollera afin qu'elles atterrissent dans le bac numéro B [27].

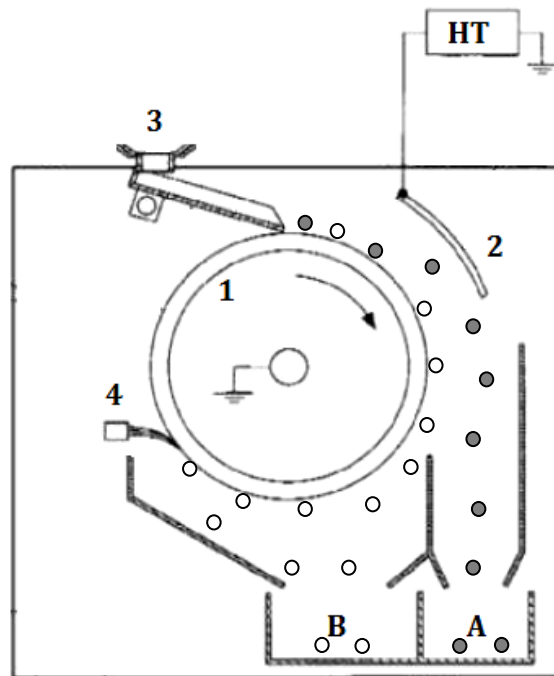


Figure III. 3: Schéma du séparateur tribo-électrostatique à tambour: (1) Electrode cylindrique reliée à la terre, (2) Electrode HT, (3) Vibro-transporteur, (4) Brosse.

III.4. Dispositifs de séparation tribo-aéro-électrostatique de matériaux granulaires isolants

Dans cette catégorie d'installation, le chargement et la séparation sont combinées en une seule opération c.-à-d. le produit granulaire est chargé et séparé simultanément.

III.4.1. Séparateur tribo-aéro-électrostatique à électrodes verticales

Les deux opérations de chargement et séparation sont combinées en une seule opération. Un des avantages de cette solution réside dans le fait que les particules moins chargées ne quitteront pas la zone active de séparation jusqu'à ce qu'ils acquièrent une charge suffisante pour permettre aux forces électriques de les conduire à l'électrode de polarité opposée [23]. Le dispositif se compose essentiellement de deux électrodes verticales à l'intérieur d'une enceinte parallélépipédique isolante, reliées à deux alimentations haute tension continue de polarités inversées. La fluidisation est réalisée par un souffleur d'air à vitesse variable. Les deux électrodes attirent les particules chargées de signe opposé et repoussent celles de même signe, pour les dévier vers les collecteurs [28].

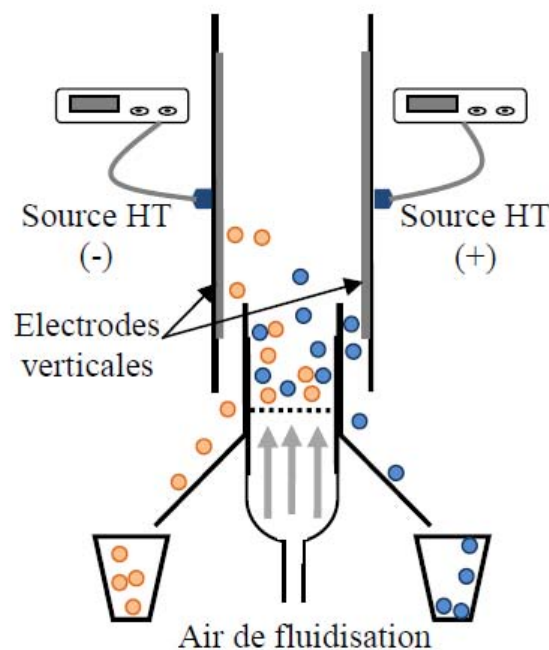


Figure III.4: Schéma du séparateur tribo-aéro-électrostatique à électrodes verticales [20].

III.4.2. Séparateur tribo-aéro-électrostatique à disques tournants

C'est une installation destinée à la séparation des particules fines de plastique. Deux disques métalliques sont montés sur le même arbre (Figure III.5), entraîné par un moteur électrique, afin de les tourner dans un mélange de particules fluidisé. Ces deux disques qui sont alimentés par deux sources de haute tension de polarités opposées, soulèvent les particules chargées. Des balais sont utilisés pour récupérer les particules collées aux disques [20, 23, 29].

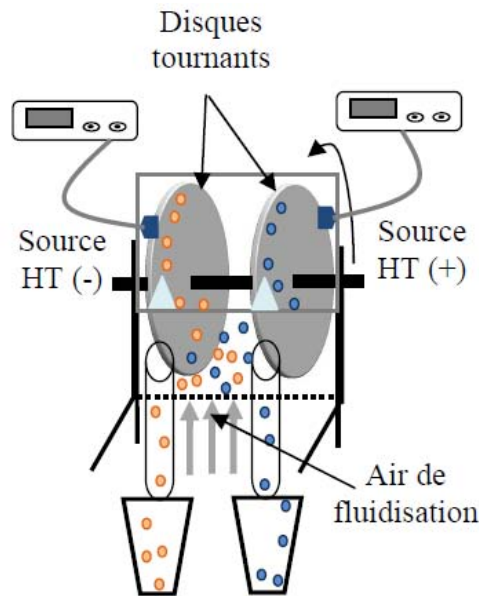


Figure III.5: Représentation schématique d'un séparateur tribo-aéro-électrostatique à disques tournants [20].

III.4.3. Séparateur tribo-aéro-électrostatique à deux bandes transporteuses

Le mélange de matériaux isolants granulaires est introduit dans le séparateur tribo-aéro-électrostatique (Figure III.6) ensuite le diffuseur et le filtre permettent respectivement l'admission et l'évacuation de l'air comprimé utilisé pour créer un gradient négatif de pression en direction verticale. Les granules à l'intérieur de la chambre de séparation forment un lit fluidisé. Le débit de l'air de fluidisation est ajusté par un régulateur de pression à une valeur assurant le fonctionnement du lit fluidisé en régime d'ébullition, favorisant ainsi les impacts entre les granules et leur électrisation par effet tribo-électrique. Chaque granule chargée positivement ou négativement se déplace sous l'action de la force de Coulomb dans le champ électrique horizontal créé entre deux électrodes de type tapis roulants métalliques. Les deux électrodes sont alimentées par des générateurs de haute tension continue et ajustable. Les granules chargés positivement se déplacent dans le sens du champ électrique, vers l'électrode négative et les granules chargés négativement sont dirigés vers l'électrode positive. Soumis à l'action de la force d'image électrique, les granules chargés adhèrent à la surface des électrodes de polarités opposées, qui les entraînent vers le collecteur de produits [30].

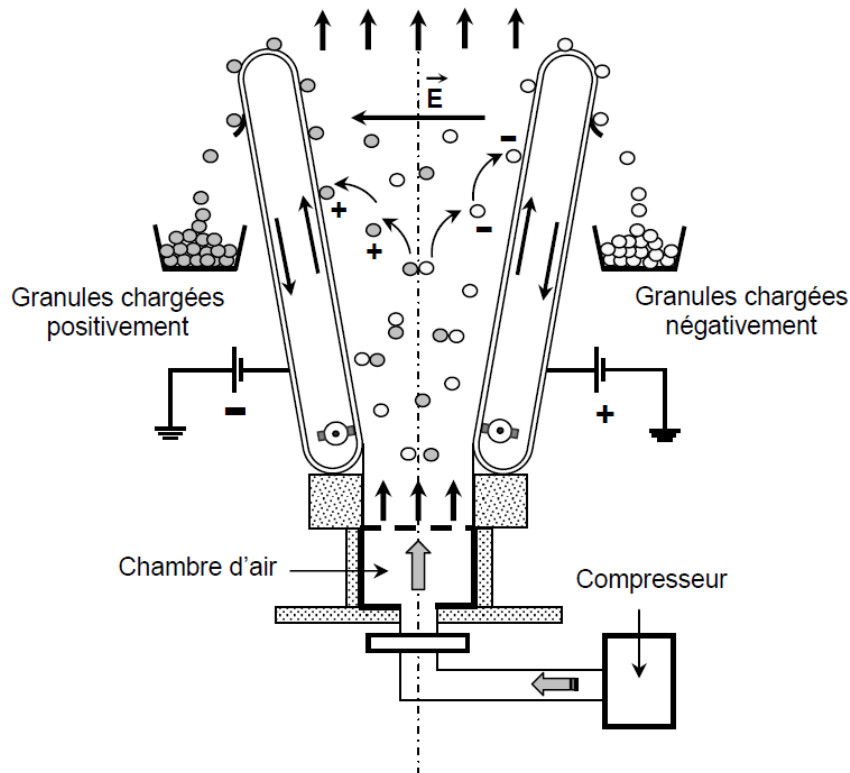


Figure III.6: Représentation schématique d'un séparateur tribo-aéro-électrostatique à deux bandes transporteuses [30].

III.4.4. Séparateur tribo-aéro-électrostatique à deux étages

L'installation est composée de deux étages superposés comme indiqué sur la figure III.7. Le séparateur tribo-aéro-électrostatique supérieur, est une enceinte parallélépipédique. Les parois latérales ont des électrodes en aluminium collées sur leurs surfaces internes. Ces électrodes sont connectées à deux alimentations haute tension continue variable de polarités opposées, afin de créer un champ électrique fort pour attirer les granules chargés. Les granules sont chargées par effet triboélectrique dans le lit fluidisé créé à l'intérieur de l'enceinte. L'air de fluidisation est fourni par une soufflante à débit variable. Sous l'action combinée des forces électriques, aérodynamiques et gravitationnelles, les granules se séparent essentiellement en fonction de la polarité de leur charge et sortent par le bas de cette enceinte. Deux chambres dirigent les deux flux de granules ainsi créés vers l'étage inférieur de l'installation, composé de deux séparateurs électrostatiques à chute libre. Les électrodes de ces séparateurs sont collées sur quatre plaques isolantes en plastique. Les deux plaques centrales sont connectées à la terre, tandis que les deux électrodes extérieures, connectées à des alimentations haute tension de polarités opposées. La récupération des produits séparés est faite dans des collecteurs de produit [31-33].

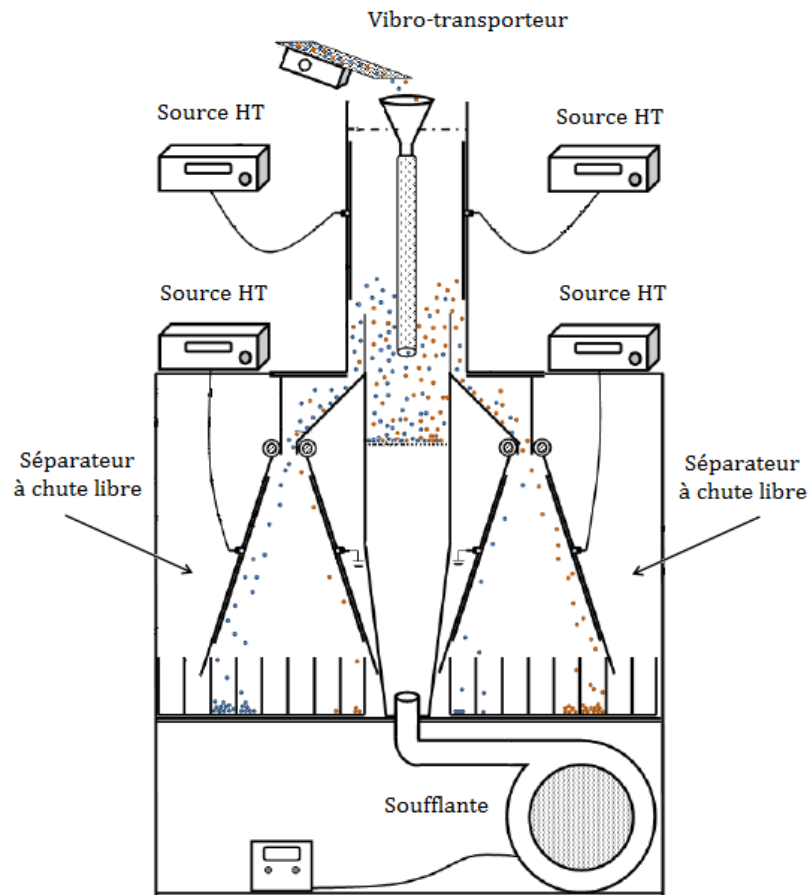


Figure III.7: Représentation schématique d'un séparateur tribo-aéro-électrostatique à deux étages [18].

III.5. Conclusion

La séparation tribo-électrostatique est solution appropriée pour le recyclage des déchets plastiques. C'est une technique multifactorielle difficilement contrôlable. Le résultat final de cette technologie est donc fortement lié aux plusieurs paramètres, y compris les caractéristiques des mélanges isolants à séparer, comme: la taille, la forme, la masse et la rugosité de surface...etc., l'efficacité du dispositif de chargement, les paramètres du séparateur lui-même, et l'humidité relative [20]. L'application industrielle d'une telle technologie a toujours des difficultés en raison de la multitude des paramètres de contrôles, et le mauvais ajustement de ces paramètres pourrait avoir des conséquences indésirables pour ce processus de séparation.

Chapitre IV

Etude expérimentale d'un séparateur électrostatique à chute libre

IV.1. Introduction

Nous présentons dans ce chapitre la description de l'installation expérimentale destinée à la séparation électrostatique des matériaux granulaires plastiques. Nous étudions ensuite la séparation d'un mélange granulaire isolant (PET/PEHD) en utilisant un séparateur électrostatique à chute libre conçu au Laboratoire de Génie Electrique de l'université de Guelma.

IV.2. Présentation du séparateur à chute libre

Le modèle de laboratoire du séparateur à chute libre présenté sur la figure IV.1 est composé essentiellement des éléments suivants [34]:

- ❖ Une chambre de séparation en verre de dimensions $(85 \times 30 \times 75)$ cm, elle nous permet d'observer le déroulement des essais.
- ❖ Deux électrodes planes en aluminium de dimensions (71×20) cm, collées sur deux plaques détachables en plexiglas de dimensions (75×26) cm (Figure IV.2). Les deux plaques sont attachées à l'intérieur de la chambre de séparation par ses quatre côtés, ce qui va nous permet d'ajuster la distance horizontale entre les électrodes et en même temps l'inclinaison des électrodes par rapport à l'axe vertical. Les deux électrodes sont reliées aux sources de haute tension à courant continu de polarité inverse (Figure IV.3).
- ❖ Un entonnoir qui serve à verser le mélange granulaire dans la chambre de séparation, il reçoit les particules chargées venant du dispositif de chargement à lit fluidisé afin de les guider en chute libre sous l'action de la force de la pesanteur dans la zone active de séparation électrostatique.
- ❖ Un collecteur à six compartiments: Les particules chargées sont attirées par l'électrode de polarité opposée, et sont récupérées ensuite dans les compartiments situés à gauche et adroite comme étant les produits A et B (Figure IV.4). Tandis que, les particules non-chargées ou faiblement chargées ne sont pas affectées par les forces électrostatiques et tombent sous l'action de la force de la pesanteur vers les compartiments situés au centre destinés au produit mixte.

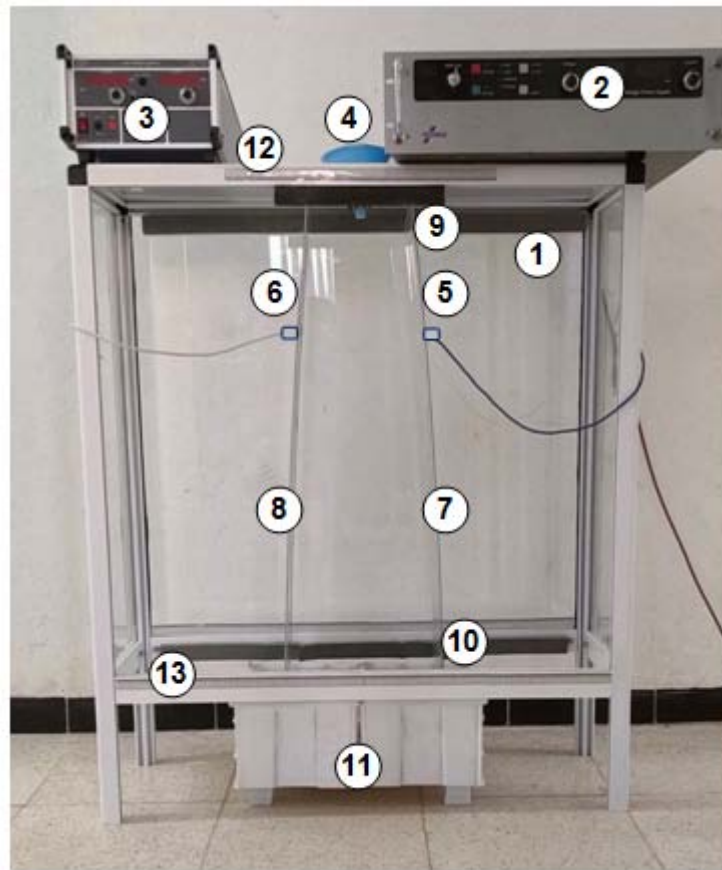


Figure IV.1: Photographie du séparateur tribo-électrique à chute libre: (1) Chambre de séparation, (2) Source haute tension négative, (3) Source haute tension positive, (4) Entonnoir, (5-6) Raccord haute tension, (7-8) Electrode plane, (9) Porte électrode supérieur, (10) Porte électrode inférieur, (11) Collecteur, (12-13) Règle graduée [34].



Figure IV.2: Photographie de l'électrode plane.



(a)



(b)

Figure IV.3: Photographies des sources haute tension: (a) HT négative, (b) HT positive.

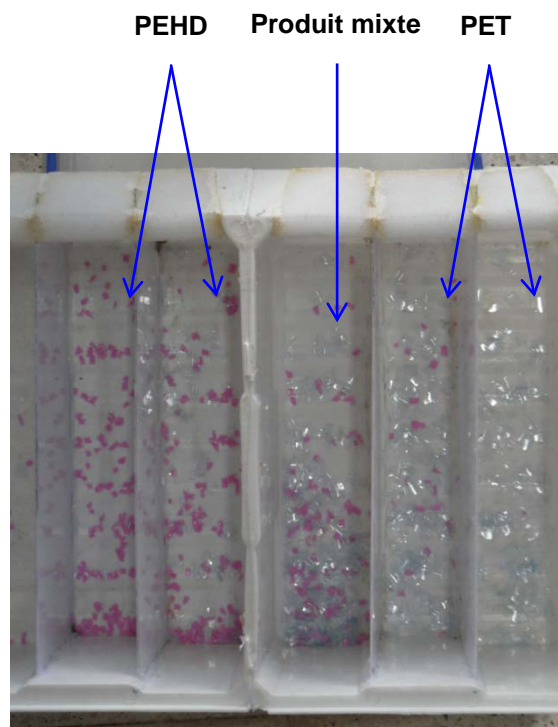


Figure IV.4: Photographie du collecteur de produit.

IV.2.1. Dispositif de chargement triboélectrique à lit fluidisé

Nous avons utilisé pour le chargement du mélange (PET/PEHD) le dispositif de chargement triboélectrique à lit fluidisé présenté sur les figures IV.5. L'air de fluidisation est fourni par une soufflante. Un diffuseur d'air assure l'uniformité de fluidisation de particules, qui est une plaque en plastique perforée située au fond de la chambre. À l'extrémité supérieure, la chambre est équipée d'un filtre qui empêche les granules de s'échapper. Les particules acquièrent des charges triboélectriques d'une part par collision entre-elles et d'autre part avec les parois de la chambre cylindrique en polyéthylène téréphtalate. Certains granules obtiennent alors une charge positive, tandis que les autres acquièrent une charge négative.

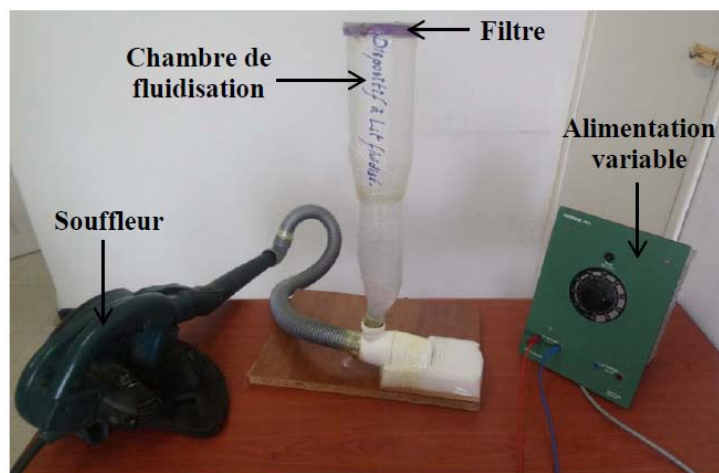


Figure IV.5: Photographie du dispositif de chargement tribo-électrique à lit fluidisé.

IV.2.2. Techniques de mesure et procédure expérimentale

L'objectif de notre étude expérimentale est l'évaluation de l'efficacité de l'installation de séparation en fonction des paramètres de contrôle suivants:

- Le temps de chargement
- La vitesse de l'air de fluidisation
- La tension appliquée sur les électrodes
- La composition du mélange

Les grandeurs d'évaluation du procédé électrostatique sont le taux de récupération et la pureté des deux produits récupérés.

Taux de récupération de produit

Le taux de récupération c 'est un indicateur qui détermine l'efficacité du processus et permet d'évaluer le taux (en pourcentage) du produit récupéré en rapport avec le produit total introduit. Le taux de récupération des produits séparés à été calculé par la formule suivante:

$$Rec (\%) = \frac{m_{ic}}{m_{it}} \times 100 \quad (IV.1)$$

avec:

m_{ic} : La quantité du produit i considéré collecté dans la partie qui lui est destinée.

m_{it} : La quantité totale du même produit i introduit dans le séparateur.

Taux de pureté de produit

Le taux de pureté est un autre indicateur qui détermine l'efficacité du processus. Ce paramètre permet d'évaluer le taux de la pureté (en pourcentage) du produit collecté, il est calculé par la formule suivante :

$$Pur (\%) = \frac{m_{ic}}{m_{tc}} \times 100 \quad (IV.2)$$

avec :

m_{ic} : La quantité du produit i considéré collecté dans la partie qui lui est destinée.

m_{tc} : La quantité totale (des deux produits) collectée dans la même partie du collecteur.

IV.2.3. Déroulement des expériences

Nous avons réalisé nos expériences sur un mélange granulaire de 8g. Toutes les expériences ont été réalisées à l'air ambiant (Température: entre 21 et 23°C, Humidité relative de l'atmosphère: entre 38 et 40%). L'analyse des résultats a été facilitée par le fait que les granules ont des couleurs différentes. Le protocole expérimental se fait en quatre étapes:

Etape 1: Préparation des échantillons

- Mesurer les quantités prescrites de chaque matériau;
- Introduire le mélange granulaire dans le dispositif de tribo-électrisation.

Etape 2: Chargement triboélectrique

- Lancer et chronométrer la durée de chargement;
- Retirer le produit chargé.

Etape 3: Séparation électrostatique

- Fixer l'amplitude de la tension à appliquer;
- Introduire le produit à séparer dans l'entonnoir du séparateur;

- Lancer la séparation électrostatique;
- Eteindre les sources hautes tension après séparation.

Étape 4: Analyse des résultats, en effectuant les opérations suivantes:

- Retirer les produits récupérés dans chaque compartiment du collecteur;
- Evaluer le taux de récupération des produits séparés;
- Evaluer la pureté des produits séparés.

IV.2.4. Mesure de la température et de l'humidité relative

Nous avons mesuré la température et de l'humidité relative avant les expériences de chargement triboélectrique et de séparation électrostatique en utilisant un thermo-hygromètre numérique modèle LUTRON AM-4205A (Figure IV.6).



Figure IV.6: Hygromètre numérique modèle Lutron AM-4205A.

IV.2.5. Mesure de la masse granulaire

Le matériau a été pesé avec une balance électronique de précision de 0,01g.



Figure IV.7: Balance électronique.

IV.2.6. Mesure de la vitesse de l'air de fluidisation

La mesure de la vitesse de l'air de fluidisation avant les expériences de chargement triboélectrique est indispensable, parce que le processus de chargement est influencé par le débit d'air dans le dispositif de chargement. En conséquence, on a utilisé l'anémomètre illustré sur la Figure IV.8.



Figure IV.8: Anémomètre

IV.2.7. Mesure de la charge triboélectrique

Pour mesurer la charge nous avons utilisé un seau de Faraday constitué de deux enceintes séparées par un isolant. L'enceinte extérieure est reliée à la terre pour réduire les perturbations électriques extérieures tandis que l'enceinte intérieure est connectée à un électromètre (Type Keithley modèle 6514) (Figure IV.9) permettant la mesure de la valeur et le signe de la charge, le produit granulaire est versé dans l'enceinte intérieure.



Figure IV.9: Montage de mesure de la charge électrique: (1) Electromètre (Keithley - modèle: 6514), (2) Seau de Faraday.

IV.2.8. Mesure de potentiel de surface

Le potentiel de surface est mesuré par une sonde électrostatique à condensateur vibrant (type TREK) reliée à un voltmètre comme indiqué sur la figure IV.10. La mesure de potentiel de surface après chargement triboélectrique, se fait par simple transfert de l'échantillon sous la sonde de mesure à la fin de la phase de chargement.

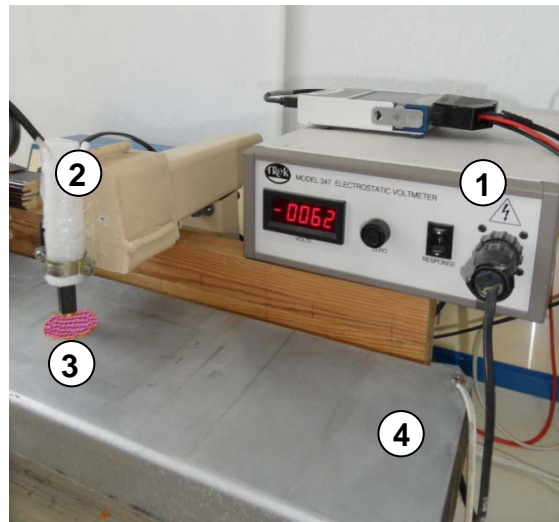


Figure IV.10: Montage de mesure de potentiel de surface: (1) voltmètre électrostatique type Trek, (2) sonde électrostatique, (3) échantillon, (4) électrode reliée à la terre.

IV.3. Matériaux utilisés

Nous avons réalisé nos expériences sur des échantillons constitués de particules de polyéthylène téréphtalate (PET) et polyéthylène haute densité (PEHD). Ce mélange a été obtenu à partir des bouteilles d'eau. La bouteille est en PET, tandis que le bouchon et le col sont en PEHD. Les bouteilles et les bouchons ont été broyés en granulés.

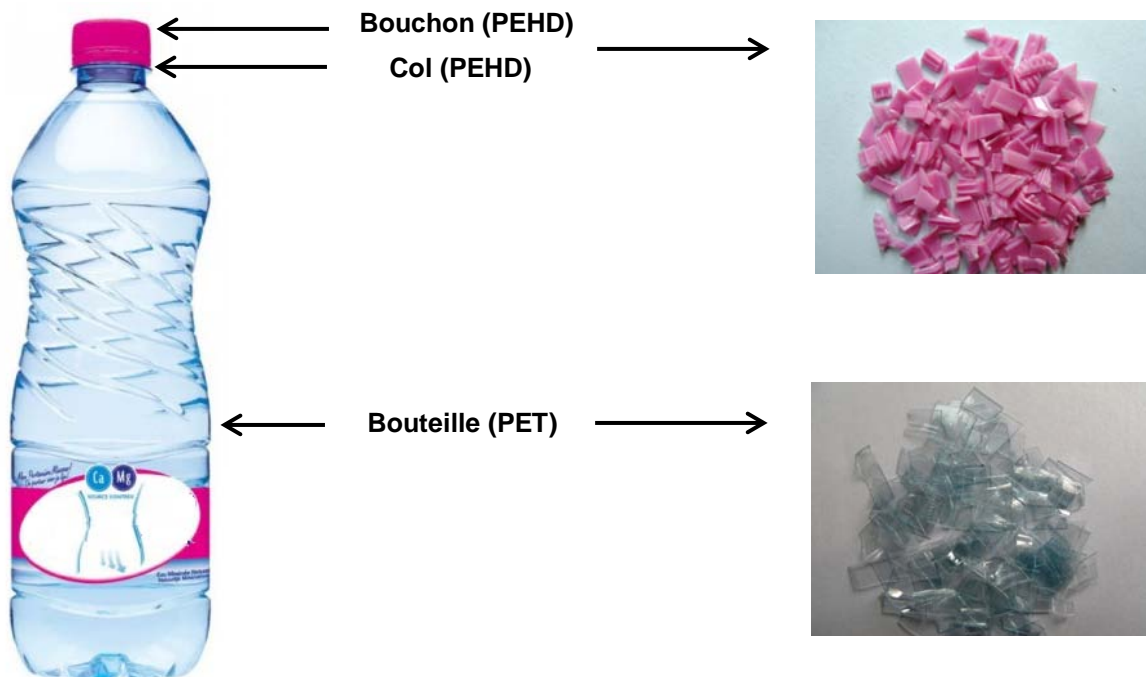


Figure IV.11: Matériaux utilisés.

IV.3.1. Le polyéthylène haute densité

Le polyéthylène haute densité (PE-HD) est un polyéthylène qui a été synthétisé en 1953 par le chimiste allemand Karl Ziegler [33]. Le PEHD est l'acronyme que l'on utilise le plus souvent pour parler de polyéthylène Haute Densité. Depuis les prémices de cette invention, ce matériau thermoplastique a largement été utilisé et commercialisé, car il répond à des besoins variés. Son succès est fort: 80 millions de tonnes seraient produites chaque année sur la planète. Grâce à ses qualités et ses avantages, le PEHD est utilisé dans de nombreuses applications de l'industrie. En voici quelques exemples [35]:

- Fabrication de bouteilles plastiques et d'emballages plastiques
- Dans l'industrie chimique et pharmaceutique
- Dans le secteur de bâtiment et travaux publics et la conduite de fluides

IV.3.2. Le polyéthylène téréphtalate

Le polyéthylène téréphtalate est un plastique qui entre dans la composition de nombreux objets de la vie quotidienne, notamment pour le conditionnement des produits alimentaires. Le polyéthylène téréphtalate (PET) est un composé plastique issu de l'industrie du pétrole. Il appartient à la famille des thermoplastiques. Il s'agit d'un polymère de type polyester saturé. Sa technique de fabrication la plus courante est l'injection moulage avec des cycles très courts. Ce produit peu onéreux et 100 % recyclable est utilisé par plusieurs secteurs industriels. Tous les déchets en polyéthylène téréphtalate peuvent être récupérés et traités. Ils seront réutilisés pour produire de nouvelles bouteilles et de nouveaux récipients ou serviront par exemple pour créer des fibres textiles ou des sacs. Il est donc primordial de recycler ces articles issus de l'industrie plastique plutôt que de les jeter avec les déchets ménagers [36].

IV.4. Résultats et discussion

IV.4.1. Mesure de la charge électrique en fonction du temps de chargement

Le tableau IV.1 représente les résultats de l'influence du temps de chargement sur la charge acquise par les produits PET et PEHD, les autres paramètres sont maintenus constants:

- La masse du produit: $m = 4\text{g PET} + 4\text{g PEHD}$;
- La vitesse de l'air de fluidisation: $V = 6,5\text{ cm/s}$

La charge massique augmente avec l'augmentation du temps de chargement. Le temps de chargement est un paramètre qui influe sur le processus de chargement triboélectrique et par conséquent sur la charge accumulée sur la surface des isolants.

La meilleure valeur de temps de chargement triboélectrique, déterminée par les expériences, a été de 4 minutes (Figure IV. 12).

Tableau IV.1: Influence du temps de chargement sur la charge acquise par les particules

Temps de chargement	Charge massique ($\eta\text{C/g}$)	
	PET	PEHD
1 min	-0,76	0,28
2 min	-3,1	0,54
3 min	-5,8	2,5
4 min	-9,37	3,07

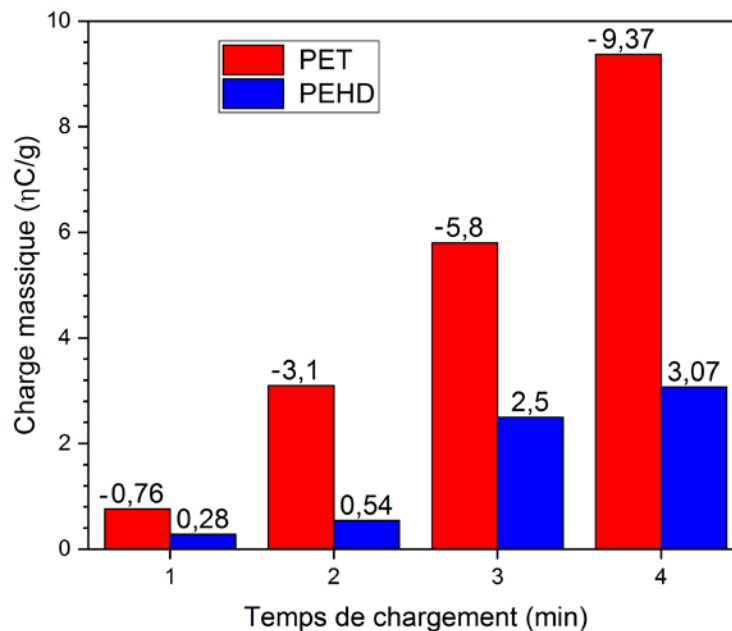


Figure IV.12: Charge massique acquise en fonction du temps de chargement.

IV.4.2. Mesure de potentiel de surface en fonction du temps de chargement

Le tableau IV.2 et la figure IV.13, représente les résultats de mesure de potentiel en surface des échantillons de PET et PEHD pour différentes valeurs de temps de chargement.

Comme nous pouvons le constater, le potentiel de surface augmente avec l'augmentation du temps de chargement, Pour un temps de chargement $t = 4\text{min}$, le potentiel atteint les valeurs maximale (-1022V et 515V) pour le PET et le PEHD respectivement.

Tableau IV.2: Influence du temps de chargement sur le potentiel de surface des particules

Temps de chargement	Potentiel de surface (V)	
	PET	PEHD
1 min	-101	60
2 min	-412	209
3 min	-700	459
4 min	-1022	515

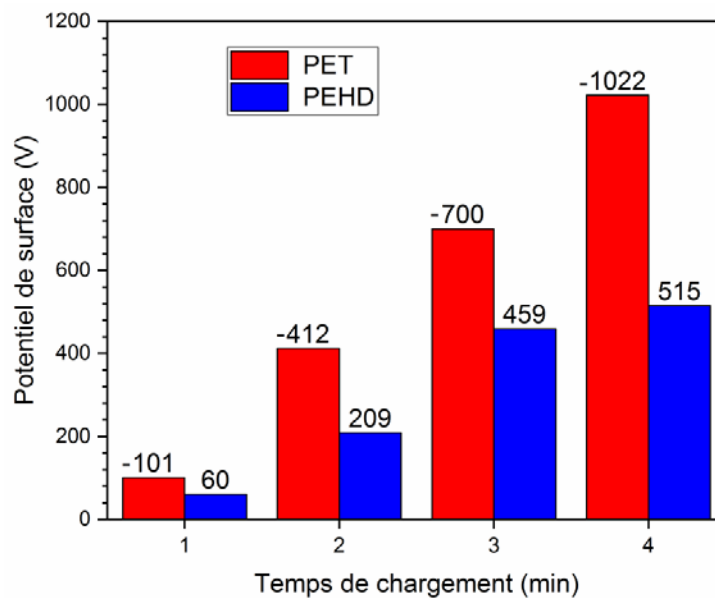


Figure IV.13: Potentiel de surface en fonction du temps de chargement.

IV.4.3. Influence de la vitesse de l'air de fluidisation sur les résultats de séparation

Les résultats des expériences de séparation en termes de taux de récupération et de taux pureté des deux produits en fonction de la vitesse de l'air de fluidisation sont montrés dans le tableau IV.3 et les figures IV.14 et IV.15, pour les paramètres suivants:

- Tension appliquée: 10 kV
- Temps de chargement des particules: 4 min

- Masse de mélange : 2g PEHD + 6g PET

D'après ces résultats, le meilleur résultat de séparation, déterminé par les expériences a été obtenue pour une vitesse de l'air égale à 8cm/s. Comme nous pouvons le constater, pour une Vitesse de 8cm/s, le taux de récupération des particules de PET et PEHD égal 74.5%, 64.5% et le taux de pureté des deux produits est égal: 95.89% et 78.65% respectivement.

Tableau IV.3: Influence de la vitesse de l'air de fluidisation sur le taux de récupération et le taux de pureté des deux produits récupérés.

Vitesse de l'air (cm/s)	Taux de récupération (%)	Taux de récupération (%)	Taux de pureté (%)	Taux de pureté (%)
	PET	PEHD	PET	PEHD
4,5	39,83	40,5	82,41	32,53
6,5	66,83	49,5	88,9	64,7
8	74,5	64,5	95,89	78,65

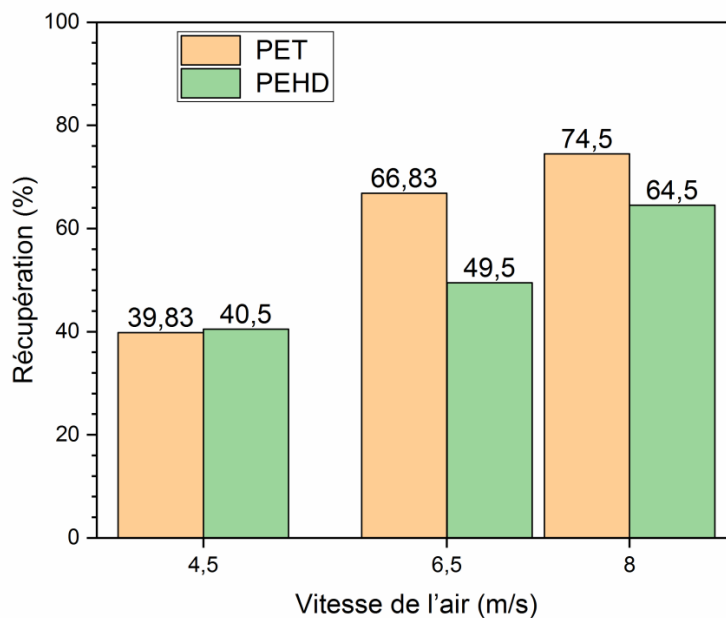


Figure IV.14: Taux de récupération des produits en fonction de la vitesse de l'air de fluidisation (Temps de chargement = 4min, Tension = 10kV, Masse de mélange = 2g PEHD+6g PET).

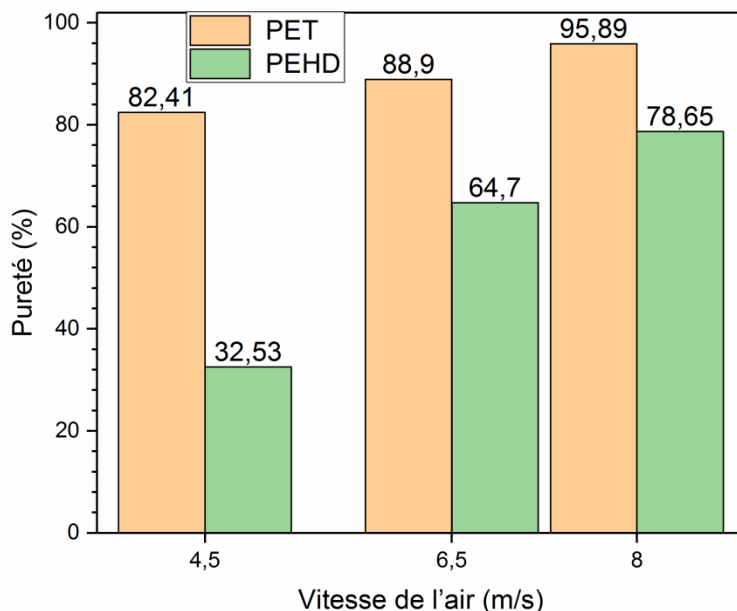


Figure IV.15: Taux de pureté des produits en fonction de la vitesse de l'air de fluidisation (Temps de chargement = 4min, Tension = 10kV, Masse de mélange = 2g PEHD+6g PET).

IV.4.4. Influence de la tension appliquée sur les résultats de séparation

Les résultats présentés dans le tableau IV.4 et les figures IV.16 et V.17 montrent que les résultats de séparation s'améliorent avec l'augmentation de la tension appliquée sur les électrodes et ce évidemment dans les limites des tensions considérées. Ce résultat est dû à l'augmentation du champ électrique et, par conséquent, à l'augmentation de la force électrique appliquée sur particules de PET et PEHD.

Tableau IV.4: Influence de la tension appliquée sur le taux de récupération et le taux de pureté des deux produits récupérés.

Tension appliquée (kV)	Taux de récupération (%)	Taux de récupération (%)	Taux de pureté (%)	Taux de pureté (%)
	PET	PEHD	PET	PEHD
6	35,6	26	82,3	37,41
8	56,3	22	84,5	36,36
10	74,5	64,5	95,89	78,65

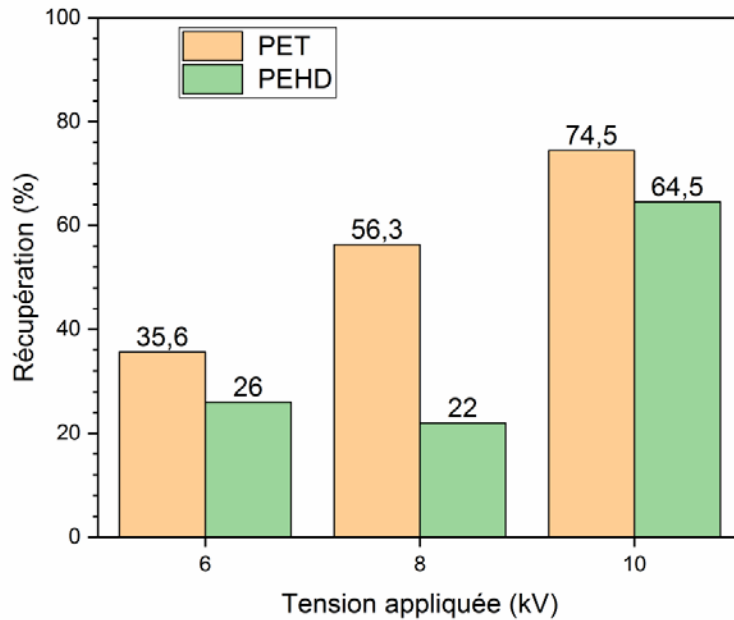


Figure IV.16: Taux de récupération des produits en fonction de la tension appliquée (Temps de chargement = 4min, Vitesse de l'air de fluidisation = 8cm/s, masse de mélange = 2g PEHD +6g PET).

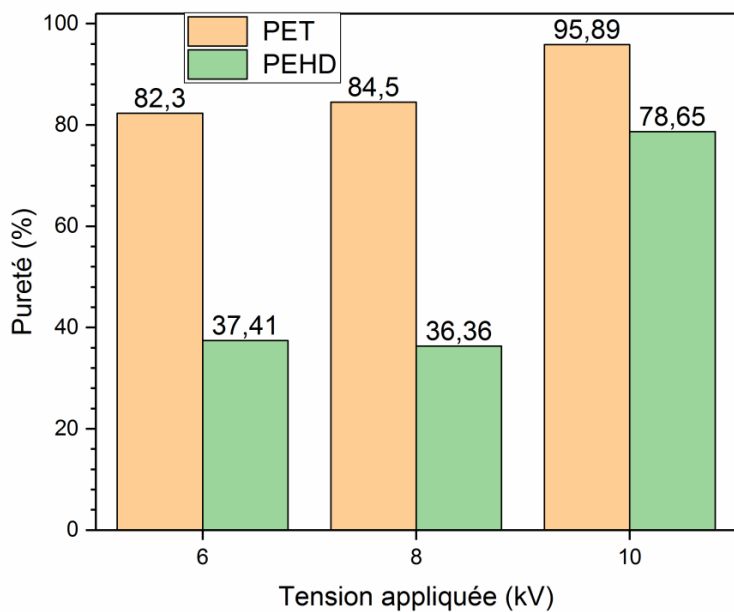


Figure IV.17: Taux de pureté des produits en fonction de la tension appliquée (Temps de chargement = 4min, Vitesse de l'air de fluidisation = 8cm/s, masse de mélange = 2g PEHD +6g PET).

IV.4.5. Influence de la composition du mélange sur les résultats de séparation

Les résultats de la séparation des deux produits en fonction de la composition du mélange sont présentés dans le tableau IV.5 et les figures IV.18 et IV.19. Les paramètres suivants sont maintenus constants:

- Tension appliquée: 10 kV
- Temps de chargement des particules: 4 min
- Vitesse de l'air de fluidisation: 8cm/s

Tableau IV.5: Influence de la composition du mélange sur le taux de récupération et le taux de pureté des deux produits récupérés.

Composition (%)	Taux de récupération (%)	Taux de récupération (%)	Taux de pureté (%)	Taux de pureté (%)
	PET	PEHD	PET	PEHD
80% PET, 20% PEHD: 6g (PET) + 2g (PEHD)	74,5	64,5	95,89	78,65
50% PET, 50% PEHD: 4g (PET) + 4g (PEHD)	58,75	36,75	68,11	75
20% PET, 80% PEHD: 2g (PET) + 6g (PEHD)	30	63,83	47,61	82,18

Dans le cas où la composition du mélange est de (50% PET, 50% PEHD) et (20% PET, 80% PEHD), nous remarquons que l'efficacité du processus de séparation est faible. Le meilleur résultat de séparation électrostatique, déterminée par les expériences, a été obtenu pour un mélange composé de 20% PEHD et 80% PET en d'autre terme c'est le cas où le produit PEHD est minoritaire et le PET est majoritaire dans le mélange initial. Ceci est en adéquation avec le cas réel, le PEHD qui représente le bouchon et le col est en effet minoritaire par rapport au PET qui représente la bouteille.

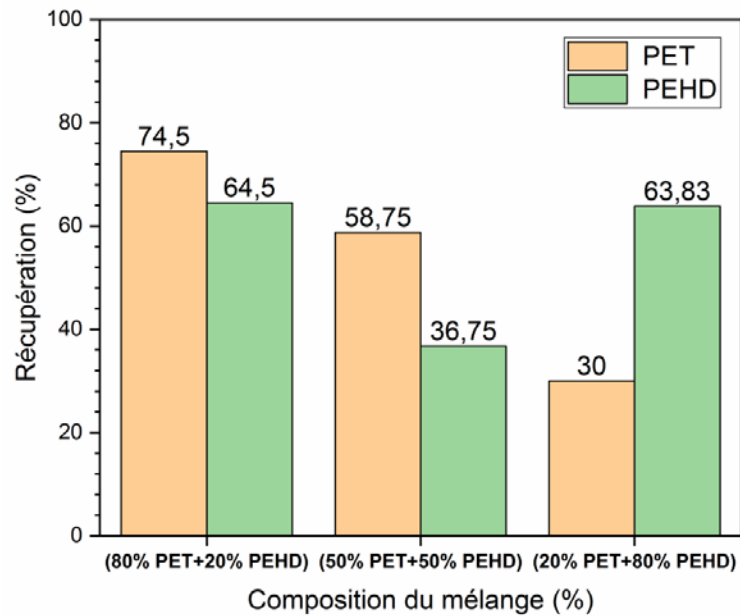


Figure IV.18: Taux de récupération des produits en fonction de la composition du mélange (Temps de chargement = 4min, vitesse de l'air de fluidisation = 8cm/s, tension appliquée = 10kV).

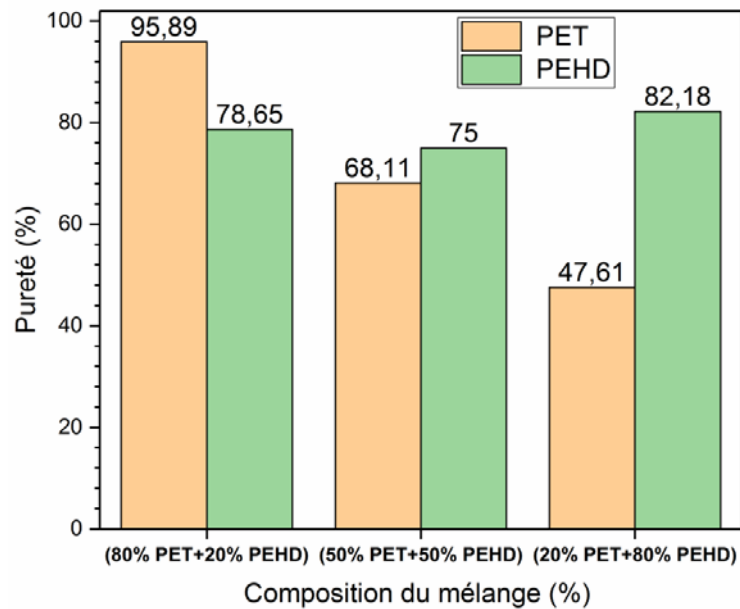


Figure IV.19: Taux de pureté des produits en fonction de la composition du mélange (Temps de chargement = 4min, vitesse de l'air de fluidisation = 8cm/s, tension appliquée = 10kV).

IV.5. Conclusion

L'étude expérimentale nous a permis de montrer que le temps de chargement et la vitesse de l'air de fluidisation influent considérablement sur la charge acquise par les particules de PET et PEHD. La tension appliquée aux électrodes et la composition du mélange influent considérablement à la fois sur la récupération et la pureté des produits séparés.

Conclusion générale

Les plastiques font partie du quotidien de milliards d'individus et sont également très utilisés dans l'industrie. On en produit plus de 400 millions de tonnes par an dans le monde. Ces matériaux présentent cependant de sérieux inconvénients. Ils se dégradent très lentement, restant ainsi présents dans l'environnement pour des décennies, des siècles. La valorisation et le recyclage de ces matériaux qui arrivent en fin de vie utile s'imposent afin de valoriser cette ressource peu coûteuse comparativement aux coûts des matières premières. Cette opération de valorisation par laquelle les déchets plastiques sont retraités nécessite la recherche et le développement de nouvelles technologies de séparation physique.

Dans ce travail, nous avons effectué une étude expérimentale d'un séparateur électrostatique à chute libre associé à dispositif de chargement tribo-électrique. Les résultats obtenus montrent que les paramètres étudiés (temps de chargement, tension appliquée, vitesse de l'air de fluidisation et la composition du mélange) influent considérablement sur les résultats de séparation d'un mélange granulaire binaire de polyéthylène téréphtalate (PET) et polyéthylène haute densité (PEHD).

Bibliographie

- [1] Bemmami K.E., Tchouar A. “Conception et réalisation d’une unité de recyclage – plastique”, Mémoire de Master, Génie Industriel, Université de Tlemcen, 2017.
- [2] Brahiman T., “Elaboration et caractérisation d’une structure composite (sable et déchets plastiques recyclés): Amélioration de la résistance par des charges en argiles”, Thèse de Doctorat en matériaux, Université de Bourgogne Franche-Comté, 2018.
- [3] Traore B., “Elaboration et caractérisation d’une structure composite (sable et déchets plastiques recyclés) : amélioration de la résistance par des charges en argiles”, Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny, République de Côte d’Ivoire, 2018.
- [4] <https://www.naga44.org/IMG/pdf/plastiques.pdf>
Les plastiques
- [5] Chala K., “Elaboration et caractérisation d’un matériau à base de Polyéthylène basse densité recyclé et chargé par le Talc”, Mémoire de Master, Génie des Procédés, Université de Biskra, 2016.
- [6] www.plasticseurope.org
Plastics
- [7] <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-recyclage-5774/>
Le recyclage.
- [8] Laameche S., Mimouni D. “Création d’une entreprise de Tri et de Recyclage de Plastique et d’Aluminium à Tlemcen”, Mémoire de Master en génie industriel, université de Tlemcen, 2016.
- [9] www.geo.fr/environnement/recycler-materiaux-38403
Recycler différents types de matériaux
- [10] Molinié P. “Etude de la neutralisation de la charge électrique déposée par effet couronne à la surface d’un isolant. Application au suivi des premiers stades de vieillissement d’un isolateur époxyde”, Thèse de Doctorat, Université Paris VI, 1992.
- [11] Gary C., “Effet couronne sur les réseaux électriques aériens. Techniques de l’ingénieur”, Editions T.I. 1998.
- [12] Remadnia M. “Déclin de potentiel sur la surface d’un film isolant (PET)”, Mémoire de Magistère, Université de Guelma, 2007.
- [13] Dragan, C. “Modélisation du processus de charge et séparation tribo-aéroélectrostatique de matériaux plastiques granulaires” Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, 2010.

- [14] Diaza A. F., Felix-Navarro R. M., “A semi-quantitative tribo-electric series for polymeric materials: the influence of chemical structure and properties”, *Journal of Electrostatics*, vol. 62, pp. 277–290, 2004.
- [15] Iuga A., Calin L., Neamtu V., Mihalcioiu A., Dascalescu L., “Tribocharging of plastics granulates in a fluidized bed device”, *Journal of Electrostatics*, vol. 63, pp. 937-942, 2005.
- [16] Fujita T., Kamiya Y., Shimizu N., Tanaka T., “Basic study of polymer particles separation using vibrating feeder and electrostatic high voltage generator”. *Proceedings of the Third International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology*, pp. 155–164, 1995.
- [17] Hyun Park C., Koo Park J., Seok Jeon H., Chul Chun B., “Triboelectric series and charging properties of plastics using the designed vertical-reciprocation charger”. *Journal of Electrostatics*, vol. 66, pp. 578–583, 2008.
- [18] Fekir D. E., “Chargement triboélectrique et séparation électrostatique pour deux types de mélange granulaire binaire isolants de taille fine et ceux de grosse taille”, *Thèse de Doctorat en électrotechnique, Université de Sidi-Bel-Abbes*, 2017.
- [19] Rezoug M., “Contribution à l’étude de la neutralisation des charges électriques dans les particules isolantes”, *Thèse de Doctorat en électrotechnique, Université de Sidi-Bel-Abbes*, 2017.
- [20] Nadjem A. “Etude et exploitation des charges électriques dans les procédés électrostatiques”, *Thèse de Doctorat, Université de Guelma*, 2019.
- [21] Aksa W., “Réalisation et étude d’un séparateur aérodynamique semi-industriel pour la récupération de particules isolantes”, *Thèse de Doctorat, Université Djillali Liabes de Sidi-Bel-Abbès*, 2014.
- [22] Messal S. “Procédés de séparation électrostatique de matériaux pulvérulents. Applications au recyclage des déchets et dans l’industrie agro-alimentaire”, *Thèse de Doctorat université de Poitiers, Décembre 2016*.
- [23] Mekhalef Benhafssa A., “Etude d’un séparateur tribo-aéro-électrostatique des mélanges des matériaux poudreux”, *Thèse de Doctorat en électrotechnique, Université de Sidi-Bel-Abbes*, 2017.
- [24] Tilmatine A., Flazi S., Medles K., Ramdania Y., Dascalescu L., “Séparation électrostatique: complément des procédés mécaniques de recyclage des déchets industriels”, *Journal of Electrostatics*, Vol. 61, no. 1, 2004.
- [25] <https://www.netinbag.com/fr/manufacturing/what-is-electrostatic-separation.html>
La séparation électrostatique

- [26] Blajan M. “Séparation de la muscovite des pegmatites feldspathiques en utilisant des champs électriques intenses”, Thèse de Doctorat, Université de Poitiers 2006.
- [27] Gontran R., “Étude expérimentale et optimisation fonctionnelle des installations de séparation électrostatique de mélanges de matériaux granulaires”, Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, France, 2018.
- [28] Bilici, M., Dascalescu, L., Dragan, C., Fati, O., Iuga, A., Samuila, A., “Tribocharging and electrostatic separation of mixed granular solids in fluidized bed devices”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 18, pp. 1476-1483, 2011.
- [29] Boukhoulida, M. F., Miloudi, M., Medles, K., Rezoug, M., Tilmatine, A., Dascalescu, L. “Experimental modeling of a new triboelectrostatic separation process for mixed granular polymers”, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 49, pp. 2375-2381, 2013.
- [30] Remadnia M., “Déclin de potentiel sur la surface de matériaux granulaires isolants”, Thèse de Doctorat, Université de Guelma, 2012.
- [31] Messafeur R., “Etude d’un procédé de séparation d’un mélange de particules isolantes issues de plusieurs matériaux”, Thèse de Doctorat, Université Djillali Liabes de Sidi-Bel-Abbès, 2018.
- [32] Aksa W., Medles K., Rezoug M., Miloudi M., Dascalescu L., “Procédé de séparation électrostatique à deux étages pour l’amélioration de la pureté des matériaux isolants obtenus des déchets d’équipements électriques et électroniques”, Conférence Francophone sur l’Eco-conception en Génie Electrique (CONFREGE), Montréal, Canada, Mai 2012.
- [33] https://fr.wikipedia.org/wiki/Poly%C3%A9thyl%C3%A8ne_haute_densit%C3%A9
Le polyéthylène haute densité
- [34] Seddiki Y., Mihoub A, “ Etude expérimentale d’un séparateur électrostatique à chute libre”, Mémoire de Master, Université 8 Mai 1945 Guelma, 2021.
- [35] <https://www.artis-groupe.fr/blog/pehd>
Les enjeux liés au PEHD dans l’industrie
- [36] <https://www.france-industrie.pro/industrie-plastique/les-types-de-plastique/le-polyethylene-terephthalate/>
Le Polyéthylène Téréphtalate